

SBRI+

PRIRUČNIK ZA PROJEKTIRANJE II

Napredne primjene



Research Fund
for Coal & Steel



Europska
komisija



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Urednici hrvatskog izdanja:

Darko Dujmović
Ivan Lukačević

SBRI+ Priručnik za projektiranje II

Napredne primjene

1. izdanje, 2018

Institute of Structural Design (USTUTT), Germany

Universidade de Coimbra, Portugal

Institut français des sciences et technologies des transports, de
l'aménagement et des réseaux, (IFSTTAR), France

ArcelorMittal (AMBD), Luxembourg

Brisa Engenharia e Gestão SA (BEG), Portugal

BKE sp. z o.o., Poland



Projekt je realiziran s financijskom potporom Research Fund for Coal and Steel (RFCS)
European Community

**SBRI+: Valorizacija spoznaja o održivosti spregnutih mostova u izgrađenom okolišu
– Priručnik za projektiranje II**

Napredne primjene

1. izdanje, 2018

Copyright ©

Osim bilo kakve korektne radnje u svrhu istraživanja ili privatnog proučavanja, kritike ili preispitivanja, kao što je to dopušteno u Zakonu o autorskim pravima i patentima, ova publikacija ne smije se reproducirati, pohranjivati ili prenositi u bilo kojem obliku ili bilo kojim sredstvima bez prethodnog odobrenja u pisanom obliku izdavača ili u slučaju reprografske reprodukcije samo u skladu s uvjetima licenci koje je izdala Agencija za zaštitu autorskih prava ili u skladu s uvjetima licenci koje je izdala odgovarajuća Organizacija za prava reprodukcije.

Iako je poduzeta pozornost da se osigura, prema našim najboljim saznanjima, da su svi ovdje sadržani podaci i informacije točni u onoj mjeri u kojoj se odnose na činjenična pitanja ili prihvaćenu praksu ili pitanja mišljenja u vrijeme objavljivanja, autori i recenzenti ne preuzimaju nikakvu odgovornost za bilo kakve pogreške ili pogrešne interpretacije takvih podataka i/ili podataka ili bilo kakvog gubitka ili oštećenja nastalih ili povezanih s njihovom uporabom.

Da biste prijavili sve pogreške, kontaktirajte: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, Kačićeva 26, 10000 Zagreb, Hrvatska (odgovorne osobe: Ivan Lukačević, Darko Dujmović)

Urednici hrvatskog izdanja:

Darko Dujmović, Ivan Lukačević (University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering)

Prijevod

Darko Dujmović, Ivan Lukačević (University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering)

ISBN: 978-953-8168-28-4

Lipanj 2018.

PREDGOVOR

1. izdanje

Prvo izdanje Priručnika za projektiranje II pripremila je Ana Pascual sa Sveučilišta u Stuttgart-u kao dio RFCS projekta Valorizacija spoznaja o održivosti spregnutih mostova u izgrađenom okolišu (SBRIPUS) (ugovor 710068)

Organizacije koje su sudjelovale u projektu SBRIPUS su:

ArcelorMittal (AMBD) (Co-ordinator) Rue de Luxembourg 66, Esch Sur Alzette Luxembourg www.arcelormittal.com/sections	Universität Stuttgart (USTUTT) Institute of Structural Design Pfaffenwaldring 7, Stuttgart, 70569, Germany www.uni-stuttgart.de
Universidade Coimbra Paco das Escolas, 3001 - 451 Coimbra, Portugal www.uc.pt	Aktien-Gesellschaft der Dillinger Hüttenwerke Street Werkstraße 1, Dillingen, 66763, Germany www.dillinger.biz
Institut Français Des Sciences Et Technologies Des Transports, De L'aménagement Et Des Réseaux (IFSTTAR) Boulevard Isaac Newton 14, Cite Descartes 14-20, Marne La Vallee Cedex 2, 77447, France http://www.ifsttar.fr	RAMBOLL SVERIGE AB Stockholm, 10265, Sweden www.ramboll.se
Brisa Engenharia e Gestão SA (BEG) Quinta da Torre da Aguilha Edificio Brisa, S. Domingos de Rana, 2785-599, Portugal www.brisa.pt	FOSTA -Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. Sohnstrasse 65, Dusseldorf, 40237, Germany www.stahlforschung.de
Universitatea Politehnica Timisoara (UPT) Piata Victoriei 2, Timisoara, Romania http://www.upt.ro	Ceske Vysoke Ucení Technické V Praze Žitkova 4, Praha 16636, Czech Republic www.cvut.cz
Fundacion Tecnalia Research & Innovation Parque Tecnologico De Miramon Pase Donostia-San Sebastian, 20009, Spain www.tecnalia.com	Universita Degli Studi Di Napoli Federico II Corso Umberto I 40, Napoli, 80138, Italy www.unina.it
Atkins Consultants Limited Woodcote Grove, Ashley Road, EPSOM, KT18 5BW, United Kingdom www.atkinsglobal.com	Stichting Bouwen Met Staal Boerhaavelaan 40, Zoetermeer, 2713 HX, Netherlands www.bouwenmetstaal.nl
BKE sp. z o.o. Na Miasteczku 12c/243, Poznań, 61-144, Poland www.bke.poznan.pl	Sveučilište u Zagrebu Građevinski Fakultet Fra Andrije Kačića Miošića 26, Zagreb, 10000, Croatia www.grad.hr
S. Stathopoulos - K. Farros Consulting Engineers (Domi S.A.) Korgialeniou 14, Athens, 11526, Greece www.domi-ae.gr	Onesource Consultadoria Informática Urbanização Ferreira Jorge – 1º dto Lote 14, Coimbra 3040 016, Portugal www.onesource.pt

Značajan doprinos u pripremi Priručnika za projektiranje II dale su sljedeće osobe:

- o Constança Rigueiro, Melaku Seyoum Lemma, Jorge Teixeira, Helena Gervásio, Luis Simões da Silva (Universidade de Coimbra)
- o Ulrike Kuhlmann (Universität Stuttgart)
- o André Orcesi (Institut Français Des Sciences Et Technologies Des Transports, De L'aménagement Et Des Réseaux)
- o Marion Charlier, Dennis Rademacher (ArcelorMittal)
- o Nuno Martins (Brisa Engenharia e Gestão SA)
- o Jacek Tasarek (BKE sp. z o.o.)

Zahvala

Financijsku podršku ovom izdanju Priručnika za projektiranje II, pružila je sljedeća organizacija:

Europska Unija Research Fund for Coal and Steel.

Sadržaj

PREDGOVOR	III
SADRŽAJ	I
1 UVOD	1
1.1 Holistički pristup	1
1.2 Strategije pregleda i održavanja.....	2
1.2.1 Standardni scenarij	2
1.3 Predstavljanje naprednih tipova mostova	3
1.3.1 Slučaj mosta tip D	3
1.3.2 Slučaj mosta tip E	4
1.4 Scenariji i pretpostavke za analizu okoliša u životnom ciklusu	6
1.4.1 Faza proizvodnje materijala	6
1.4.2 Faza izgradnje	7
1.4.3 Faza korištenja.....	7
1.4.4 Faza na kraju životnog vijeka	8
1.4.5 Kategorija okoliša - abiotički potencijal iscrpljivanja (ADP _{elementi})	9
1.4.6 Kategorija okoliša - fotokemijski potencijal stvaranja ozona (Prijevoz kamionom)	10
1.4.7 Pretpostavke za scenarije pregleda i održavanja	10
1.5 Pretpostavke za analizu troškova na kraju životnog vijeka.....	10
2 RIJEŠENI PRIMJERI - TIP MOSTA D	11
2.1 Opći opis	11
2.1.1 Motivacija	11
2.1.2 Ciljevi	11
2.1.3 Antikorozivna zaštita mostova	12
2.1.4 Analiza daljnjih kriterija	15

2.1.5	Definiranje studija slučajeva	15
2.2	Scenariji i pretpostavke za analizu okoliša u životnom ciklusu	17
2.2.1	Analiza prometa	17
2.3	Analiza okoliša u životnom ciklusu	18
2.3.1	Faza proizvodnje materijala	18
2.3.2	Faza izgradnje	20
2.3.3	Faza korištenja	22
2.3.4	Faza na kraju životnog vijeka	23
2.3.5	Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu	25
2.4	Analiza troškova životnog ciklusa	26
2.4.1	Početni troškovi izgradnje	26
2.4.2	Troškovi korištenja	26
2.4.3	Troškovi na kraju životnog vijeka	28
2.4.4	Ukupni troškovi životnog ciklusa	29
2.5	Analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta	29
2.6	Diskusija rezultata za slučaj D	31
3	RIJEŠENI PRIMJERI - TIP MOSTA E - PRECOBEAM NOSAČ	32
3.1	Opći opis	32
3.1.1	Prednosti Precobeam sustava	35
3.1.2	Primjeri Precobeam sustava na mostovima	36
3.1.3	Definicija studija slučajeva	37
3.2	Analiza prometa	40
3.3	Analiza okoliša u životnom ciklusu	41
3.3.1	Faza proizvodnje materijala	41
3.3.2	Faza izgradnje	43
3.3.3	Faza korištenja	44
3.3.4	Faza na kraju životnog vijeka	46
3.3.5	Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu	48

3.4	Analiza troškova životnog ciklusa	50
3.5	Analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta	50
3.6	Diskusija rezultata za slučaj E.....	51
4	SAŽETAK I ZAKLJUČCI.....	52
5	POPIS SLIKA	58
6	POPIS TABLICA	61
	DODATAK A: SCENARIJI ODRŽAVANJA I OGRANIČENJA PROMETA.....	63
	Tablica A1: Standardni scenarij održavanja	63
	Tablica A2: Ograničenja prometa za slučaj D	64
	Tablica A3: Ograničenja prometa za slučaj E	65

1 UVOD

1.1 Holistički pristup

U istraživačkom projektu SBRI, analizirane su i istražene samo standardne situacije mostova s pločastim rasponskim sklopovima. Pristup uveden za vrijeme SBRI projekta je u ovom priručniku ispitan i proširen za daljnje tipove mostova i inovativna rješenja. Održivo projektiranje naprednih tipova mostova je provedeno na temelju primjera izvedenih mostova u različitim zemljama projektnih partnera. U ovom priručniku napredna inovativna rješenja su uspoređena s uobičajenim rješenjima istih tipova mostova. Slučajevi analiziranih tipova mostova su istaknuti u tablici 1.

Tablica 1: Studije slučajeva mostova u Priručniku II

	Broj slučajeva	Slučajevi
Slučajevi D	3	D1 Vruće cinčanje
		D2 Tradicionalni premazi
		D3 Vruće cinčanje + tradicionalni premazi
Slučajevi E	2	E1 PRECOBEAM
		E2 Spregnuti nosači čelik - beton

Holistička analiza

Istraživanja su provedena holističkom analizom kako bi se razumjeli odnosi i kako bi se identificirao potencijal za optimizaciju. Istraživanje obuhvaća ekološke (procjena okoliša u životnom ciklusu), ekonomske (troškovi životnog ciklusa) i socio-funkcionalne aspekte (analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta) za koje su odabrani analitički postupci predstavljeni u nastavku.

Procjena životnog ciklusa

Procjena životnog ciklusa je metoda uspostavljena za vrednovanje utjecaja na okoliš. Proizvodi mogu imati negativan utjecaj na okoliš za vrijeme cijelog životnog ciklusa, od projektiranja, proizvodnje sirovina, izgradnje i korištenja do recikliranja ili odlaganja. Procjena životnog ciklusa (LCA) se stoga koristi za istraživanje toka supstanci i energije te pridruženih učinaka na okoliš tijekom čitavog životnog ciklusa. Ovdje se postojeći model uspostavljen SBRI projektom proširuje i prilagođava na inovativno projektirane mostove.

Troškovi životnog ciklusa

Izračun troškova životnog ciklusa (LCC) obuhvaća sve troškove nastale tijekom životnog ciklusa koji se mogu izravno pripisati konstrukciji. Jedan od izazova izračuna troškova životnog ciklusa je odrediti pristup za različite aktivnosti održavanja u životnom ciklusu koje su prikazane kao scenarij. Troškovi životnog ciklusa izračunavaju se na temelju teorijskog životnog vijeka pojedinih komponenata mostova.

Analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta

Socijalni kriteriji omogućuju nam kvantificiranje utjecaja mosta na njegove izravne korisnike i okolno stanovništvo. Korisnici mosta su svi ljudi koji putuju cestama, ispod i iznad mosta.

Postupak analize

Prvo se prikupljaju svi potrebni ulazni podaci, kao što se može vidjeti kod mostova u riješenim primjerima. Točne količine građevnog materijala i svi procesi izgradnje posebno su važni za procjenu i izračun životnog ciklusa kako bi se dobili odgovarajući rezultati.

1.2 Strategije pregleda i održavanja

Tijekom faze korištenja mosta potrebni su redoviti pregledi kako bi se omogućilo kontinuirano praćenje stanja mosta i eventualne potrebe za aktivnostima održavanja i sanacije.

Tri su vrste scenarija pregleda i održavanja razmatrane u Priručniku za projektiranje I:

Standardni scenarij - za 100 godišnji životni vijek, gdje se podrazumijeva da će uvijek biti dovoljno novca za poduzimanje potrebnih pregleda i aktivnosti održavanja/sanacije.

Scenarij nedostatak novca - za 100 godišnji životni vijek, gdje se podrazumijeva da neće biti dovoljno novca za poduzimanje potrebnih aktivnosti pregleda i dosljednih aktivnosti održavanja/popravaka. Kada se ove aktivnosti odvijaju, smatra se da će stanje mosta na kraju životnog vijeka biti bitno pogoršano te će se morati povećati aktivnosti pregleda s ciljem poznavanja stvarnog stanja mosta. Aktivnosti održavanja i popravaka također će se povećati blizu 100. godine.

Scenarij produženi životni vijek - u 80. godini životnog vijeka mosta, donosi se odluka da će se most koristiti još 30 godina, do 130. godine. Nakon 80. godine, aktivnosti pregleda i održavanja/sanacije prilagođene su za postizanje produženog vijeka trajanja.

U Priručniku za projektiranje II, razmatrat će se samo standardni scenarij.

1.2.1 Standardni scenarij

U standardnom scenariju, vrste i učestalost pregleda opisane u daljnjem tekstu smatraju se neophodnima za održavanje spoznaja o stanju mosta i prosječnom životnom vijeku elemenata mosta. Dobro definirana učestalost za radove održavanja/popravaka smatra se neophodnim za održavanje dobrog stanja mosta. Što se tiče održavanja/popravaka, u standardnom scenariju pretpostavlja se da se radovi održavanja odvijaju prije kraja prosječnog vijeka trajanja elemenata mosta, konstrukcijski elementi se zamjenjuju kada je postignut prosječni vijek trajanja, a elementi koji nemaju planirane aktivnosti održavanja zamjenjuju se kada dosegnu kraj životnog vijeka.

U fazi korištenja poduzimaju se potrebne aktivnosti pregleda uz sljedeće aktivnosti održavanja/sanacije:

- Rutinski pregled – vizualni pregled svih komponenata mosta koji se provodi svake godine. Cilj je otkrivanje malih oštećenja koja se mogu odmah popraviti;
- Glavni pregled - detaljni vizualni pregled proveden s posebnim pristupom. Cilj je procjena stanja mosta za procjenu razvoja stanja mosta. Definirane su eventualne akcije popravka i sanacija;
- Posebni pregled - detaljni vizualni pregled izveden s posebnim pristupom kada postoji potreba za određenim planom popravka za potpunu ili djelomičnu sanaciju mosta.

Tijekom ovih pregleda, za procjenu stvarnog stanja mosta koriste se ispitivanja zajedno s laboratorijskom analizom materijala iz kojih proizlaze preporuke za popravak oštećenja.

Pretpostavljena učestalost za svaku vrstu pregleda za standardni scenarij prikazana je u tablici 2.

Tablica 2: Standardni scenarij - vrste pregleda, učestalost pregleda i prosječno pojavljivanje: Gubitak cinka u odnosu na korozivnost okoliša (DIN EN ISO 12944-2, 1998)

Vrsta pregleda	Učestalost pregleda	Prosječno pojavljivanje za vrijeme životnog vijeka mosta (100 godina)
Rutinski	godišnje	100
Glavni	Svaki 6 godina	17
Posebni	2 u 100 godina	2

Tablica 3 pokazuje pretpostavljeni prosječni životni vijek za elemente mosta.

Tablica 3: Prosječni životni vijek za elemente mosta za standardni scenarij održavanja

Elementi mosta	Prosječni životni vijek (godine)
Betonski rasponski sklop	100
Betonska rubna greda	40
Sigurnosna barijera	40
Čelični rasponski sklop	100
Antikorozivna zaštita čelika	35
Prijelazne naprave	40
Površina kolnika	20
Vodonepropusni sloj	40
Metalni žljebovi	25
Elastomerni ležajevi	35
Kalotni ležajevi	100
Ograde	40

Za elemente mosta, potrebne su sljedeće aktivnosti i učestalost održavanja/popravaka za održavanje dobrog stanja mosta, Tablica 4.

Tablica 4: Standardni scenarij – prosječne učestalosti aktivnosti održavanja/popravaka

Elementi mosta	Aktivnost održavanja	Standardna učestalost održavanja (godine)
Betonski rasponski sklop	Popravljanje malih površina	25
Betonska rubna greda	Manji popravci	25
Sigurnosna barijera	Djelomična zamjena	25
Antikorozivna zaštita čelika	Ponovno nanošenje antikorozivne zaštite	25
Prijelazne naprave	Djelomična zamjena	10
Površina kolnika	Manji popravci	10
Vodonepropusni sloj	Nema aktivnosti održavanja*	0
Metalni žljebovi	Nema aktivnosti održavanja*	0
Elastomerni ležajevi	Čišćenje, bojenje, podmazivanje	20
Ograde	Bojenje	20

(*) – Elementi za koje nema aktivnosti održavanja. Potpuna zamjena se vrši kad je dosegnut životni vijek.

1.3 Predstavljanje naprednih tipova mostova

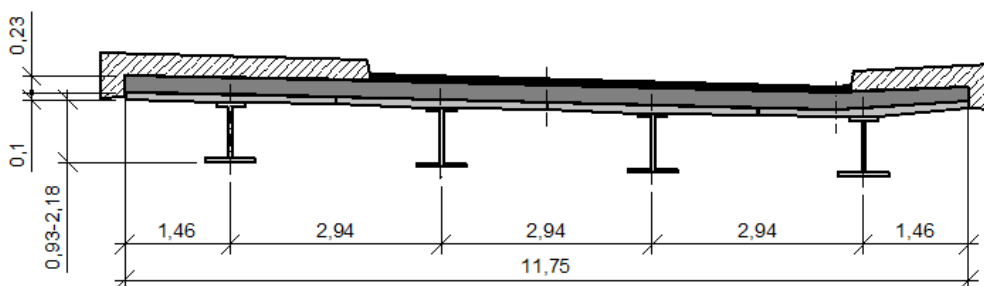
1.3.1 Slučaj mosta tip D

Prvi slučaj mosta koji se analizira je inovativni integralni most čija je izgradnja započela sredinom 2014., s vruće pocinčanim nosačima koji su postavljeni preko autoceste. Most

prikazan na slikama 1 do 3 prvi je cestovni most koji je izgrađen s vruće pocinčanim nosačima preko autoceste u Njemačkoj. Analiza ovog mosta omogućuje proširivanje rezultata i zaključaka s analizom održivosti prema SBRI projektu. Prikupljeni su podaci o ovom mostu i analizirana je inovativna zaštita od korozije s vruće pocinčanim čeličnim nosačima u perspektivi održivog projektiranja mostova. Istaknute su prednosti i nedostaci te se donose zaključci za ovo inovativno rješenje mosta.



Slika 1: Vruće pocinčani most u Njemačkoj - pogled



Slika 2: Vruće pocinčani most u Njemačkoj – poprečni presjek



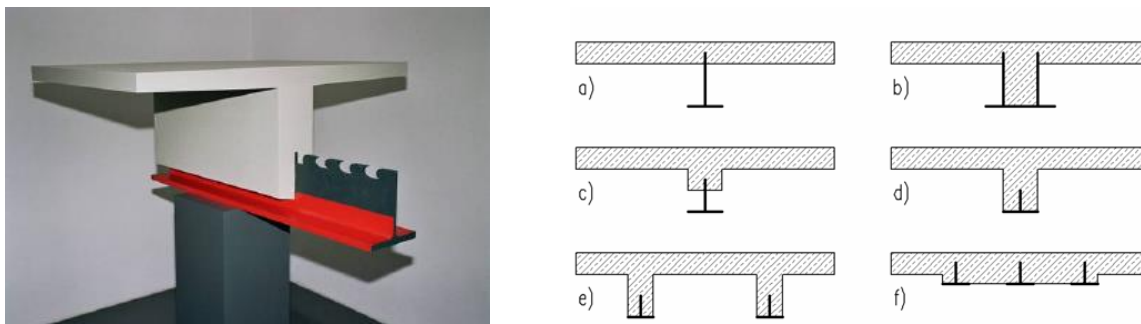
Slika 3: Vruće pocinčani most u Njemačkoj u proizvodnji

1.3.2 Slučaj mosta tip E

U projektiranju i izgradnji mostova, uz probleme sigurnosti i uporabivosti, pitanja održivosti, održavanja i trajnosti postaju sve važnija za europske uprave za ceste.

Od 1998. godine izvode se mostovi s predgotovljenom spregnutom metodom izvedbe (VFT® = Verbund-Fertigteil-Träger = predgotovljena spregnuta greda). Ovaj sustav je upotrebljen na više od 300 izgrađenih objekata uglavnom u Njemačkoj, kao i u Poljskoj te Austriji. To je troškovno učinkovita metoda izvedbe spregnutih mostova malih i srednjih raspona s kolničkom pločom izvedenom na licu mjesta.

PRECUBEAM sustav - VFT nosač s valjanim čeličnim nosačima u betonu - predstavlja daljnji razvoj ovog načina gradnje. Novi sustav omogućuje primjenu valjanih čeličnih profila koji su izrezani oko sredine hrpta na takav način da se dobivaju 2 T-presjeka, dok se oblikom rezanja ostvaruje posmično spojno sredstvo, slika 4. Ovaj poseban način rezanja čeličnog hrpta dopušta savršeno spajanje gornjeg betonskog dijela. Geometrija reza odabrana sukladno izvedbi "moždanika od betona" omogućuje izradu visokih presjeka bez otpada. Korištenjem tehnologije odvajanja moguće je postići visoku kvalitetu odvojenih površina s minimalnim lokalnim utjecajima zareza.



Slika 4: Precobeam nosač - Varijante konfiguracije PRECO nosača za izgradnju mosta

PRECO princip kombinira prednosti VFT nosača s robusnošću tradicionalnog "pločastog nosača – eng. filler beam plate". Čelične komponente sastoje se od profila bez gornje pojasnice kao što je prikazano na shematskim prikazima na slici 4. Konstrukcija betonske ploče koja se naknadno dovršava povezana je pomoću armature s betonskim pojasom predgotovljenog nosača.

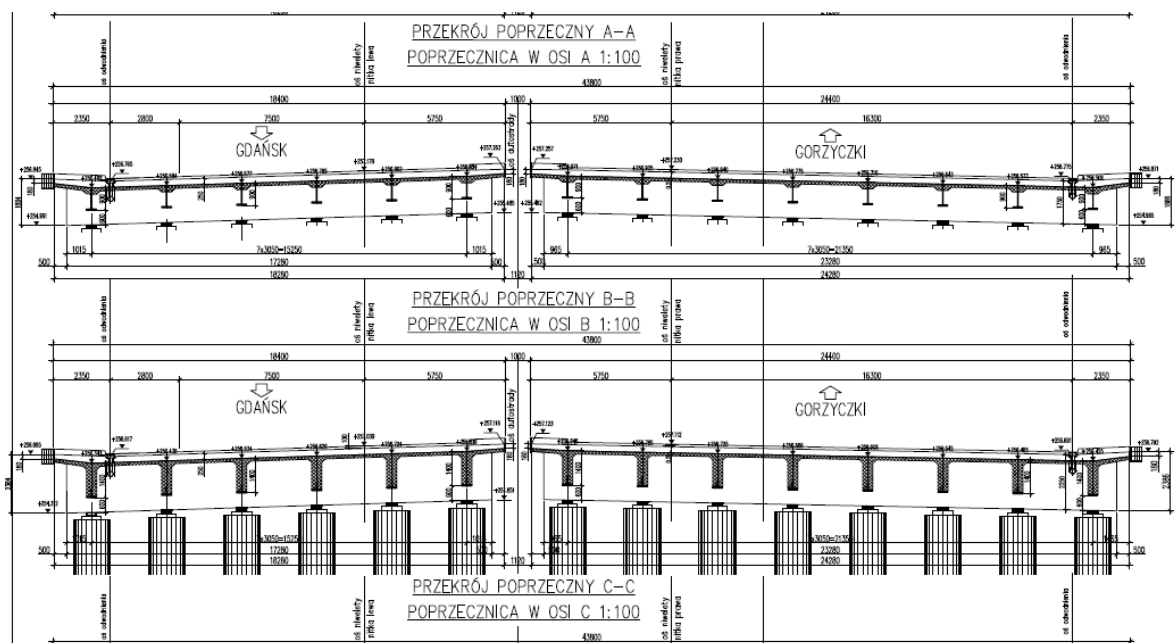
Ova se ekonomična tehnologija brzo razvijala: do kraja 2016. godine u Europi je izgrađeno najmanje 34 mosta s „moždanicama od betona“ (13 u Njemačkoj, 11 u Poljskoj, 4 u Češkoj, 4 u Austriji, 2 u Rumunjskoj).

Na slici 5. prikazani su mostovi u Poljskoj izgrađeni VFT metodom od 2000. godine. Razvijena su mnoga različita rješenja i konstrukcije, svaka prilagođena različitim uvjetima i zahtjevima. Iskustvo dobiveno vremenom i dobro ponašanje VFT mostova opravdava ovakvo rješenje.



Slika 5 : Precobeam u Poljskoj

Iskustva dobivena projektiranjem i daljnjim analizama šest Precobeam mostova, uključujući procjenu životnog ciklusa i troškove životnog ciklusa tijekom ovih projekata, čini ovo inovativno rješenje obećavajućim za mostove u Poljskoj.



Slika 6: Poprečni presjek alternative Precobeam koju su projektirali SSF Ingenieure, Munich

Navedeni mostovi izgrađeni diljem Europe detaljno se analiziraju za cijeli životni ciklus s obzirom na analize okoliša i analize socijalnih aspekata imajući na umu pridružene postupke pregleda i održavanja. Trošak životnog ciklusa nije proveden u ovom slučaju zbog nedostatka podataka. Primijenjen je holistički pristup iz SBRI projekta.

1.4 Scenariji i pretpostavke za analizu okoliša u životnom ciklusu

1.4.1 Faza proizvodnje materijala

Ova faza uzima u obzir proizvodnju svih materijala potrebnih za izgradnju mosta, kako je prikazano slici 7. Izvori podataka su dani u tablici 5.



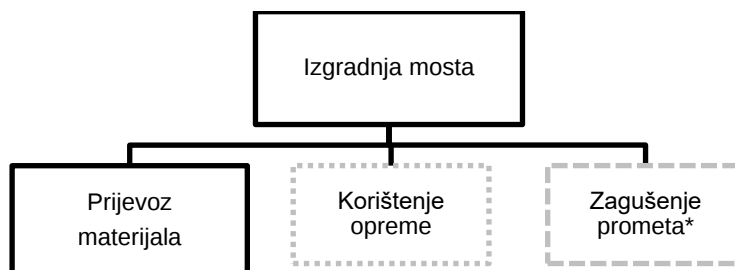
Slika 7: Faza proizvodnje materijala

Tablica 5: Izvori podataka o materijalima i prijevozu

Materijal/Postupak	Izvor
Beton (nekoliko razreda)	GaBi [1]
Konstruktivski čelik	Ustupljeno od World Steel udruge, GaBi [1]
Vruće pocinčani čelik	EPD-BFS-20130173-IBG1-DE [2]
Armatura	GaBi [1]
Prevlake i premazi	GaBi [1]
Asfalt	GaBi [1]
Vodonepropusni sloj	GaBi [1]

1.4.2 Faza izgradnje

Faza izgradnje obuhvaća sve potrebne procese koji utječu na izgradnju mosta. Dakle, kao što je prikazano na slici 8, i prijevoz materijala na gradilište je uzet u obzir.



(*) Zagušenje prometa ispod mosta razmatra se samo za nadvožnjake ispod kojih se odvija promet autocestom za vrijeme gradnje

Slika 8: Faza izgradnje

Međutim, zbog nedostatka podataka, analizom nisu uzeti u obzir korištenje i prijevoz građevinske opreme. Osim toga, budući da su svi mostovi novoizgrađeni, u ovoj fazi nije razmatran promet preko mostova.

- *Prijevoz materijala*

Građevni materijali moraju biti prevezeni na gradilište. Procijenjene udaljenosti za svaki slučaj navedene su u tablici 6. Potrošnja dizel goriva također se izračunava na temelju udaljenosti navedenih u ovoj tablici.

Tablica 6: Prijevoz materijala za fazu izgradnje

Aktivnost	Udaljenost (km)
Prijevoz konstrukcijskog čelika	50
Prijevoz armature	50
Prijevoz svježeg betona	10
Prijevoz predgotovljenog betona	10
Prijevoz asfalta	20
Prijevoz vodonepropusnog sloja	20

- *Promet preko mosta*

Kao što je već spomenuto, budući da su svi mostovi novi, promet preko mosta nije razmatran u ovoj fazi.

1.4.3 Faza korištenja

Pretpostavlja se da neće doći do većih oštećenja ili otkazivanja mosta tijekom životnog vijeka, uzimajući u obzir standardne planove održavanja i popravaka definirane u Priručniku I, Dio A, točka 2.4 [3]. Sukladno tome, u ovoj studiji slučaja razmatrana su tri različita scenarija održavanja: standardni, nedostatak novca i scenarij produženog životnog vijeka. Osim toga, razmatrana su dva scenarija radova, dnevni rad i noćni rad. Detaljni planovi standardnog scenarija održavanja prikazani su u tablici D1 Priloga A. Planovi održavanja temelje se na procijenjenom životnom vijeku različitih sastavnih dijelova mosta.

- *Prijevoz materijala*

Svaki put kada se most podvrgne aktivnosti održavanja ili popravka, materijali moraju biti prevezeni do mosta. Udaljenosti koje se razmatraju u ovoj fazi su iste kao u fazi izgradnje, ukoliko nije navedeno drugačije.

- *Promet preko mosta*

Za izračun potrošnje goriva i emisije štetnih plinova za svaku kombiniranu aktivnost razmatraju se različiti scenariji. U svim slučajevima uvijek će biti (barem) jedan prometni trak otvoren u svakom smjeru. Kada se traži zatvaranje kolničkog traka, razmatraju se dva različita scenarija: rad tijekom dana (od 6:00 do 22:00 sata) i tijekom noći (od 22:00 do 6:00 sati).

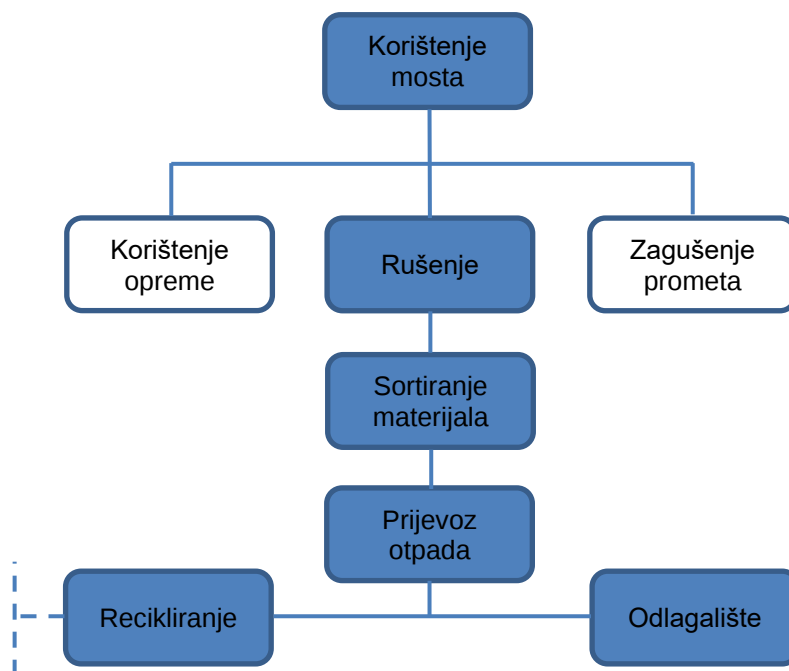
Planovi održavanja navedeni u Dodatku A ukazuju na ograničenja prometa na i ispod mosta tijekom godina u kojima se odvijaju aktivnosti održavanja.

1.4.4 Faza na kraju životnog vijeka

U fazi na kraju životnog vijeka, pretpostavlja se da su mostovi srušeni i da su materijali razvrstani na istom mjestu prije nego što su poslani na konačno odredište. Stoga, između mjesta rušenja i postrojenja za sortiranje nije potreban prijevoz. Za spregnute mostove, pretpostavlja se da će čelična konstrukcija biti ponovno korištena. Preostali dijelovi, koji su uglavnom betonski i bitumenski materijali, odvojeni su i prevezeni u područja za odlaganje otpada. U tom kontekstu, troškovi na kraju životnog vijeka trebaju uzeti u obzir troškove demontaže mostova (rad, oprema, oznake upozorenja na cesti), troškove prijevoza i troškove odlaganja materijala i/ili prihoda zbog recikliranja materijala.

Pretpostavlja se da se čelična konstrukcija reciklira pri stopi recikliranja od 90%. Pretpostavlja se pristup "zatvorene petlje, engl. closed-loop", gdje se otpad ponovno tali za proizvodnju novog čelika s malo ili bez ikakvih promjena u svojim inherentnim svojstvima. Što se tiče čelične armature, pretpostavljeno je da će se reciklirati korištenjem istog pristupa zatvorene petlje kao i konstrukcijski čelik, ali sa stopom recikliranja od 70%. Slika 9 prikazuje opće procese uključene u ovu fazu.

Međutim, zbog nedostatka podataka, upotreba opreme nije uzeta u obzir u analizi. Osim toga, zanemareno je zagušenje prometa jer se očekuje da će se promet preusmjeriti na alternativni put tijekom faze na kraju životnog vijeka.



Slika 9: Procesi uključeni u fazu na kraju životnog vijeka

- *Prijevoz materijala*

U fazi na kraju životnog vijeka, pretpostavlja se da će mostovi biti srušeni, a materijali će biti razvrstani na mjestu rušenja. Nakon razvrstavanja pretpostavlja se da će materijali biti utovareni na kamione i prevezeni do njihovog konačnog odredišta prema odgovarajućem scenariju na kraju životnog vijeka. Procijenjena udaljenost između mjesta sortiranja i konačnog odredišta materijala navedena je u tablici 7.

Tablica 7: Prijevoz materijala za fazu na kraju životnog vijeka

Aktivnost	Udaljenost (km)
Recikliranje konstrukcijskog čelika	50
Recikliranje čelične armature	50
Odlagalište inertnih materijala	50
Odlagalište asfalta (i bitumena)	20

- *Promet preko mosta*

Tijekom rušenja mosta, pretpostavlja se da će promet preko mostova biti preusmjeren na alternativnu cestu ili da se promet već odvija preko alternativnog mosta. Dakle, u ovoj fazi nisu razmatrane emisije i potrošnja goriva.

1.4.5 Kategorija okoliša - abiotički potencijal iscrpljivanja (ADP_{elementi})

Kategorije okoliša usvojene u metodologiji (kako je naznačeno u Priručniku I, Dio A [3]) izračunate su prema CML metodologiji [4]. U odnosu na kategoriju okoliša ADP_{elementi} , čimbenici karakterizacije “engl. Characterization Factors (CF)”, koji su korišteni u metodi izračuna, temelje se na brzini ekstrakcije i krajnjoj rezervi svakog elementa. Međutim, za mnoge materijale koji se koriste u gradnji, CF čimbenici se ne mogu definirati zbog nedostatka podataka o konfiguraciji materijala i krajnjim rezervama [5]. Stoga se ovaj pokazatelj treba koristiti s oprezom i uvažavajući njegova ograničenja. Štoviše, u slučaju usporednih tvrdnji između različitih građevinskih materijala, indikator se ne smije koristiti. Kao rezultat toga, utjecaji na okoliš za ovaj pokazatelj nisu prikazani u sljedećoj analizi.

1.4.6 Kategorija okoliša - fotokemijski potencijal stvaranja ozona (Prijevoz kamionom)

Prema CML metodologiji [4], za izračun kategorije okoliša POCP od kamiona, emisije NO_x su podijeljene u dvije pojedinačne emisije, NO_2 i NO . Razlog negativne vrijednosti posljedica je emisije dušikovih oksida (NO), koje imaju suprotan učinak na kategoriju okoliša POCP jer pomažu u smanjenju visokih koncentracija ozona u blizini razine zemlje što može biti štetno za ljude, životinje i usjeve.

1.4.7 Pretpostavke za scenarije pregleda i održavanja

U ovom priručniku razmatraju se tri scenarija održavanja (standardni, nedostatak novca i scenarij produženog životnog vijeka). Daljnja je podjela izvedena na temelju vremena održavanja u fazi korištenja. Utjecaji na okoliš zbog zagušenja prometa kvantificirani su s obzirom na dva alternativna scenarija: (i) dnevni rad u kojem se aktivnosti održavanja odvijaju tijekom dana (od 6:00 do 22:00 sata); i (ii) noćni rad, u kojem se aktivnosti održavanja odvijaju tijekom noći (od 22:00 do 6:00 sati).

1.5 Pretpostavke za analizu troškova na kraju životnog vijeka

Troškovi na kraju životnog vijeka obuhvaćaju troškove rada, troškove opreme i troškove upozorenja na cesti, troškove prijevoza i troškove odlaganja materijala i/ili prihoda zbog recikliranja materijala.

Usvojen je trošak od 100 €/m² za rušenje [6]. Ovaj trošak uključuje troškove rada, trošak opreme i goriva, trošak pomoćnog materijala, trošak sortiranja materijala, trošak svih potrebnih mjera kako bi se osigurala sigurnost radne zone i trošak čišćenja zone.

Otpad od gradnje i rušenja, "engl. Construction and Demolition Waste (C&DW)" šalje se na recikliranje ili odlaganje na odlagalištu. Trošak prijevoza zahtijeva procjenu udaljenosti od mjesta rušenja do mjesta odlaganja/recikliranja, učinkovitosti kamiona i cijene goriva. U slučaju otpada koji se šalje na odlagalište, upravitelj objekta naplaćuje naknadu za preuzimanje otpada od rušenja. Trošak za odlaganje otpada od gradnje i rušenja (C&DW) varira ovisno o vrsti materijala i stupnju kontaminacije C&DW.

U slučaju čelika, pretpostavlja se da otkupljivač plaća izvođaču 100 €/t (ta cijena obično ovisi o cijeni čelika, prema informacijama iz američkog instituta za recikliranje može se uzeti u obzir cijena od 120 USD/t čelika). Ova brojka ima negativan predznak jer je to prihod, a ne trošak za izvođača radova.

2 RIJEŠENI PRIMJERI - TIP MOSTA D

2.1 Opći opis

2.1.1 Motivacija

Budući da su čelični mostovi u području izgradnje velikih mostova, a spregnuti mostovi se nalaze u području svih raspona, njihova važnost u prometu općenito je vrlo visoka. Bilo koje ograničenje uporabe trebalo bi se svesti na minimum kako bi se smanjili utjecaji na okoliš i zagušenja prometa. Tijekom dugog životnog ciklusa, od 100 godina, mora se osigurati sigurnost na cestama, stabilnost i trajnost mostova. Zbog utjecaja na okoliš i promet potrebno je razmotriti različite učinke na konstrukciju mosta i njene detalje, kao što su korozija, karbonatizacija, umor itd. Zaštita od korozije važan je aspekt posebno za čelične i spregnute mostove. Kako bi se suprotstavilo povećanoj potrebi za održavanjem čeličnih površina, u ranoj fazi planiranja novih građevinskih projekata mora se uzeti u obzir izbor održivih mjera zaštite od korozije tako da se mogu postići učinkovita rješenja mostova. Za ilustraciju učinaka na holistički prikaz referentne konstrukcije tijekom cijelog životnog ciklusa koristi se usporedba sustava za zaštitu od korozije. S ekonomske točke gledišta od ključne je važnosti optimizirati rješenja mostova, uzimajući u obzir cjelokupni životni vijek i ocijeniti ih holistički, s obzirom na sve učinke.

Budući da je tijekom dugog životnog ciklusa potrebno provesti veliki broj popravaka, važna je uloga vremena i veličine mjera. Za održavanje zaštite od korozije, vruće cinčanje konstrukcija mostova je obećavajuća mjera u usporedbi s organskim premazom. Očekuje se da odgovarajući sloj cinka neće zahtijevati nikakve obnove, moguće je izbjeći aktivnosti održavanja i stoga ne postoje prometna ograničenja. Prema strategiji održavanja određivanja stanja „engl. condition-determining“ [7], pretpostavlja se da organski premaz treba dva puta potpuno obnoviti tijekom životnog ciklusa mostova.

Vruće cinčanje ovdje se istražuje kao zaštita od korozije za čelične nosače u izgradnji mosta prema aspektima održivosti. Proces vrućeg cinčanja analiziran je u projektu mosta holističkim pristupom kako bi se kvantificirali troškovi, kao ograničenja emisije i prometa tijekom cijelog životnog ciklusa.

U Njemačkoj su izgrađeni samo pješački mostovi s vrućim cinčanjem. Odgovore na otvorena pitanja o sigurnosti kod umora vruće cinčanih mostova dala je Katedra za čelične konstrukcije sa Tehničkog sveučilišta u Dortmundu [8]. Vruće cinčanje također je po prvi puta primijenjeno za izgradnju cestovnog mosta u pilot postrojenju. Proučavanjem ovog slučaja mosta holističkim aspektima istražuje se je li vruće cinčanje konkurentno rješenje.

2.1.2 Ciljevi

Cilj ovog slučaja je razraditi i dati smjernice za projektiranje čeličnih spregnutih mostova sa zaštitom od korozije usmjerenom na čitav životni vijek.

Usporedba zaštite od korozije provedena je na primjeru integralnog mosta na autocesti. Raspon mosta je 45 m. Za čelične nosače, organski premaz za zaštitu od korozije uspoređuje se sa sustavom vrućeg cinčanja i sustavom dupleks koji je nastao tijekom faze korištenja. Spregnuti most je razmatran tijekom čitavog životnog ciklusa, od proizvodnje, kroz cijelu uporabu do rušenja.

2.1.3 Antikorozivna zaštita mostova

Trajnost čeličnih i spregnutih mostova pod velikim je utjecajem agresivnosti okoliša. Učinkovita zaštita od korozije neophodna je u izgradnji mostova. Za ovu svrhu i za očekivani životni vijek od 100 godina, zahtijeva se dugotrajna zaštita. U Njemačkoj cestovnoj mreži je više od 1.200 čeličnih i spregnutih mostova kod kojih je površina čelika veća od 15 milijuna četvornih metara, a koje je potrebno zaštititi. Kao zaštita od korozije, uobičajeno se rabe standardni višeslojni sustavi zaštite od korozije od organskih premaza. U njemačkoj mostogradnji, vruće cinčanje se koristi samo za prometne znakove na mostovima te ne-nosive komponente, kao što su ograde, pasivni uređaji za zaštitu, te ležajeve, cestovne prijelazne naprave i bukobrane. Osim toga, vruće cinčanje se koristi kao zaštita od korozije za pješačke mostove. Prvi vruće pocinčani čelični most odobren za autoceste u Njemačkoj je sagrađen u Sauerland-u preko rijeke Lenne 1987. godine i ograničen je na maksimalnu dopuštenu ukupnu težinu od 12 tona [5]. Daljnji postupak zaštite od korozije je kombinacija cinčanja i sustava premaza tzv. dupleks sustav. Trajnost dupleks sustava je u pravilu veća od zbroja trajnosti pojedinih zaštita: vruće cinčanje i premazivanje, budući da međusobni zaštitni mehanizmi poboljšavaju njihovo ponašanje [6].

Osim pasivne zaštite od korozije, konstrukcijska zaštita od korozije treba se smatrati sastavnim dijelom planiranja, izbjegavanjem nakupljanja vode ili izlaganja konstrukcije korozivnim medijima. Aktivna zaštita od korozije primjenom materijala otpornih na koroziju uzima se u obzir pri izgradnji mosta upotrebom čelika otpornih na vremenske utjecaje, koji dodatnom metalnom legurom tvori zaštitni sloj.

Pasivne metode zaštite čeličnih konstrukcija od korozije koje se analiziraju navedene su i objašnjene u nastavku.

A) Tradicionalni organski premaz

B) Primjena metalne prevlake postupkom taline, kao što je vruće cinčanje.

C) Dupleks sustavi kao kombinacija postupaka prevlačenja i metalnih premaza.

A. Tradicionalni organski premaz

Obično se sustav premaza sastoji od osnovnog sloja, (jednog ili više) međuslojeva i završnog sloja. Osnovni premaz osigurava prijanjanje ostalih premaza na površinu. Međuslojni premaz obično se dobiva pigmentima koji sprječavaju koroziju (epoksi smola ili poliuretan) kako bi se postigao učinak zaštite od korozije. Završni sloj je odgovoran za otpornost na vremenske uvjete i također ima ukrasnu funkciju. Odabir ovih slojeva premaza potrebno je provesti na takav način da se slojevi podudaraju (međusobno odgovaraju zbog prionjivosti) kako bi se osigurala zaštita čelika od korozijske agresivnosti kako je regulirano normom DIN EN ISO 12944-2 [7]. Osim toga, ZTV-ING (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieur-bauten ZTV-Ing) u 4. dijelu točka 3 sadrži propise o zaštiti od korozije [8].

Čelični nosači općenito su zaštićeni višeslojnim antikorozivnim premazima, koji se moraju obnoviti svakih 25 do 35 godina. Ove obnove zaštite od korozije ne obuhvaćaju samo troškove samog procesa, već često dovode i do ograničenja uporabe i dodatnih emisija u okoliš.

B. Vruće cinčanje

Vruće cinčanje je najčešće korištena metoda zaštite od korozije metalnih konstrukcija. Ne može se izvesti na gradilištu, već pod kontroliranim proizvodnim uvjetima u postrojenju za vruće cinčanje prema DIN EN ISO 1461 [9]. Nakon pripreme površine i kemijskog čišćenja kako bi se uklonila hrđa i troska, čelični dijelovi su osušeni i prevučeni cinkom u kadi s rastaljenim cinkom na temperaturi od 450 °C (vidi sliku 10). Čelik reagira s tekućim cinkom i na čeličnoj površini nastaju slojevi od legure željeza i cinka. Oni imaju veću tvrdoću od čelika i imaju visoku abrazivnost i otpornost. Stoga se rijetko mogu očekivati mehanička oštećenja tijekom prijevoza i montaže. Na kritičnim uglovima i rubovima (manje debljine sloja) gdje može biti teže izvođenje prevlake, preporučuje se deblja prevlaka cinka za poboljšanje zaštite od korozije.

Još jedan aspekt koji treba razmotriti, a koji je ujedno ključan za analizu troškova životnog ciklusa, je veličina nosača, a trenutna duljina nosača koja se može cinčati ne može biti dulja od 18 m. U slučaju mostova s rasponom duljim od 18 m, bit će potrebno oblikovati montažne priključke, tako da je za most od 40 m potrebno definirati dva priključka u područjima nul momenta.



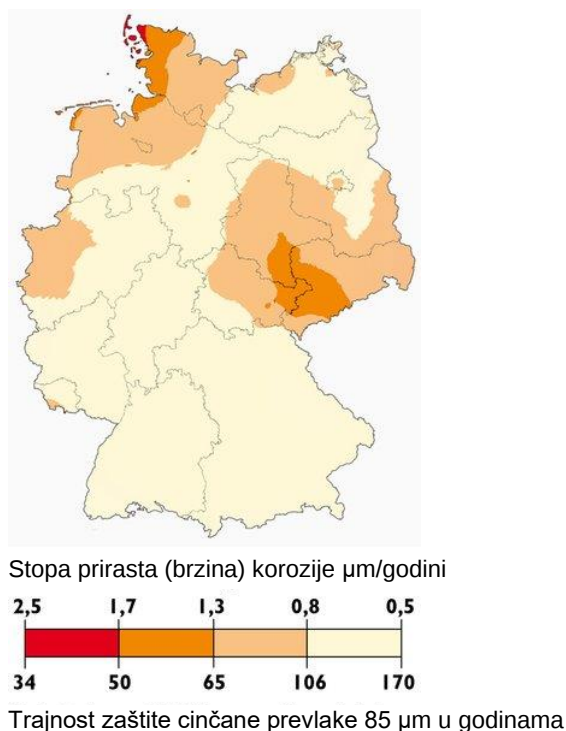
Slika 10 : Vruće cinčanje čeličnih komponenata (a) Uklanjanje iz kade (b) Vruće pocinčani nosači



Slika 11: Definiranje priključaka kod nosača koji se vruće cinčaju (ovisno o veličini kade i mogućnostima prijevoza)

Cink tvori pokrovne slojeve uslijed atmosferskih vremenskih utjecaja, koji preuzimaju zaštitu površine čelika. Gornji slojevi se troše (nestaju) zbog vjetrova i vremenskih utjecaja, ali se stalno nadomještaju cinkom ispod. Tijekom životnog vijeka konstrukcije, sloj cinka postaje sve tanji zbog očekivane godišnje abrazije od atmosfere koja ima snažan utjecaj. Odvija se kontinuirano uklanjanje cinka. Očekivano trajanje učinka zaštite od korozije ovisi izravno o debljini prevlake cinka, što je u skladu s korozijskom agresivnosti na gradilištu. Prema normi DIN EN ISO 12944-2 [7] učinjena je podjela na kategorije korozije za atmosferske uvjete okoline i odgovarajući godišnji gubitak cinka. Karta korozije cinka prema Agenciji za zaštitu okoliša Njemačke na slici 12 prikazuje očekivani godišnji gubitak cinka. Usporedba tablice 8: Gubitak cinka u odnosu na korozivnost okoliša (DIN EN ISO 12944-2, 1998) sa kartom Njemačke sa slike 12: Karta

korozije cinka u Njemačkoj prema Agenciji za zaštitu okoliša Njemačke pokazuje da su u Njemačkoj prisutne kategorije korozije C2 i C3, s izuzetkom obalnih područja. Za Njemačku, dakle, treba pretpostaviti gubitak cinka od 0,5 i 1,7 mikrometara godišnje, s iznimkom nekoliko obalnih područja [10]. Za prevlaku od cinka od 85 mikrometara, što je prosjek u građevini, osigurano je razdoblje zaštite od najmanje 50 godina. Za mostove, vijek trajanja zaštite od korozije mogao bi biti isti kao i životni vijek mosta, 100 godina, ako je početna debljina sloja dovoljno debela. Uz makroklimu treba uzeti u obzir i mikroklimu i rubne uvjete konstrukcije. Prilikom određivanja potrebne debljine cinka potrebno je uzeti u obzir površine zamagljivanja pri raspršivanju, posebice za mostove autocesta i nadvožnjake na autocestama.



Slika 12: Karta korozije cinka u Njemačkoj prema Agenciji za zaštitu okoliša Njemačke

Tablica 8: Gubitak cinka u odnosu na korozivnost okoliša (DIN EN ISO 12944-2, 1998)

Kategorija korozije	Gubitak debljine cinka [$\mu\text{m/a}$]
C1 beznačajna	≤ 0.1
C2 niska	$> 0.1 - 0.7$
C3 umjerena	$> 0.7 - 2.1$
C4 visoka	$> 2.1 - 4.2$
C5 vrlo visoka	$> 4.2 - 8.4$

Za čelične konstrukcije izložene atmosferskoj agresivnosti, vruće cinčanje se pokazalo vrijednim kao zaštita od korozije. Ključ je pronaći zaštitu od korozije koja traje mnogo desetljeća bez održavanja. U mnogim vruće pocinčanim građevinama ostvarena je ista trajnost i korisni vijek trajanja. Kao inovativno rješenje za konstrukciju čeličnih mostova, vruće cinčanje je ekonomična zaštita od korozije u smislu održivosti s obzirom na cjelokupni životni vijek konstrukcije. Ovo se posebno odnosi na slučaj ako čelična konstrukcija nije dostupna za održavanje, ili mjere održavanja ograničavaju upotrebu mosta i odvijanja prometa ispod mosta. Trajanje zaštite ovisi o kvaliteti čelika (dodaci Si, Al, itd.), kvaliteti vrućeg cinčanja, izvedbi montažnog sklopa i stvarnim atmosferskim uvjetima.

C. Dupleks sustav

Dupleks sustavi sastoje se od cinčanja (uglavnom vruće cinčanje) u kombinaciji s jednim (ili više) premaza prema DIN EN ISO 12944-5 [11]. Bitna prednost dupleks sustava je značajno povećanje vremena zaštite od korozije u usporedbi s zbrojem trajanja zaštite pojedinih sustava: vruće cinčanje i premazivanje. Postoji sinergijski učinak, koji može biti iznosa između 1,2 i 2,5, ovisno o sustavu [12] temeljenom na uzajamnoj zaštiti. S jedne strane, prevlaka cinka je zaštićena od atmosferskih i kemijskih utjecaja slojem premaza, a time i protiv abrazije. S druge strane, zbog premazivanja cinka nema korozije prevlake i, unatoč oštećenju premaza, visoka otpornost i otpornost na habanje prevlake cinka ispod jamče zaštitu čelika od korozije. Međusobna zaštita dvaju sustava posebno je važna kod uglova i rubova, gdje je prevlaka cinka deblja i time kompenzira slabosti u premazu zbog njihovog pojavljivanja.

Razborito produljenje trajanja zaštite može se postići naknadnim premazom vruće pocinčane konstrukcije. Ako se ovo popravljivanje provodi u vrijeme kada je početni sustav još uvijek djelotvoran kao preostala prevlaka, mogu se postići gore spomenute prednosti dupleks sustava.

Pomoću tri navedene vrste zaštite od korozije cilj je osigurati korisni životni vijek mosta od 100 godina. Održavanje slojeva za zaštitu od korozije treba izvesti što je prije moguće, gdje je to potrebno, kako bi se izbjeglo daljnje oštećenje. Da bi se izvršila analiza tijekom cijelog životnog ciklusa, potrebno je preuzeti dijelove konstrukcije bez pogrešaka i poduzeti mjere tijekom faze korištenja u obliku strategije održavanja.

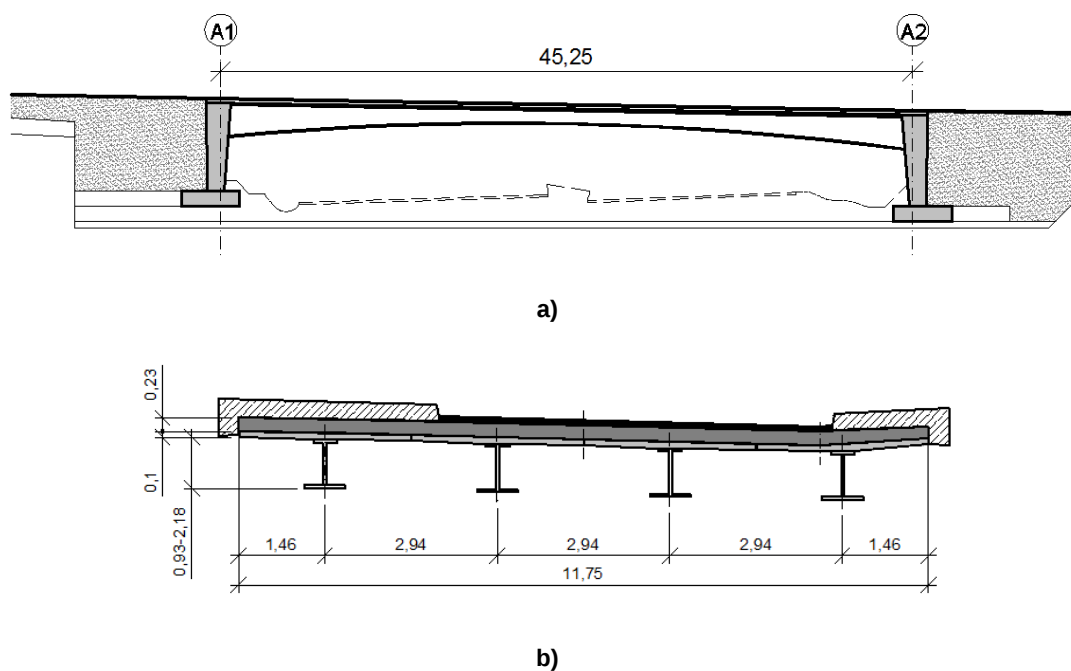
2.1.4 Analiza daljnjih kriterija

Analiza održivosti konstrukcija mostova obuhvaća različite kriterije procjene. Ovisno o ciljevima evaluacije i ograničenjima sustava, može biti potrebno dodati pojedinačne kriterije ili ih ne uzeti u obzir u analizama.

Aspekti koji su analogni svim mostovima, tako da se ne mijenjaju s zaštitom od korozije, podvrgnuti su istoj procjeni u svim slučajevima. Na primjer, u pogledu socijalnih aspekata, udobnost korištenja mostova, dinamičko ponašanje, buka, troškovi nesreća i sigurnost korisnika isti su za sve varijante.

2.1.5 Definiranje studija slučajeva

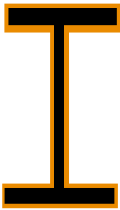
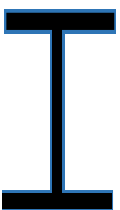
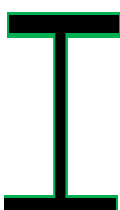
Most koji se ovdje razmatra odgovara slučaju A1 iz Priručnika I [3]. To je nadvožnjak preko autoceste s dva prometna traka duljine 45,25 m i širine 11,75 m. To je integralni spregnuti most s integralnim upornjacima bez stupa na sredini autoceste. Rasponski sklop se sastoji od četiri spregnuta nosača, slika 13, izrađena od čeličnih ploča S355 J2 G3 s promjenjivom visinom, od 0,93 m u sredini raspona do 2,18 m na upornjacima. Nosači su postavljeni na međusobnom razmaku 2,94 m. Gornja pojasnica je široka 400 mm, a donja 700 mm. Ploča rasponskog sklopa (C35/45) sastoji se od 0,23 m sloja lijevanog „in situ“ na predgotovljenim pločama debljine 0,1-0,12 m.



Slika 13: Slučaj D - Integralni spregnuti most: a) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek s nosačima promjenjive visine

Tri studije slučajeve koje odgovaraju računskim varijantama zaštite od korozije sažete su u tablici 9 gdje su navedene mjere za održavanje tijekom cijelog životnog ciklusa mosta.

Tablica 9: Slučajevi za tip mosta D

	Zaštita od korozije	Održavanje
	Slučaj D1 Vruće cinčanje (debljina 300 μm)	Nema obnove tijekom cijelog životnog ciklusa
	Slučaj D2 Zaštita organskim premazom	Potpuna obnova zaštite od korozije u 33. i 66. godini životnog ciklusa
	Slučaj D3 Vruće cinčanje (debljina 200 μm) i zaštita organskim premazom	Primjena organske zaštite od korozije samo u 66. godini na preostalu prevlaku od vrućeg cinčanja

Najznačajnije količine iz studija slučajeva D prikazane su u tablici 10:

Tablica 10: Količine u slučajevima D1, D2 i D3

Opis	Slučaj D1	Slučaj D2	Slučaj D3	Jedinica	Jedinična cijena (Njemačka 2008)
Donji ustroj					
Iskopi	4500	4500	4500	[€/m ³]	5.88
Zatrpavanje	2320	2320	2320	[€/m ³]	7.60
Beton za temelje C25/30	254	254	254	[€/m ³]	77.67
Beton za upornjake i pilote C30/37	746.20	746.20	746.20	[€/m ³]	84.47
Armatura S500	90600	90600	90600	[€/kg]	0.99
Gornji ustroj					
Konstruktivni čelik S355 J2 G3	81800	81800	81800	[€/kg]	2.49
Konstruktivni čelik S355 J2 G3 u HL1000A	-	-	-	[€/kg]	2.49
Predgotovljeni beton C30/37	58	58	58	[€/m ³]	588.73
Beton C35/45	144.20	144.20	144.20	[€/m ³]	84.47
Betonski prednapeti nosač C45/55	-	-	-	[€/m ³]	588.73
Armatura S500	44600	44600	44600	[€/kg]	0.99
Moždanci	1382	1382	1382	[€/u]	2.31
Elastomerni ležajevi	-	-	-	[€/u]	812
Lamele ležajeva	-	-	-	[€/u]	750
Kolnik					
Slojevi asfalta kolnika	309	309	309	[€/m ²]	6
Vodonepropusni dio kolnika	309	309	309	[€/m ²]	11.40
Sigurnosne barijere	7429.20	7429.20	7429.20	[€/m ³]	1.9
Zaštita od korozije					
Organski premaz	-	896	896	[€/m ²]	25
Vruće cinčanje (300µm debljina)	896	-	-	[€/m ²]	22
Vruće cinčanje (200µm debljina)	-	-	896	[€/m ²]	21
Priključci	8	-	8	[€/u]	1750

2.2 Scenariji i pretpostavke za analizu okoliša u životnom ciklusu

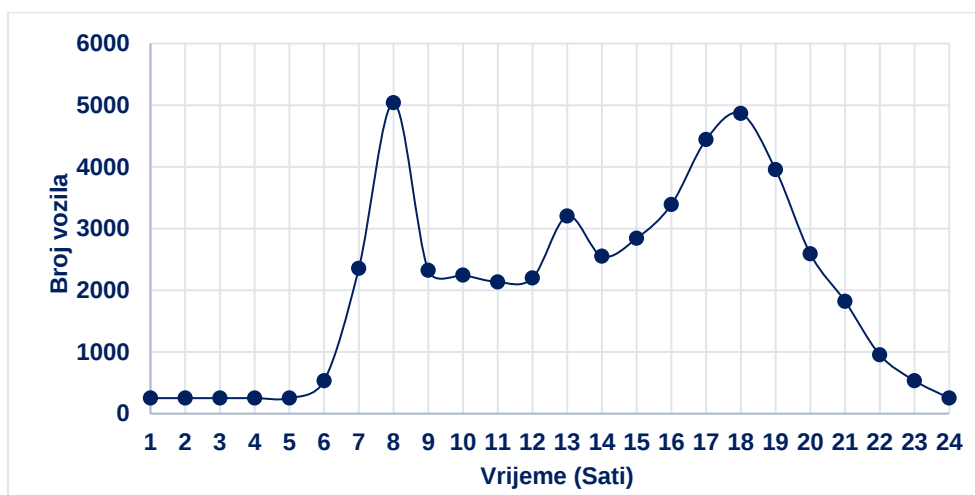
2.2.1 Analiza prometa

U studiji slučaja A, svi mostovi su novi i predstavljaju nadvožnjake na autocestama. Stoga, tijekom faze izgradnje, nema prometa preko mostova, pa se u ovoj fazi ne uzimaju u obzir emisije. Kasnije se, u fazi na kraju životnog vijeka, uzima u obzir preusmjeravanje prometa na alternativni put; dakle, nema prometa na mostu. Cesta na mostu sastoji se od jedne prometne trake za svaki smjer, a cijeli most je omeđen sigurnosnim barijerama.

Međutim, tijekom vremenskog razdoblja izgradnje, promet ispod mosta je pod utjecajem ograničenja u brzini prometovanja i suženja kolnika. Zagušenja prometa zbog radne aktivnosti u okolini mosta imaju dva glavna tipa utjecaja: (i) utjecaji koji proizlaze iz neposrednih emisija iz vozila i (ii) utjecaji zbog količine potrošenog goriva.

- *Promet ispod mosta*

Autocesta propušta prosječni dnevni promet „engl. Average Daily Traffic (ADT)“ od 49485 vozila/dan u osnovnoj godini ove studije. Također, smatra se da je postotak udjela lakih vozila 88% i teških vozila na 12% od ADT-a. Raspodjela prometa po satu prikazana na slici 14 pretpostavljena je za autocestu.



Slika 14: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva D1, D2 i D3.

Važno je napomenuti da rast prometa tijekom vremena slijedi jednadžbu (3) (Vidi Priručnik I, Dio A, točka 5.3. [3]) gdje se razmatra stopa rasta od 0,5%. Rast prometa tijekom razdoblja od 100 godina prikazan je u tablici 11.

Tablica 11: Procijenjeni prosječni dnevni promet (ADT) ispod mosta

	Osnovna godina	Osnovna godina + 50 godina	Osnovna godina + 100 godina
ADT(Vozila/dnevno)	49485	63500	81485

- *Promet preko mosta*

Za most se pretpostavlja da odgovara prosječnom dnevnom prometu (ADT) od 8000 vozila/dan u osnovnoj godini studije. Pretpostavlja se da se promet linearno povećava tijekom razdoblja od 100 godina kako je navedeno u tablici 12.

Tablica 12: Procijenjeni prosječni dnevni promet (ADT) preko mosta

	Osnovna godina	Osnovna godina + 50 godina	Osnovna godina + 100 godina
ADT(Vozila/dnevno)	8000	12500	16000

2.3 Analiza okoliša u životnom ciklusu

2.3.1 Faza proizvodnje materijala

Ova faza uzima u obzir proizvodnju svih materijala potrebnih za izgradnju mosta, prema slici 15. Podaci su prikupljeni iz izvora navedenih u tablici 5.



(*) Premaz se primjenjuje samo u slučaju D2 (Obični premaz čelika) i slučaju D3 (Dupleks sustav: Vruće cinčanje + premaz primijenjen u 66. godini).

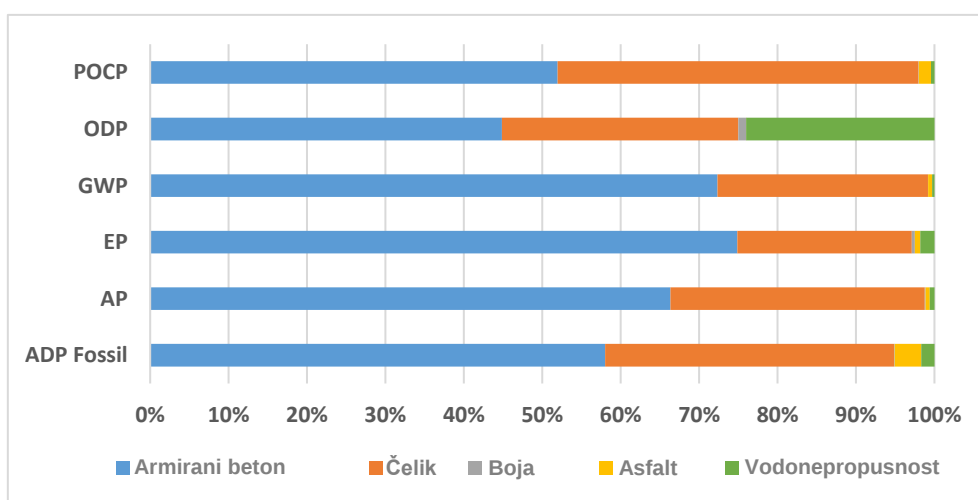
Slika 15: Faza proizvodnje materijala

- *Analiza okoliša referentnog slučaja D1 i slučaja D3*

Rezultati dobiveni za fazu izgradnje prikazani su u tablici 13. Proizvodnja konstrukcijskog čelika i armiranog betona su glavni procesi koji doprinose globalnim utjecajima u fazi proizvodnje materijala. Isti su rezultati grafički prikazani na slici 16.

Tablica 13: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [D1 & D3]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Čelik	Boja	Asfalt	Vodo-nepropusni sloj
ADP Fossil	MJ	5,60E+06	3,25E+06	2,06E+06	4,99E+03	1,90E+05	9,41E+04
AP	Kg SO ₂ eq	1,65E+03	1,10E+03	5,36E+02	1,73E+00	8,84E+00	9,84E+00
EP	Kg PO ₄ eq	1,60E+02	1,20E+02	3,57E+01	6,18E-01	1,11E+00	2,91E+00
GWP	Kg CO ₂ eq	7,60E+05	5,50E+05	2,04E+05	2,85E+02	3,79E+03	2,27E+03
ODP	Kg R11 eq	3,94E-03	1,77E-03	1,19E-03	3,90E-05	3,18E-09	9,46E-04
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,14E+02	1,11E+02	9,83E+01	8,05E-02	3,35E+00	9,17E-01



(*) Rezultati za bojenje došli su od boja primijenjenih na zaštitnu opremu (ograde), a ne od elemenata konstrukcije

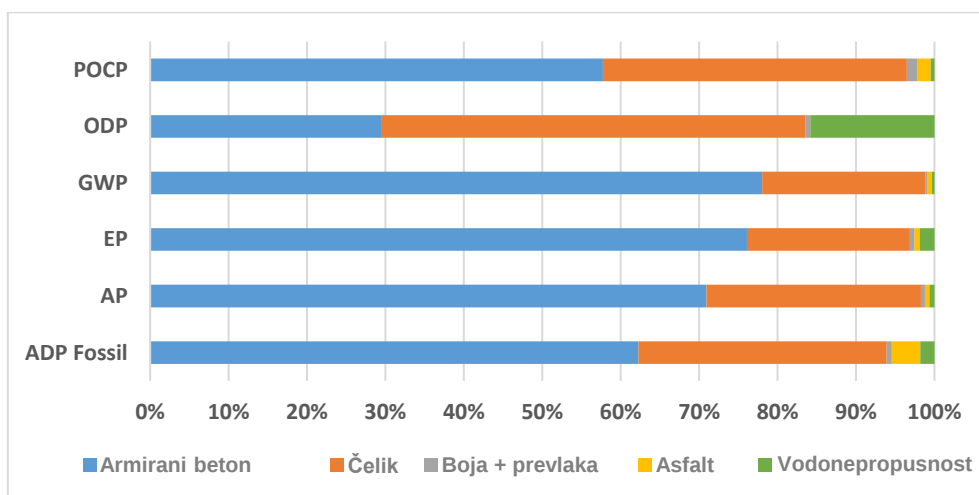
Slika 16: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [D1 i D3]

- *Analiza okoliša za varijantu D2*

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja D2 prikazani su na slici 17 i u tablici 14. Tablica 15 pokazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja D1. Doprinos koji proizlazi iz varijacije u tipu čelika istaknut je u tablici 16.

Tablica 14: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [D2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Čelik	Boja	Asfalt	Vodo-nepropusni sloj
ADP Fossil	MJ	5,22E+06	3,25E+06	1,65E+06	3,48E+04	1,90E+05	9,41E+04
AP	Kg SO ₂ eq	1,54E+03	1,10E+03	4,22E+02	7,97E+00	8,84E+00	9,84E+00
EP	Kg PO ₄ eq	1,58E+02	1,20E+02	3,28E+01	9,21E-01	1,11E+00	2,91E+00
GWP	Kg CO ₂ eq	7,04E+05	5,50E+05	1,47E+05	2,14E+03	3,79E+03	2,27E+03
ODP	Kg R11 eq	5,98E-03	1,77E-03	3,23E-03	3,90E-05	3,18E-09	9,46E-04
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,92E+02	1,11E+02	7,45E+01	2,51E+00	3,35E+00	9,17E-01



Slika 17: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [D2]

Tablica 15: Utjecaji na okoliš slučaja D2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj D1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja D1	Studija slučaja D2	Varijacija u odnosu na D1
ADP Fossil	MJ	5,60E+06	5,22E+06	-6,8%
AP	Kg SO2 eq	1,65E+03	1,54E+03	-6,5%
EP	Kg PO4 eq	1,60E+02	1,58E+02	-1,6%
GWP	Kg CO2 eq	7,60E+05	7,04E+05	-7,3%
ODP	Kg R11 eq	3,94E-03	5,98E-03	+51,8%
POCP	Kg C2H4	2,14E+02	1,92E+02	-10,0%

Tablica 16: Utjecaji na okoliš slučaja D2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj D1 [Samo čelik]

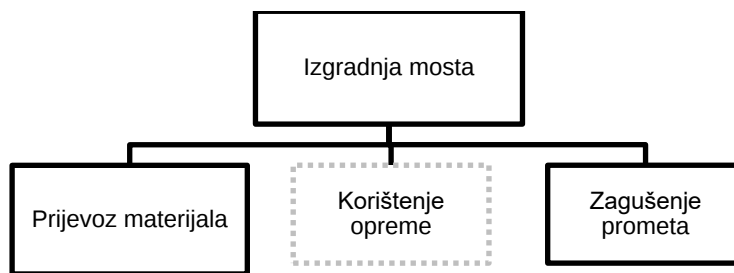
Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja D1	Studija slučaja D2	Varijacija u odnosu na D1
ADP Fossil	MJ	2,06E+06	1,65E+06	-19,9%
AP	Kg SO2 eq	5,36E+02	4,22E+02	-21,1%
EP	Kg PO4 eq	3,57E+01	3,28E+01	-8,1%
GWP	Kg CO2 eq	2,04E+05	1,47E+05	-28,1%
ODP	Kg R11 eq	1,19E-03	3,23E-03	+171,9%
POCP	Kg C2H4	9,83E+01	7,45E+01	-24,2%

Najvažniji doprinos emisijama (> 80% ukupno) za sve kategorije utjecaja u fazi proizvodnje materijala za slučaj D2 imaju armirani beton i čelik. U usporedbi s D1, izračunati su smanjeni utjecaji u D2 u svakoj kategoriji, osim ODP-a. To je očigledno iz činjenice da proizvodnja vruće pocinčanog čelika uključuje dodatni korak uranjanja proizvedenog čelika u kupelj cinka, što rezultira povećanjima prikazanim u tablici.

2.3.2 Faza izgradnje

Faza izgradnje uzima u obzir sve procese potrebne za izgradnju mosta i ostale procese na koje ona utječe. Dakle, kao što je prikazano na slici 18, uključuje i prijevoz materijala na gradilište (prema udaljenostima navedenim u tablici 6).

Međutim, zbog nedostatka podataka, analizom nije razmatrana uporaba i prijevoz građevinske opreme. U ovoj točki analizira se samo zagušenost prometa zbog građevinske aktivnosti. Mostovi u ovoj studiji slučaja su novi; stoga, tijekom njihove izgradnje, nema prometa preko mosta i stoga se ne uzimaju u obzir emisije.



Slika 18: Faza izgradnje

Tijekom razdoblja izgradnje, promet ispod mosta je pod utjecajem ograničenja u brzini prometa i suženja kolnika. Zagušenja prometa zbog radne aktivnosti u okolini mosta imaju dva glavna tipa utjecaja: (i) utjecaji koji proizlaze iz neposrednih emisija iz vozila i (ii) utjecaji zbog količine potrošenog goriva. Utjecaji zbog izravnih emisija iz vozila kvantificiraju se na temelju Queue and User Cost Evaluation of Work Zones - QUEWZ-98 modela [13]. QUEWZ model analizira prometne tokove kroz radne zone autocesta i omogućuje procjenu tradicionalnih troškova korisnika cesta i onečišćenja zraka na različitim strategijama zatvaranja traka. Utjecaji prevelike potrošnje goriva, koji uključuju ranije troškove zbog proizvodnje goriva, kvantificiraju se na temelju podataka GaBi [14]. U oba slučaja, kvantifikacija utjecaja daje se sa razlikom između utjecaja vozila koja prolaze kroz radnu zonu i utjecaja vozila koja prolaze kroz istu zonu, ali bez kašnjenja zbog radne aktivnosti.

- *Promet preko i ispod mosta*

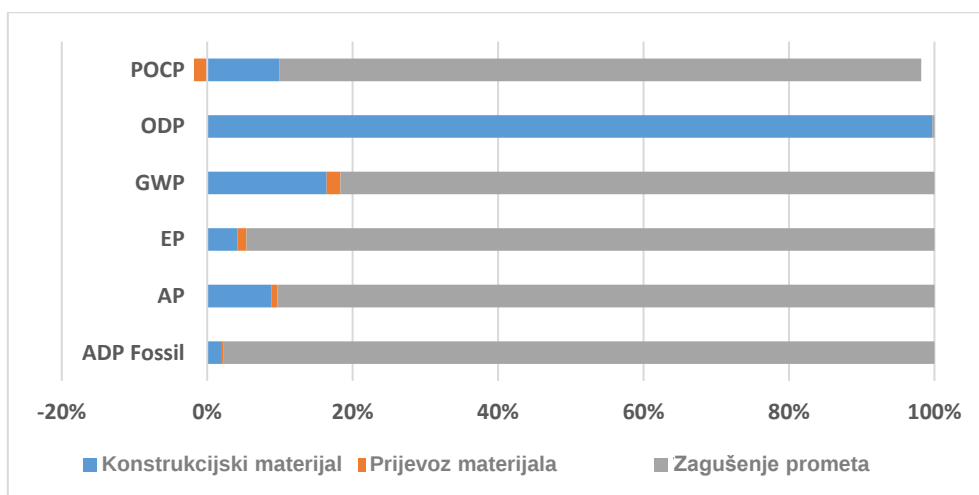
Kao što je već spomenuto, svi mostovi u ovoj studiji slučaja su novi. Stoga nema prometa preko mosta tijekom faze izgradnje pa se u ovoj fazi ne uzimaju emisije. Međutim, promet na autocesti ispod mosta je pod utjecajem ili zbog ograničenja u brzini prometa (kao što je gore spomenuto) ili suženja kolnika. Prosječni dnevni volumen prometa autoceste tijekom faze izgradnje nadvožnjaka je 49485, kao što je opisano u točki 2.2.1. Trajanje gradnje jednako je za sva tri mosta. Proces izgradnje traje 154 dana, s obzirom na paralelne građevinske aktivnosti. Tijekom izgradnje promet ispod mosta u jednom traku će biti zatvoren.

- *Analiza okoliša od D1, D2, i D3*

Budući da se isti most analizira s različitim sustavima zaštite od korozije, nema razlike u utjecaju na okoliš između tri varijante. Rezultati faze izgradnje za sve studije slučajeva prikazani su u tablici 17 i ilustrirani na slici 19. Operacije vezane uz konstrukcijske materijale i zagušenje prometa predstavljaju glavni doprinos utjecaja na okoliš u ovoj fazi. Uočeno je da doprinos od zagušenja prometa čini više od 80% ukupnih utjecaja, osim kategorije utjecaja ODP.

Tablica 17: Analiza okoliša referentnih studija slučajeva D1-D3

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Konstrukcijski materijal	Prijevoz materijala	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	2,23E+05	3,37E+04	1,15E+07
AP	Kg SO2 eq	6,43E+02	5,66E+01	5,46E+00	5,81E+02
EP	Kg PO4 eq	1,03E+02	4,28E+00	1,30E+00	9,78E+01
GWP	Kg CO2 eq	1,30E+05	2,13E+04	2,45E+03	1,06E+05
ODP	Kg R11 eq	1,48E-04	1,48E-04	8,20E-10	3,66E-07
POCP	Kg C2H4	9,11E+01	9,41E+00	-1,72E+00	8,34E+01



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [4]. Pogledajte točku 1.4.6.

Slika 19: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za D1, D2, i D3

2.3.3 Faza korištenja

Različite studije slučajeva pokrivene u ovoj točki posebno se razlikuju jedna od druge samo u smislu metodologije zaštite od korozije. Dakle, standardni scenarij održavanja usvojen je za sve tri različite sheme održavanja slojeva zaštite od korozije kako je prikazano u tablici 9. Utjecaj na okoliš koji dolazi iz drugih materijala je isti za sva tri slučaja i prikazan je u tablici 18.

Tablica 18: Utjecaji materijala (osim čelika) na okoliš u fazi korištenja

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Betonska ploča	Vodonepropusni sloj	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	5,27E+06	9,53E+05	7,50E+04	1,88E+05	4,06E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	3,08E+02	4,49E+01	3,74E+01	1,97E+01	2,06E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	5,15E+01	5,73E+00	5,28E+00	5,81E+00	3,46E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	8,63E+04	1,93E+04	2,49E+04	4,54E+03	3,76E+04
ODP	Kg R11 eq.	1,89E-03	1,60E-08	1,63E-07	1,89E-03	1,30E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,96E+01	1,65E+01	1,64E+00	1,83E+00	2,95E+01

Promjena utjecaja s različitim sustavima zaštite od korozije čelika proučava se s naglaskom na tablicu 19. Tablica 20 prikazuje usporedbu ukupnih utjecaja na okoliš tijekom faze korištenja.

Tablica 19: Utjecaji na okoliš koji se odnose na zaštitu od korozije čelika u fazi korištenja

Kategorija utjecaja	Jedinica	Slučaj D1	Slučaj D2	Slučaj D3
ADP Fossil	MJ	-	5,97E+04	2,98E+04
AP	Kg SO ₂ eq	-	1,25E+01	6,24E+00
EP	Kg PO ₄ eq	-	6,06E-01	3,03E-01
GWP	Kg CO ₂ eq	-	3,71E+03	1,85E+03
ODP	Kg R11 eq	-	6,92E-09	3,46E-09
POCP	Kg C ₂ H ₄	-	4,86E+00	2,43E+00

Za referentni slučaj D1 nije potrebno održavanje sloja zaštite od korozije. Kao rezultat toga, izračunate emisije su nula. Imajući na umu da se za slučaj D2 čelični nosači podvrgavaju radnjama održavanja tijekom faze korištenja (dvije potpune obnove slojeva zaštite od korozije organskim premazima u 33. i 66. godini), izračunati su 30% veći učinci u odnosu na slučaj D1. Slučaj D3 uključuje jednu primjenu organskog premaza u 66. godini, što je rezultiralo povećanjem od 16% (prosječno) u odnosu na referentni slučaj D1. Usporedba dviju potpunih

obnova slojeva za zaštitu od korozije u slučaju D2 i pojedinačne zamjene slojeva u slučaju D3 pokazala je da je moguće smanjenje utjecaja od 10,1% s rješenjem u slučaju D3.

Tablica 20: Usporedba utjecaja na okoliš od D1, D2 i D3 u fazi korištenja

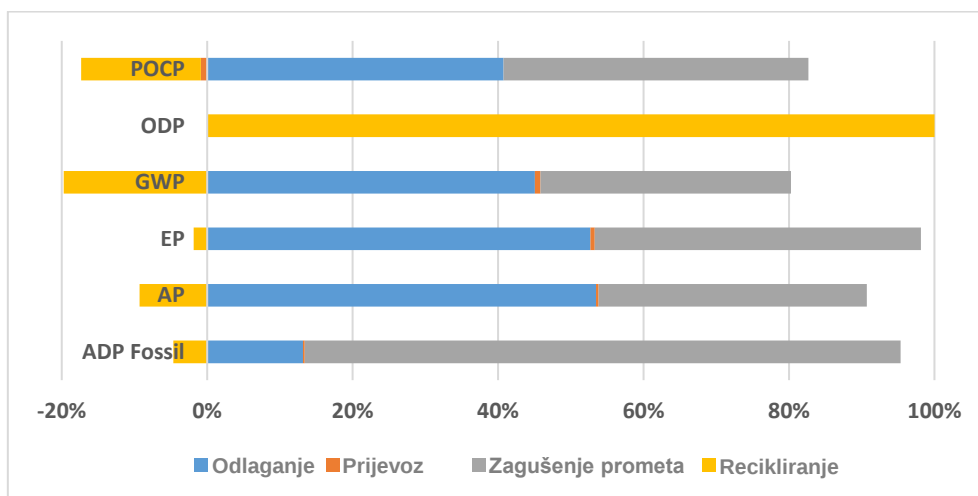
Kategorija utjecaja	Jedinica	Slučaj D1	Slučaj D2	$\Delta(D1,D2)$	Slučaj D3	$\Delta(D1,D3)$
ADP Fossil	MJ	5,27E+06	7,36E+06	+39,6%	6,40E+06	+21,4%
AP	Kg SO ₂ eq	3,08E+02	4,23E+02	+37,5%	3,70E+02	+20,2%
EP	Kg PO ₄ eq	5,15E+01	6,94E+01	+34,9%	6,12E+01	+18,9%
GWP	Kg CO ₂ eq	8,63E+04	1,09E+05	+26,2%	9,84E+04	+14,1%
ODP	Kg R11 eq	1,89E-03	1,89E-03	+0,0%	1,89E-03	+0,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,96E+01	6,92E+01	+39,6%	6,00E+01	+21,1%

2.3.4 Faza na kraju životnog vijeka

- *Analiza okoliša referentnog slučaja D1 i slučaja D3*

Kako slučajevi D1 i D3 koriste isti materijal, vruće pocinčani čelik, osim premaza koji se primjenjuje u fazi korištenja za slučaj D3, rezultati na kraju životnog vijeka su isti za obje studije slučajeva. Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze prikazane su na slici 20, koja također ukazuje na doprinos svakog procesa po kategoriji utjecaja. Negativne vrijednosti na slici predstavljaju doprinose dobivene procesima recikliranja.

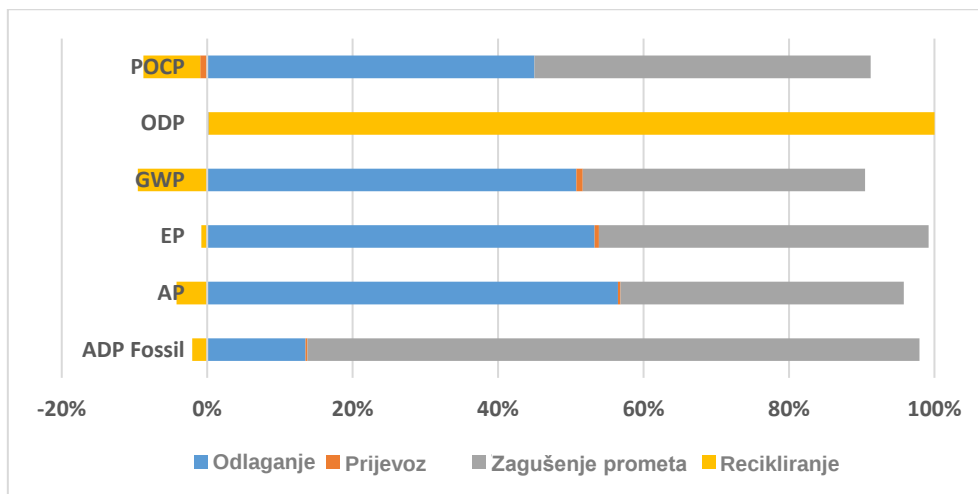
Zbrinjavanje doprinosi najvećim utjecajem u svim kategorijama, s izuzetkom ADP fosilna goriva, gdje dominira drugi najznačajniji utjecaj zagušenjem prometa. Recikliranje pridonosi okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim kod ODP gdje ima mali utjecaj reda veličine od 10^{-3} .



Slika 20: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj D1

- *Analiza okoliša slučaja D2*

Kao što se može vidjeti na slici 21, odlaganje pridonosi s najvećem utjecajem u svim kategorijama s izuzetkom fosilnog goriva ADP. Drugi najznačajniji doprinos je od zagušenja prometa. Prijevoz uzrokuje najmanje utjecaje u odnosu na druge. Recikliranje pridonosi okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim ODP-u.

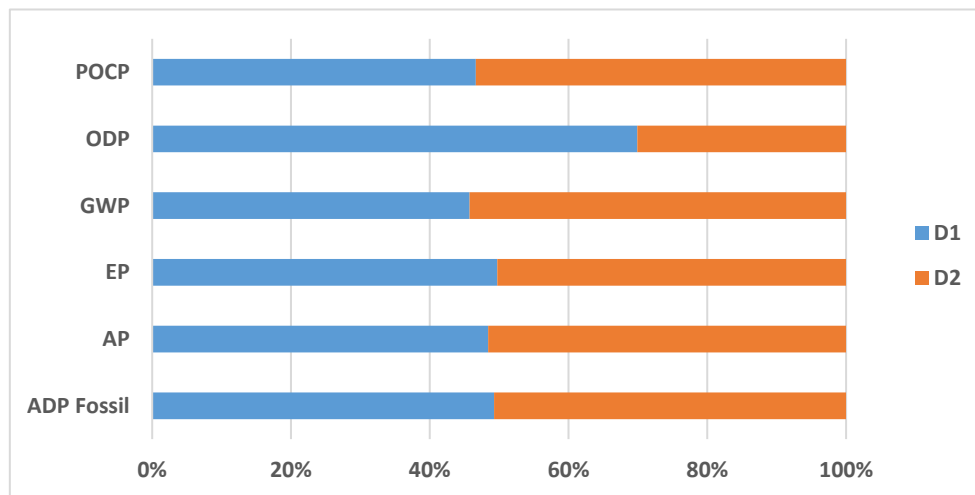


Slika 21: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj D2

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze za varijantu studije slučaja D2 prikazane su u tablici 21. Ova tablica ukazuje i na varijaciju rezultata za ovu studiju slučaja u usporedbi s referentnom studijom slučaja D1. Ti su rezultati ilustrirani na slici 22.

Tablica 21: Varijacija rezultata za fazu na kraju životnog vijeka u odnosu na studiju slučaja D1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Slučaj D1	Slučaj D2	Varijacija u odnosu na D1
ADP Fossil	MJ	2,44E+07	2,51E+07	+2,9%
AP	Kg SO2 eq	2,49E+03	2,65E+03	+6,5%
EP	Kg PO4 eq	4,06E+02	4,11E+02	+1,1%
GWP	Kg CO2 eq	3,68E+05	4,37E+05	+18,6%
ODP	Kg R11 eq	3,81E-03	1,64E-03	-57,0%
POCP	Kg C2H4	2,52E+02	2,88E+02	+14,4%



Slika 22: Relativni doprinosi slučajeva D1 i D2 u fazi na kraju životnog vijeka

Slučaj D2 rezultirao je povećanim utjecajima u svim kategorijama osim ODP-a na kraju životnog vijeka u usporedbi sa slučajevima D1 i D3. Ovaj rezultat dolazi zbog različitih utjecaja pocinčanog čelika na kraju životnog vijeka u odnosu na obični čelik prema podacima prikupljenim iz EPD-a spomenutog u točki 1.4.1.

2.3.5 Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu

- *Ukupni rezultati životnog ciklusa za slučaj D1*

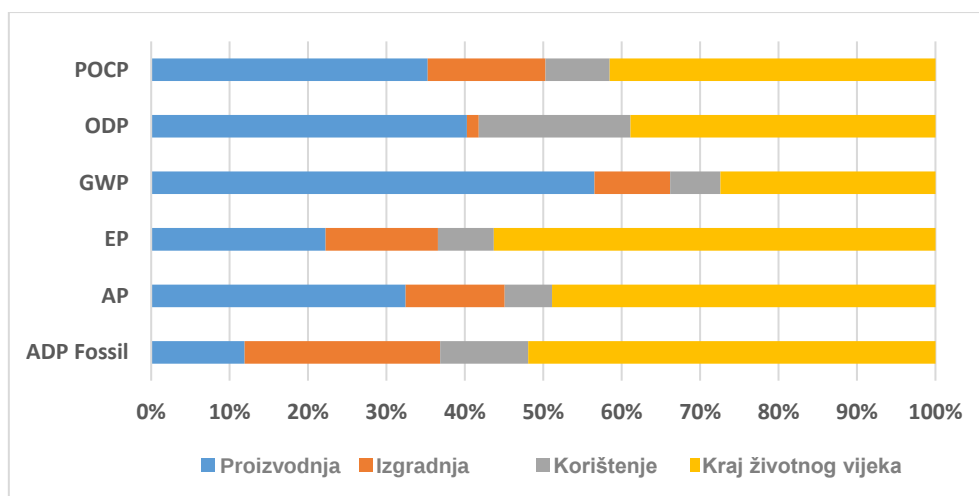
U prethodnim su točkama prikazani djelomični rezultati po fazama. U ovoj točki rezultati različitih faza su sažeti u odnosu na svaku kategoriju utjecaja, a ukupni rezultati prikazani su u tablici 22, s obzirom na plan "dnevnog rada" i standardni scenarij održavanja.

Tablica 22: Rezultati životnog ciklusa po fazama životnog ciklusa

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	4,70E+07	5,60E+06	1,17E+07	5,27E+06	2,44E+07
AP	Kg SO ₂ eq	5,09E+03	1,65E+03	6,43E+02	3,08E+02	2,49E+03
EP	Kg PO ₄ eq	7,22E+02	1,60E+02	1,03E+02	5,15E+01	4,06E+02
GWP	Kg CO ₂ eq	1,34E+06	7,60E+05	1,30E+05	8,63E+04	3,68E+05
ODP	Kg R11 eq	9,79E-03	3,94E-03	1,48E-04	1,89E-03	3,81E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,06E+02	2,14E+02	9,11E+01	4,96E+01	2,52E+02

Da bi se bolje razumio doprinos svake faze na ukupni rezultat, ovi su rezultati također prikazani na slici 23.

Faze proizvodnje materijala (33,1%) i kraja životnog vijeka (44,2%) pridonose najviše u svim kategorijama utjecaja. Faza korištenja ima najmanji utjecaj od 9,7%, a faza izgradnje doprinosi sa 13% u ukupnom utjecaju na okoliš.



Slika 23: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [D1]

- *Usporedba ukupnog utjecaja na okoliš u životnom ciklusu*

Rezultati dobiveni za varijante studije slučajeve D2 i D3 prikazani su u tablici 23, s obzirom na scenarij "dnevnog rada" za sve slučajeve. Ova tablica također ukazuje na varijaciju utjecaja u odnosu na referentnu studiju slučaja D1.

Tablica 23: Ukupni utjecaji na okoliš od slučajeve D2 i D3 uspoređeni sa slučajem D1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Slučaj D1	Slučaj D2	$\Delta(D1,D2)$	Slučaj D3	$\Delta(D1,D3)$
ADP Fossil	MJ	4,70E+07	4,94E+07	+5,1%	4,82E+07	+2,4%
AP	Kg SO ₂ eq	5,09E+03	5,26E+03	+3,2%	5,15E+03	+1,2%
EP	Kg PO ₄ eq	7,22E+02	7,41E+02	+2,7%	7,31E+02	+1,3%
GWP	Kg CO ₂ eq	1,34E+06	1,38E+06	+2,4%	1,36E+06	+0,9%
ODP	Kg R11 eq	9,79E-03	9,76E-03	-0,3%	9,79E-03	0,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,06E+02	6,39E+02	+5,5%	6,17E+02	+1,7%

Kao što se može vidjeti iz gornje tablice, referentni primjer D1 ima bolje osobine koje su u korist okoliša. Za slučajeve D2 i D3 izračunati su za 3,1% i 1,3% veći utjecaji.

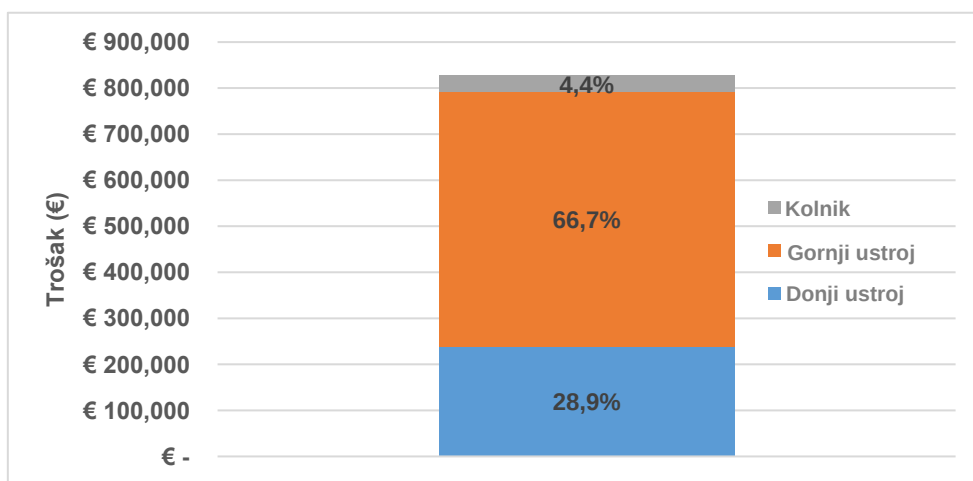
2.4 Analiza troškova životnog ciklusa

2.4.1 Početni troškovi izgradnje

Početni trošak mostova u ovoj studiji slučaja je identičan osim troškova zaštite od korozije kako je navedeno u tablici 10. Početni trošak, uključujući troškove prijevoza, za svaki most prikazan je u tablici 24. Opći udio između troškova u ovoj studiji slučaja prikazana je na slici 24. Ovaj udio između troškova je približno isti za slučajeve D2 i D3.

Tablica 24: Sažetak i usporedba početnog troška za slučajeve D2 i D3 u odnosu na slučaj D1

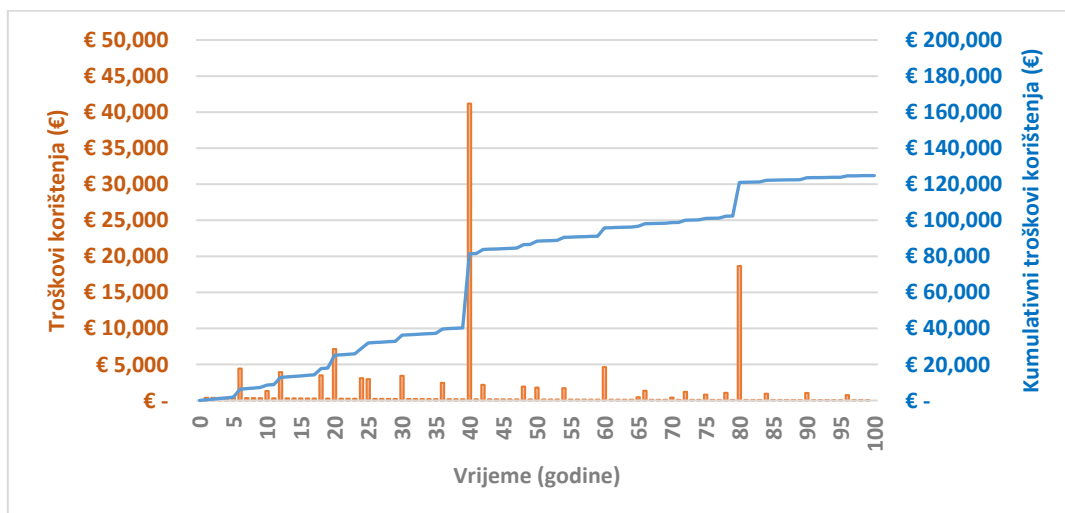
	D1	D2	$\Delta(D1,D2)$	D3	$\Delta(D1,D3)$
Početni trošak (€)	847071,09	835759,1	-1,3%	846175,1	-0,1%
Trošak po površini (€/m ²)	1593,2	1571,9		1591,5	



Slika 24: Početni trošak slučaja D1

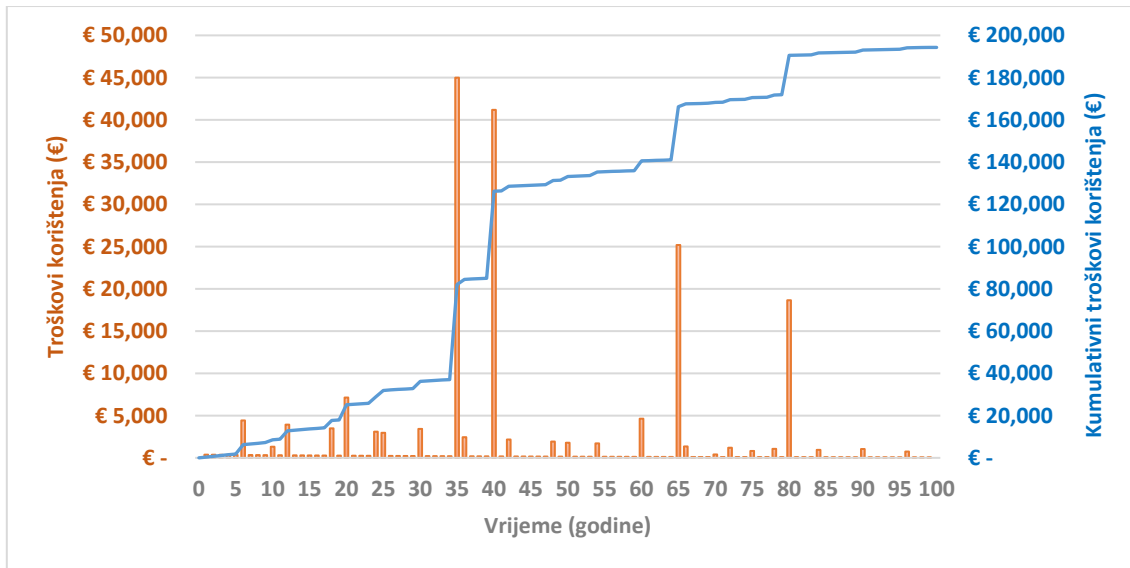
2.4.2 Troškovi korištenja

Troškovi korištenja za tri mosta prikazani su na slikama 25 do 28, izraženi kao troškovi u sadašnjim vrijednostima uz diskontnu stopu od 2%.

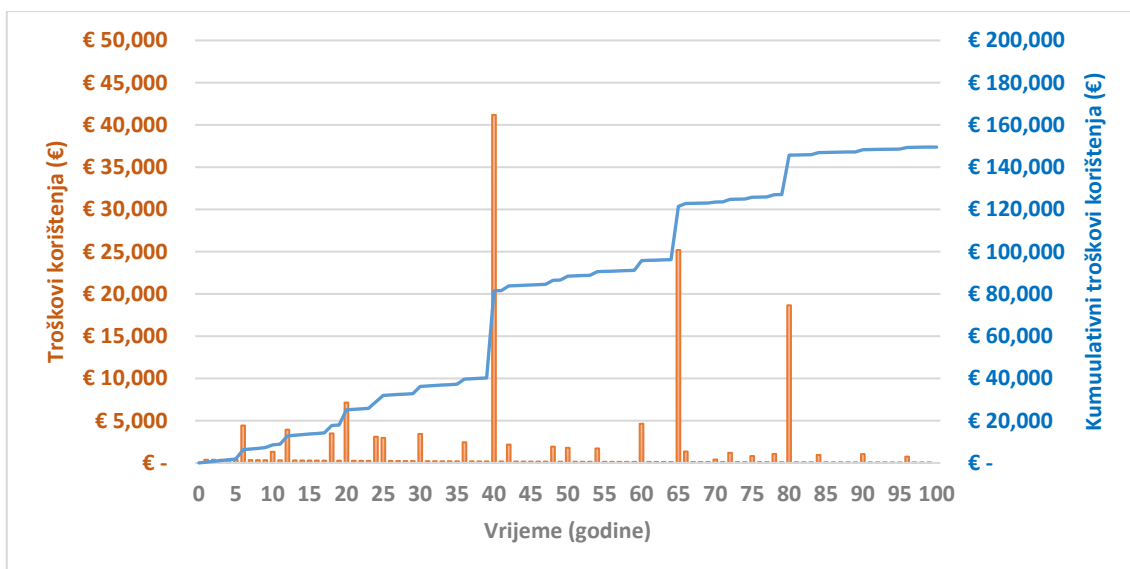


Slika 25: Troškovi korištenja slučaja D1 tijekom životnog vijeka

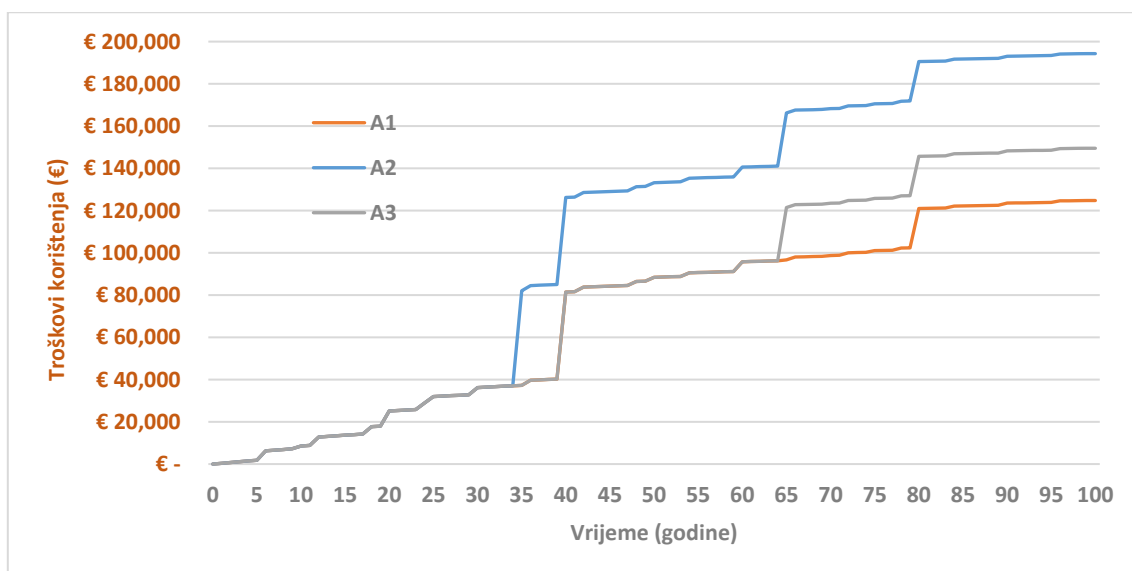
Tijekom razdoblja od 100 godina, pretpostavlja se da se mostovi u primjerima održavaju i saniraju prema planu navedenom u tablici A1 priloga, definiciji standardnog scenarija pregleda. Slučaj D1 koristi vruće pocinčane čelične nosače koji neće trebati održavanje tijekom cijelog životnog vijeka mosta. U slučaju D2, s druge strane, dvije cjelovite zamjene slojeva zaštite od korozije izvede se u 33. i 66. godini. Sustav dupleks koji se koristi u slučaju D3 omogućuje jedno održavanje zaštite od korozije u 66. godini.



Slika 26: Troškovi korištenja slučaja D2 tijekom životnog vijeka



Slika 27: Troškovi korištenja slučaja D3 tijekom životnog vijeka



Slika 28: Usporedba troškova korištenja između slučajeva D1, D2 i D3

Iz rezultata se može uočiti da je rješenje vruće pocinčanog čelika odnosno slučaj D1 rezultirao bitno smanjenim troškovima korištenja u usporedbi s druga dva slučaja. Dupleks sustav koji se primjenjuje u slučaju D3, je bolji od najmanje povoljne opcije D2 koja koristi organske premaze za koje je potrebno održavanje dva puta u životnom vijeku mosta.

2.4.3 Troškovi na kraju životnog vijeka

- Analiza svih studija slučajeva (D1, D2 i D3)

Trošak na kraju životnog vijeka jednak je za sva tri mostova jer je jedina razlika između njih bila mehanizam za zaštitu od korozije. Sažetak troškova na kraju životnog vijeka za mostove D1, D2 i D3 dan je u tablici 25.

Tablica 25: Trošak na kraju životnog vijeka za D1, D2 i D3

Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	226,382	-2417,01	50	46,87
Beton	3096,24	4273,83	50	641,07
Zemljani radovi	13640	94138,48	10	564,83
Bitumen	55,62	383,87	20	4,61
Drugo		98,21		0,00
Suma (€)				97734,77
Trošak rušenja (€)				7339,04
Ukupni trošak (€)				105073,81

(*) S obzirom na trošak zbrinjavanja za beton 10 €/toni, za čelični otpad vrijednost od 100 €/toni i troškove prijevoza od 0,03 €/toni/km.

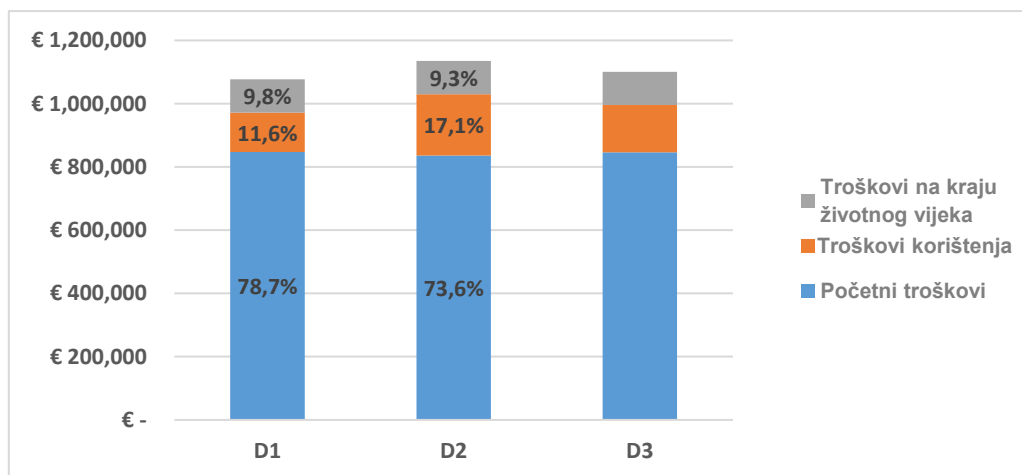
(**) Izračunate količine čelika uključuju i čelične šipke za armiranje i profile/ploče i spojeve od konstrukcijskog čelika.
Napomena: Troškovi su dani u sadašnjoj vrijednosti izračunati prema jednadžbi 2 uz diskontnu stopu od 2%.

2.4.4 Ukupni troškovi životnog ciklusa

Kompilacija troškova izračunata u prethodnim točkama dovodi do ukupnog neto sadašnjeg troška životnog ciklusa (LCC) uz diskontnu stopu od 2,0%. Te su vrijednosti sažete i prikazane u tablici 26 i ilustrirane na slici 29.

Tablica 26: Ukupni troškovi životnog ciklusa za D1, D2 i D3

	D1	D2	$\Delta(D1,D2)$	D3	$\Delta(D1,D3)$
Početni trošak (€)	847071,09	835759,1	-1,3%	846175,1	-0,1%
Trošak korištenja (€)	124765,74	194302,4	+55,7%	149499,9	+19,8%
Trošak na kraju životnog vijeka (€)	105073,81	105073,8	0%	105073,8	0%
Ukupni trošak bez troška korisnika (€)	1076910,64	1135135	+5,4%	1100749	+2,2%



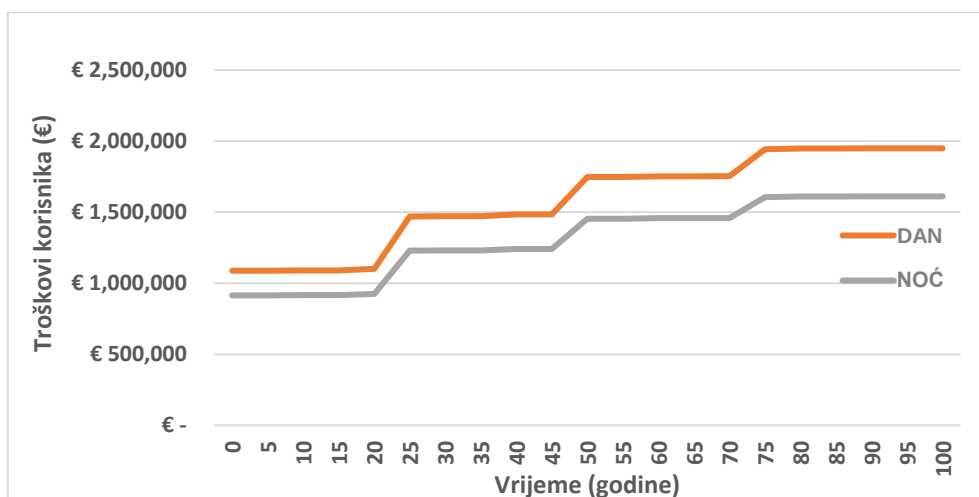
Slika 29: Ukupni troškovi životnog ciklusa za D1, D2 i D3

Što se tiče početnog troška, tj. troškova proizvodnje i izgradnje tri opcije zaštite od korozije vode ka relativno sličnim troškovima s malom prednošću za slučaj običnog premaza čelika. Na kraju životnog vijeka troškovi su isti za sve tri opcije. Međutim, prva opcija, vruće pocinčani čelik (debljina cinka 300 μm), pokazao je značajno smanjenje troškova u fazi korištenja. Druga opcija, koja je zahtijevala dva potpuna obnavljanja - organskog premaza - slojeva za zaštitu od korozije, rezultirala je višim troškovima korištenja. Treća opcija, gdje je usvojena dupleks shema premazivanja, je jeftinija od druge, ali je još skuplja od prve opcije. Zaključno, može se reći da vruće cinčanje predstavlja najbolju opciju u smislu ukupnog troška životnog ciklusa.

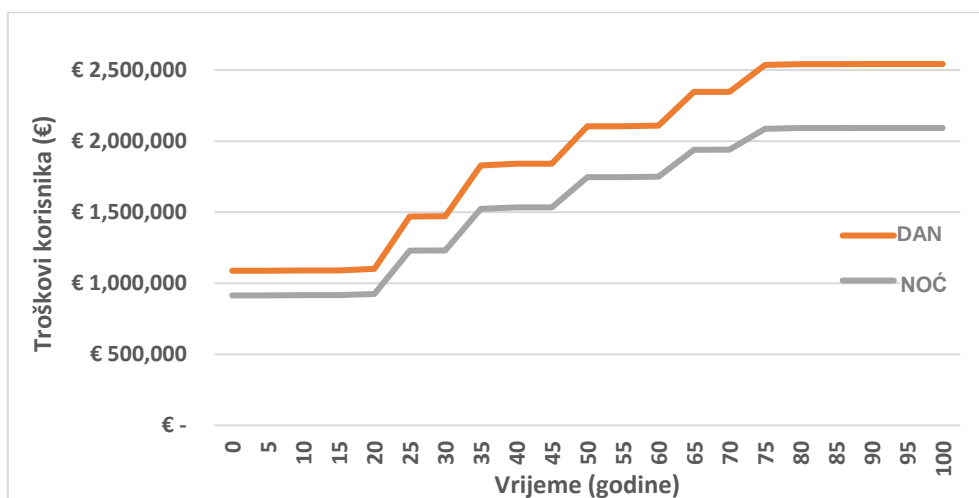
2.5 Analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta

Proučena su dva scenarija održavanja za izračun troškova korisnika: (i) scenarij "dan" u kojem se većina radnji obavlja tijekom dana (od 6:00 do 22:00 sati), a most ima jedna trak zatvoren za glavne aktivnosti održavanja (površina ceste / zamjena vodonepropusnog sloja); (ii) scenarij "noć", sličan scenariju "dan", osim što se većina aktivnosti održavanja provodi tijekom noći (od 22:00 do 6:00 sati).

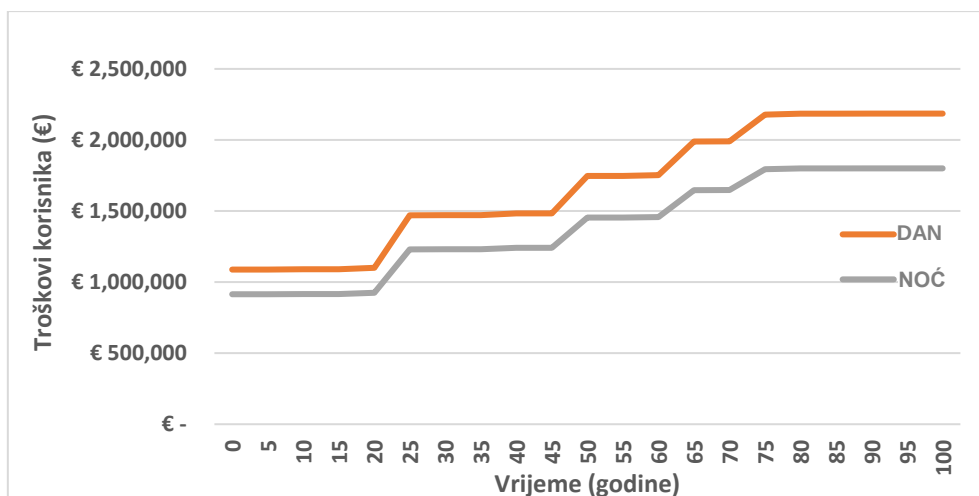
Ilustracije na slikama 30 do 32 detaljno prikazuju troškove korisnika za opcije projektiranja D1, D2 i D3 sa scenarijima "dan" i "noć". Napominje se da se neugodnost korisnika smanjuje ako se posao provodi tijekom noći jer je promet manji nego tijekom dana. Isto se odnosi i na mogućnosti projektiranja D2 i D3. Održavanje u slučaju vruće pocinčanog mosta traje 101 dan, dok druga opcija s organskim premazom zahtijeva 119 dana. Održavanje treće varijante s dupleks sustavom traje 110 dana tijekom cijelog životnog vijeka mosta. Slika 33 pokazuje kako je prva opcija najbolje rješenje u smislu smanjenja troškova korisnika u odnosu na druga dva.



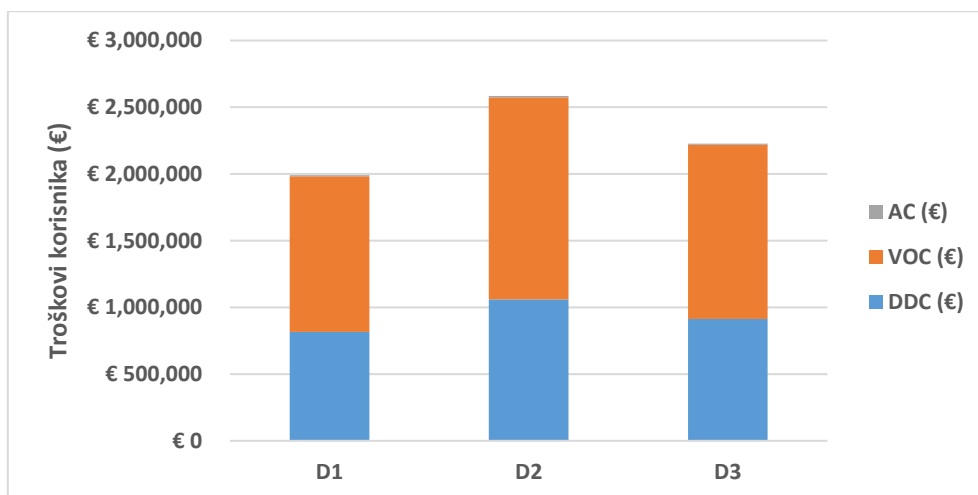
Slika 30: Troškovi korisnika za slučaj D1 sa scenarijima “dan” i “noć”



Slika 31: Troškovi korisnika za slučaj D2 sa scenarijima “dan” i “noć”



Slika 32: Troškovi korisnika za slučaj D3 sa scenarijima “dan” i “noć”



Slika 33: Troškovi korisnika za studije slučaja D1, D2 i D3 sa standardnim scenarijem i planom “dnevni rad”

Kao što je prikazano u tablici 27, može se vidjeti da su troškovi korisnika povezani s slučajem D1, 29,8% i 11,9% niži od onih za slučajeve D2 i D3.

Tablica 27: Troškovi korisnika za D1, D2 i D3

	D1	D2	$\Delta(D1,D2)$	D3	$\Delta(D1,D3)$
Troškovi korisnika (€)	1990440,9	2584124,20	+29,8%	2227287	+11,9%

2.6 Diskusija rezultata za slučaj D

Iz analize okoliša u životnom ciklusu može se uočiti da faze proizvodnje materijala i kraja životnog vijeka dominiraju svim kategorijama utjecaja. Opcija koja je koristila konvencionalni premaz rezultirala je većim utjecajima na okoliš i korisnika zbog ponovljenih operacija održavanja na zaštitnim slojevima čeličnih nosača. Vidljivo je da su cjelokupni rezultati poboljšani ako se većina poslova održavanja obavlja noću. Noćna smjena omogućuje smanjenje utjecaja zbog činjenice da je prometna aktivnost manja noću.

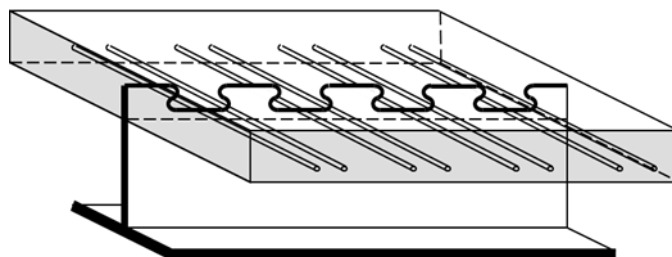
U pogledu početnih troškova, tj. troškova proizvodnje i izgradnje, tri opcije zaštite od korozije vode ka relativno sličnim troškovima s malom prednošću za slučaj običnog premaza čelika. Na kraju životnog vijeka troškovi su isti za sve tri opcije. Međutim, prva opcija, vruće pocinčani čelik (debljina cinka 300 μm), pokazala je značajno smanjenje troškova u fazi korištenja budući da nije potrebno održavanje kroz životni vijek mosta. Druga opcija, koja je zahtijevala dva potpuna obnavljanja - organskog premaza - slojeva za zaštitu od korozije, rezultirala je višim troškovima korištenja. Treća opcija, gdje je usvojena duplex shema premazivanja, je jeftinija od druge, ali je još skuplja od prve opcije. Zaključno, može se reći da vruće cinčanje predstavlja najbolju opciju u smislu ukupnog troška životnog ciklusa.

Još jednom, socijalni aspekti analize životnog ciklusa dokazuju da je noćna smjena povoljna u smanjenju utjecaja na trošak korisnika. Troškovi korisnika koji su povezani s slučajem D1 bili su 29,8% i 11,9% niži od onih za slučajeve D2 i D3. Također je zabilježeno da troškovi korisnika čine više od 65% ukupnih troškova životnog ciklusa.

3 RIJEŠENI PRIMJERI - TIP MOSTA E - PRECOBEAM NOSAČ

3.1 Opći opis

Rješenje Precobeam (montažni spregnuti nosač) je nova metoda gradnje mostova patentirana početkom novog tisućljeća. To je primjer ekonomskog rješenja mostova s valjanim nosačima i visokim stupnjem predgotovljenosti. Ova metoda se temelji na valjanom čeličnom nosaču, izrezanom uzdužno u dva T-profila posebnog oblika. Taj oblik funkcionira kao kontinuirana posmična veza koja omogućava posmičnu vezu između profila i ploče bez uporabe moždanika te stoga i bez zavarivanja.

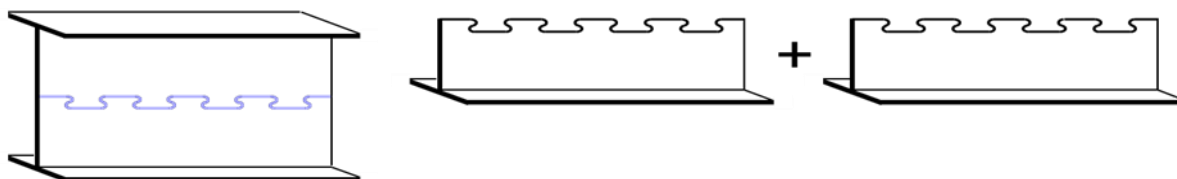


Slika 34: Poprečni presjek alternativnog rješenja Precobeam projektiranog od SSF Ingenieure, Munich

Metoda je vrlo fleksibilno rješenje koje nudi različite mogućnosti poprečnog presjeka prema zahtjevima projektiranja. Kao rezultat toga, Precobeam, uz korištenje najsuvremenijih kontinuiranih posmičnih spajala i integrirajući prednosti predgotovljenih elemenata mostova, zadovoljavaju sljedeće ciljeve za konkurentnu i održivu izgradnju:

- visoki standard sigurnosti kod udara vozila, osobito za mostove sa samo dva nosača,
- smanjenje površine za premazivanje,
- osnovna čelična konstrukcija gotovo bez zavarivanja,
- rijetko održavanje i jednostavno praćenje kod korištenja.

Nakon rezanja, zaštita od korozije se postavlja na dijelovima profila koji su izloženi atmosferi u završnoj fazi. U sljedećem koraku armaturne šipke se smještaju kroz izrezani oblik, a gornja betonska pojasnica se betonira u radionici kako bi se proizveo montažni (predgotovljeni) element mosta. Nakon toga se predgotovljeni elementi mosta prevoze na mjesto, postavljaju na upornjake i na kraju se dodaje preostali dio betonske pojasnice na licu mjesta.



Slika 35: Shema proizvodnje za Precobeam



Slika 36: Projektiranje i izrada Precobeam sustava u radionici Arcelor Mittal

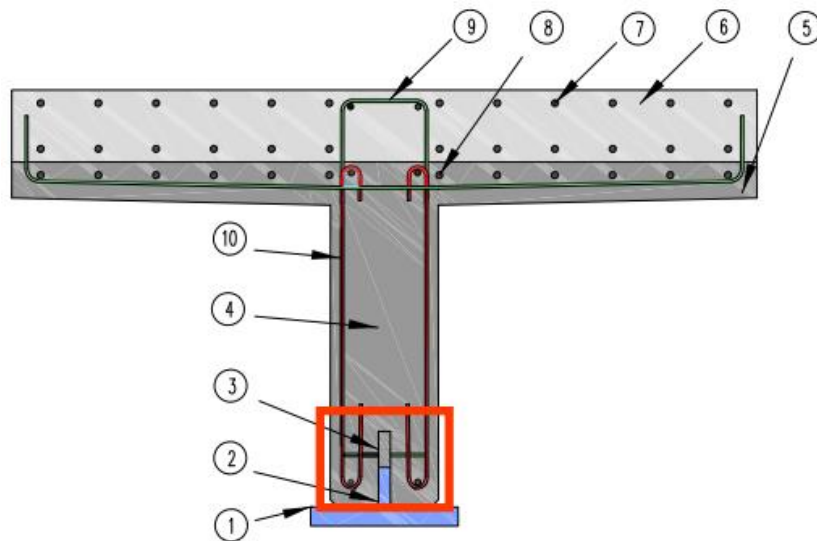
Betonski moždanici se mogu postaviti u gornju pojasnicu ili donju pojasnicu i mogu imati oblik „puzle“ ili oblik modificirane klotoide (vidi sliku 37). Područje kvalitete čelika je od S235 do S460.



Slika 37: Oblik modificirane klotoide „engl. Modified clothoid shape (MCL)“ i oblik puzle „engl. puzzle shape (PZ)“

Tipični Precobeam sustav nosača se sastoji od sljedećih elemenata (vidi sliku 38).

- (1) **Čelična pojasnica:** Preuzima naprezanja momenata savijanja i pruža krutost poprečnog presjeka.
- (2) **Čelični hrbat:** Prijenos uzdužnih posmičnih sila, osigurava razmak između čelične pojasnice i betonskog hrpta gdje je to potrebno (npr. da se izbjegne raspucavanje betona).
- (3) **Betonski moždanik:** Prenosi uzdužne posmične sile između betona i čelika.
- (4) **Predgotovljeni betonski hrbat:** projektiran prema konstrukcijskim zahtjevima i ojačan vanjskim dijelovima.
- (5) **Predgotovljena betonska ploča:** betonska ploča debljine 10-12 cm, koja služi kao oplata i skela za beton koji se lijeva na licu mjesta i projektirana je za opterećenja iz faze izgradnje.
- (6) **„In situ“ betonska ploča:** Upotunjuje predgotovljenu betonsku ploču i projektira se prema konstrukcijskim zahtjevima za mjerodavne kombinacije djelovanja u završnoj fazi.
- (7) **„In situ“ uzdužna armatura:** Postavlja se unutar betonske ploče na licu mjesta za konačnu fazu izgradnje.
- (8) **Predgotovljena uzdužna armatura:** projektirana prema konstrukcijskim zahtjevima za opterećenja iz faze izgradnje.
- (9) **Poprečna posmična armatura:** projektirana prema konstrukcijskim zahtjevima poprečnog posmika, s posebnim osvrtom na djelovanje „moždanika od betona“.
- (10) **Vilice:** projektirane prema pristupu lokalnog djelovanja moždanika od betona. Bitno je osigurati duktilno ponašanje nosivosti.



Slika 38: Glavni elementi Precobeam sustava

Postupak izvedbe Precobeam sustava može se opisati u slijedećim koracima:

1. Rezanje valjanog čeličnog nosača. Moždanik od betona zahtijeva rezanje čeličnog nosača u dvije polovice.
2. Premazivanje nosača u radionici. Ovaj opsežni rad može se lako obaviti u uvjetima postrojenja, tako da se može postići visoka kvaliteta i trajnost. Potom se nosači moraju prevesti u postrojenje za betoniranje.
3. U postrojenju za betoniranje armatura se može postaviti izravno na čelični nosač bez ikakvih zadiranja u oplatu.
4. Zajedno s gotovom armaturom čelični nosači se postavljaju u oplatu. Oplata se može koristiti više puta i prilagođena je od predgotovljenih betonskih elemenata. Nakon toga se betonira predgotovljeni element.
5. Kroz određeni vremenski period predgotovljeni element mora se poduprijeti. To je neophodno kako bi spregnuti sustav mogao djelovati već za stalno opterećenje. Tako se materijali mogu koristiti na učinkovit način od samog početka.
6. Predgotovljeni nosači mogu se prevesti do gradilišta. Zbog relativno lagane konstrukcije elementi se mogu prevoziti uobičajenim prijevozom.
7. Nosači se postavljaju na upornjake. Pravilnom izradom elemenata u tvornici izbjegavaju se problemi na gradilištu.
8. Konačno, dodaje se beton na licu mjesta bez ikakvih dodatnih oplata. Predgotovljeni dio betona djeluje kao oplata.

3.1.1 Prednosti Precobeam sustava

Sustav Precobeam kombinira prednosti "pločastog nosača – eng. filler beam plate" - poput robusnosti i vitkosti - i VFT nosača. Zbog visokog stupnja automatizacije čak i za izradu spoja čelika i betona, a obzirom na visoki stupanj predgotovljenosti, moguća su kraća vremena gradnje i učinkovitije konstrukcije. Precobeam rješenja omogućuju konfiguraciju spregnutih mostova kao nosača preko jednog raspona ili okvira s omjerima vitkosti od 15-30 s rasponima do 50 m. Ova značajka pronalazi primjenu oba rješenja kod kreiranja novih konstrukcija koje čuvaju resurse i također kao zamjenu za postojeće mostove.

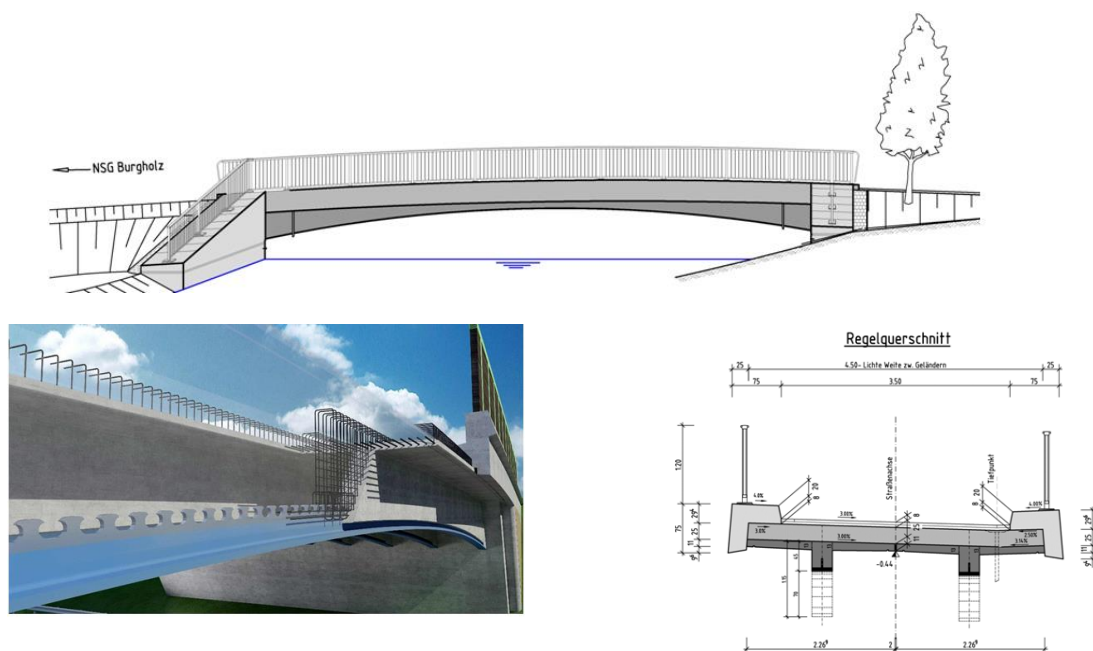
Sustav Precobeam je poznat po svojoj učinkovitoj upotrebi materijala. Kako je određeno konfiguracijom konstrukcije, upotrebom čeličnih profila bez gornje pojasnice (npr. prepolovljenih valjanih nosača), čelik unutar raspona je izložen vlaku. Slično, u području priključka nosača i stupa postoji dovoljno raspoloživog materijala za preuzimanje tlačnih sila bez uvođenja dodatnih ploča u beton.

Zbog brze i jednostavne izgradnje i zbog kombinacije odobrenih građevinskih sustava troškovi proizvodnje i izgradnje Precobeam sustava mogu se svesti na minimum. Razdoblja zatvaranja mogu se svesti na minimum zbog visoke razine predgotovljenosti glavnog nosivog sustava u radionici. Stoga su mogući visoki standardi kvalitete i smanjenja prekida gradnje na gradilištu. Upotreba standardiziranih valjanih čeličnih nosača olakšava raspoloživost i vrijeme isporuke. Ovi relativno jeftini valjani čelični presjeci zamjenjuju svako zavarivanje u radionici. Za proizvodnju Precobeam elemenata mogu se koristiti standardne oplaste prednapetih betonskih predgotovljenih nosača; tako da nema potrebe za novim ulaganjem u postrojenje za predgotavljanje. Zahvaljujući maloj instalacijskoj težini nosača, mogu se koristiti uobičajene dizalice.

Pored troškova proizvodnje, trajnost konstrukcija ima značajan utjecaj na ukupne troškove životnog ciklusa. Radi toga su potrebne konstrukcije koje su robusne, proizvedene visokim standardima kvalitete i lako se mogu pregledati. Precobeam sustav zadovoljava zahtjeve trajnosti u nekoliko aspekata:

- Male površine za zaštitu od korozije
- Robusni armiranobetonski presjek
- Visoki standard kvalitete zahvaljujući velikom stupnju predgotovljenosti u valjanim nosačima i predgotovljenim dijelovima.
- Otvorena konstrukcija za jednostavne preglede konstrukcije.

3.1.2 Primjeri Precobeam sustava na mostovima



Slika 39: Prvi vruće pocinčani Precobeam most “Elster bridge Halle-Osendorf (D)” (SSF Ingenieure i ArcelorMittal)



Slika 40: Precobeam korišten na mostu Vigaun, Austria

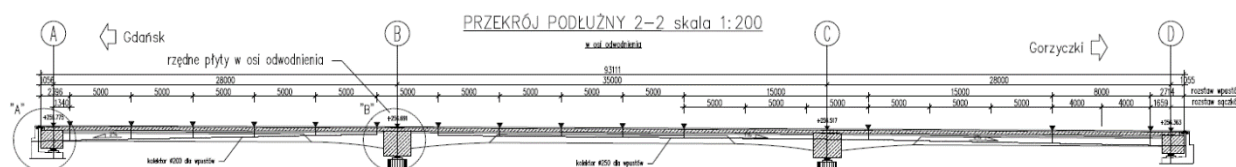


Slika 41: Daljnji razvoj Precobeam tehnologije, čelični hrptovi promjenjive visine

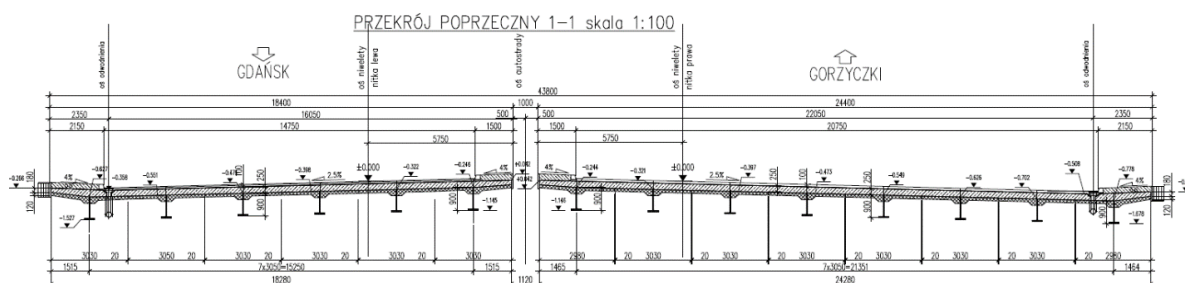
3.1.3 Definicija studija slučajeva

3.1.3.1 Slučaj E1 – Precobeam most

E1 most je Precobeam most koji se nalazi u Poljskoj i povezuje gradove Gdanjsk i Gorzyczki. Ovaj most je cestovni most preko 3 raspona (28 + 35 + 28 m). Ima ukupnu dužinu od 92,4 metra. Nadalje u dokumentu 'Gdanjsk kolnička ploča' odnosi se na trakove koji vodi prema Gdanjsku dok se 'Gorzyczki kolnička ploča' odnosi na trakove koji vode prema Gorzyczki-ju (vidi sliku 42 i sliku 43). Gdanjsk kolnička ploča ima širinu od 18,28 metara i izvedena je s 6 nosača. Gorzyczki kolnička ploča je širine 24,28 metara i izvedena je s 8 nosača.



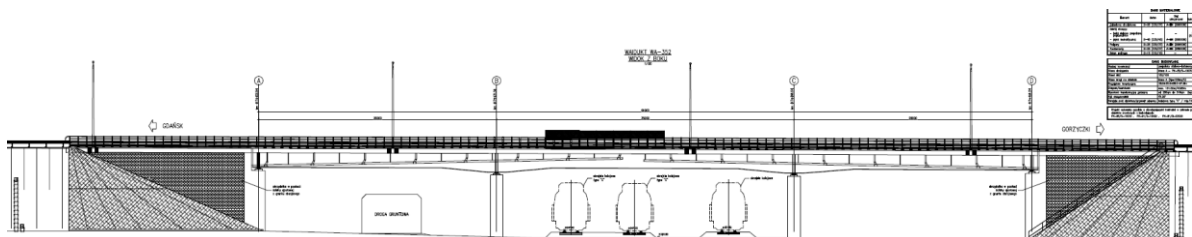
Slika 42: Precobeam most, autocesta D1, objekt WA352, slučaj E1, uzdužni pogled



Slika 43: Precobeam most, autocesta D1, objekt WA352, slučaj E1, poprečni presjek

U okviru ovog projekta analiziran je Precobeam most, WA-352 vijadukt - WA-352 417 + 449 preko PKP linija 146 na cesti DK 1. Investicija se provodi u sustavu "Projektiranje i izgradnja" „engl. Design and Build system“, koji dopušta da se projektiranje izvedbe prilagodi promjenjivim tehničkim uvjetima, bez mijenjanja predmeta javnog ugovora, čime se mijenja ugovor s glavnim izvođačem koji se obavezuje na projektiranje i implementaciju.

Realizacija autoceste bit će značajan doprinos gospodarskom oporavku zbog potencijalnog rasta potražnje za domaćim uslugama i dobrima, a što se tiče građevinskih ulaganja, pridonijet će razvoju izvođačkih tvrtki kao i ostalim gospodarskim subjektima koji služe građevinskoj industriji.



Slika 44: Precobeam most, autocesta D1 objekt WA352, slučaj E1, uzdužni pogled

Među izravnim prednostima autoceste možemo spomenuti sljedeće: preuzeti dio prometa s postojećih državnih, županijskih i lokalnih cesta; uklanjanje teškog prometa s naseljenog

područja; kraća vremena putovanja; ušteda goriva; pružanje udobnosti vožnje; smanjenje rizika od nezgoda; smanjenje emisije ispušnih plinova i buke u odnosu na postojeće ceste; ubrzati razvoj susjednih područja.

3.1.3.2 Slučaj E2 – Spregnuti nosači

Kako bi se naglasile prednosti Precobeam sustava, projektiran je i analiziran most E2, rješenje koje koristi predgotovljene spregnute elemente: kolnička ploča s djelomično predgotovljenim spregnutim elementima na osnovi valjanih nosača i betonskih poprečnih greda. Ukupne duljine i širine kolničkih ploča Gdansk i Gorzyczki su iste kao u slučaju E1. Glavni nosači su vrući valjani profili HL 1000 izvedeni iz kvalitete čelika HISTAR 460.



Slika 45: Predgotovljeni spregnuti nosač, slučaj E2

Opće napomene

Ovo je rješenje kolničke ploče s više čeličnih nosača u uzdužnom smjeru i s poprečnim gredama. Predložena je tehnologija poprečnih betonskih greda za kontinuirane raspone. Tehnika betonskih poprečnih greda omogućava izvedbu neizravnih ležajeva; na ovaj način se smanjuje broj ležajeva kao i troškovi održavanja.

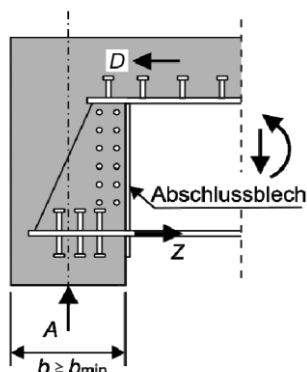
Preliminarno projektiranje je izvršeno u skladu s Eurokodom EN uz prilagodbu faktora opterećenja kako bi se uzeli u obzir poljski propisi PN-85/S-10030. Računska prometna opterećenja koje treba uzeti u obzir su koncentrirano opterećenje od vozila od 958 kN, jednoliko opterećenje svih prometnih trakova od 4,0 kN/m² i opterećenja od pješaka od 2,5 kN/m². Uzeta su u obzir opterećenja temperature, skupljanja betona i vjetra, ali nisu uzeta u obzir ubrzanja/kočenja (opterećenja kamiona). Projektiranje na umor provedeno je s obzirom na životni vijek mosta od 100 godina i pripadajućoj prometnoj kategoriji 1. Također uzeta su u obzir i diferencijalna slijezanja temelja od 1,0 cm u nepovoljnom položaju. Treba napomenuti da se ova studija temelji na pristupu koji analizira pravokutni tlocrt objekta bez skošenja.

Faza izgradnje

Spregnuta konstrukcija se sastoji od djelomično predgotovljenih betonskih pojasnica debljine 12 cm koje se dovršavaju na licu mjesta betonom (25 cm) kvalitete C35/45. Glavni nosači nisu poduprti tijekom faze betoniranja. Betoniranje betonskih poprečnih greda vrši se istovremeno s pločom.

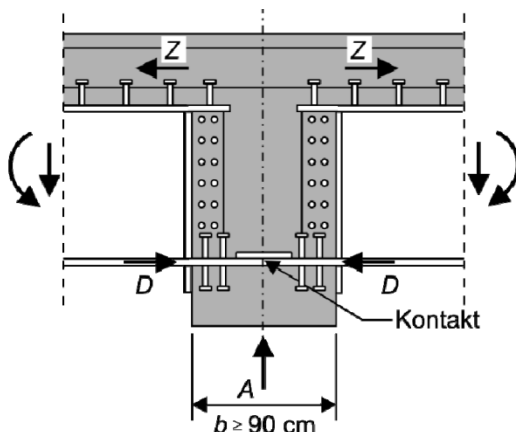
Privremenim uređajima potrebno je osigurati stabilizaciju nosača kako bi se spriječilo bočno torzijsko izvijanje tijekom faze izgradnje, ali takvi uređaji nisu predmet ovog preliminarnog projektiranja.

Krajnji poprečni nosači: na upornjacima su nosači ugrađeni u betonske poprečne grede i usidrene kako je prikazano na slici 46.



Slika 46: Poprečni nosači nad upornjacima

Poprečni nosači nad stupovima: nad stupovima kontinuitet na donjoj strani pojasnice osigurava se krajnjim pločama s moždanicima i armaturom za osiguravanje kontinuiteta (vidi sliku 47). Pozitivni momenti nad ležajevima kod kombinacija za granično stanje uporabivosti preuzimaju se dodatnim vlačnim pločama s moždanicima na mjestima gdje je to potrebno. Treba napomenuti da čelični poprečni nosači nisu predviđeni ovim preliminarnim projektom. T-rebra (ukrućenja s čeličnim pločama) zavarena su na hrptove nosača na koje su vijcima spojeni poprečni nosači sa čelnim pločama (vidi sliku 48).

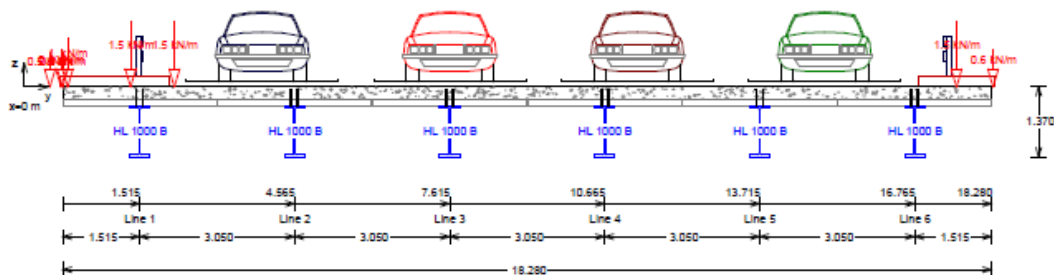


Slika 47: Poprečni nosači nad stupovima

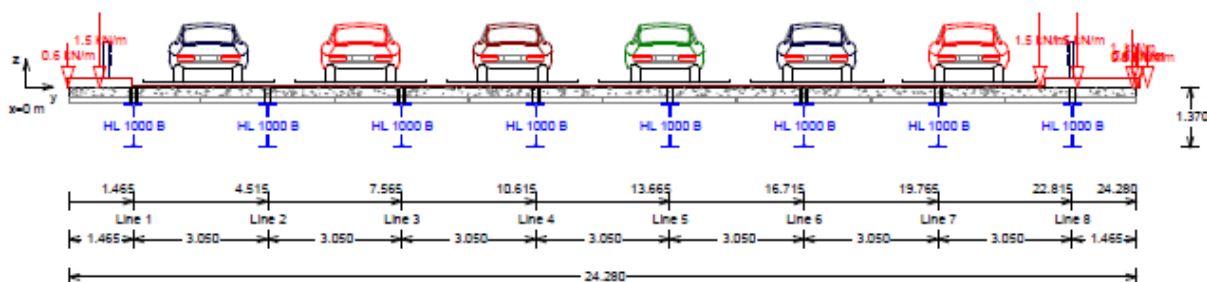


Slika 48: T-rebra i čelne ploče (lijevo), poprečni nosač s čelnim pločama

U nastavku su prikazani poprečni presjeci kolničke ploče Gdansk i kolničke ploče Gorzyczki (slike 49 i 50). Kolnička ploča Gdansk širine je 18,28 metara sa šest nosača. Gorzyczki kolnička ploča ima širinu 24,28 metara i 8 nosača.



Slika 49 : Poprečni presjek Gdansk kolničke ploče



Slika 50 : Poprečni presjek Gorzyczki kolničke ploče

Najznačajnije količine u slučajevima E prikazane su u tablici 28.

Tablica 28: Količine kod slučajeva E1 i E2

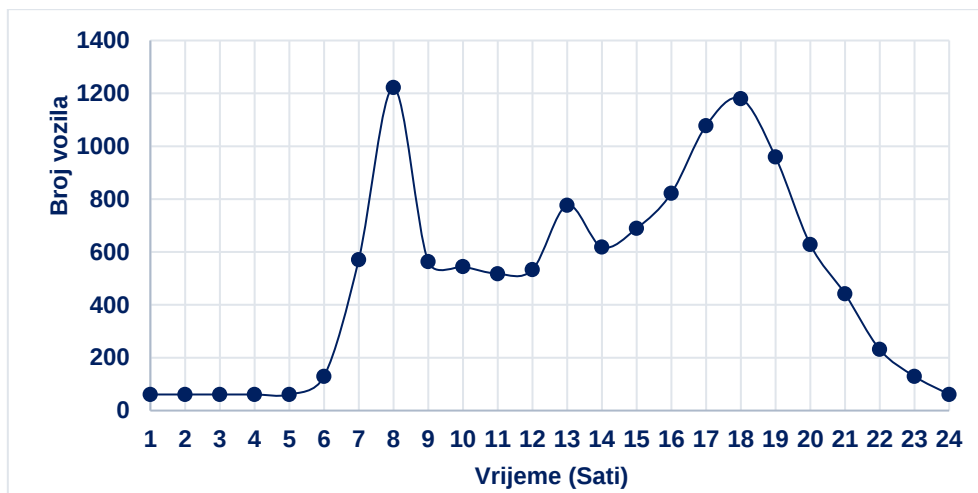
Opis	jedinica	E1	E2
Čelični nosači	[kg]	413 337	548 918
Konstrukcijski čelik S460	[kg]	394 028	-
Konstrukcijski čelik S355	[kg]	19 309	45 168
Konstrukcijski čelik H1STAR 460	[kg]	-	503 750
Moždanci	[kg]	550	2 128
Čelične ploče	[kg]	-	44 143
Precobeam armatura BST 500 S	[kg]	253 556	-
Armatura S500	[kg]	313 416	450 000
Poprečna armatura	[kg]	83 204	
Armatura betonske ploče	[kg]	230 212	
Precobeam beton C40/50	[m3]	682	-
Beton poprečnih nosača	[m3]	571	466
Betonska ploča	[m3]	982	1455

(*) vrijednosti iskazane podebljano su ukupne sume vrijednosti koje su ispisane tekstom u kurzivu

3.2 Analiza prometa

Pretpostavlja se da autocesta propušta prosječni dnevni promet (ADT) od 12000 vozila/dan u osnovnoj godini studije. Također se smatra da su postotci lakih vozila i teških vozila 88% i 12% od ADT-a. Raspodjela prometa po satima prikazana na slici 51 pretpostavljena je za autocestu.

Važno je napomenuti da rast prometa tijekom vremena slijedi jednadžbu (3) (vidi Priručnik I, Dio A, točka 5.3. [3]) gdje se razmatra stopa rasta od 0,5%.



Slika 51: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva E1 i E2

3.3 Analiza okoliša u životnom ciklusu

3.3.1 Faza proizvodnje materijala

Ova faza uzima u obzir proizvodnju svih materijala potrebnih za izgradnju kolničke ploče mosta, prema slici 52. Podaci su prikupljeni iz izvora navedenih u tablici 5.



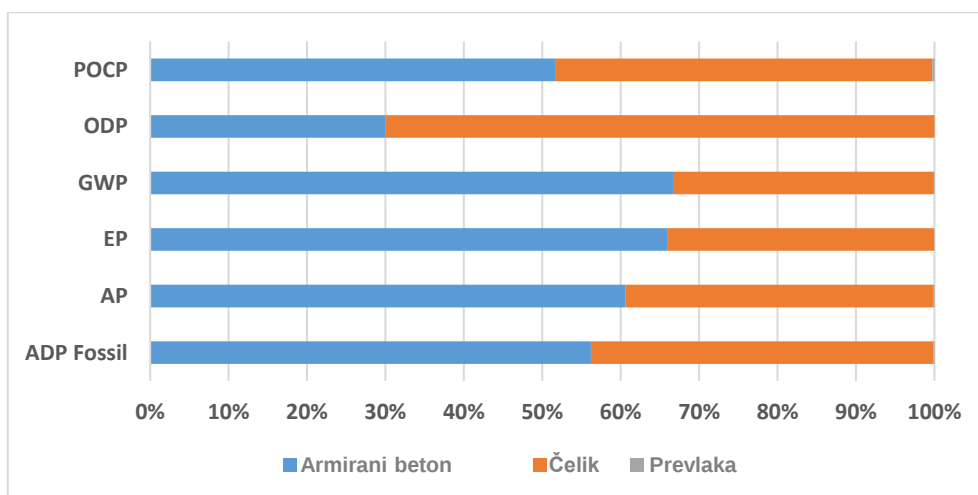
Slika 52: Faza proizvodnje materijala

- *Analiza okoliša referentnog slučaja E1*

Rezultati dobiveni za fazu izgradnje prikazani su u tablici 29. Proizvodnja konstrukcijskog čelika i armiranog betona su glavni procesi koji doprinose globalnim utjecajima u fazi proizvodnje materijala. Isti su rezultati grafički prikazani na slici 53.

Tablica 29: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [E1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Čelik	Prevlaka
ADP Fossil	MJ	1,87E+07	1,05E+07	8,16E+06	2,55E+04
AP	Kg SO2 eq	5,31E+03	3,22E+03	2,08E+03	5,32E+00
EP	Kg PO4 eq	4,77E+02	3,14E+02	1,62E+02	2,58E-01
GWP	Kg CO2 eq	2,17E+06	1,45E+06	7,23E+05	1,58E+03
ODP	Kg R11 eq	2,33E-02	6,99E-03	1,63E-02	2,95E-09
POCP	Kg C2H4	7,63E+02	3,95E+02	3,66E+02	2,07E+00



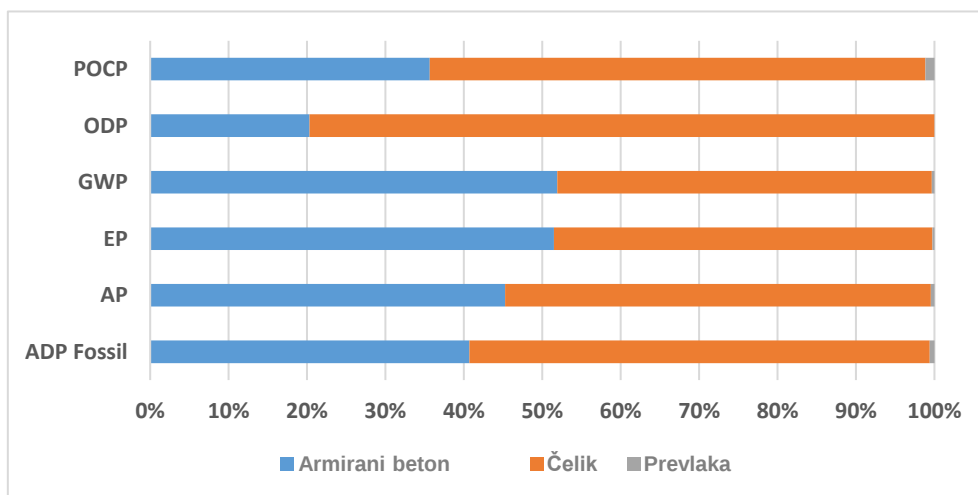
Slika 53: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [E1]

- Analiza okoliša za varijantu E2

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja E2 prikazani su u tablici 30 i slici 54. Tablica 31 prikazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja E1.

Tablica 30: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [E2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Čelik	Bojanje
ADP Fossil	MJ	2,07E+07	8,41E+06	1,21E+07	1,24E+05
AP	Kg SO2 eq	5,72E+03	2,59E+03	3,11E+03	2,60E+01
EP	Kg PO4 eq	4,96E+02	2,55E+02	2,39E+02	1,26E+00
GWP	Kg CO2 eq	2,26E+06	1,17E+06	1,08E+06	7,73E+03
ODP	Kg R11 eq	2,73E-02	5,55E-03	2,18E-02	1,44E-08
POCP	Kg C2H4	8,77E+02	3,13E+02	5,54E+02	1,01E+01



Slika 54: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [E2]

Tablica 31: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala za slučaj E2 u odnosu na slučaj E1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja E1	Studija slučaja E2	Varijacija u odnosu na E1
ADP Fossil	MJ	1,87E+07	2,07E+07	+10,6%
AP	Kg SO2 eq	5,31E+03	5,72E+03	+7,9%
EP	Kg PO4 eq	4,77E+02	4,96E+02	+4,1%
GWP	Kg CO2 eq	2,17E+06	2,26E+06	+3,9%
ODP	Kg R11 eq	2,33E-02	2,73E-02	+17,0%
POCP	Kg C2H4	7,63E+02	8,77E+02	+15,0%

U usporedbi sa slučajem E1, u slučaju E2 izračunat je veći utjecaj u svakoj kategoriji utjecaja u fazi proizvodnje materijala.

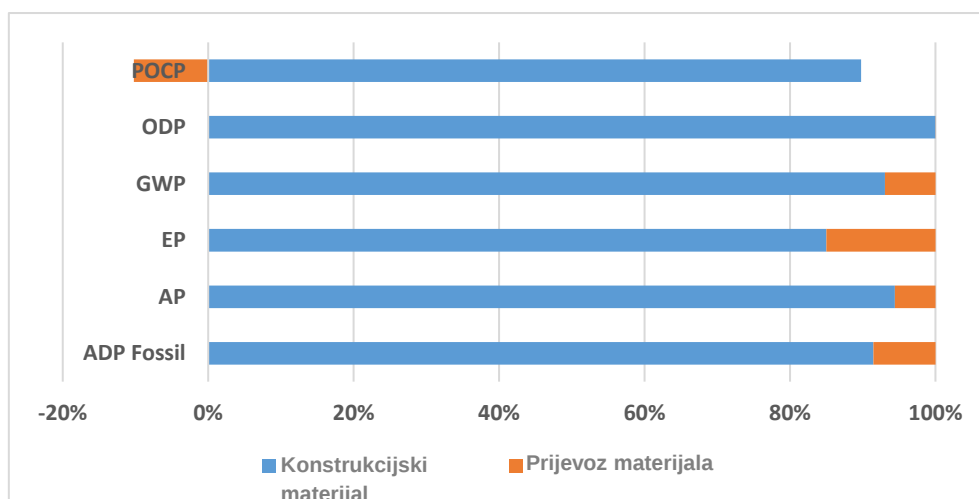
3.3.2 Faza izgradnje

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja E1*

Rezultati faze izgradnje za referentnu studiju slučaja E1 prikazani su u tablici 32 i ilustrirani na slici 55. Operacije vezane uz konstrukcijske materijale i njihov prijevoz predstavljaju glavni doprinos utjecajima na okoliš u ovoj fazi.

Tablica 32: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [E1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Konstrukcijski materijal	Prijevoz materijala
ADP Fossil	MJ	9,36E+05	8,57E+05	7,99E+04
AP	Kg SO ₂ eq	2,32E+02	2,19E+02	1,29E+01
EP	Kg PO ₄ eq	2,05E+01	1,74E+01	3,07E+00
GWP	Kg CO ₂ eq	8,33E+04	7,75E+04	5,79E+03
ODP	Kg R11 eq	1,17E-03	1,17E-03	1,94E-09
POCP	Kg C ₂ H ₄	3,18E+01	3,58E+01	-4,08E+00



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan učinak na kategoriju okoliša POCP [4]. Pogledajte točku 1.4.6.

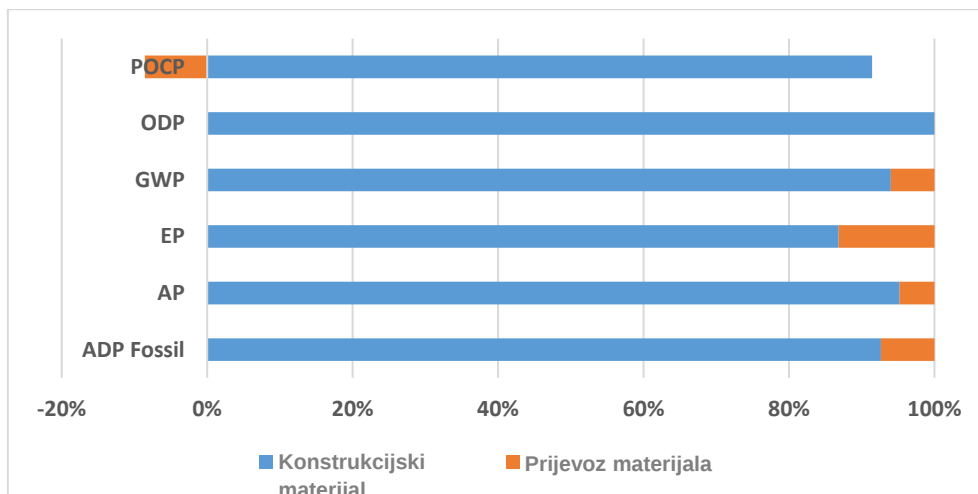
Slika 55: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja E1

- *Analiza okoliša varijante E2*

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja E2 prikazani su u tablici 33 i slici 56. Tablica 34 prikazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja E1.

Tablica 33: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [E2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Konstrukcijski materijal	Prijevoz materijal
ADP Fossil	MJ	1,04E+06	9,64E+05	7,65E+04
AP	Kg SO ₂ eq	2,59E+02	2,46E+02	1,24E+01
EP	Kg PO ₄ eq	2,23E+01	1,94E+01	2,94E+00
GWP	Kg CO ₂ eq	9,25E+04	8,69E+04	5,55E+03
ODP	Kg R11 eq	1,37E-03	1,37E-03	1,86E-09
POCP	Kg C ₂ H ₄	3,77E+01	4,16E+01	-3,91E+00



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan učinak na kategoriju okoliša POCP [4]. Pogledajte točku 1.4.6.

Slika 56: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja E2

Tablica 34: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje za slučaj E2 u odnosu na slučaj E1

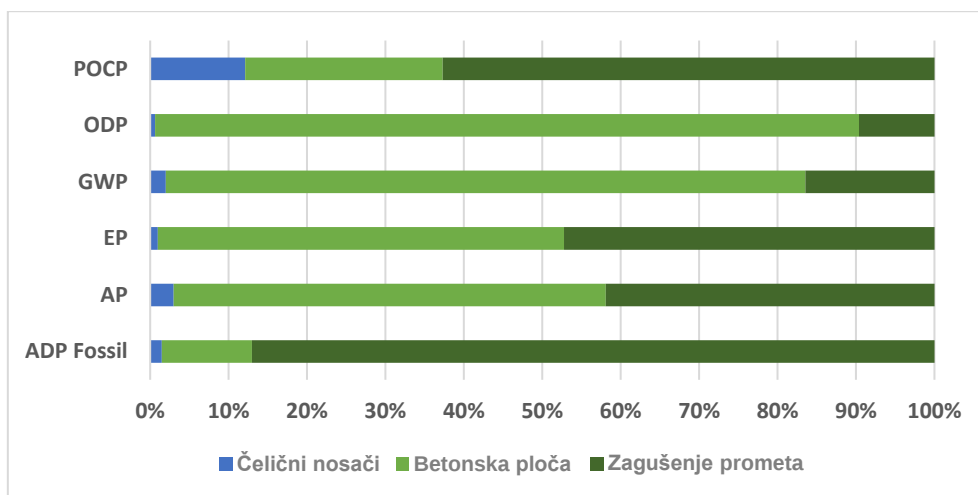
Kategorija utjecaja	Jedinica	Slučaj E1	Slučaj E2	Varijacija u odnosu na E1
ADP Fossil	MJ	9,36E+05	1,04E+06	+11,1%
AP	Kg SO2 eq	2,32E+02	2,59E+02	+11,7%
EP	Kg PO4 eq	2,05E+01	2,23E+01	+9,0%
GWP	Kg CO2 eq	8,33E+04	9,25E+04	+11,0%
ODP	Kg R11 eq	1,17E-03	1,37E-03	+17,0%
POCP	Kg C2H4	3,18E+01	3,77E+01	+18,8%

Uočeno je da doprinos konstrukcijskih materijala čini više od 80% ukupnog utjecaja. Slučaj E2 rezultirao je ponovno relativno većim udjelom od slučaja E1 u ovoj fazi.

3.3.3 Faza korištenja

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja E1*

Rezultati faze korištenja, za referentnu studiju slučaja E1, prikazani su na slici 57 za plan "dnevnog rada" i standardni scenarij održavanja.



Slika 57: Analiza doprinosa procesa tijekom faze korištenja (dnevni rad) E1

Utjecaji na okoliš u scenariju "noćni rad" prikazani su i uspoređeni s rezultatima scenarija "dnevnog rada" u tablici 35.

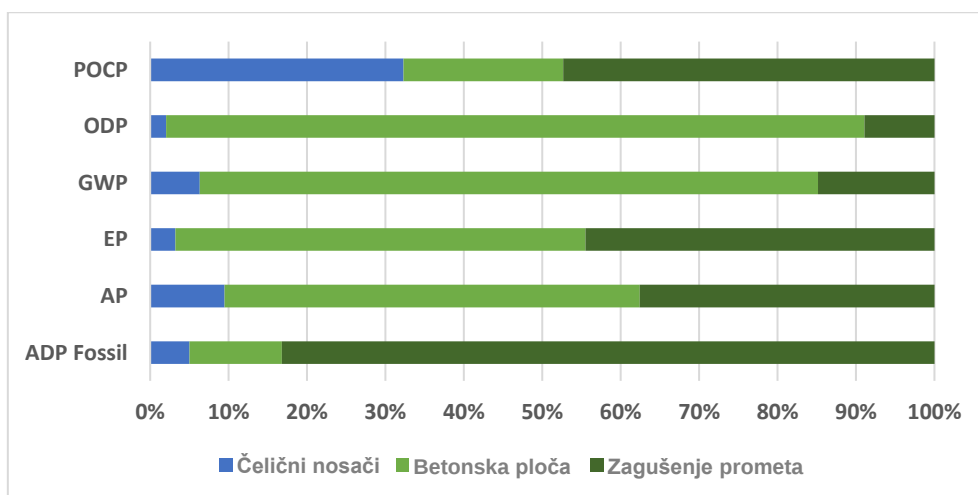
Tablica 35: Utjecaji na okoliš za slučaj E1, usporedba dnevnog i noćnog rada

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja E1 „dan“	Studija slučaja E1 „noć“	Varijacija u odnosu na E1 „dan“
ADP Fossil	MJ	4,45E+06	4,38E+06	-1,6%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,62E+02	4,58E+02	-0,8%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,94E+01	6,88E+01	-0,9%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,08E+05	2,07E+05	-0,3%
ODP	Kg R11 eq.	1,23E-06	1,23E-06	-0,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,44E+01	4,39E+01	-1,2%

U oba scenarija može se uočiti da je glavni doprinos za sve kategorije utjecaja vezan uz održavanje betonske kolničke ploče i zagušenja prometa. Doprinos zagušenja prometa nije pokazao značajno smanjenje u slučaju noćnog scenarija za ovaj slučaj. Blago smanjene (<2%) vrijednosti izračunate su u svim kategorijama utjecaja. To je uglavnom zbog prirode ograničenog broja analiziranih konstrukcijskih elemenata obuhvaćenih u ovoj studiji slučaja. Površina ceste, ležajevi, prijelazne naprave i ostali elementi nisu uključeni u dostupne podatke o mostu za ovu studiju slučaja.

- *Analiza okoliša varijante E2*

Dobiveni rezultati za varijantu slučaja E2 prikazani su na slici 58 i tablici 36 uz pretpostavku scenarija "dnevnog rada" za sve studije slučajeva. Ova tablica također pokazuje varijaciju rezultata u odnosu na referentnu studiju slučaja E1.



Slika 58: Analiza doprinosa procesa tijekom faze korištenja (E1 dnevni rad)

Tablica 36: Utjecaji na okoliš za slučaj E2 uspoređeni sa slučajem E1 u fazi korištenje (dnevni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja E1	Studija slučaja E2	Varijacija u odnosu na E1
ADP Fossil	MJ	4,45E+06	6,44E+06	+44,6%
AP	Kg SO2 eq	4,62E+02	7,12E+02	+54,2%
EP	Kg PO4 eq	6,94E+01	1,02E+02	+46,8%
GWP	Kg CO2 eq	2,08E+05	3,18E+05	+53,3%
ODP	Kg R11 eq	1,23E-06	1,84E-06	+49,3%
POCP	Kg C2H4	4,44E+01	8,14E+01	+83,2%

S obzirom na scenarij "noćni rad", rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja E2 prikazani su u tablici 37.

Tablica 37: Utjecaji na okoliš za slučaj E2 uspoređeni s slučajem E1 u fazi korištenje (noćni rad)

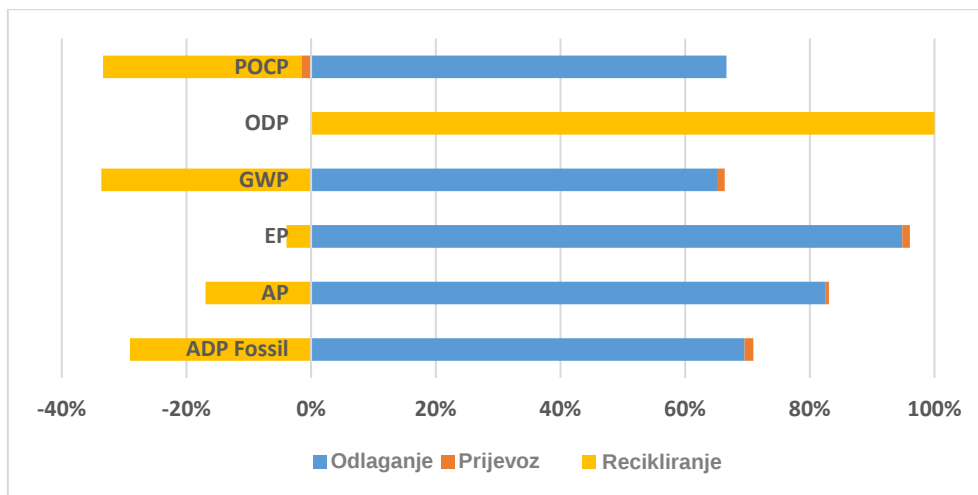
Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja E1	Studija slučaja E2	Varijacija u odnosu na E1
ADP Fossil	MJ	4,38E+06	6,34E+06	+44,7%
AP	Kg SO2 eq	4,58E+02	7,07E+02	+54,3%
EP	Kg PO4 eq	6,88E+01	1,01E+02	+46,9%
GWP	Kg CO2 eq	2,07E+05	3,17E+05	+53,3%
ODP	Kg R11 eq	1,23E-06	1,84E-06	+49,4%
POCP	Kg C2H4	4,39E+01	8,07E+01	+83,7%

U oba scenarija i dnevni i noćni rad, referentna studija slučaja E1 pokazuje da ima manje utjecaja u svim kategorijama. Ova razlika proizlazi iz znatno veće površine čelika koja zahtijeva zaštitu od korozije u slučaju E2. PRECOBEAM ima znatno manju izloženu površinu jer je većina presjeka ugrađena u beton (sve osim vanjske površine donje pojasnice koja je zaštićena.)

3.3.4 Faza na kraju životnog vijeka

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja E1*

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze navedene su u tablici 38. Slika 59 ukazuje na doprinos svakog procesa po kategoriji utjecaja. Negativne vrijednosti na slici predstavljaju doprinose dobivene procesima recikliranja.

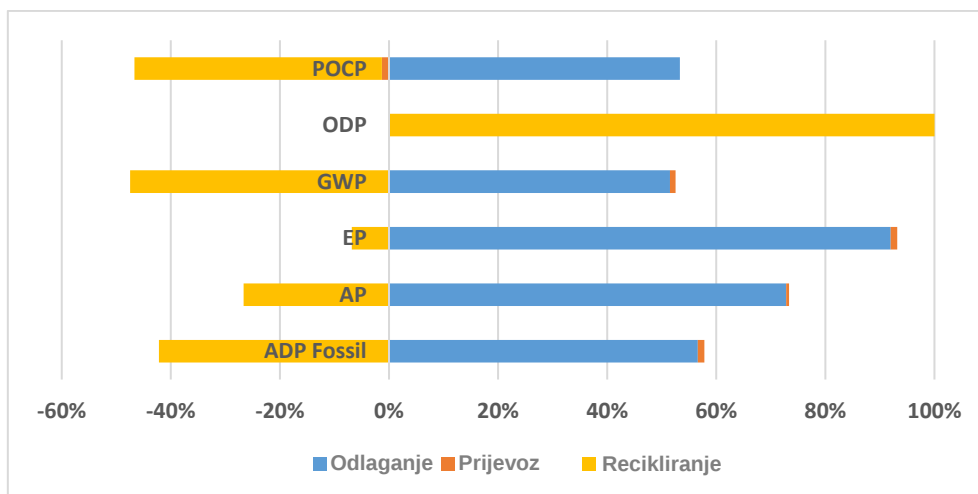


Slika 59: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj E1

Zbrinjavanje ima najveći utjecaj u svim kategorijama dok je recikliranje povoljno za okoliš u svim kategorijama utjecaja osim ODP.

- *Analiza okoliša varijante E2*

Kao što se može vidjeti na slici 60, zbrinjavanje ima najveći utjecaj u svim kategorijama dok prijevoz ima najmanje utjecaja. Recikliranje pridonosi okolišu u svim kategorijama utjecaja osim ODP-a.



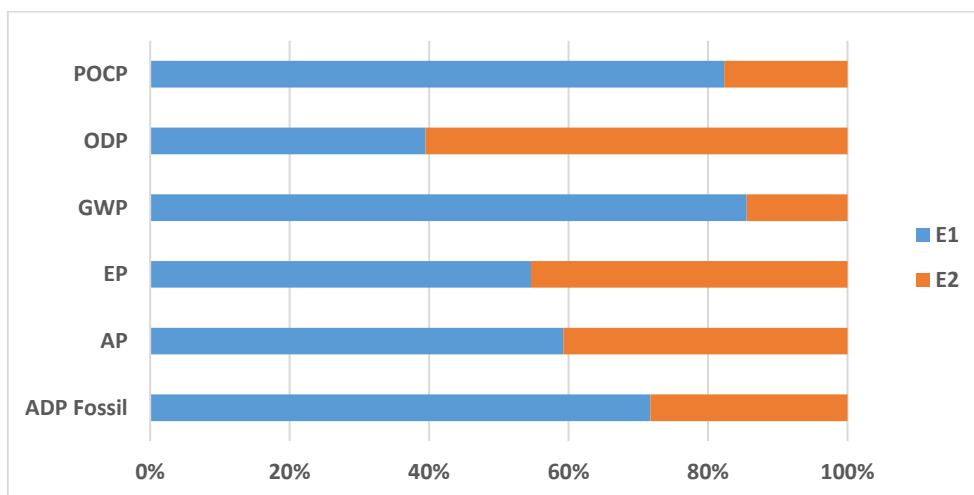
Slika 60: Analiza doprinosa procesa za vrijeme faze na kraju životnog vijeka – slučaj E2

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze za varijantu studije slučaja E2 prikazane su u tablici 38. Ova tablica također pokazuje varijaciju rezultata za ovu studiju slučaja u usporedbi s referentnom studijom slučaja E1. Ovi rezultati također su ilustrirani na slici 61.

Tablica 38: Varijacija rezultata za fazu na kraju životnog vijeka u odnosu na studiju slučaja E1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja E1	Studija slučaja E2	Varijacija u odnosu na E1
ADP Fossil	MJ	3,65E+06	1,44E+06	-60,6%
AP	Kg SO2 eq	2,24E+03	1,54E+03	-31,2%
EP	Kg PO4 eq	3,69E+02	3,07E+02	-16,9%
GWP	Kg CO2 eq	2,35E+05	3,98E+04	-83,1%
ODP	Kg R11 eq	7,68E-03	1,18E-02	+53,2%
POCP	Kg C2H4	1,34E+02	2,88E+01	-78,5%

Prema ovim rezultatima može se zaključiti da je u ovoj fazi referentni primjer doveo do većih utjecaja. E1 ima veći volumen betona koji postaje teret za okoliš nakon rušenja i manji volumen čelika što bi dovelo do manje mogućnosti recikliranja. To bi u ovoj fazi bilo poželjnije nego u slučaju E2. Rezultati u kategoriji utjecaja ODP mogu se objasniti kako slijedi. Proces recikliranja (prijevoz uključen) pogoduje okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim potencijala oštećenja ozonskog omotača, gdje proces samog recikliranja dovodi do takvih emisija. S manje čelika za recikliranje u slučaju E1 postoji manje recikliranja koje rezultira manjim emisijama povezanim s ODP-om. Međutim, imajte na umu da je veličina ovih emisija vrlo mala (red veličine 10^{-2} ili manje).



Slika 61: Analiza doprinosa svakog mosta tijekom faze na kraju životnog vijeka

3.3.5 Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu

- Ukupni rezultati životnog ciklusa za studiju slučaja E1

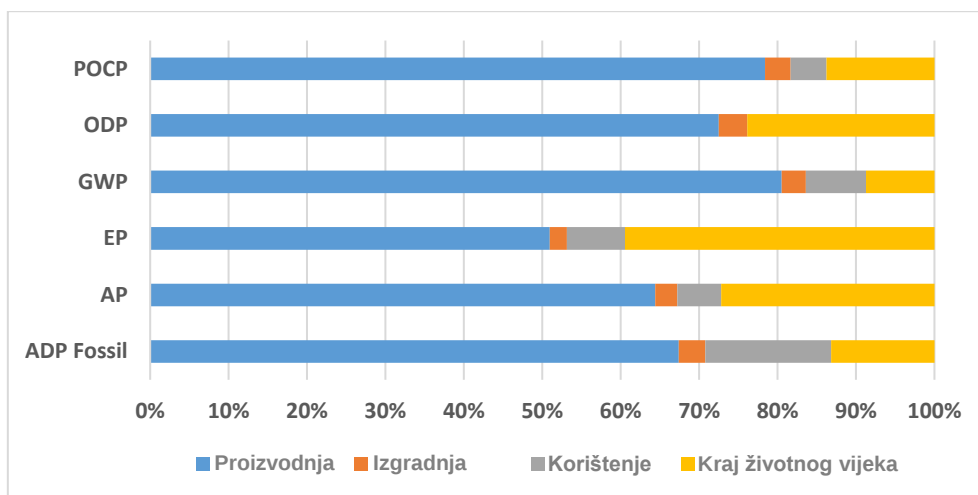
U prethodnim točkama prikazani su djelomični rezultati po fazama. U ovoj točki rezultati različitih faza su sažeti u odnosu na svaku kategoriju utjecaja, a zbirni rezultati prikazani su u tablici 39, s obzirom na plan "dnevnog rada" i standardni scenarij održavanja.

Tablica 39: Rezultati životnog ciklusa po fazama životnog ciklusa (scenarij "dnevni rad")

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Materijal	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	2,77E+07	1,87E+07	9,36E+05	4,45E+06	3,65E+06
AP	Kg SO2 eq	8,24E+03	5,31E+03	2,32E+02	4,62E+02	2,24E+03
EP	Kg PO4 eq	9,36E+02	4,77E+02	2,05E+01	6,94E+01	3,69E+02
GWP	Kg CO2 eq	2,70E+06	2,17E+06	8,33E+04	2,08E+05	2,35E+05
ODP	Kg R11 eq	3,22E-02	2,33E-02	1,17E-03	1,23E-06	7,68E-03
POCP	Kg C2H4	9,73E+02	7,63E+02	3,18E+01	4,44E+01	1,34E+02

Da bismo bolje razumjeli doprinos svake faze na ukupni rezultat, ovi su rezultati također prikazani na slici 62.

Faza proizvodnje materijala je faza koja najviše doprinosi svim kategorijama utjecaja. Faze na kraju životnog vijeka zauzima drugi glavni doprinos za kategorije utjecaja. Faza korištenja također znatno pridonosi dok faza izgradnje ima relativno nizak doprinos za sve kategorije utjecaja.



Slika 62: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja (scenarij "dnevni rad")

- *Ukupni rezultati životnog ciklusa za E2*

Rezultati dobiveni za varijantu studiju slučaja E2 prikazani su u tablici 40, s obzirom na scenarij "dnevnog rada" u svim slučajevima. Tablica 41 pokazuje varijaciju rezultata ove studije slučaja u odnosu na referentnu studiju slučaja E1.

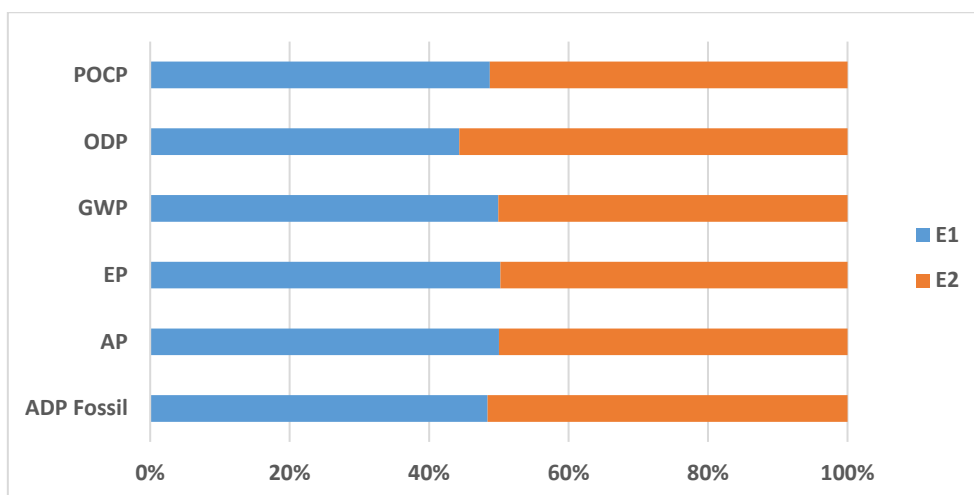
Tablica 40: Rezultati životnog ciklusa po fazama životnog ciklusa (scenarij "dnevni rad")

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	2,96E+07	2,07E+07	1,04E+06	6,44E+06	1,44E+06
AP	Kg SO ₂ eq	8,24E+03	5,72E+03	2,59E+02	7,12E+02	1,54E+03
EP	Kg PO ₄ eq	9,27E+02	4,96E+02	2,23E+01	1,02E+02	3,07E+02
GWP	Kg CO ₂ eq	2,71E+06	2,26E+06	9,25E+04	3,18E+05	3,98E+04
ODP	Kg R11 eq	4,04E-02	2,73E-02	1,37E-03	1,84E-06	1,18E-02
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,03E+03	8,77E+02	3,77E+01	8,14E+01	2,88E+01

Tablica 41: Varijacija ukupnih rezultata u odnosu na studiju slučaja E1 (scenarij "dnevni rad")

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja E1	Studija slučaja E2	Varijacija u odnosu na E1
ADP Fossil	MJ	2,77E+07	2,96E+07	+6,7%
AP	Kg SO ₂ eq	8,24E+03	8,24E+03	-0,0%
EP	Kg PO ₄ eq	9,36E+02	9,27E+02	-0,9%
GWP	Kg CO ₂ eq	2,70E+06	2,71E+06	+0,3%
ODP	Kg R11 eq	3,22E-02	4,04E-02	+25,7%
POCP	Kg C ₂ H ₄	9,73E+02	1,03E+03	+5,4%

Da bismo bolje razumjeli doprinos svake studije slučaja na ukupni rezultat, rezultati su također prikazani na slici 63. Rezultati u ODP-u mogu se objasniti kako slijedi.



Slika 63: Doprinos svake studije slučaja na kategoriju utjecaja (scenarij „dnevni rada“)

Kao što se može vidjeti iz gornjih ilustracija, obje studije slučajeva rezultiraju usporedivim utjecajem u svim kategorijama, pri čemu referentni slučaj dobiva blagu prednost u kategoriji utjecaja ODP. Rezultati u kategoriji utjecaja ODP mogu se objasniti kako slijedi. Proces recikliranja (uključujući prijevoz) pogoduje okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim potencijala oštećenja ozonskog omotača, gdje proces samog recikliranja stvara takve emisije. S manje čelika za recikliranje u slučaju E1 postoji manje recikliranja koja rezultira manjim emisijama povezanim s ODP-om. Međutim, imajte na umu da je veličina ovih emisija vrlo mala (red veličine 10^{-2} ili niže).

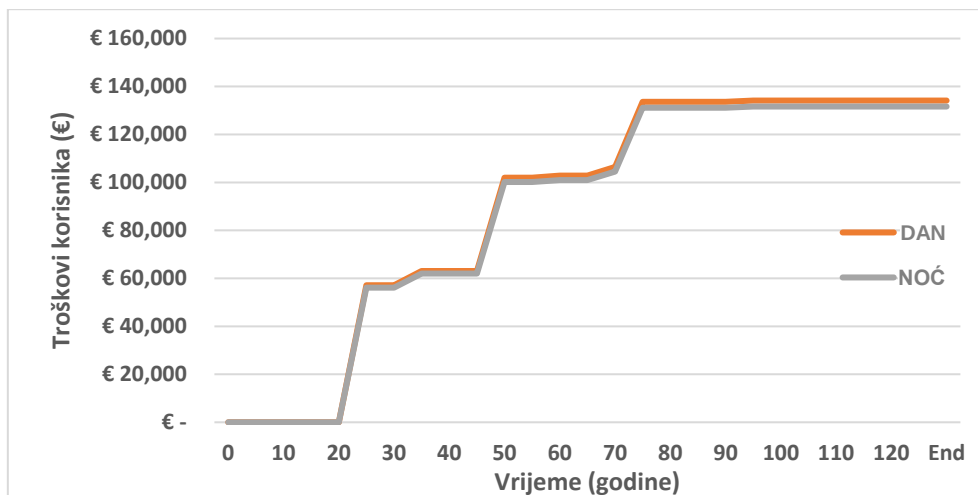
3.4 Analiza troškova životnog ciklusa

Zbog nedostatka podataka o troškovima, analiza troškova životnog ciklusa nije mogla biti izrađena u ovom izvješću.

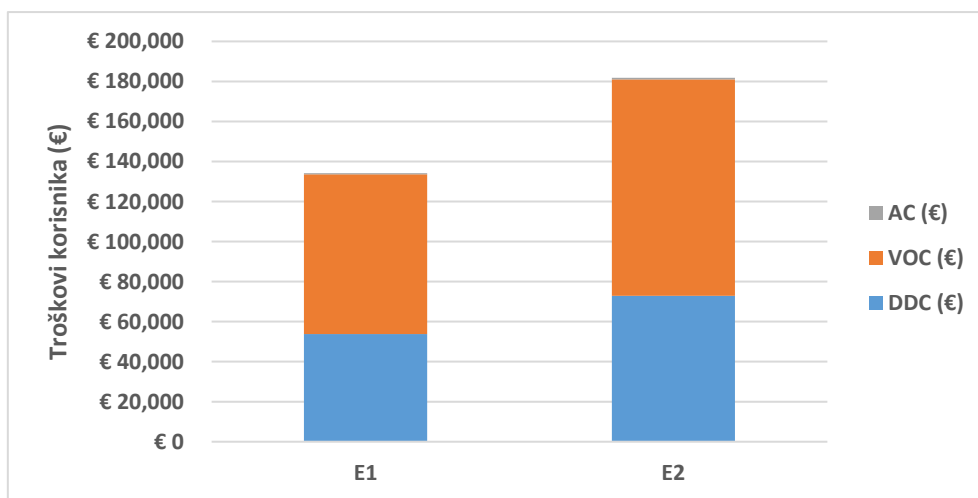
3.5 Analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta

Proučena su dva scenarija održavanja za izračun korisničkih troškova: (i) scenarij "dan" u kojem se većina radnji obavlja tijekom dana (od 6:00 do 22:00 sata), a most ima jedan trak zatvoren za glavne aktivnosti održavanja (površina ceste / zamjena vodonepropusnog sloja); (ii) scenarij "noć", sličan scenariju "dan", osim što se većina aktivnosti održavanja provodi tijekom noći (od 22:00 do 6:00 sati).

Slika 64 prikazuje troškove korisnika za studiju slučaja E1 sa scenarijima "dan" i "noć". Napominje se da se neugodnost korisnika smanjuje ako se posao provodi tijekom noći jer je promet manji nego tijekom dana.



Slika 64: Troškovi korisnika za studije slučaja E1 sa scenarijima "dan" i "noć"



Slika 65: Troškovi korisnika za studije slučajeva E1 i E2 sa standardnim scenarijem i planom „dnevni rad“

Radnje održavanja u studiji E1 traju 205 dana tijekom cijelog životnog vijeka mosta, dok su u studiji E2 potrebna 283 dana. Razlika se javlja uglavnom zbog veće površine čelika koja zahtijeva održavanje zaštite od korozije u slučaju E2. Ova se razlika odražava u troškovima korisnika koji se mogu vidjeti na slici 65. Troškovi korisnika koji su povezani s slučajem E2 veći su od onih za slučaj E1.

3.6 Diskusija rezultata za slučaj E

Za razliku od prethodna dva slučaja, ova je studija stavila naglasak samo na kolničku ploču mosta. Precobeam rješenje, inovativna metoda gradnje mostova, proučavana je u odnosu na konvencionalni spregnuti most. Kao rezultat, iz analize okoliša u životnom ciklusu zabilježeno je da su faze proizvodnje materijala i kraja životnog vijeka dominirale u svim kategorijama utjecaja. LCA rezultirala je više ili manje istim utjecajem na okoliš za oba slučaja s blagom prednošću za konvencionalno rješenje u kategoriji utjecaja ODP. Troškovi životnog ciklusa nisu ocijenjeni za ovu studiju slučaja.

Još jednom, socijalni aspekti LCA dokazuju da je noćna smjena povoljnija u smanjenju utjecaja na trošak korisnika. Utvrđeni su znatno niži troškovi korisnika koji su povezani sa slučajem Precobeam rješenja, od onih izračunatih za tradicionalni spregnuti most.

4 SAŽETAK I ZAKLJUČCI

U ovom projektu europski partneri sa sveučilišta, istraživačkih centara, cestovnih uprava, projektnih ureda i proizvođači čelika prikupili su svoja znanja i iskustva o čeličnim-spregnutim mostovima. Ove mostove se uobičajeno ne razmatra samo s aspekta učinkovitog početnog stanja i predstavljanja troškova izgradnje nego i kroz čitav životni ciklus. S jedne strane, tijekom njihovog dugog životnog ciklusa mostovi su projektirani za procese degradacije kao što su umor, korozija i karbonatizacija. S druge strane, pregled i održavanje bili su pažljivo provedeni kako bi se mostovi održali u dobrom stanju. Funkcionalna kvaliteta je kombinirana s ekološkom i ekonomskom kvalitetom. Ovim holističkim pristupom (LCA, LCC i LCS) postignuta je procjena kroz životni ciklus.

Glavni cilj ovog Priručnika za projektiranje II su daljnje proširene analize mostova ne samo standardnih situacija pločastih mostova koji su proučavani u projektu SBRI [19] nego također proučavanje izgrađenih mostova diljem Europe s realnim podacima i postojećim situacijama mostova kao što su uvjeti prometa, pregleda i održavanja. Stoga je analizirano nekoliko tipova mostova i inovacija: Integralni nadvožnjak preko autoceste gdje su uzeti u obzir i vruće cinčani nosači, kao i Precobeam most s inovativnom posmičnom vezom.

Mogu se donijeti sljedeći zaključci za svaki tip mosta:

Slučaj D - Inovativni integralni nadvožnjak preko autoceste.

Ovdje je analiziran most koji je bio prvi izveden (sredinom 2014.) s vruće cinčanim nosačima preko autoceste u Njemačkoj. Cilj ove studije slučaja je razraditi i dati smjernice za projektiranje čeličnih spregnutih mostova sa zaštitom korozije usmjerenom na cijeli životni vijek. Usporedba zaštite od korozije provedena je na primjeru integralnog mosta na autocesti. Za čelične nosače, organski premaz za zaštitu od korozije uspoređuje se sa sustavom vrućeg cinčanja i sustavom dupleks koji je nastao tijekom korištenja. Spregnuti most je razmatran tijekom čitavog životnog ciklusa, od proizvodnje, kroz cijelu uporabu do rušenja.

Most koji se ovdje proučava odgovara slučaju A1 iz Priručnika I [3]. To je nadvožnjak preko autoceste s dva prometna traka duljine 45,25 m i širine 11,75 m. To je integralni spregnuti most s integralnim upornjacima bez stupa na sredini autoceste. Tri studije slučajeva koje odgovaraju računskim varijantama zaštite od korozije uzete su za održavanje tijekom cijelog životnog ciklusa mosta, i to:

Slučaj D1 - Zaštita od korozije: Vruće cinčanje (debljina 300 μm) i razmatra se bez obnove tijekom cijelog životnog ciklusa mosta;

Slučaj D2 - Zaštita od korozije: Zaštita organskim premazom i kompletna obnova zaštite od korozije u 33. i 66. godini životnog ciklusa mosta;

Slučaj D3 - Zaštita od korozije: Vruće cinčanje (debljina 200 μm) i primjena organske zaštite od korozije u 66. godini životnog ciklusa mosta.

U studiji slučaja D, iz analize okoliša u životnom ciklusu uočava se da faze proizvodnje materijala i kraja životnog vijeka dominiraju svim kategorijama utjecaja. Opcija koja je koristila konvencionalni premaz rezultirala je većim utjecajima na okoliš i korisnike zbog ponovljenih operacija održavanja na zaštitnim slojevima čeličnih nosača. Vidljivo je da su cjelokupni

rezultati poboljšani ako se većina poslova održavanja obavlja noću. Noćna smjena omogućuje smanjenje utjecaja zbog činjenice da je prometna aktivnost manja noću.

U pogledu početnih troškova, tj. troškova proizvodnje i izgradnje, tri opcije zaštite od korozije vode ka relativno sličnim troškovima s malom prednošću za slučaj običnog premaza čelika. Na kraju životnog vijeka troškovi su isti za sve tri opcije. Međutim, prva opcija, vruće pocinčani čelik (debljina cinka 300 μm), pokazao je značajno smanjenje troškova u fazi korištenja jer nema potrebe za održavanjem tijekom životnog vijeka mosta. Druga opcija, koja je zahtijevala dva potpuna obnavljanja – organskim premazom - slojeva za zaštitu od korozije, rezultirala je višim troškovima korištenja. Treća opcija, gdje je usvojena dupleks shema premazivanja, je jeftinija od druge, ali je još uvijek skuplja od prve opcije. Zaključno, može se reći da se vruće cinčanje predstavlja najbolju opciju u smislu ukupnog troška životnog ciklusa.

Još jednom, socijalni aspekti analize životnog ciklusa dokazuju da je noćna smjena povoljna u smanjenju utjecaja na trošak korisnika. Troškovi korisnika koji su povezani sa slučajem D1 bili su 29,8% i 11,9% niži od onih za slučajeve D2 i D3. Uspoređujući LCC od tri opcije s uključenim troškovima korisnika, vruće pocinčani most je 21,3% jeftiniji od onog s uobičajenim organskim premazom, umjesto 5,4% razlike, ukoliko se ne uzme u obzir troškove korisnika. Također je zabilježeno da troškovi korisnika čine više od 65% ukupnih troškova životnog ciklusa.

Slučaj E - inovativni spregnuti most PRECOBEAM

Rješenje Precobeam (montažni spregnuti nosač) je nova metoda gradnje mostova patentirana početkom novog tisućljeća. To je primjer ekonomskog rješenja mostova s valjanim nosačima i visokim stupnjem predgotovljenosti. Ova metoda se temelji na valjanom čeličnom nosaču, izrezanom uzdužno u dva T-profila posebnog oblika. Taj oblik funkcionira kao kontinuirana posmična veza koja omogućava posmičnu vezu između profila i ploče bez uporabe moždanika te stoga i bez zavarivanja. Metoda je vrlo fleksibilno rješenje koje nudi različite mogućnosti poprečnog presjeka prema zahtjevima projektiranja.

U okviru ovog projekta analiziran je Precobeam most (most E1), WA-352 vijadukt - WA-352 417 + 449 preko PKP linija 146 na cesti DK 1. Kako bi se istaknulo prednosti Precobeam sustava, most E2, projektirano je i analizirano rješenje pomoću predgotovljenih spregnutih elemenata: kolničke ploče mosta s djelomično predgotovljenim spregnutim elementima na osnovi valjanih nosača i betonskih poprečnih greda.

Za razliku od prethodna dva slučaja, studije slučajeva E stavljaju naglasak samo na kolničku ploču mosta. Precobeam rješenje, inovativna metoda gradnje mostova, proučavana je u odnosu na konvencionalno rješenje spregnutog mosta. Kao rezultat, iz analize okoliša u životnom ciklusu zabilježeno je da su faze proizvodnje materijala i kraja životnog vijeka dominirale u svim kategorijama utjecaja. LCA rezultirala je više ili manje istim utjecajem na okoliš za oba slučaja s blagom prednošću za konvencionalno rješenje u kategoriji utjecaja ODP. Troškovi životnog ciklusa nisu ocijenjeni za ovu studiju slučaja.

Što se tiče socijalnih aspekata, LCA dokazuje da je noćna smjena povoljnija u smanjenju utjecaja na trošak korisnika. Utvrđeni su znatno niži troškovi korisnika koji su povezani sa slučajem Precobeam rješenja od onih izračunatih za tradicionalni spregnuti most.

LITERATURA

- [1] ThinkStep, "GaBi" [Computer Program], Leinfelden-Echterdingen, Germany, 2015.
- [2] "Feuerverzinkte Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche," IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Düsseldorf, Deutschland, 2013.
- [3] "SBRI+ Design Manual 1 - General Information and Worked Examples," Research Fund for Coal and Steel (RFCS) of the European Community, 2017.
- [4] J. Guinée, M. Gorée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S. Suh and H. Udo de Haes, Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2002.
- [5] SCHWEIZERISCHE FACHSTELLE FEUERVERZINKEN, "Stahlbrücken," 2013. [Online]. Available: <http://www.verzinkereien.info/sff/templates/index.php?pid=stahlbruecken>. [Accessed 14 Oktober 2013].
- [6] MERKBLATT 405, „Korrosionsschutz von Stahlkonstruktionen durch Beschichtungssysteme," Stahl-Information-Zentrum, Düsseldorf, 2005.
- [7] DIN EN ISO 12944-2, „Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme. Teil 2: Einteilung der Umgebungsbedingungen," Deutsches Institut für Normung, Berlin, 1998.
- [8] BAST, „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-Ing. Teil 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. Abschnitt 3 Korrosionsschutz von Stahlbauten," Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Dez. 2012.
- [9] DIN EN ISO 1461, „Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken) - Anforderungen und Prüfungen," Deutsches Institut für Normung, Berlin, 2009.
- [10] INSTITUT FEUERVERZINKEN, „50 Jahr und mehr - Umweltmündesamt liefert Daten zur Bestimmung der Schutzdauer einer Feuerverzinkung," 2013a. [Online]. Available: www.feuverzinken.com. [Zugriff am 14. Oktober 2013].
- [11] DIN EN ISO 12944-5, „Beschichtungsstoffe - Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme. Teil 5: Beschichtungssysteme," Deutsches Institut für Normung, 2008, 2008.
- [12] INSTITUT FEUERVERZINKEN, „Korrosionsschutz durch Duplex-Systeme (Feuerverzinken + Beschichten) mit Verbände-Richtlinie Duplex-Systeme," 2013b. [Online]. Available: www.feuverzinken.com. [Zugriff am 14 Oktober 2013].
- [13] P. Seshadri and R. Harrison, "Workzone mobile source emission prediction," Center for transportation research, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1993.

- [14] ThinkStep, "GaBi Envision" [Computer Program], Leinfelden-Echterdingen, Germany., 2015.
- [15] ISO 14040 - Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [16] ISO 14044 Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [17] IPCC, Fourth Assessment Report – Climate Change 2007, Geneva, Switzerland.: IPCC., 2007.
- [18] CML, "Operational Guide to the ISO standards, Jeroen B. Guinée (Ed.)," in *Handbook on life cycle assessment*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [19] H. Gervásio, Sustainable design and integral life-cycle analysis of bridges. PhD Thesis, University of Coimbra, 2010.
- [20] B. Y. Alexander M., "A framework for use of durability indexes in performance-based design and specifications for reinforced concrete structures," *Materials and Structures*, vol. 41, pp. 921-936, 2008.
- [21] University of Coimbra (UC), Multi-criteria analysis. Report in the framework of SBRI - Sustainable Steel-Composite Bridges in Built Environment (RFSR-CT- 2009-00020)., Coimbra: University of Coimbra (UC) and GIPAC. Lda., 2012.
- [22] FOSTA P843 - NaBrü, "Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit," Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 2014.
- [23] FOSTA P835, "Feuerverzinken im Stahl- und Verbundbrückenbau," Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. , Düsseldorf, 2014.
- [24] L. Van Oers, A. De Koning, J. Guinée and G. Huppes, Abiotic resource depletion in LCA. Improving characterisation factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA handbook., Delft, The Netherlands: RWS-DWW, 2002.
- [25] M. Thiery, V. Baroghe-Bouny and A. Orcesi, Durability design of reinforced concrete structures submitted to carbonation by using an probabilistic modeling, Cape Town. South Africa: ICCRRR 2012, 3 - 5 September 2012.
- [26] V. Baroghel-Bouny, Concrete design for structures with predefined service life – Durability control with respect to reinforcement corrosion and alkali-silica reaction. state-of-the-art and guide for the implementation of performance-type and predictive approach based upon du, Association Française de Génie Civil., 2004.

- [27] M. Behzadian, R. Kazemzadeh, A. Albadvi and M. Aghdasi, "PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications," *European Journal of Operational Research*, vol. 200, p. 198–215, 2010.
- [28] J. Geldermann, T. Spengler and O. Rentz, "Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry," *Fuzzy sets and systems*, vol. 115, pp. 45-65, 2000.
- [29] J. Brans, P. Vincke and B. Mareschal, "How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method," *European Journal of Operational Research*, vol. 24, no. 2, p. 228–238, 1986.
- [30] O. Hechler, L. Cajot, P.-O. Martin and A. Bureau, "Efficient and economic design of composite bridges with small and medium spans.," in *7th International Conference on Steel Bridge*, Guimarães ,Portugal., 2008..
- [31] J. Vincke and P. Brans, "A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM.," *Management Science*, vol. 31, p. 641–656, 1985.
- [32] J. P. Brans, "L'ingénierie de la décision Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In R. Nadeau and M. Landry. editors. L'aide à la décision: Nature. Instruments et Perspectives d'Avenir," pp. 183-213, 1982.
- [33] H. Salokangas, ETSI PROJECT (STAGE II), Bridge Life Cycle Optimisation., Espoo, Finland.: Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering, TKK-R-BE3., 2009.
- [34] R. J. Guinée and Heijungs, "A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product life-cycle assessment," *Environmental toxicology and chemistry*, vol. 14, no. 5, pp. 917-925., 1995.
- [35] M. Huijbregts, Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis, The Netherlands: University of Amsterdam, 2001.
- [36] EUR 26322, "Sustainable steel-composite bridges in built environment (SBRI)," Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.

5 POPIS SLIKA

Slika 1: Vruće pocinčani most u Njemačkoj - pogled	4
Slika 2: Vruće pocinčani most u Njemačkoj – poprečni presjek	4
Slika 3: Vruće pocinčani most u Njemačkoj u proizvodnji	4
Slika 4: Precobeam nosač - Varijante konfiguracije PRECO nosača za izgradnju mosta	5
Slika 5 : Precobeam u Poljskoj	5
Slika 6: Poprečni presjek alternative Precobeam koju su projektirali SSF Ingenieure, Munich	6
Slika 7: Faza proizvodnje materijala.....	6
Slika 8: Faza izgradnje	7
Slika 9: Procesi uključeni u fazu na kraju životnog vijeka	9
Slika 10 : Vruće cinčanje čeličnih komponenata (a) Uklanjanje iz kade (b) Vruće pocinčani nosači....	13
Slika 11: Definiranje priključaka kod nosača koji se vruće cinčaju (ovisno o veličini kade i mogućnostima prijevoza)	13
Slika 12: Karta korozije cinka u Njemačkoj prema Agenciji za zaštitu okoliša Njemačke.....	14
Slika 13: Slučaj D - Integralni spregnuti most: a) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek s nosačima promjenjive visine	16
Slika 14: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva D1, D2 i D3.	18
Slika 15: Faza proizvodnje materijala.....	18
Slika 16: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [D1 i D3]	19
Slika 17: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [D2].....	20
Slika 18: Faza izgradnje	21
Slika 19: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za D1, D2, i D3	22
Slika 20: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj D1	23
Slika 21: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj D2.....	24
Slika 22: Relativni doprinosi slučajeva D1 i D2 u fazi na kraju životnog vijeka.....	24
Slika 23: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [D1]	25
Slika 24: Početni trošak slučaja D1	26
Slika 25: Troškovi korištenja slučaja D1 tijekom životnog vijeka	26

Slika 26: Troškovi korištenja slučaja D2 tijekom životnog vijeka	27
Slika 27: Troškovi korištenja slučaja D3 tijekom životnog vijeka	27
Slika 28: Usporedba troškova korištenja između slučajeva D1, D2 i D3	28
Slika 29: Ukupni troškovi životnog ciklusa za D1, D2 i D3	29
Slika 30: Troškovi korisnika za slučaj D1 sa scenarijima “dan” i “noć”	30
Slika 31: Troškovi korisnika za slučaj D2 sa scenarijima “dan” i “noć”	30
Slika 32: Troškovi korisnika za slučaj D3 sa scenarijima “dan” i “noć”	30
Slika 33: Troškovi korisnika za studije slučaja D1, D2 i D3 sa standardnim scenarijem i planom “dnevni rad”	31
Slika 34: Poprečni presjek alternativnog rješenja Precobeam projektiranog od SSF Ingenieure, Munich	32
Slika 35: Shema proizvodnje za Precobeam.....	32
Slika 36: Projektiranje i izrada Precobeam sustava u radionici Arcelor Mittal	33
Slika 37: Oblik modificirane klotoide „engl. Modified clothoid shape (MCL)“ i oblik puzle „engl. puzzle shape (PZ)“	33
Slika 38: Glavni elementi Precobeam sustava.....	34
Slika 39: Prvi vruće pocinčani Precobeam most “Elster bridge Halle-Osendorf (D)” (SSF Ingenieure i ArcelorMittal)	36
Slika 40: Precobeam korišten na mostu Vigaun, Austria	36
Slika 41: Daljnji razvoj Precobeam tehnologije, čelični hrptovi promjenjive visine.....	36
Slika 42: Precobeam most, autocesta D1, objekt WA352, slučaj E1, uzdužni pogled.....	37
Slika 43: Precobeam most, autocesta D1, objekt WA352, slučaj E1, poprečni presjek	37
Slika 44: Precobeam most, autocesta D1 objekt WA352, slučaj E1, uzdužni pogled.....	37
Slika 45: Predgotovljeni spregnuti nosač, slučaj E2.....	38
Slika 46: Poprečni nosači nad upornjacima	39
Slika 47: Poprečni nosači nad stupovima.....	39
Slika 48: T-rebra i čelne ploče (lijevo), poprečni nosač s čelnim pločama	39
Slika 49 : Poprečni presjek Gdansk kolničke ploče.....	40
Slika 50 : Poprečni presjek Gorzyczki kolničke ploče	40
Slika 51: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva E1 i E2.....	41

Slika 52: Faza proizvodnje materijala.....	41
Slika 53: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [E1].....	42
Slika 54: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [E2].....	42
Slika 55: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja E1	43
Slika 56: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja E2	44
Slika 57: Analiza doprinosa procesa tijekom faze korištenja (dnevni rad) E1.....	45
Slika 58: Analiza doprinosa procesa tijekom faze korištenja (E1 dnevni rad).....	46
Slika 59: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj E1	47
Slika 60: Analiza doprinosa procesa za vrijeme faze na kraju životnog vijeka – slučaj E2	47
Slika 61: Analiza doprinosa svakog mosta tijekom faze na kraju životnog vijeka.....	48
Slika 62: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja (scenarij “dnevni rad”).....	49
Slika 63: Doprinos svake studije slučaja na kategoriju utjecaja (scenarij „dnevni rada“)......	50
Slika 64: Troškovi korisnika za studije slučaja E1 sa scenarijima “dan” i “noć”	51
Slika 65: Troškovi korisnika za studije slučajeva E1 i E2 sa standardnim scenarijem i planom „dnevni rad“	51

6 POPIS TABLICA

Tablica 1: Studije slučajeva mostova u Priručniku II	1
Tablica 2: Standardni scenarij - vrste pregleda, učestalost pregleda i prosječno pojavljivanje: Gubitak cinka u odnosu na korozivnost okoliša (DIN EN ISO 12944-2, 1998)	3
Tablica 3: Prosječni životni vijek za elemente mosta za standardni scenarij održavanja	3
Tablica 4: Standardni scenarij – prosječne učestalosti aktivnosti održavanja/popravaka	3
Tablica 5: Izvori podataka o materijalima i prijevozu.....	6
Tablica 6: Prijevoz materijala za fazu izgradnje	7
Tablica 7: Prijevoz materijala za fazu na kraju životnog vijeka	9
Tablica 8: Gubitak cinka u odnosu na korozivnost okoliša (DIN EN ISO 12944-2, 1998)	14
Tablica 9: Slučajevi za tip mosta D	16
Tablica 10: Količine u slučajevima D1, D2 i D3.....	17
Tablica 11: Procijenjeni prosječni dnevni promet (ADT) ispod mosta.....	18
Tablica 12: Procijenjeni prosječni dnevni promet (ADT) preko mosta	18
Tablica 13: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [D1 & D3]	19
Tablica 14: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [D2]	19
Tablica 15: Utjecaji na okoliš slučaja D2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj D1	20
Tablica 16: Utjecaji na okoliš slučaja D2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj D1 [Samo čelik]	20
Tablica 17: Analiza okoliša referentnih studija slučajeva D1-D3.....	21
Tablica 18: Utjecaji materijala (osim čelika) na okoliš u fazi korištenja.....	22
Tablica 19: Utjecaji na okoliš koji se odnose na zaštitu od korozije čelika u fazi korištenja	22
Tablica 20: Usporedba utjecaja na okoliš od D1, D2 i D3 u fazi korištenja.....	23
Tablica 21: Varijacija rezultata za fazu na kraju životnog vijeka u odnosu na studiju slučaja D1	24
Tablica 22: Rezultati životnog ciklusa po fazama životnog ciklusa	25
Tablica 23: Ukupni utjecaji na okoliš od slučajeva D2 i D3 uspoređeni sa slučajem D1	25
Tablica 24: Sažetak i usporedba početnog troška za slučajeve D2 i D3 u odnosu na slučaj D1	26
Tablica 25: Trošak na kraju životnog vijeka za D1, D2 i D3.....	28

Tablica 26: Ukupni troškovi životnog ciklusa za D1, D2 i D3	29
Tablica 27: Troškovi korisnika za D1, D2 i D3.....	31
Tablica 28: Količine kod slučajeva E1 i E2.....	40
Tablica 29: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [E1].....	41
Tablica 30: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [E2].....	42
Tablica 31: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala za slučaj E2 u odnosu na slučaj E1	42
Tablica 32: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [E1]	43
Tablica 33: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [E2]	43
Tablica 34: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje za slučaj E2 u odnosu na slučaj E1	44
Tablica 35: Utjecaji na okoliš za slučaj E1, usporedba dnevnog i noćnog rada	45
Tablica 36: Utjecaji na okoliš za slučaj E2 uspoređeni sa slučajem E1 u fazi korištenje (dnevni rad) .	46
Tablica 37: Utjecaji na okoliš za slučaj E2 uspoređeni s slučajem E1 u fazi korištenje (noćni rad)	46
Tablica 38: Varijacija rezultata za fazu na kraju životnog vijeka u odnosu na studiju slučaja E1	47
Tablica 39: Rezultati životnog ciklusa po fazama životnog ciklusa (scenarij “dnevni rad”).....	48
Tablica 40: Rezultati životnog ciklusa po fazama životnog ciklusa (scenarij “dnevni rad”).....	49
Tablica 41: Varijacija ukupnih rezultata u odnosu na studiju slučaja E1 (scenarij “dnevni rad”)	49

DODATAK A: SCENARIJI ODRŽAVANJA I OGRANIČENJA PROMETA

Tablica A1: Standardni scenarij održavanja

Oštećenje	Aktivnosti održavanja	Godine																		
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Čelik Čelični nosač – iskorišten	uklanjanje/zamjena																			x
Korozija (male točke/male površine)	zaštita od korozije dijelova površine (1)				x							x							x	
Korozija (kompletno obnavljanje)	kompletno obnavljanje zaštite od korozije (1)						x							x						
Beton Betonska ploča – iskorištena	uklanjanje/zamjena																			x
Korozija armature kolnička ploča	djelomično obnavljanje				x					x					x					x
Betonska rubna greda	djelomično obnavljanje							x								x				
Betonska rubna greda	potpuna zamjena							x								x				
Popravci betonske rubne grede	djelomično obnavljanje				x								x							
Prijelazne naprave Neispravni moduli (u slučaju modularne naprave)	potpuna zamjena							x								x				
Neispravna betonska zaglavija (popravak)	potpuna /djelomična zamjena	x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Pritezanje vijaka	potpuna /djelomična zamjena	x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Čišćenje		x		x		x		x		x		x		x		x		x		
Ležajevi Elastomerni ležajevi – iskorišteni	potpuna zamjena						x							x						
Elastomerni ležajevi (popravak)	djelomična zamjena			x							x							x		
Kalotni ležajevi – iskorišteni	potpuna zamjena																			x
Kalotni ležajevi - održavanje	potpuna /djelomična zamjena																			x
Korozija metalnih elemenata (Sa2 / St3)	bojenje metalnih elemenata						x							x						
Površina kolnika Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena			x				x				x				x				x
Pukotine, kolotrazi, rupe	mali popravci	x		x		x		x		x		x		x		x		x		x
Vodonepropusni sloj Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena							x								x				
Ograde Iskorištene	potpuna zamjena ograda							x								x				
Bojenje	bojenje metalnih elemenata			x				x				x				x				
Žlebovi Zamjena odvodnje	potpuna zamjena				x					x					x					x
Sigurnosna barijera Iskorištene	potpuna zamjena sigurnosnih barijera							x								x				
Sigurnosne barijere – mali popravci	potpuna /djelomična zamjena				x								x							x

(1): razvrstavanje prema trajanju zaštite EN ISO 12944-2 (L=2-5 godina; M=5-15 godina; H>15 godina)

Tablica A2: Ograničenja prometa za slučaj D

Oštećenje	Aktivnosti održavanja	Ograničenja prometa	
		Preko mosta	Ispod mosta
Čelik Čelični nosač – iskorišten	uklanjanje/zamjena	Cesta zatvorena	-
Korozija (male točke/male površine)	zaštita od korozije dijelova površine	Nema ograničenja	Nema ograničenja
Korozija (kompletno obnavljanje)	kompletno obnavljanje zaštite od korozije	Nema ograničenja	1 trak zatvoren po danu
Beton Betonska ploča - iskorištena	uklanjanje/zamjena	Cesta zatvorena	1 trak zatvoren po danu
Korozija armature kolnička ploča	djelomično obnavljanje	1 trak zatvoren po danu	1 trak zatvoren po danu
Betonska rubna greda	tretman cijele površine	Ograničenj brzine	1 trak zatvoren po danu
Betonska rubna greda	tretman djelomične obnove površine	Ograničenj brzine	1 trak zatvoren po danu
Betonska rubna greda	potpuna zamjena	Ograničenj brzine	1 trak zatvoren po danu
Popravci betonske rubne grede	djelomično obnavljanje	Ograničenj brzine	1 trak zatvoren po danu
Prijelazne naprave Neispravni moduli (u slučaju modularne naprave)	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Neispravna betonska zaglavljia (popravak)	potpuna / djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Pritezanje vijaka/djelomična izmjena modula	potpuna / djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
čišćenje		1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Ležajevi Elastomerni ležajevi - iskorišteni	potpuna zamjena	Ograničenj brzine	Nema ograničenja
Elastomerni ležajevi (popravak)	djelomična zamjena	Ograničenj brzine	Nema ograničenja
Kalotni ležajevi - iskorišteni	potpuna zamjena	Ograničenj brzine	Nema ograničenja
Kalotni ležajevi - održavanje	potpuna / djelomična zamjena	Ograničenj brzine	Nema ograničenja
Korozija metalnih elemenata (Sa2 / St3)	bojenje metalnih elemenata	Ograničenj brzine	Nema ograničenja
Površina kolnika Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena habajućeg sloja*	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Pukotine, kolotrazi, rupe	mali popravci	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Vodonepropusni sloj Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Ograde Iskorištene	potpuna zamjena ograda	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	Nema ograničenja
bojenje	bojenje metalnih elemenata	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	Nema ograničenja
oštećenja uzrokovana korozijom	djelomična zamjena	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	Nema ograničenja
Žljebovi Zamjena odvodnje	potpuna zamjena	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	Nema ograničenja
Sigurnosna barijera Iskorištene	potpuna zamjena sigurnosnih barijera	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Sigurnosne barijere – Mali popravci zbog korozije	potpuna / djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
oštećenje uzrokovano nesrećama (čelik)	djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja

*sloj asfalta s velikom količinom bitumena koji se postavlja na vrh postojećeg oštećenog površinskog sloja (i vodonepropusnog sloja)

Tablica A3: Ograničenja prometa za slučaj E

Oštećenje	Aktivnosti održavanja	Ograničenja prometa	
		Preko mosta	Ispod mosta
Čelik Čelični nosač – iskorišten	uklanjanje/zamjena	Cesta zatvorena	-
Korozija (male točke/male površine)	zaštita od korozije dijelova površine	Nema ograničenja	-
Korozija (kompletno obnavljanje)	kompletno obnavljanje zaštite od korozije	Nema ograničenja	-
Beton Betonska ploča – iskorištena	uklanjanje/zamjena	Cesta zatvorena	-
Korozija armature kolnička ploča	djelomično obnavljanje	1 trak zatvoren po danu	-
Betonska rubna greda	tretman cijele površine	Ograničenj brzine	-
Betonska rubna greda	tretman djelomične obnove površine	Ograničenj brzine	-
Betonska rubna greda	potpuna zamjena	Ograničenj brzine	-
Popravci betonske rubne grede	djelomično obnavljanje	Ograničenj brzine	-
Prijelazne naprave			-
Neispravni moduli (u slučaju modularne naprave)	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	-
Neispravna betonska zaglavlja (popravak)	potpuna / djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	-
Pritezanje vijaka/djelomična izmjena modula	potpuna / djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	-
čišćenje		1 trak zatvoren po danu	-
Ležajevi			-
Elastomerni ležajevi - iskorišteni	potpuna zamjena	Ograničenj brzine	-
Elastomerni ležajevi (popravak)	djelomična zamjena	Ograničenj brzine	-
Kalotni ležajevi - iskorišteni	potpuna zamjena	Ograničenj brzine	-
Kalotni ležajevi - održavanje	potpuna / djelomična zamjena	Ograničenj brzine	-
Korozija metalnih elemenata (Sa2 / St3)	bojenje metalnih elemenata	Ograničenj brzine	-
Površina kolnika			-
Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	-
Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena habajućeg sloja*	1 trak zatvoren po danu	-
Pukotine, kolotrazi, rupe	mali popravci	1 trak zatvoren po danu	-
Vodonepropusni sloj			-
Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	-
Ograde			-
Iskorištene	potpuna zamjena ograda	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	-
bojenje	bojenje metalnih elemenata	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	-
oštećenja uzrokovana korozijom	djelomična zamjena	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	-
Žljebovi			-
Zamjena odvodnje	potpuna zamjena	Nema ograničenja/Ograničenj brzine	-
Sigurnosna barijera			-
Iskorištene	potpuna zamjena sigurnosnih barijera	1 trak zatvoren po danu	-
Sigurnosne barijere – Mali popravci	potpuna / djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	-
oštećenje uzrokovano nesrećama (čelik)	djelomična zamjena	1 trak zatvoren po danu	-

*sloj asfalta s velikom količinom bitumena koji se postavlja na vrh postojećeg oštećenog površinskog sloja (i vodonepropusnog sloja)

SBRI+

PRIRUČNIK ZA PROJEKTIRANJE II

Napredne primjene

