

SBRI+ PRIRUČNIK ZA PROJEKTIRANJE I

Opće informacije i riješeni primjeri



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 I

Opće informacije

i

riješeni primjeri

1. izdanje, 2018

Universidade de Coimbra, Portugal

Institute of Structural Design (USTUTT), Germany

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

Domi S.A., Greece



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 I**

Opće informacije i riješeni primjeri

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: 978-953-8168-27-7

Lipanj 2018.

PREDGOVOR

1. izdanje

Prvo izdanje Priručnika za projektiranje I je pripremila Constança Rigueiro sa Sveučilišta u Coimbra-i kao dio RFCS projekta Valorizacija spoznaja o održivosti spregnutih mostova u izgrađenom okolišu (SBRIPPLUS) (ugovor 710068)

Organizacije koje su sudjelovale u projektu SBRIPPLUS 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 Edifício 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 Žitná 4, Praha 16636, Czech Republic www.cvut.cz
Fundacion Tecnalia Research & Innovation Parque Tecnológico De Miramon Pase Donostia-San Sebastian, 20009, Spain www.tecnalia.com	Università 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

Sljedeće osobe su značajno doprinijele pripremi Priručnika za projektiranje I:

- Melaku Seyoum Lemma, Jorge Teixeira, Lilia Pylypchyk, Helena Gervásio, Luis Simões da Silva (Universidade de Coimbra)
- Ana Pascual, Ulrike Kuhlmann (Universität Stuttgart)
- André Orcesi (Institut Français Des Sciences Et Technologies Des Transports, De L'aménagement Et Des Réseaux)
- Marion Charlier (ArcelorMittal)
- Nuno Martins (Brisa Engenharia e Gestão SA)
- Kyriakos Stathopoulos (S. Stathopoulos - K. Farros Consulting Engineers)

Zahvala

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

Europska Unija Research Fund for Coal and Steel.

Sadržaj

PREDGOVOR	III
SADRŽAJ	I
SAŽETAK	1
DIO A: OPĆE INFORMACIJE	2
1 UVOD.....	2
1.1 Općenito	2
1.2 Okvir SBRI-Alata	2
1.3 Ciljevi i područje	3
2 ODRŽIVOST S ANALIZOM ŽIVOTNOG CIKLUSA MOSTOVA.....	3
2.1 Opće definicije.....	3
2.2 Holistički pristup	5
2.3 Ponašanje u životnom ciklusu.....	6
2.3.1 Ponašanje kod umora.....	6
2.3.2 Korozija.....	7
2.3.3 Karbonatizacija	7
2.4 Strategije pregleda i održavanja.....	8
2.4.1 Standardni scenarij.....	8
2.4.2 Scenarij nedostatka novca.....	9
2.4.3 Scenarij produženog životnog vijeka	10
3 ANALIZA OKOLIŠA U ŽIVOTNOM CIKLUSU	11
3.1 Općenito	11
3.2 Cilj i područje LCA analize	12
3.3 Metodologija za procjenu utjecaja.....	13

3.4	Indikatori okoliša	13
3.4.1	Potencijal globalnog zatopljanja (GWP).....	13
3.4.2	Potencijal iscrpljivanja ozona (ODP)	13
3.4.3	Fotokemijski potencijal stvaranja ozona (POCP)	13
3.4.4	Potencijal zakiseljavanja (AP).....	14
3.4.5	Potencijal eutrofikacije (EP).....	14
3.4.6	Potencijal abiotičkog iscrpljivanja (ADP)	14
4	TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA.....	14
4.1	Općenito	14
4.1.1	Faza izgradnje	15
4.1.2	Faza korištenja.....	18
4.1.3	Kraj životnog vijeka.....	19
4.2	Metoda ekonomske procjene za LCC analizu	19
5	ANALIZA SOCIJALNIH KOMPONENATA ŽIVOTNOG CIKLUSA	21
5.1	Obvezni indikatori.....	21
5.1.1	Troškovi kašnjenja vozača.....	21
5.1.2	Operativni troškovi vozila.....	21
5.1.3	Troškovi nesreća.....	21
5.2	Dodatni indikatori	21
5.2.1	Buka.....	22
5.2.2	Estetika	22
5.3	Troškovi korisnika	22
6	VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA	23
6.1	PROMETHEE.....	23
7	SBRI-TOOL – PROGRAMSKI ALAT	24
DIO B: RIJEŠENI PRIMJERI.....		26
1	RIJEŠENI PRIMJERI – TIPOVI MOSTOVA.....	26
1.1	Opis tipova mostova u LCA analizi	26

1.2	Scenariji i pretpostavke za analiza okoliša u životnom ciklusu	26
1.2.1	Faza proizvodnje materijala	26
1.2.2	Faza izgradnje	27
1.2.3	Faza korištenja	27
1.2.4	Faza na kraju životnog vijeka	28
1.2.1	Kategorija okoliša - abiotički potencijal iscrpljivanja ($ADP_{elementi}$)	29
1.2.2	Kategorija okoliša fotokemijski potencijal stvaranja ozona (Prijevoz kamionom)	30
1.2.3	Pretpostavke za scenarije pregleda i održavanja	30
1.2.4	Pretpostavke za analizu troškova na kraju životnog vijeka	30
2	STUDIJE SLUČAJA – TIP MOSTA A	31
2.1	Opis studija slučaja	31
2.1.1	Definicija sustava, geometrije i parametara mosta	31
2.1.2	Razmatranja u fazi projektiranja	34
2.2	Analiza prometa	34
2.3	Analiza okoliša u životnom ciklusu	35
2.3.1	Faza proizvodnje materijala	35
2.3.2	Faza izgradnje	38
2.3.3	Faza korištenja	42
2.3.4	Faza na kraju životnog vijeka	47
2.3.5	Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu	50
2.3.6	Alternativni scenariji održavanja	53
2.4	Analiza troškova životnog ciklusa	55
2.4.1	Početni troškovi izgradnje	55
2.4.2	Troškovi korištenja	57
2.4.3	Troškovi na kraju životnog vijeka	59
2.4.4	Ukupni troškovi životnog ciklusa	60
2.4.5	Alternativni scenariji održavanja	62
2.5	Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa	64

2.5.1	Alternativni scenariji održavanja	66
2.6	Diskusija rezultata za slučaj A.....	68
3	STUDIJA SLUČAJA – TIP MOSTA B.....	69
3.1	Opis studije slučaja B1	69
3.1.1	Definicija sustava, geometrije i parametara mosta.....	69
3.1.2	Razmatranja u fazi projektiranja	70
3.2	Analiza prometa	70
3.3	Analiza okoliša u životnom ciklusu.....	71
3.3.1	Faza proizvodnje materijala.....	71
3.3.2	Faza izgradnje	72
3.3.3	Faza korištenja.....	73
3.3.4	Faza na kraju životnog vijeka	74
3.3.5	Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu.....	75
3.3.6	Alternativni scenariji održavanja	76
3.4	Analiza troškova životnog ciklusa	77
3.4.1	Početni troškovi izgradnje.....	77
3.4.2	Troškovi korištenja.....	77
3.4.3	Troškovi na kraju životnog vijeka.....	78
3.4.4	Ukupni troškovi životnog ciklusa.....	78
3.4.5	Alternativni scenariji održavanja	79
3.5	Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa	80
3.5.1	Alternativni scenariji održavanja	80
3.6	Diskusija rezultata za slučaj B.....	81
4	STUDIJE SLUČAJA – TIP MOSTA C.....	82
4.1	Slučaj C1 – Cestovni mostovi s više raspona.....	82
4.1.1	Opis studija slučaja.....	82
4.1.2	Analiza prometa.....	85
4.1.3	Analiza okoliša u životnom ciklusu	86

4.1.4	Analiza troškova životnog ciklusa	97
4.1.5	Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa	103
4.1.6	Diskusija rezultata za slučajeve C1	105
4.2	Slučaj C2 – Cestovni mostovi s jednim rasponom.....	106
4.2.1	Opis studija slučajeve	106
4.2.2	Analiza prometa	109
4.2.3	Analiza okoliša u životnom ciklusu	110
4.2.4	Analiza troškova životnog ciklusa	120
4.2.5	Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa	125
4.2.6	Diskusija rezultata za slučajeve C2	126
5	SAŽETAK I ZAKLJUČCI.....	127
6	POPIS SLIKA	133
7	POPIS TABLICA	139
	DODATAK A:.....	144
7.1	Tablica A1: Standardni scenarija održavanja.....	144
7.2	Tablica A2: Scenarij održavanja kod nedostatka novca	145
7.3	Tablica A3: Scenarij održavanja produženog životnog vijeka.....	146
7.4	Tablica A4: Ograničenja prometa za slučajeve B i C.....	147
7.5	Tablica A5: Ograničenja prometa za slučaj A.....	148
7.6	Tablica A6: Vrste radova, vrednovanje rada i jedinična cijena održavanja	149

Sažetak

Mostovi su od vitalne važnosti za europsku infrastrukturnu mrežu. Zbog svog značaja u političkoj ekonomiji ističe se zahtjev za održivim, što znači vrlo naprednim, ekonomičnim, ekološki prihvatljivim i dugotrajnim konstrukcijama. Stoga su tijekom projekta SBRI - Održivi spregnuti mostovi u izgrađenom okolišu, analizirani spregnuti cestovni mostovi holističkim pristupom kombinirajući analize procjene životnog ciklusa (LCA), troškova životnog ciklusa (LCC) i ponašanja u životnom ciklusu (LCP) i time promovirajući čelik na tržištu mostogradnje.

Cilj ovog Priručnika za projektiranje I je pružiti praktične informacije o metodi projektiranja razvijenoj u SBRI projektu kako bi se omogućilo bolje razumijevanje prednosti dobivene primjenom pristupa životnog ciklusa. Ovo bi također omogućilo korisnicima da donose racionalne odluke temeljene na mogućnostima i varijantnim rješenjima projektiranja te da se dobije podloga potrebna za diskusije u procesu odlučivanja kada se surađuje s predstavnicima vlasti poput ministarstava za ceste ili koncesionarima.

Ovaj Priručnik za projektiranje I podijeljen je na dva glavna dijela: Dio A: Općenite informacije i Dio B: Riješeni primjeri. U Dijelu A daju se osnovne informacije, uključujući temeljne podatke, kako bi se čitatelju omogućilo praćenje riješenih primjera. Za promicanje održivog projektiranja mostova, primjena pristupa analize životnog ciklusa razvijenog u SBRI projektu uključena je u Dio B. Dio B sadrži nekoliko opsežnih riješenih primjera koji su predstavljeni na sljediv i razumljiv način. Riješeni primjeri obuhvaćaju cijeli životni ciklus mostova od izgradnje preko korištenja i faze održavanja do rušenja na kraju životnog vijeka.

DIO A: OPĆE INFORMACIJE

1 UVOD

1.1 Općenito

U istraživačkom projektu SBRI, analizirane su i istražene samo standardne situacije mostova s pločastim rasponskim sklopovima. Na spregnute mostove primijenjen je holistički pristup kombiniranjem analize ekoloških, ekonomskih i funkcionalnih utjecaja. Prepoznato je da se ideja održivog projektiranja treba prenijeti u praksu. Trenutni projekt (SBRI+) ima za cilj valorizaciju, diseminaciju i proširenje metode razvijene u SBRI projektu za napredne primjene, kako bi se povećalo prihvaćanje ovog novog načina održivog razmišljanja, posebno među vlasnicima i projektantima mostova.

Održivost općenito zahtijeva razmišljanje o životnom ciklusu. U kontekstu održive gradnje, projektiranje mosta nadilazi tradicionalne zahtjeve pouzdanosti i početnih troškova. Uključuje sve faze životnog ciklusa mosta, od proizvodnje sirovina do rušenja mosta [1]. To podrazumijeva predviđanje ponašanja konstrukcije mosta tijekom cijelog životnog vijeka, procjenu održavanja i popravaka mosta, itd. Štoviše, ne tradicionalni aspekti okoliša, gospodarstva i društva razmatraju se zajedno s tradicionalnim, i trenutno, većina inženjera je rijetko spremna za ove nove zahtjeve.

Analize životnog ciklusa obično su dugotrajne i stoga skupe, a nedostatak podataka je problem koji se često susreće. Osim toga, prednosti koje donosi perspektiva održivosti često se percipiraju tek u dugoročnom razdoblju, čime se njena učinkovita provedba teško promiče. Štoviše, razvijene su metodologije životnog ciklusa za analizu jednostavnih proizvoda. Primjena takvih pristupa na složenijim sustavima, kao što je konstrukcijski sustav, povlači za sobom specifične probleme koje treba riješiti kako bi bili izvedivi [1]. U tom svjetlu, u SBRI istraživačkom projektu prikupljeni su opsežni podaci o analizi troškova životnog ciklusa (LCC), procjene utjecaja na okoliš u životnom ciklusu (LCA) i ponašanja u životnom ciklusu (LCP) za sve faze životnog ciklusa mostova. Baza podataka čini osnovu za detaljna istraživanja LCC, LCA i LCP. Usredotočuje se na ponašanje u životnom ciklusu u odnosu na različite procese degradacije spregnutih mostova. Budući da su mostovi projektirani za vijek trajanja od više od 100 godina, posebnu pozornost treba posvetiti pregledima i aktivnostima održavanja. Analiza potpunih studija slučajeva ima za cilj moguće usporedbe i poboljšanja prema varijantnim rješenjima.

1.2 Okvir SBRI-Alata

Cilj ovog alata je primjenom holističke metodologije analize životnog ciklusa pružiti smjernice za procjenu i usporedbu održivosti različitih tipova mostova u ranim fazama projektiranja. Ta metodologija pomaže kod odabira najbolje opcije s obzirom na prednosti i nedostatke svake mogućnosti u fazi izgradnje, korištenja i fazi na kraju životnog vijeka mosta - suprotno usporedbi samo početnih troškova izgradnje.

Procjena održivosti provedena je u skladu s najnovijim europskim normama CEN TC350 i ISO normama 14040 [2] i 14044 [3]. Sveobuhvatna analiza životnog vijeka objedinjuje tri glavne pod analize: analiza okoliša u životnom ciklusu (LCA), analiza troškova životnog ciklusa (LCC)

i analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta (LCS), u različitim fazama životnog vijeka mosta.

Spregnuti mostovi čelik - beton trenutno su izgrađeni u mnogo različitih situacija s različitim mogućim varijacijama u projektiranju. S ciljem pojednostavljenja rutinskih zadataka odabira između uobičajenih varijanti, alat je organiziran po pod grupirajućim projektima od tri reprezentativna tipa mosta: Tip A – Nadvožnjaci preko autoceste, Tip B - Veliki mostovi na autocestama i Tip C - Mali i srednji mostovi na autocestama.

Alat ima tri osnovna modula. Prvi omogućuje izračunavanje analize životnog ciklusa za samo jedan most - zadani parametri i podaci o svojstvima mosta. Drugi modul korisnicima omogućuje provedbu višekriterijske analize pri odabiru između različitih elemenata/alternativa unutar istog projektnog tipa mosta. Usporedba analize životnog ciklusa različitih tipova mostova može se provesti korištenjem trećeg modula - komparativne analize životnog ciklusa.

1.3 Ciljevi i područje

Trenutačno na europskom tržištu mostova dominiraju betonski mostovi. Čelični i spregnuti mostovi predstavljaju samo zanimljivu alternativu ako se uključe dodatni kriteriji kao npr. estetika, vrijeme izgradnje ili smanjena ukupna težina. To se događa jer je izbor narudžbi uglavnom napravljen prema minimalnim početnim troškovima izgradnje. Međutim, s povećanjem volumena prometa i povećanjem ukupne težine vozila, taj se pristup više ne čini prikladnim, pogotovo s obzirom na to da su mostovi općenito dugotrajne konstrukcije čiji je životni ciklus planiran za više od 100 godina.

Stoga je novim holističkim postupkom provedeno istraživanje, kombinirajući analize okoliša u životnom ciklusu (LCA), analize troškova životnog ciklusa (LCC) i ponašanja u životnom ciklusu (LCP). Za spregnute mostove analizirana su inovativna rješenja kako bi se dobile alternative betonskim mostovima. Tijekom cijelog projekta pristup se primjenjuje na tri realistične vrste mostova i mnoštvo inačica koje predstavljaju standardne situacije spregnutih cestovnih mostova identificiranih prema rasponu i funkcionalnosti. Analizom ovih primjera kao studija slučajeva uglavnom se nastojalo upoznati korisnike s primjenom metode te omogućiti usporedbe i poboljšanja.

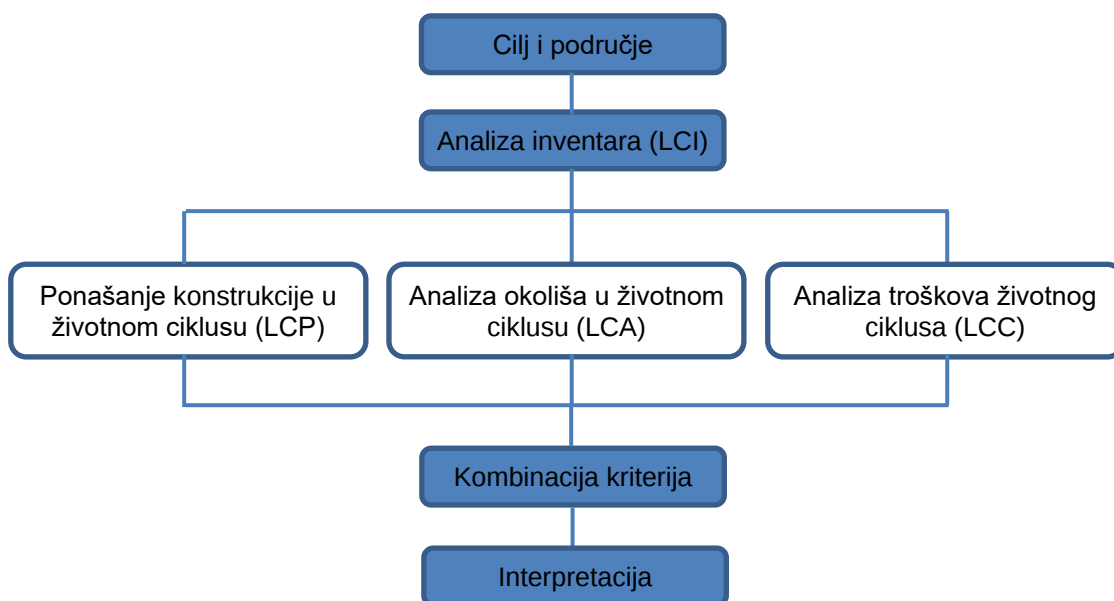
2 ODRŽIVOST S ANALIZOM ŽIVOTNOG CIKLUSA MOSTOVA

2.1 Opće definicije

Tradicionalno projektiranje mosta temelji se na zahtjevima normi i pravila koja su razvijena u tu svrhu. Ovi zahtjevi odnose se na pouzdanost konstrukcije i obično uključuju pravila za otpornost, trajnost i uporabivost. U ovom pristupu pretpostavlja se da je početna pouzdanost konstrukcije, prema zahtjevima konstrukcijskih eurokodova, ispunjena. Osim toga, pretpostavlja se da neće doći do globalnog otkazivanja mosta tijekom vremenskog razdoblja analize (100 godina). Stoga je takav pristup ipak ograničen u analizi životnog ciklusa. Svojstva mostova se počinju pogoršavati odmah nakon početka korištenja. Brzina pogoršanja ovisi o mnogim čimbenicima za različite vrste mostova. Kako bi most održali iznad nekog stanja, potrebno je održavanje i sanacija.

Promatrajući mostove s gledišta održivosti, ne treba se samo uzeti u obzir faza izgradnje, već čitav životni ciklus od 100 godina. Ove dugotrajne konstrukcije izložene su različitim procesima degradacije tijekom godina. Degradacija se može podijeliti u nekoliko procesa, među kojima su umor, korozija čeličnih nosača i karbonatizacija koji utječu na različite detalje. Konstrukcijska funkcija detalja, pa stoga i sama konstrukcija, može se očuvati i poboljšati održavanjem i/ili radnjama obnavljanja u skladu s nedostacima otkrivenima tijekom pregleda.

Svaki put kada je potrebna intervencija na mostu, to podrazumijeva ekološke i ekonomske utjecaje koji se moraju uzeti u obzir u analizi životnog ciklusa. Stoga je analiza životnog ciklusa mostova s ekološkog i ekonomskog aspekta izravno ovisna o ponašanju konstrukcije tijekom životnog vijeka i taj se odnos rješava integrirajući konstrukcijsko ponašanje mosta tijekom njegova vijeka trajanja, kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1: Dijagram toka integralne analize životnog ciklusa

Faza procjene utjecaja triju glavnih kategorija izrađena je zasebno za svaki kriterij. Sljedeći korak, kombinacija kriterija, ovisi o cilju analize. Ako je cilj analize identificirati mogućnosti poboljšanja procesa koji doprinose glavnim utjecajima, onda se konstrukcijsko, ekološko ponašanje i troškovi ponašanja mogu interpretirati pojedinačno. S druge strane, ako je cilj analize riješiti probleme odlučivanja, ravnoteža između pojedinih ponašanja može se postići višekriterijskom analizom donošenja odluka. Treba naglasiti da analiza životnog ciklusa nije pristup za donošenje odluka; međutim, ona može pružiti vrijedne informacije za donositelje odluka u tom procesu [1].

Analizira se ponašanje u životnom ciklusu spregnutih mostova počevši od faze proizvodnje materijala, nakon čega slijedi izgradnja, korištenje mosta (uključujući održavanje itd.) do rušenja na kraju životnog vijeka. U SBRI projektu, sudjelovanjem znanstvenika, vlasnika mostova, konzultanata i industrije kao projektnih partnera, analizirano je ponašanje u životnom ciklusu spregnutih mostova koristeći holistički pristup kako je opisano u nastavku.

U okviru ovog projekta razvijen je integralni pristup životnog ciklusa za procjenu cestovnih mostova. Cilj pristupa je procjena životnog ciklusa mosta u kontekstu održivog razvoja i, posebice, u kontekstu održive gradnje. Stoga pristup ima za cilj uravnotežiti ekološke i ekonomske aspekte.

Trenutačno ne postoji standardizirana metodologija koja daje smjernice za cjelovitu analizu životnog ciklusa građevinskog sustava [1]. Analiza okoliša u životnom ciklusu trenutačno je najsnažniji standardizirani okvir, iako u znanstvenoj zajednici još uvijek nema općeprihvaćene metodologije. Zatim slijedi ekonomska analiza životnog ciklusa. Zbog toga je razvoj općeg okvira za cjelovitu analizu životnog ciklusa zasnovan na standardiziranom okviru za analizu okoliša u životnom ciklusu (LCA) prema nizu ISO norme 14040 [2], s daljnjom prilagodbom kako bi se uključili ekonomski kriteriji.

Prema tome, općeniti okvir predložen u ovom priručniku podrazumijeva četiri glavna koraka ISO norme 14040 [2]: korak cilja i područja; korak inventara (popis elemenata i opreme mosta); korak procjene utjecaja; i korak interpretacije. Međutim, kao što je već spomenuto, svaki korak analize usvojen je kako bi se omogućila integracija ekonomskih aspekata u analizu životnog ciklusa.

2.2 Holistički pristup

Analiza životnog ciklusa koja ima za cilj održive konstrukcije mostova podijeljena je u tri glavne kategorije, vidi sliku 2. Kao prvo, kvaliteta okoliša predstavlja analizu emisija unutar procjene životnog ciklusa (LCA). Ekonomska kvaliteta obuhvaća troškove koji se javljaju tijekom cijelog životnog ciklusa (LCC) i definirana je u drugoj kategoriji. Socijalna i funkcionalna kvaliteta uključena je kao treća glavna kategorija analiza životnog ciklusa sa socijalnog aspekta (LCS). Primjenom holističkog pristupa u cijelom životnom ciklusu mostova uzima se u obzir utjecaj navedenih parametara na konstrukciju i društvo tijekom cijelog životnog vijeka.



Slika 2: Holistički pristup analizi životnog ciklusa

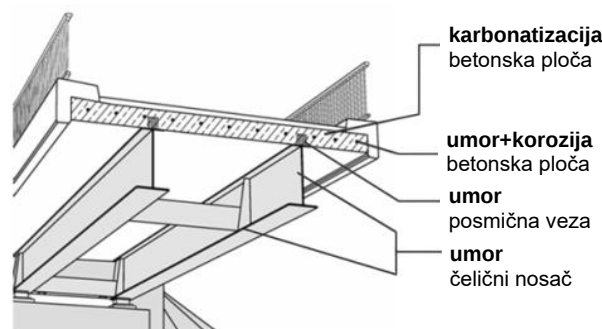
Opis ponašanja konstrukcije i njenih detalja u životnom ciklusu (LCP) je sveobuhvatan uvjet za određivanje bilo kojih mjera pregleda tijekom korištenja koje su potrebne za osiguranje funkcionalne konstrukcije. Inicijalni projekt i izgradnja u snažnoj su interakciji s mjerama pregleda i popravaka potrebnih tijekom životnog vijeka i scenarijem na kraju životnog vijeka mostova. Mogući učinci degradacije i postupaka obnove mogu dovesti do dodatnih emisija (LCA), troškova (LCC) i ograničene socijalne i funkcionalne kvalitete (LCS).

Primjena ovog holističkog pristupa tijekom cijelog životnog ciklusa temelj je za prebacivanje s projektiranja mostova na temelju troškova gradnje do održivog projektiranja uzimajući u obzir prednosti spregnutih mostova, kao što su vrijeme izgradnje, trajnost i istraživanje svojstava materijala na učinkovit način.

2.3 Ponašanje u životnom ciklusu

Procjena ponašanja u životnom ciklusu započinje izgradnjom mosta, uključujući i proizvodnju materijala. Faza korištenja započinje kada se most počne koristiti, a ova faza završava kada most dosegne kraj svoje funkcionalnosti - kraj životnog vijeka. Ponašanje u životnom ciklusu odnosi se na oboje: a) različite postupke degradacije kao što su karbonatizacija (inicijacija korozije armature), korozija čeličnih nosača i umor te b) odgovarajuće intervale i metode pregleda i održavanja.

Ponašanje u životnom ciklusu svakog mosta uglavnom je opisano ponašanjem kritičnih detalja. Zato je dobro poznavanje ponašanja detalja tijekom cijelog životnog vijeka mosta neophodno za holističke analize. Degradacija se može podijeliti u nekoliko procesa. Umor, korozija i karbonatizacija kod mostova su procesi koji su istraženi u SBRI projektu, vidi sliku 3.



Slika 3: Procesi degradacije

Planiranje radnji pregleda i radnji održavanja trebalo bi se obaviti na temelju detaljnog opisa ponašanja u životnom ciklusu oštećenih detalja. Stoga se troškovi životnog ciklusa i emisije mogu smanjiti. Intervali pregleda mostova također se mogu optimizirati poznavanjem odgovarajućih metoda ispitivanja bez razaranja kako bi rano otkrili defekte. Poznavanje i sposobnost opisivanja životnog ciklusa u procesima pogoršanja detalja mostova daje mogućnost optimizacije konstrukcije u pogledu aspekata održivosti.

2.3.1 Ponašanje kod umora

Mostovi su izloženi prometnom opterećenju tijekom dugog vijeka trajanja. Prometno opterećenje je povratnog karaktera, a uz to, zbog porasta volumena prometa, mora se izračunati s povećanim opterećenjem do kraja životnog ciklusa. Umor se, stoga, ne može zanemariti kod mostova jer je to jedan od glavnih procesa degradacije.

Umor može utjecati na različite detalje i uzrokovati pogoršanje stanja mostova. Klasifikacija po težini induciranog oštećenja može dovesti do prepoznavanja najkritičnijih detalja tijekom životnog ciklusa. Literatura pokazuje da kritična mjesta nisu samo smještena u čeliku već i u spregnutim detaljima. Poprečna ukrućenja odabrana su kao tipičan detalj u čeliku. Poprečna ukrućenja se koriste u čeličnim mostovima i u spregnutim mostovima i predstavljaju uobičajeni detalj koji se suočava s problemima pukotina zbog umora. Utvrđeno je da tretman visokofrekventnim čekićem nakon zavarivanja poboljšava ovu ključnu otpornost.

Učinkovita posmična veza kod spregnutih mostova je kombinacija horizontalno ležećih moždanika s izostavljenom čeličnom pojasnicom, npr. za predgotovljene spregnute nosače ili veze betonske ploče s vanjskim glavnim nosačem kod tipičnih lučnih mostova. Postojeći

modeli degradacije tih detalja analizirani su i poboljšani rezultatima vlastitih ispitivanja prototipova kako bi bili uključeni u cjelokupnu procjenu.

2.3.2 Korozija

Uobičajeni problem kod spregnutih mostova su oštećenja korozijom u spoju između čeličnog nosača i betonske ploče. Do mrlja od hrđe može doći u sljubnici između čeličnog nosača i betonske ploče i/ili na površini brtvila u područjima gdje se brtvilo koristi u području sljubnice. Mrlje korozije uzrokovane su korozijom na čeličnoj površini iza brtvila ili korodiranjem armature. U ovom posljednjem slučaju, mrlje nemaju izravnog utjecaja na stanje čeličnog nosača. Jednom kad se uoči korozija, potreban je odgovarajući popravak kako bi zaustavio proces korozije i izbjeglo buduće velike probleme. Za popravak oštećenja zbog korozije u spoju između čeličnog nosača i betonske ploče mogu se koristiti različite metode kao što su primjena površinskih premaza ili elastičnih brtvila u spoju.

2.3.3 Karbonatizacija

Procesi karbonatizacije utječu na armiranobetonsku konstrukciju spregnutih mostova što dovodi do njene degradacije. Dugotrajna trajnost armiranobetonskih konstrukcija (AB) postala je jedna od glavnih briga zbog velikih iznosa novca koji su potrebni za održavanje infrastrukture u stanju uporabivosti. Što se tiče korozije armature, ona je posljedica ulaska klorida i/ili atmosferske karbonatizacije. Tradicionalni pristup projektiranju betona bio je slijediti zadovoljavajućim pravila, što postavlja zahtjeve za miješane parametre, debljinu zaštitnog sloja, ograničenja širine pukotina, itd. Međutim, ti zahtjevi više nisu prikladni zbog složenosti i raznolikosti veziva koje se danas koriste, pa čak i „guše“ projektante koji danas imaju brojne mogućnosti pomoću projektiranja miješanih parametara (upotreba aditiva kao što su superplastifikatori, te upotreba cementa pomiješanog s dodatnim cementnim materijalima kao što su leteći pepeo, troska, silicijska prašina itd.).

Zbog toga se trenutno pojavljuje potreba za pristupima temeljenim na ponašanju [4] [5] u kojima su pravila povezana s ponašanjem koje se postiže pomoću svojstava trajnosti (tj. poroznosti, propusnosti itd.). Korozija ugrađenog armaturnog čelika, nastala zbog atmosferske karbonatizacije, predstavlja značajnu brigu koja nepovratno utječe na uporabivost AB konstrukcije. Većina betonskih konstrukcija izložena je djelovanju CO_2 koji prodire u betonski zaštitni sloj, otapa u pornoj vodi i reagira s spojevima hidratacije, što uzrokuje smanjenje pH vrijednosti, što omogućuje koroziju čelične armature [6]. Ovo je pitanje posebno izraženo za cementne materijale s malim sadržajem portlandita (CH), budući da je CH glavni opskrbljivač alkalijskog puferskog kapaciteta. Stoga je vjerojatno da će obični beton (srednje do visoke poroznosti) napravljen od veziva s velikom količinom dodatnih cementnih materijala biti osjetljiviji na karbonatizaciju. Zato je kvantifikacija karbonatnog mehanizma za ove vrste betona presudna. To je još više izraženo s obzirom na činjenicu da će se njihova upotreba drastično povećavati u narednim desetljećima kako bi se ispunile obveze vezane za ublažavanje učinaka CO_2 .

Najjednostavniji i najučinkovitiji način povećanja životnog vijeka (SL) AB konstrukcija je povećati duljinu razdoblja inicijacije korozije, što je definirano kao vrijeme potrebno da se prvi sloj armature ne aktivira korozijom. Da bi predviđanje ovog razdoblja indukcije učinili mogućim, mogu se koristiti matematički modeli. Većinu vremena usvaja se deterministički pristup. Čak i ako deterministički pristup može pružiti prihvatljivu procjenu penetracije karbonatizacije za ubrzane uvjete, predviđanja za trajanja od više od pedeset godina vrlo su neizvjesna s obzirom

da većina ulaznih podataka modela pokazuju veliku varijabilnost koja odbacuje bilo koju ideju apsolutne pouzdanosti.

2.4 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. Definicija i ciljevi svake vrste pregleda su:

- *Rutinski pregled - vizualni pregled za otkrivanje malih oštećenja koja se mogu odmah popraviti; Tim se sastoji od jednog ili dva člana posebno osposobljenog osoblja za održavanje;*
- *Glavni pregled - detaljni vizualni pregled s posebnim načinom pristupa. Cilj je procjena razvoja stanja mosta, s definicijom potencijalnih mjera popravka/sanacija;*
- *Posebni pregled - detaljni pregled kada postoji potreba za određenim planom popravka za potpunu ili djelomičnu sanaciju mosta. Ispitivanja i laboratorijske analize također se koriste za procjenu stanja oštećenja i dopuščaju preporuke za popravke oštećenja.*

U Tablici 1 prikazana je učestalost za svaku vrstu pregleda za standardni scenarij.

Tablica 1: Standardni scenarij - učestalost pregleda i prosječno pojavljivanje

Vrsta pregleda	Učestalost pregleda	Prosječno pojavljivanje u 100 godina
Rutinski	godišnje	100
Glavni	Svaki 6 godina	17
Posebni	2 u 100 godina	2

Što se tiče održavanja tijekom faze korištenja, sastavljen je popis strategija održavanja za različite europske zemlje [7]. Aktivnosti održavanja mogu se podijeliti u kategorije s obzirom na intenzitet održavanja. U ovom su istraživanju razmotrene tri vrste scenarija održavanja:

- *Standardni scenarij - za 100 godišnji životni vijek, u skladu s normalnim vijekom trajanja mostova, za koji će biti dovoljno novca za poduzimanje svih potrebnih radnji pregleda i održavanja/popravaka;*
- *Scenarij nedostatak novca - tijekom životnog ciklusa mosta, nema dovoljno novca za poduzimanje potrebnih radova održavanja/popravaka, i most će biti kritično pogoršan i sa prometnim ograničenjima u 100. godini. Aktivnost pregleda će se morati povećati u posljednjim godinama u svrhu dobivanja spoznaja o stvarnom stanju mosta, kao i radnje održavanja radi produljenja vijeka trajanja nekih elemenata;*
- *Scenarij produženi životni vijek - odluka o održavanju mosta za još 30 godina (ukupno 130 godina, ne više) donosi se oko 80. godine. Nakon ove godine mjere pregleda i održavanja prilagođene su ovom produženju životnog vijeka.*

Osnovne definicije za tri scenarija opisane su u sljedećim točkama.

2.4.1 Standardni scenarij

U standardnom scenariju, vrste i učestalosti pregleda prikazane niže smatraju se neophodnima za održavanje spoznaja o stanju mosta i prosječnom vijeku trajanja elemenata

mosta. Učestalost radova održavanja/popravaka smatra se neophodnim za održavanje dobrog stanja mosta. Što se tiče održavanja/popravka, u standardnom scenariju se pretpostavlja da se radnje održavanja odvijaju prije kraja prosječnog vijeka trajanja elemenata mosta. Konstrukcijski elementi zamjenjuju se kada je postignut prosječni vijek trajanja.

Za fazu korištenja se pretpostavlja da je prosječni vijek trajanja svakog konstrukcijskog ili nekonstrukcijskog elementa mosta isti za standardni scenarij, scenarij nedostatak novca i scenarij produženog životnog vijeka prema tablici 2. Učestalost radova održavanja/popravka pretpostavlja se na temelju prosječnog vijeka trajanja.

Tablica 2: Prosječni pretpostavljeni životni vijek za elemente mosta (za standardni scenarij, scenarij nedostatak novca i scenarij produženi životni vijek)

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 ležaj	35
Ograde	40

Tablica 3: 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.

U dodatku A - Tablica A1 sažeto prikazuje pretpostavljene podatke za definiciju standardnog scenarija pregleda.

2.4.2 Scenarij nedostatka novca

U ovom scenariju se pretpostavlja da će u ranijim fazama mosta postupci pregleda biti rjeđi zbog nedostatka novca i kako se procijenjeni kraj životnog vijeka mosta primiće, aktivnosti pregleda su češće za procjenu stanja mosta i kontrolu pouzdanosti konstrukcije.

Radnje popravaka odgođene su i planirane za kraj vijeka trajanja, a uvedene su nove radnje održavanja kako bi se produžio vijek trajanja nekih elemenata mosta te odgodile ili uklonile ostale radnje održavanja.

Što se tiče pretpostavki u prethodnim točkama, prosječni vijek trajanja elemenata mosta je isti za sve scenarije dok je pretpostavljena učestalost radova održavanja/popravaka prikazana u tablici 4.

Tablica 4: Scenarij nedostatak novca – prosječne učestalosti aktivnosti održavanja/popravaka

Elementi mosta	Aktivnost održavanja	Standardna učestalost održavanja (godine)
Betonski rasponski sklop	Popravljanje malih površina	50
Betonska rubna greda	Manji popravci	50
Sigurnosna barijera	Djelomična zamjena	20
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.

U dodatku A - Tablica A2 sažeto prikazuje pretpostavljene podatke za definiciju scenarija kod nedostatka novca.

2.4.3 Scenarij produženog životnog vijeka

U ovom scenariju, odluka o održavanju mosta za dodatnih 30 godina (130 godina vijeka trajanja i ne više), donosi se oko 80. godine. Učestalosti i aktivnosti pregleda i održavanja slični su standardnom scenariju do 80. godine osim za sljedeće elemente: betonski rasponski sklop, rubne grede, sigurnosne barijere i ležajeve. Nakon ove godine, mjere pregleda i održavanja prilagođene su za postizanje produženja vijeka trajanja. Postupci održavanja u nekim elementima bit će češći između 115. i 130. godine. Također se pretpostavlja da u čeličnom rasponskom sklopu neće biti problema s umorom, pa stoga neće biti razmatrane aktivnosti ojačanja.

Prosječni vijek trajanja elemenata mosta jednak je onom koji se uzima u obzir kod standardnog scenarija i scenarija nedostatka novca, a pretpostavljena učestalost radova održavanja/popravaka prikazana je u tablici 5.

Tablica 5: Scenarij produženi životni vijek - 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	40
Sigurnosna barijera	Djelomična zamjena	20
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	25
Ograde	Bojenje	20

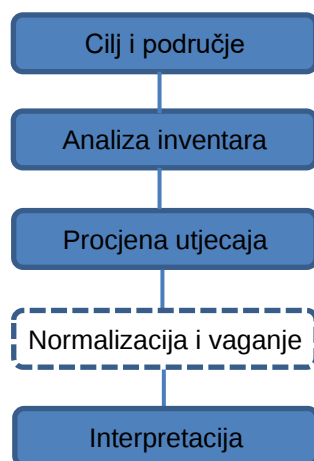
(*) – Elementi za koje nema aktivnosti održavanja. Potpuna zamjena se vrši kad je dosegnut životni vijek.

U Dodatku A - Tablica A3 sažeto prikazuje podatke za definiciju scenarija produženog životnog vijeka.

3 ANALIZA OKOLIŠA U ŽIVOTNOM CIKLUSU

3.1 Općenito

Okvir za analizu okoliša u životnom ciklusu (LCA) usvojen u ovom projektu je u skladu s ISO normama 14040 [2] i 14044 [3]. Ove norme određuju opći okvir, načela i zahtjeve za provođenje i izvještavanje studija procjene životnog ciklusa. Prema tim normama, procjena životnog ciklusa uključuje (i) definiranje cilja i područja, (ii) analizu inventara, (iii) procjenu utjecaja, (iv) normalizaciju i vaganje, i (v) interpretaciju rezultata. Korak normalizacije i vaganja smatra se opcionalnim u ISO normama i neće biti uključen u analizi okoliša u životnom ciklusu. Dakle, cjeloviti dijagram toka za analizu okoliša u životnom ciklusu detaljno je prikazan na slici 4.



Slika 4: Shema analize okoliša u životnom ciklusu

Održivost zahtijeva promišljanje životnog ciklusa. U kontekstu održive gradnje, projektiranje mosta nadilazi tradicionalne zahtjeve sigurnosti i početnih troškova. Ono obuhvaća životni ciklus mosta, od nabave sirovina do razgradnje mosta [1]. To podrazumijeva predviđanje ponašanja konstrukcije mosta tijekom njegovog životnog vijeka, procjenu održavanja i popravaka mosta, itd. Štoviše, netradicionalni aspekti okoliša, ekonomije i društva trebaju se razmatrati zajedno s tradicionalnim, a trenutno većina inženjera nije spremna za ove nove zahtjeve.

Analize životnog ciklusa obično su dugotrajne i stoga skupe, a nedostatak podataka je problem koji se često susreće. Osim toga, prednosti koje donosi perspektiva održivosti često se percipiraju tek u dugoročnom razdoblju, čime se njena učinkovita provedba teško promiče.

Konačno, razvijene su metodologije za analizu životnog ciklusa jednostavnih proizvoda. Primjena takvih pristupa na složenijim sustavima, kao što je građevinski sustav, podrazumijeva specifične probleme koji se trebaju riješiti kako bi bili izvedivi [1].

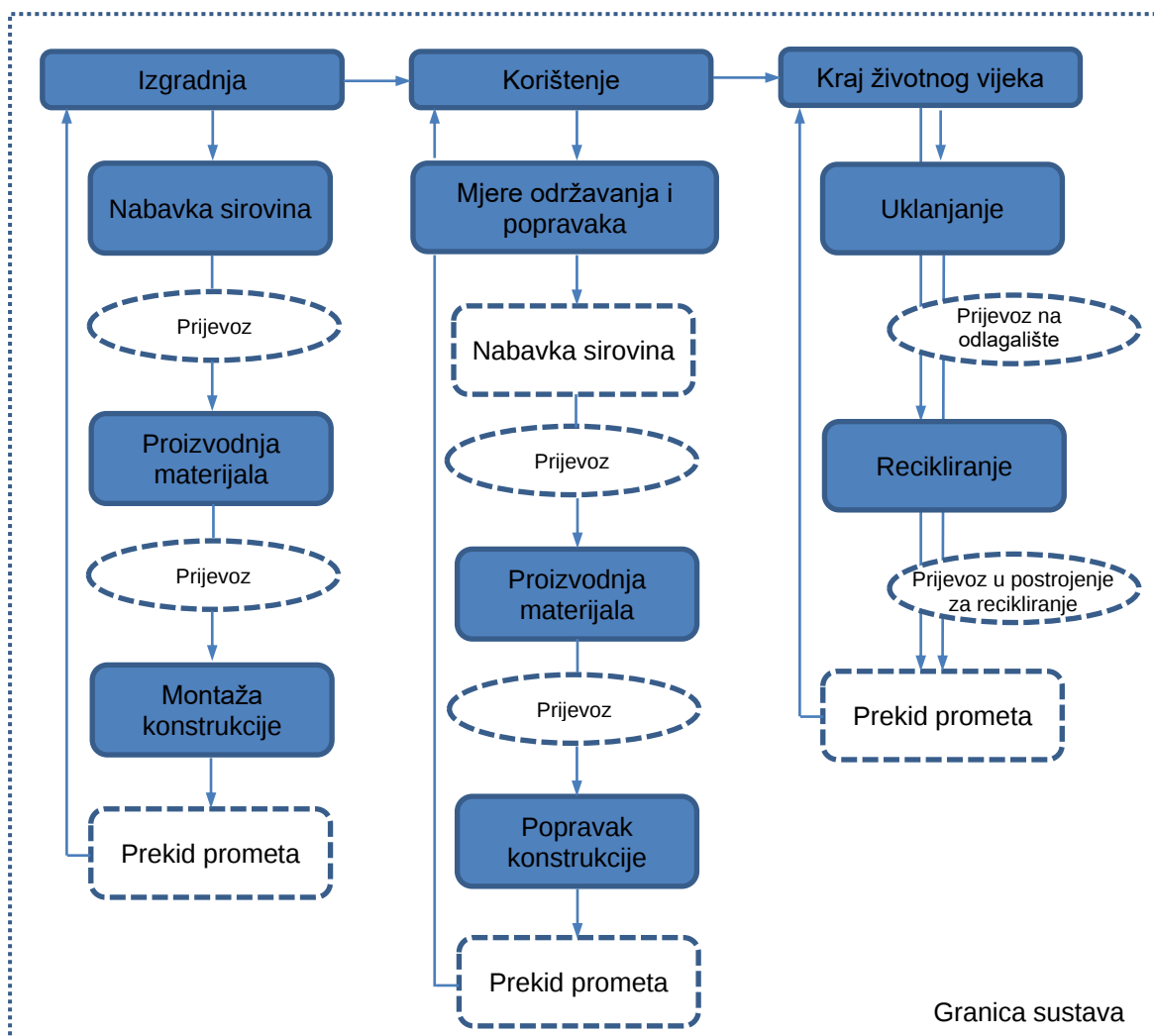
3.2 Cilj i područje LCA analize

Cilj LCA analize je ocijeniti ekološko ponašanje spregnutih cestovnih mostova tijekom njihovog životnog ciklusa. Pretpostavlja se da je razdoblje analize 100 godina. Analiza životnog ciklusa istaknut će glavne prednosti i nedostatke ovakvih konstrukcija te će omogućiti davanje preporuka za daljnja poboljšanja.

Granice sustava određuju koji će jedinični proces biti uključen u LCA analizu [2]. Nekoliko čimbenika određuje granice sustava, uključujući namjeravanu primjenu studije, postavljene pretpostavke, kriterije isključivanja, ograničenja podataka i troškova te ciljanu skupinu zainteresiranih.

Granica sustava usvojena u ovom projektu predstavljena je na slici 5. Uključene su sve faze cjelovitog životnog ciklusa mostova, od izvlačenja sirovina do postupaka na kraju životnog vijeka. Nadalje, prijevoz materijala i opreme također je unutar granica sustava.

Kada je spregnuti most izgrađen (pod pretpostavkom da je autocesta u upotrebi) ili se popravljiva, dolazi do zagušenja prometa zbog kašnjenja u zoni izgradnje. Ova kašnjenja povezana s izgradnjom rezultiraju dodatnom potrošnjom goriva i povezanim emisijama. Učinci zagušenja prometa također su uzeti u obzir u LCA.



Slika 5: Granica sustava LCA analize

3.3 Metodologija za procjenu utjecaja

Faza procjene utjecaja od LCA analize ima za cilj procjenu važnosti potencijalnih utjecaja na okoliš koristeći rezultate analize životnog ciklusa inventara. Općenito, taj proces uključuje povezivanje podataka o inventaru s određenim kategorijama utjecaja na okoliš, a izrađen je u dva dijela (i) obvezni elementi, kao što su odabir indikatora okoliša i klasifikacija; i (ii) dodatni elementi, kao što su normalizacija, rangiranje, grupiranje i vaganje.

Klasifikacija podrazumijeva prethodni odabir odgovarajućih kategorija utjecaja, prema cilju studije, i dodjelu rezultata inventara odabranim kategorijama utjecaja. Zatim se upotrebljavaju faktori karakterizacije koji predstavljaju relativni doprinos rezultata inventara (m_i) na rezultat indikatora kategorije utjecaja, kao što je izraženo sljedećom jednadžbom:

$$impact_{cat} = \sum_i m_i \times charact_factor_{cat,i} \quad (1)$$

Indikatori okoliša usvojeni u pristupu životnog ciklusa navedeni su u tablici 6.

Tablica 6: Indikatori okoliša LCA

Indikator		Jedinica	Mjera vremena
Potencijal globalnog zatoplivanja-Global Warming Potential	GWP	Kg CO ₂ eq.	100 godina
Potencijal zakiseljavanja-Acidification Potential	AP	Kg SO ₂ eq.	∞
Potencijal eutrofikacije-Eutrophication Potential	EP	Kg PO ₄ eq.	∞
Fotokemijski potencijal stvaranja ozona-Photo Ozone Creation Potential	POCP	Kg C ₂ H ₄ eq.	-
Potencijal razgradnje ozonskog omotača-Ozone Depletion Potential	ODP	Kg CFC eq.	∞
Potencijal abiotičkog iscrpljivanja-Abiotic Depletion Potential	ADP	Kg Sb eq.	-

3.4 Indikatori okoliša

3.4.1 Potencijal globalnog zatoplivanja (GWP)

Indikator globalnog zatoplivanja mjeri utjecaj emisija uslijed ljudskih aktivnosti na prisiljeno zračenje (engl. radiative forcing) atmosfere. GWP je definiran kao omjer vremenski integriranog prisiljenog zračenja od trenutačnog oslobađanja za 1 kg tvari u tragovima u odnosu na onu za 1 kg referentnog plina [8]. Za definiranje GWP-a, referentni plin je ugljični dioksid (CO₂).

3.4.2 Potencijal iscrpljivanja ozona (ODP)

Indikator iscrpljivanja ozona izveden je iz nekoliko svojstava plina, što uključuje njegovu stabilnost da dostigne stratosferu i količinu broma ili klora koji nosi plin. Ta svojstva se zatim uspoređuju s CFC-11 (iako je CFC-11 sada zabranjen Montrealskim protokolom u industrijaliziranim državama, još uvijek se proizvodi u mnogim zemljama u razvoju). Svojstva svakog plina se zatim uspoređuju s svojstvima CFC-11 i pretvaraju u CFC-11 ekvivalente. Zatim se pojedinačni ekvivalenti dodaju zajedno za ukupni indeks indikatora iscrpljivanja ozona koji predstavlja ukupnu količinu otpuštenih plinova koji oštećuju ozon.

3.4.3 Fotokemijski potencijal stvaranja ozona (POCP)

Foto oksidansi mogu se formirati u troposferi pod utjecajem ultraljubičastog svjetla, kroz fotokemijsku oksidaciju hlapivih organskih spojeva (eng. volatile organic compounds - VOC) i

ugljičnog monoksida (CO) u prisutnosti dušikovih oksida (NO_x) [9]. Ova kemijska reakcija je "nelinearna", što znači da ponekad koncentracija NO_x potiče reakciju, a drugi puta to je VOC koji potiče reakciju. Različiti indikatori uzimaju niske, prosječne i visoke koncentracije NO_x za izračunavanje ukupnog rezultata. Fotokemijski potencijali stvaranja ozona procjenjuju se različitim scenarijima emisije za VOC. Stoga je fotokemijski potencijal stvaranja ozona (engl. photochemical ozone creation potential - POCP) od VOC-a određen omjerom izmjene koncentracije ozona uslijed promjene emisije tog VOC-a i promjene koncentracije ozona zbog promjene emisije etilena (C₂H₄) [9].

3.4.4 Potencijal zakiseljavanja (AP)

Zakiseljavanje je jedna od kategorija utjecaja u kojoj lokalna osjetljivost igra važnu ulogu. Čimbenici karakterizacije usvojeni u ovom projektu temelje se na modelu RAINS-LCA [10]. Na temelju ovog modela, Huijbregts [10] razvio je čimbenike karakterizacije za 44 regije u Europi i prosječne europske čimbenike, pomoću težinskog zbroja regionalnih čimbenika za svaku emisiju zakiseljavanja. Taj je indikator izražen u kg SO₂ ekvivalenata.

3.4.5 Potencijal eutrofikacije (EP)

Indikator eutrofikacije prikazan je sakupljanjem potencijalnog doprinosa emisija N, P i C (dani u smislu kemijske potražnje za kisikom, engl. chemical oxygen demand - COD) u formiranju biomase [9]. Potencijal eutrofikacije tvari odražava njegov potencijalni doprinos formiranju biomase. Taj se indikator izražava u kg ekvivalenta PO₄.

3.4.6 Potencijal abiotičkog iscrpljivanja (ADP)

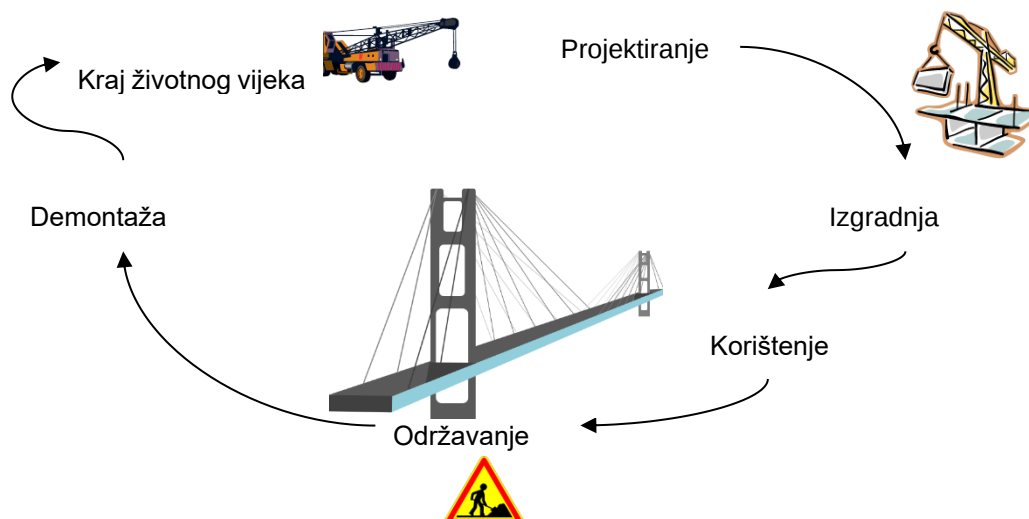
Indikator abiotičkog iscrpljivanja cilja na procjenjivanje problema okoliša koji se odnosi na smanjenje dostupnosti prirodnih resursa. Pod prirodnim resursima podrazumijevaju se minerali i materijali koji se nalaze u zemlji, moru ili atmosferi i biomu, koji još nisu industrijski obrađeni [11].

Model [11] koji je usvojen za abiotičko iscrpljivanje u ovom projektu, pretpostavlja da su konačne rezerve i rate ekstrakcije zajedno najbolji način predstavljanja ozbiljnosti iscrpljivanja resursa. Ovaj je model globalni model koji se temelji na krajnjim rezervama u svijetu u kombinaciji s godišnjim iscrpljenjem na svjetskoj razini.

4 TROŠKOVI ŽIVOTNOG CIKLUSA

4.1 Općenito

Troškovi životnog ciklusa (LCC) su metoda ekonomske evaluacije koja uzima u obzir sve relevantne troškove u određenom vremenskom horizontu (razdoblje studije), uključujući prilagodbu vremenskoj vrijednosti novca. Ukupni troškovi životnog ciklusa ne uključuju samo troškove izgradnje, već i druge troškove kao što su projektiranje, održavanje i demontaža što može predstavljati značajan dio ukupnih troškova životnog ciklusa spregnutog mosta kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6: Faze/troškovi životnog ciklusa od izgradnje do kraja životnog vijeka mosta

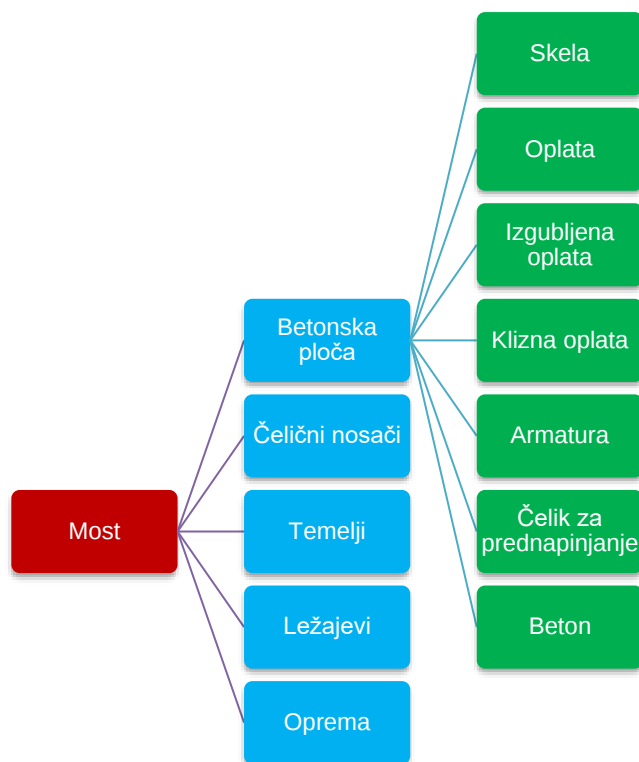
Metodologija u normi ISO 15686-5 [6] definira troškove životnog ciklusa kao tehniku koja omogućuje sustavnu ekonomsku procjenu troškova životnog ciklusa tijekom razdoblja analize. Slika 7 sažima koncept cjelokupnog životnog vijeka i troškova životnog ciklusa. U cjelokupnom pristupu troškova životnog vijeka, predviđeni troškovi ili dobit mogu uključivati financije, troškove poslovanja, prihode od prodaje zemljišta i troškove korisnika. Važna motivacija za korištenje analize troškova životnog ciklusa (LCC) jest uravnotežiti smanjenje troškova korištenja i održavanja s mogućim povećanjem početnih troškova [7].



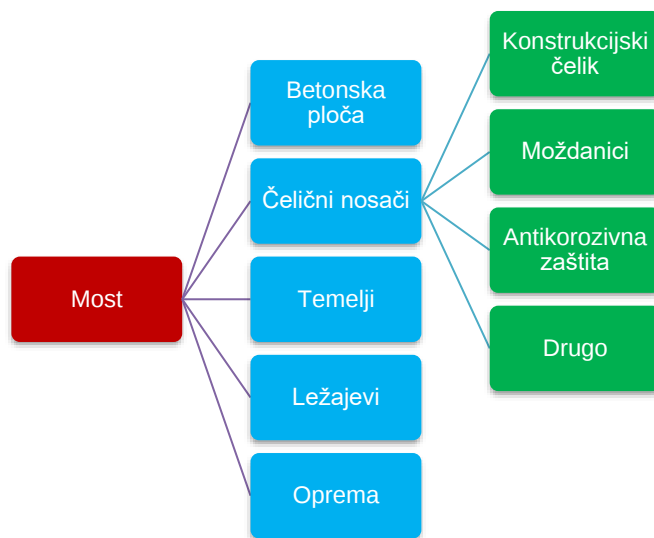
Slika 7: Koncept "trošak cijelog životnog vijeka" i "trošak životnog ciklusa" [6].

4.1.1 Faza izgradnje

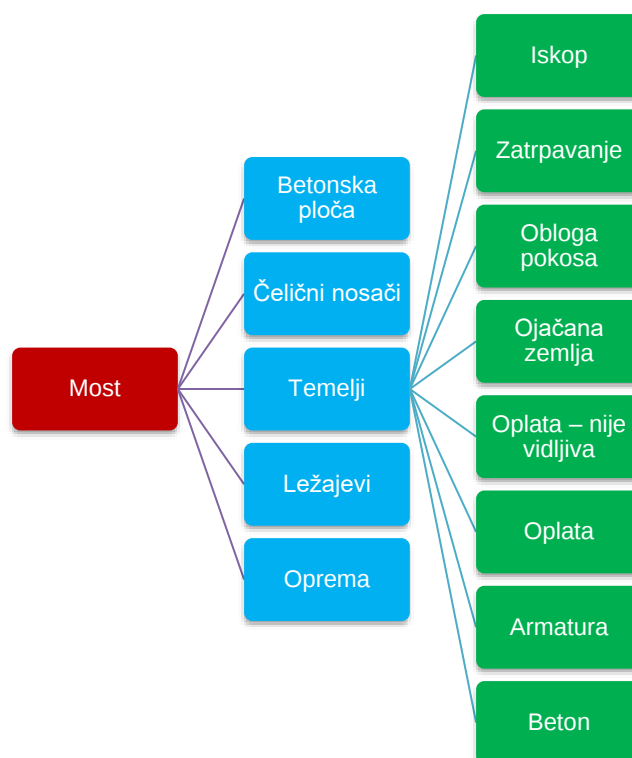
Troškovi vezani uz izgradnju čelično-betonskog spregnutog mosta uglavnom uključuju troškove za (i) temelje, (ii) donji ustroj s upornjacima, pilote i ležajeve, (iii) gornji ustroj s čeličnim nosačem/sandukom (za spregnuti most), betonsku ploču i opremu (prijelazne naprave, površinu kolnika, vodonepropusni sloj, metalni žljebovi, ograde i zaštitu). Napominje se da ti troškovi trebaju uključivati sve materijale i troškove rada koji su potrebni za svaku komponentu, kao što je prikazano na slikama 8 do 12.



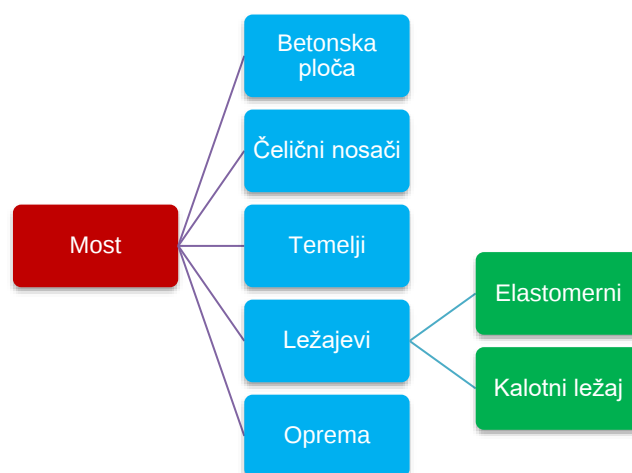
Slika 8: Elementi betonske ploče



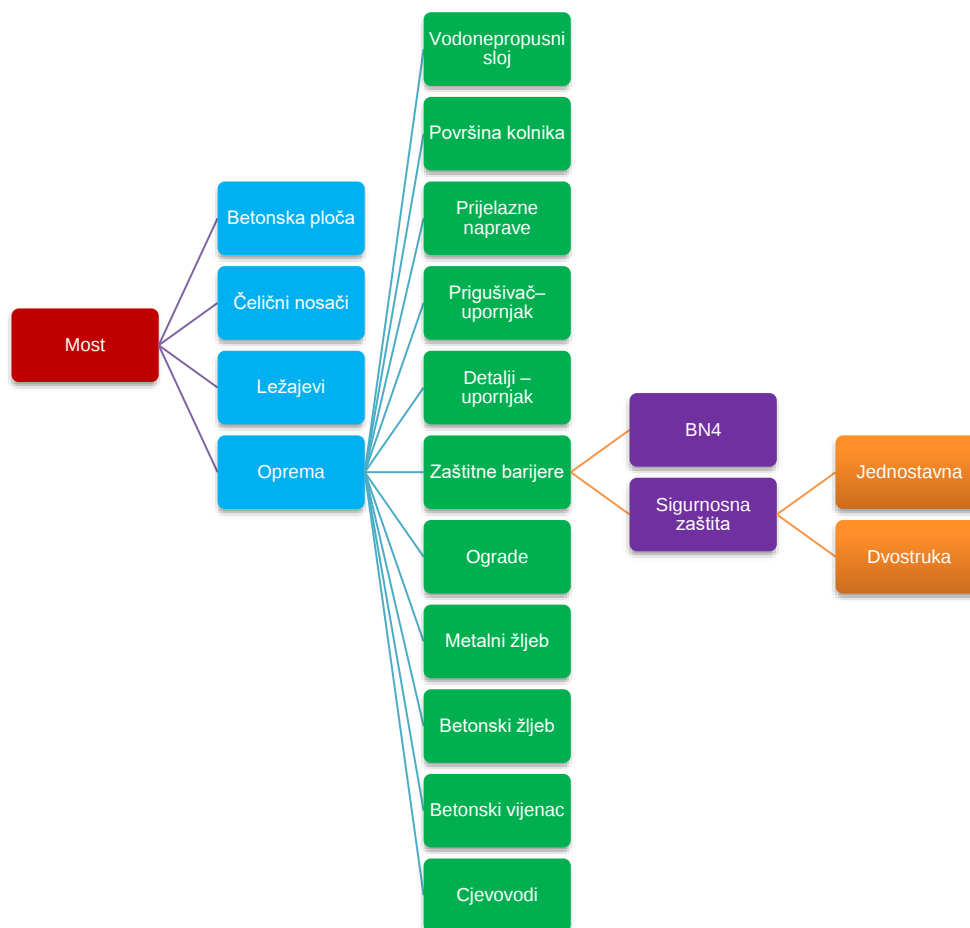
Slika 9: Elementi čeličnih nosača



Slika 10: Elementi temelja



Slika 11: Elementi ležajeva



Slika 12: Detalji opreme

Različita projektna rješenja spregnutog mosta povezana su s različitim troškovima izgradnje prema vrsti upotrijebljenih materijala i postupaka izrade/montaže. U literaturi [12] navodi se da se uz izbor odgovarajuće kvalitete čelika i betona osiguravaju uvjeti za ekonomičnu izgradnju. Korištenje čelika u spregnutoj konstrukciji predstavlja veliki ekonomski potencijal razvijen uz korištenje troškovno učinkovitih tehnika gradnje i naprednih postupaka gradnje. Napominje se da većina građevinskih materijala troši energiju za proizvodnju i transport. Ovaj se aspekt uzima u obzir u [13] množenjem svih troškova materijala za gradnju i popravke s nekim čimbenikom zbog potrošnje energije za proizvodnju i transport. Korištenje neobnovljivih materijala također se uzima u obzir uključivanjem troškova reprodukcije ili ponovne upotrebe materijala kada je konstrukcija uklonjena.

4.1.2 Faza korištenja

Sve konstrukcije se moraju pregledavati i održavati. Konkretno, pregledi mostova su bitni za utvrđivanje intervencijskih strategija. Vremenski intervali između tih mjera ovise o vrsti mosta, iskustvu u različitim zemljama, raspoloživim ekonomskim resursima, prosječnom dnevnom prometu, upotrebi soli za odmrzavanje i sl. Također, strategije pregleda (intenziteti i učestalosti pregleda) mogu se razlikovati u svakoj zemlji ovisno o klimatskim uvjetima i strategijama prioriteta koje odgovaraju svakoj zemlji (Woodward 1997). Tri osnovna tipa pregleda razmatrana su u diskusiji u točki 2.4.

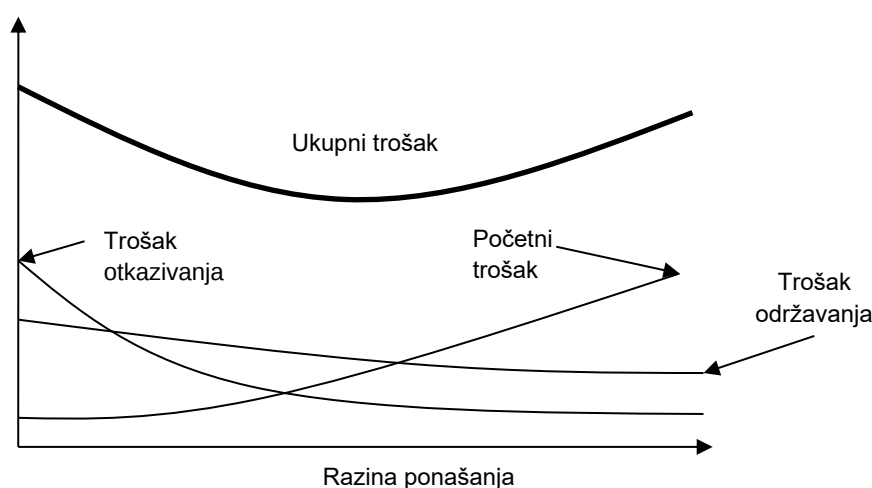
Tijekom faze korištenja mosta uzimaju se u obzir neke aktivnosti održavanja, a cilj je da ponašanje mosta (povezana s konceptima uporabivosti i sigurnosti) uvijek ostaje iznad

minimalnog praga. Ova točka odgovara kraju životnog vijeka ako se ne provodi druga rehabilitacijska akcija.

4.1.3 Kraj životnog vijeka

U fazi na kraju životnog vijeka, pretpostavlja se da je most srušen i da su materijali sortirani na istom mjestu prije nego što su poslani na svoje konačno odredište. Za spregnute mostove, pretpostavlja se da će čelična konstrukcija biti ponovno korištena. Preostali dijelovi, koji su uglavnom betonski i bitumenski materijali, odvojeni su i transportirani u područja za odlaganje otpada. U tom kontekstu, troškovi na kraju životnog vijeka trebaju uzeti u obzir troškove demontaže mosta (rad, oprema, signalizacija na cesti), trošak prijevoza i trošak odlaganja materijala i/ili prihoda zbog recikliranja materijala.

Razmatranjem svih tih troškova u procesu odlučivanja i osiguravanja zadovoljavanja ograničenja ponašanja, rješenja koja mogu biti skuplja od drugih u fazi izgradnje mogu konačno biti atraktivnija pri razmatranju cjelokupnog životnog vijeka konstrukcije (slika 13).



Slika 13: Shematski prikaz troškova životnog ciklusa

4.2 Metoda ekonomske procjene za LCC analizu

Razumijevanje vremenske vrijednosti novca i činjenice da su troškovi koji se odražavaju u LCC analizi nastali u različitim vremenskim točkama, potrebno je pretvoriti sve vrijednosti troška u vrijednost u zajedničkoj vremenskoj točki. Postoji nekoliko metoda koje vode do LCC, od kojih su neke:

- *metoda povrata (engl. the payback method), koja određuje vrijeme potrebno za povratak na početno ulaganje,*
- *ekvivalentni godišnji troškovi (engl. the equivalent annual costs) koji izražavaju godišnje troškove posjedovanja i upravljanja imovinom tijekom cijelog životnog vijeka,*
- *interna stopa povrata (engl. the internal rate of return), koja predstavlja diskontnu stopu po kojoj je neto sadašnja vrijednost troškova (negativni tijekovi novca) investicije jednaka neto sadašnjoj vrijednosti dobiti (pozitivnih novčanih tokova) investicije,*

- pristup neto sadašnje vrijednosti (engl. the net present value) koji izravno primjenjuje faktore smanjenja za svaku godinu predvidivog tijeka novca.

Navedeni pristup neto sadašnje vrijednosti jedna je od najčešćih metoda za usporedbu prošlih i budućih tijekova novca s trenutnim. Kako bi troškovi bili ekvivalentni u vremenu, pristup ih smanjuje na zajedničku točku vremena, diskontna stopa novca se odražava na investitorovu mogućnost troška novca tijekom vremena. Neto sadašnja vrijednost može se izračunati na sljedeći način:

$$NPV = \sum_{k=1}^N \frac{C_k}{(1+r)^k} \quad (2)$$

NPV: troškovi životnog ciklusa izraženi kao trenutna vrijednost (engl. net present value - NPV),

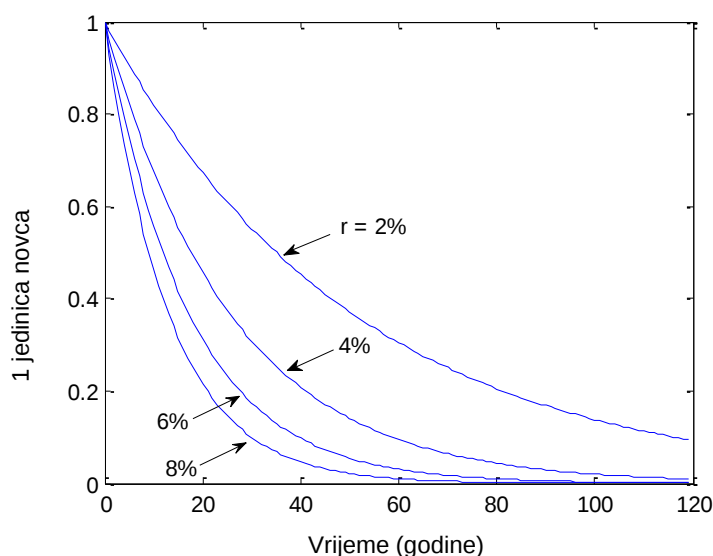
K: razmatrane godine,

C_k : zbroj svih tijekova novca u godini K,

r: diskontna stopa (engl. discount rate)

N: broj radnji koje treba razmotriti tijekom uporabnog životnog vijeka.

Godišnji profil jedne jedinice novca prikazan je na slici u slici 14. Napominje se da se za visoke diskontne stope opaža strmo smanjenje smanjenih troškova. Također, pokazalo se da odabir vrijednosti $r = 6$ ili 8% dovodi do novčane vrijednosti blizu nule nakon šezdeset godina.



Slika 14: Profil jedne jedinice novca za različite vrijednosti r

Vrijednost korištene godišnje diskontne stope ključna je jer je trenutna vrijednost novca (NPV) vrlo osjetljiva na ovaj parametar. Doista, što je diskontna stopa viša, to je veća važnost bliže sadašnjosti. Odabir visoke diskontne stope zatim može potaknuti strategije upravljanja s niskim početnim troškovima i skupim krajem životnog vijeka. Stoga je izbor diskontne stope osjetljiv i mora biti u skladu s vremenskim horizontom. Diskontna stopa je odabrana kao fiksna na 2% u LCC analizi provedenoj u SBRI projektu za 100-godišnji životni vijek.

5 ANALIZA SOCIJALNIH KOMPONENATA ŽIVOTNOG CIKLUSA

Procjena socijalnih kriterija u potpunosti poštuje granicu sustava integralne analize (vidi sliku 5). 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.

Za analizu socijalnih komponenata životnog ciklusa razmatraju se dvije vrste indikatora: obvezni, oni koji se preporučuju da budu uvijek uključeni u analizu životnog ciklusa; i opcionalni, oni koje mogu biti uključeni ili ne, ovisno o cilju analize.

5.1 Obvezni indikatori

Obvezni indikatori imaju za cilj kvantificirati učinke zbog bilo kakve građevinske aktivnosti na korisnike mosta. U tom se slučaju razmatraju tri vrste indikatora: troškovi kašnjenja vozača, troškovi rada vozila i troškovi prometnih nesreća. Drugi utjecaj mogao bi biti uključen u ovu grupu, kao što je utjecaj na korisnike zbog zaobilaženja. Ako zbog bilo kojeg specifičnog razloga, promet preko i/ili ispod mosta mora biti zaustavljen u određenom vremenskom razdoblju, tada se promet treba preusmjeriti na alternativnu cestu. U tom slučaju, dodatno vrijeme koje vozači troše i dodatna duljina ceste također se mogu uzeti u obzir kod tri indikatora koja su prethodno navedena. Stoga su u LCS analizi prikazanoj u ovoj točki razmatrana samo tri osnovna indikatora.

5.1.1 Troškovi kašnjenja vozača

Trošak vremena izgubljenog od strane vozača tijekom putovanja kroz radnu zonu ovdje se naziva kao trošak kašnjenja vozača (engl. driver's delay cost - DDC). Taj je trošak dan kao razlika između troška vremena izgubljenog od strane vozača tijekom putovanja pri normalnoj brzini i izgubljenog vremena tijekom putovanja uz smanjenu brzinu zbog građevinskih radova na istoj dužini autoceste.

5.1.2 Operativni troškovi vozila

Vozilo koje putuje kroz zonu radova podložno je kašnjenjima. Ova kašnjenja zbog izgradnje dovode do dodatnih troškova za vlasnika vozila. Ovi dodatni troškovi ovdje se nazivaju operativni troškovi vozila (engl. Vehicle Operating Costs - VOC). Ovaj trošak je dan razlikama između troškova korištenja vozila pri normalnoj brzini i troškova korištenja vozila pri smanjenoj brzini zbog građevinskih radova na istoj dužini autoceste.

5.1.3 Troškovi nesreća

Troškovi nesreće predstavljaju dodatne troškove zbog zone radova na cesti ili autocesti; te se stoga, izračunavaju kao razlika između troška nesreća na duljini autoceste bez radnih aktivnosti i troška nesreća na istoj duljini kada postoji radna aktivnost.

5.2 Dodatni indikatori

Ovdje se uvode dva indikatora kao neobavezna, jer njihova važnost ovisi o analiziranoj situaciji. Ova dva indikatora smatraju se neobaveznim jer se razlikuju od ostalih indikatora. Prva razlika između ova dva utjecaja i preostalih je ta, da iako se oni mogu kvantificirati preko

životnog ciklusa mosta, nema smisla dodati njihove utjecaje u tom vremenskom razdoblju. Druga je razlika u tome što dva opcionalna indikatora imaju snažnu subjektivnu prirodu i to treba uzeti u obzir prilikom kvantifikacije.

Prvi indikator je buka koja može postati važna ako se mjesto radova nalazi u blizini osjetljivog područja i ako se procjenjuje da se rad odvija tijekom noći. Drugi indikator je estetika. Ovaj indikator može biti važan ako je namjera da most ima estetsku funkciju osim svoje normalne funkcije. Iako se estetika mosta također treba smatrati dijelom njegovog konceptualnog projektiranja. Međutim, u posebnim slučajevima kao što su posebne vrste mostova, mostova izgrađenih u urbanim sredinama, itd., onda estetska vrijednost mosta može postati važan kriterij. Ova dva indikatora imaju neke zajedničke karakteristike. Oni se obično ne procjenjuju na temelju pristupa temeljenom na životnom ciklusu i oba su subjektivni, što podrazumijeva drugi pristup za njihovu kvantifikaciju i interpretaciju.

5.2.1 Buka

Buka se može definirati kao neželjeni zvuk što znači da negativno utječe na ljudska bića i njihov okoliš. Buka utječe na veliki broj ljudi i obično se percipira kao jedan od glavnih ekoloških problema. Ona može utjecati na ljude na fiziološki i psihološki način, ometajući osnovne aktivnosti poput spavanja, odmora, učenja i komunikacije. Buka je povezana s mnogim ljudskim aktivnostima, ali cestovni, željeznički i zračni promet su ti koji imaju najveći utjecaj.

5.2.2 Estetika

Vrednovanje estetike obično se smatra visoko subjektivnim pitanjem. Estetika se može definirati kao (i) skup načela koja se odnose na prirodne ljepote (osobito u umjetnosti), i (ii) grane filozofije koja se bavi pitanjima ljepote i umjetničkog ukusa. Različite osobe imaju različite percepcije ljepote, i ono što je za jedne ugodno i prihvatljivo može biti uvredljivo i neprihvatljivo drugima. Naravno, to čini procjenu estetike vrlo subjektivnim i često kontroverznim pitanjem.

5.3 Troškovi korisnika

Suprotno troškovima vlasnika koji su izravno mjerljivi troškovi, troškovi korisnika su neizravni i teško mjerljivi. U slučaju mostova na autocesti to su troškovi nastali kod korisnika zbog operacija održavanja konstrukcija na autocestama uzrokujući zagušenje ili narušavanje normalnog protoka prometa. Ovi troškovi nisu izravno mjerljivi, ali se mogu mjeriti kašnjenja u prometu koji vode do njih. Dakle, troškovi kašnjenja prometa mogu se predvidjeti na temelju procijenjenih troškova odgode i korištenja vozila koji uključuju dodatne troškove goriva uz dodatne troškove održavanja vozila. Ovi troškovi su kratko opisani u nastavku:

- *Troškovi kašnjenja prometa uslijed povećanja vremena putovanja kroz zonu radova zbog smanjenja brzine, kašnjenja zbog zagušenja ili povećanih udaljenosti zbog zaobilaznica. Na te troškove utječu mnogi čimbenici kao što su trenutačni i budući promet, kapacitet mosta, vrijeme, trajanje i učestalost ograničenja induciranih kapacitetom zone radova i jedinični troškovi kašnjenja.*
- *Operativni troškovi vozila zbog razine gubitka usluge uzrokovane radnjama održavanja konstrukcija autocesta. Poremećaj normalnog prometa uzrokuje smanjenje brzine, povećanje potrošnje goriva i ulja, potrošnje guma i povećanog održavanja vozila. Konkretno, dodatni troškovi goriva uvjetovani su činjenicom da je njegova potrošnja*

znatno veća u zagušenim uvjetima. Osim toga, troškovi održavanja vozila se povećavaju, budući da dijelovi trebaju bržu zamjenu za vozila koja putuju u zagušenim uvjetima. Konačno, poremećaj prometa uzrokovan radovima održavanja ima negativan utjecaj na sigurnost na cesti i time povećava stopu nesreća na dijelu ceste na koji utječu radovi.

Trenutni ili budući prosječni dnevni promet (engl. average daily traffic - ADT izražen u vozilima/danu), temeljen na zahtijevanoj godini izgradnje, trebao bi se dobiti iz odjela nadzora prometa. Zbog čimbenika kao što su rast stanovništva i gospodarski prosperitet, obujam prometa na mostu može se povećati svake godine i može se procijeniti izrazom:

$$ADT_t = ADT \times (1 + r_{tg})^{year_t - year_0} \quad (3)$$

ADT_t prosječni dnevni promet koji se koristi u analizi u godini t (vozila/danu),

r_{tg} očekivana rata prirasta prometa,

$year_t$ godina u kojoj se ADT treba izračunati,

$year_0$ godina u kojoj je ADT izmjeren.

6 VIŠEKRITERIJSKA ANALIZA

Nakon definiranja različitih rješenja za most, posljednji korak pristupa je usporedba različitih rješenja. Pristup životnog ciklusa predložen u okviru ovog projekta usmjeren je na integraciju različitih kriterija u kontekstu održivosti. Da bi se postigao cilj predloženog pristupa, preferiraju se metode nadmašivanja (engl. outranking based methods) u odnosu na metode skupljanja (engl. aggregating methods) (ili jednokriterijske metode), jer uključuju slabije kompromise, [14].

Metoda usvojena u ovom istraživačkom projektu je metodologija organizacije prioriteta rangiranja procjene obogaćivanja (engl. Preference Ranking Organization Methodology of Enrichment Evaluation - PROMETHEE) koju je razvio Brans [15] i dalje proširili Vincke i Brans [16]. PROMETHEE pripada obitelji metoda nadmašivanja iako ne predstavljaju pristup koji je najviše nekompenziran. PROMETHEE je vrlo jednostavna metoda rangiranja u koncepciji i primjeni u usporedbi s drugim metodama za analizu više kriterija [17], [18]. Jedno od proširenja PROMETHEE metode (PROMETHEE II) omogućuje cjelovito rangiranje alternativa, dok drugi pristupi pružaju djelomično rangiranje, uključujući moguću neusporedivost. PROMETHEE ima široku primjenu u situacijama odlučivanja koje variraju od upravljanja okolišem do poslovnog i financijskog upravljanja, medicinskih aplikacija itd. Sveobuhvatni pregled metodologije i primjene PROMETHEE metode nalazi se u [19].

6.1 PROMETHEE

Da bi se koristio PROMETHEE, potrebno je osigurati dodatne informacije između kriterija i unutar svakog kriterija, kako je opisano u sljedećim paragrafima. Razmatrana su tri glavna kriterija: ekološki, ekonomski i troškovi korisnika. Kriteriji zaštite okoliša koji se razmatraju u analizi uključuju abiotičko iscrpljivanje, zakiseljavanje, eutrofikaciju, globalno zagrijavanje, oštećenje ozonskog omotača, toksičnost uslijed ljudske aktivnosti, ekotoksičnost i stvaranje foto-oksidansa. Gospodarski kriteriji uključuju troškove izgradnje, troškove upravljanja i troškove kraja životnog vijeka. Za troškove korisnika, razmatra se jedan kriterij koji predstavlja

troškove zbog kašnjenja prometa, operativne troškove vozila i troškove nesreća. Informacije između kriterija dane su skupom težinskih faktora ($w_i = 1, 2, \dots, k$) koji predstavlja relativnu važnost različitih kriterija. Što je težinski faktor veći, to je važniji kriterij. Na korisniku je da definira skup težinskih faktora koji će biti dodijeljeni svakom kriteriju. Informacije unutar svakog kriterija, struktura preferencija, temelje se na usporedbama parova. Razmatra se odstupanje između procjena dviju alternativa na određenom kriteriju. Za mala odstupanja, donositelj odluke dodjeljuje malu prednost najboljoj alternativnoj ili možda nikakvu prednost ako je odstupanje zanemarivo. Što je veće odstupanje, to je veća prednost.

Za analizu se razmatraju različiti scenariji za vaganje različitih kriterija:

- Scenarij 1 uzima u obzir jednaku važnost za tri glavna kriterija: ekološki, ekonomski i troškove korisnika (1/1/1);
- *Scenarij 2 uzima u obzir veću važnost kriterija okoliša u odnosu na ekonomski i troškove korisnika (2/1/1);*
- *Scenarij 3 uzima u obzir veću važnost ekonomskog kriterija u odnosu na ekološki i troškove korisnika (1/2/1);*
- *Scenarij 4 uzima u obzir veću važnost za troškove korisnika u odnosu na ekološke i ekonomske kriterije (1/1/2).*

7 SBRI-TOOL – PROGRAMSKI ALAT

U operativnom sustavu iOS razvijen je poboljšani i jednostavni programski alat u kontekstu ovog projekta. Implementirano je novo sučelje kako bi se ulazni podaci unosili na lakši način. Program i korisnički priručnik bit će dostupni za besplatno preuzimanje na raznim web stranicama (i.e. sections.arcelormittal.com, www.infosteel.com, www.constructalia.com, www.steelconstruct.com, <https://isise.net/smct/site/>).

U programu će se korisniku dati tri unaprijed definirana scenarija održavanja, ovisno o životnom vijeku različitih komponenti mosta. Isto tako, napravljeni su dostupnim scenariji za različite materijale za kraj životnog vijeka, što olakšava procjenu.

Riješeni primjeri opisani u sljedećim točkama ovog priručnika nalaze se u programskom alatu kao primjeri primjene. To će omogućiti lakše razumijevanje alata temeljem detaljnog opisa primjera, koji su danu u Priručniku za projektiranje I. Štoviše, uz alat će biti uključen i pojednostavljeni korisnički priručnik, koji opisuje značajke programa i usmjerava korisnika tijekom cijele procjene životnog ciklusa. Čitatelje ovog priručnika se upućuje na korisnički priručnik programa za detaljan opis programskih mogućnosti i funkcionalnosti.



Slika 15: Sučelje SBRI+ aplikacije

DIO B: RIJEŠENI PRIMJERI

Dio B ovog priručnika usredotočen je na riješene primjere, koji pokrivaju cijeli životni ciklus mostova, od izgradnje, tijekom korištenja i održavanja, sve do rušenja na kraju životnog vijeka. Riješeni primjeri razvrstavaju se u tri različita tipa: Mostovi tipa A, koji predstavljaju nadvožnjake s jednim i dva raspona, tip B koji predstavlja cestovne mostove velikog raspona, i tip C koji predstavlja mostove autocesta malog do srednjeg raspona. Napominje se da su zaključci iz LCA analize za svaku studiju slučaja prikazanu u ovom priručniku specifični za pojedini slučaj i nisu namijenjeni za opće zaključke.

1 RIJEŠENI PRIMJERI – TIPOVI MOSTOVA

1.1 Opis tipova mostova u LCA analizi

Riješeni primjeri su usmjereni na mostove autocesta s različitim rasponima i različitim vrstama poprečnog presjeka (čelično-betonska spregnuta rješenja i iz razloga usporedbe predgotovljene betonske grede). Primjeri mostova opisani su u tablici 7.

Tablica 7: Tipovi mostova – Studije slučajeva

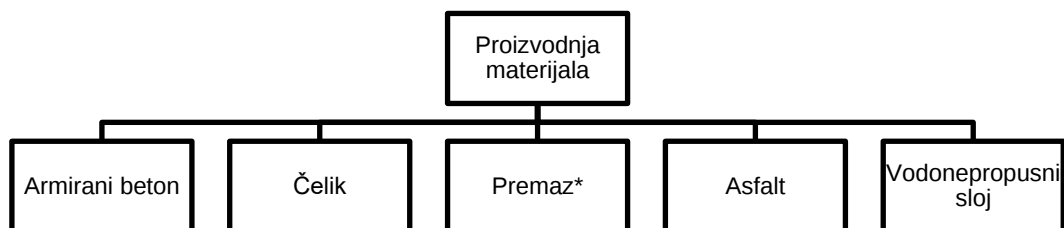
Tip mosta	Broj primjera	Studija slučaja	Opisi materijala i tipologije
Slučajevi A	3	A1	Spregnuti i jedan raspon
		A2	Prednapeti beton s dva raspona
		A3	Spregnuti s dva raspona
Slučaj B	1	B1	Spregnuti s tri raspona
Slučajevi C	4	C1.1	Spregnuti (više raspona)
		C1.2	Betonski (više raspona)
		C2.1	Spregnuti i jedan raspon
		C2.2	Betonski i jedan raspon

U slučaju B analiziran je jedan spregnuti most preko tri raspona; i ovo se rješenje ne uspoređuje s drugim mostom.

1.2 Scenariji i pretpostavke za analiza okoliša u životnom ciklusu

1.2.1 Faza proizvodnje materijala

Ova faza uzima u obzir proizvodnju svih materijala potrebnih za izgradnju mosta kako je prikazano na slici 16. Izvori podataka su navedeni u tablici 8.



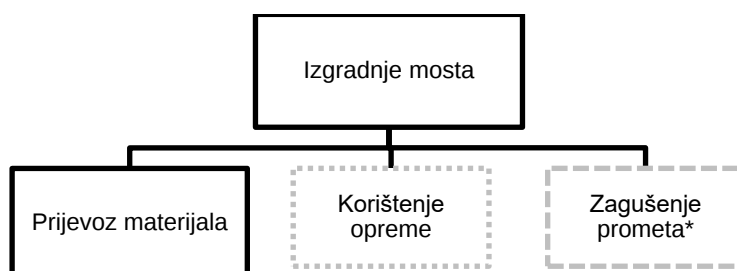
Slika 16: Faza proizvodnje materijala

Tablica 8: Izvori podataka o materijalima i prijevozu

Materijal/Proces	Izvor
Beton (nekoliko razreda)	GaBi [20]
Konstruktivni čelik	GaBi/World Steel [20]
Armatura	GaBi [20]
Prevlake i premazi	GaBi [20]
Asfalt	GaBi [20]
Vodonepropusni sloj	GaBi [20]

1.2.2 Faza izgradnje

Faza izgradnje obuhvaća sve procese koji su potrebni i utječu na izgradnju mosta. Dakle, kao što je prikazano na slici 17, razmatra se i prijevoz materijala na gradilište.



(*) Zagušenje prometa ispod mosta razmatrano je samo za nadvožnjake ispod kojih se odvija promet autocestom u fazi izgradnje

Slika 17: Faza izgradnje

Međutim, zbog nedostatka podataka, analizom nije uzeto 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*

Građevinski materijali moraju biti prevezeni na gradilište. Putne udaljenosti procijenjene za svaki slučaj navedene su u tablici 9. Potrošnja dizel goriva također se izračunava na temelju putnih udaljenosti navedenih u ovoj tablici.

Tablica 9: 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, u ovoj fazi nije razmatran promet preko mosta.

1.2.3 Faza korištenja

Ovdje se pretpostavlja da se tijekom životnog vijeka mosta neće dogoditi nijedno veće oštećenje ili otkazivanje mosta, uzimajući u obzir scenarije planova održavanja i popravaka

definirane u točki 2.4 - Dio A - ovog priručnika. Sukladno tome, u ovim studijama slučaja razmatrana su tri različita scenarija održavanja: standardni, nedostatak novca i scenariji dugotrajnog životnog vijeka. Osim toga, proučavana su dva scenarija rada, dnevni rad i noćni rad. Detaljni planovi ovih scenarija prikazani su u Dodatku A. Planovi održavanja temelje se na procijenjenom vijeku trajanja različitih sastavnih dijelova mostova.

- *Prijevoz materijala*

Svaki put kada se most podvrgne aktivnosti održavanja ili popravaka, materijali moraju biti prevezeni na most. Putne 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 vozila za svaku kombiniranu aktivnost razmatraju se različiti scenariji. U svim će slučajevima uvijek biti (barem) jedna prometna traka otvorena u svakom smjeru. Kada se traži zatvaranje trake, razmatraju se dva različita scenarija: rad tijekom dana (od 6:00 do 22:00 sati) i tijekom noći (od 22:00 do 6:00 sati).

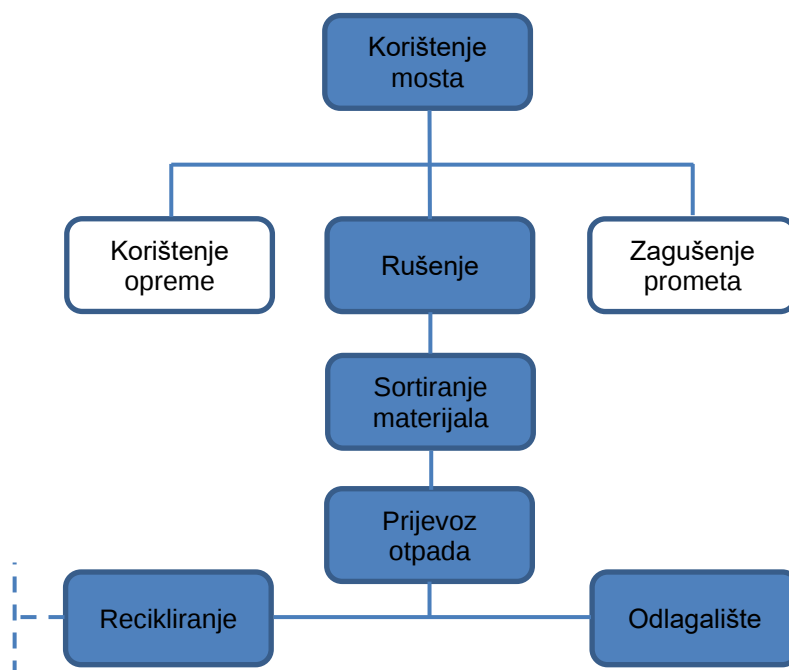
Planovi održavanja navedeni u Dodatku A ukazuju na ograničenja prometa na i ispod mosta tijekom godina u kojima se odvijaju aktivnosti održavanja.

1.2.4 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 se pretpostavlja da će čelična konstrukcija biti ponovno iskorištena. Preostali dijelovi, koji su uglavnom betonski i bitumenski materijali, odvojeni su i prevezeni u područja za odlaganje otpada. U tom kontekstu, troškovi kraja 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 18 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 18: 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 njihovom odgovarajućem scenariju na kraju životnog vijeka. Procijenjena udaljenost između mjesta sortiranja i konačnog odredišta materijala navedena je u tablici 10.

Tablica 10: 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.

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

Kategorije okoliša usvojene u metodologiji (kako je naznačene u točki 3.4 - Dio A) izračunate su prema CML metodologiji [21]. 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 [22]. Stoga se ovaj indikator 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 indikator nisu prikazani u sljedećoj analizi.

1.2.2 Kategorija okoliša fotokemijski potencijal stvaranja ozona (Prijevoz kamionom)

Prema CML metodologiji [21], 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.

1.2.3 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).

1.2.4 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 [1]. 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.

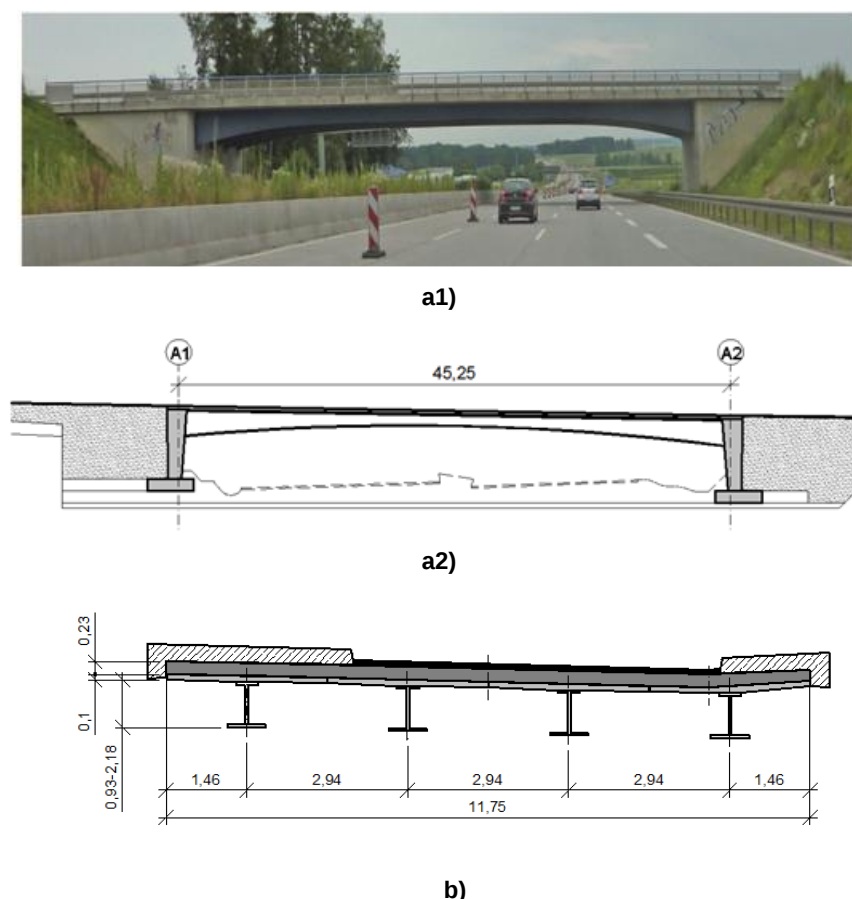
2 STUDIJE SLUČAJA – TIP MOSTA A

2.1 Opis studija slučaja

2.1.1 Definicija sustava, geometrije i parametara mosta

Ovdje se razmatraju tri tipa nadvožnjaka preko autoceste s dva prometna traka: integralni spregnuti most (A1), tradicionalni prednapeti betonski most s dva raspona izveden na licu mjesta (A2) i tradicionalni spregnuti most (A3) također preko dva raspona [23]. Ova tri mosta su postojeći mostovi - već izgrađeni, a njihova duljina i širina su u istom rasponu, ali nisu potpuno jednaki. Da bi se usporedile tri mogućnosti, mostovi A2 i A3 su prilagođeni na dimenzije mosta A1: dužine 45,25 m i širine 11,75 m.

Slučaj A1 je integralni most raspona 45,25 m, što znači da ima integralne upornjake bez stupa na sredini autoceste. Raspon se sastoji od četiri spregnuta nosača (slika 19), izrađena od čelični ploča S355 J2 G3 s promjenjivom visinom u rasponu od 0,93 m u sredini raspona do 2,18 m na upornjacima. Nosači su postavljeni na razmaku od 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 izlivenog na licu mjestu na predgotovljenim pločama od 0,01-0,12 m debljine.

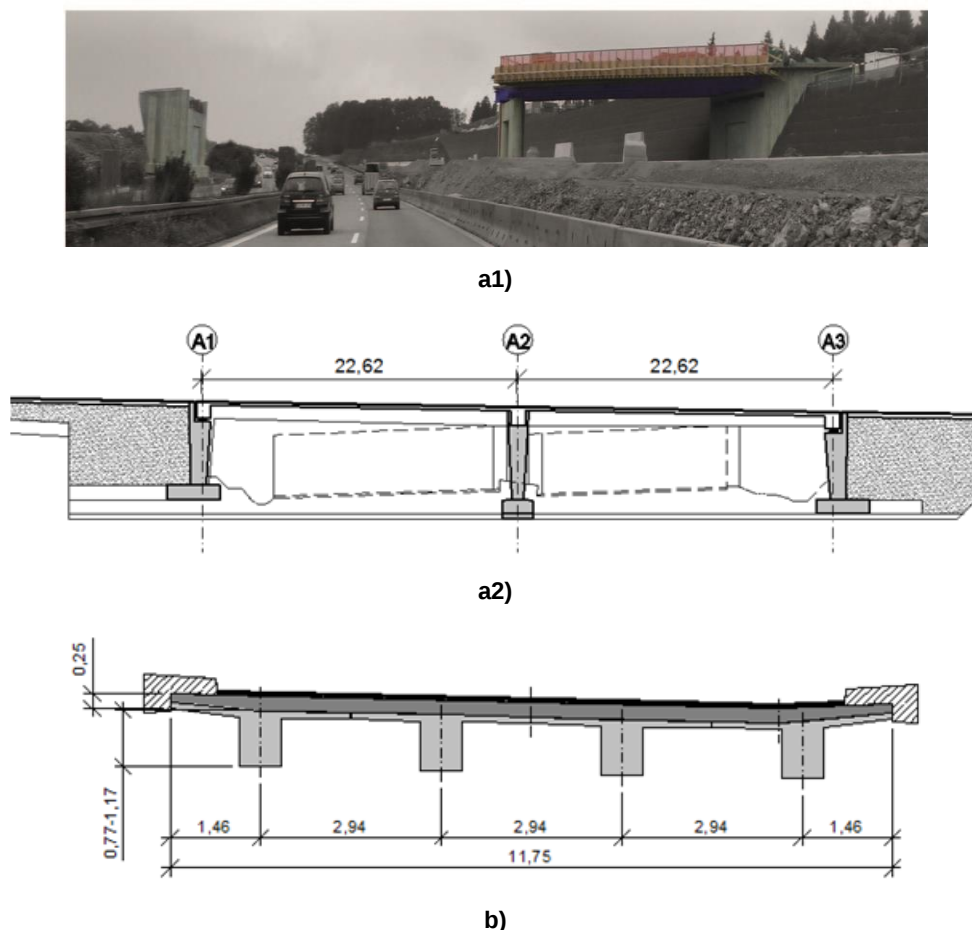


Slika 19: Slučaj A1: Integralni spregnuti most: a1) i a2) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek s nosačima promjenjive visine

Mostovi u ovim studijama slučaja su postavljeni preko autoceste u dva smjera. Svaki kolnik ima kapacitet za 4 trake širine 3,15 m. Svaki kolnik ima širinu od 20,05 m, a sadrži glavnu

prometnu površinu od 15 m, zaustavni trak duž unutarnje trake širine 4,05 m te rubni trak duž vanjske trake širine 1 m. To ukupno iznosi: $2 \times (1 + 4 \times 3,75 + 4,05) = 20,05 = 40,1$ m.

Slučaj A2 je prednapeti betonski most (slika 20), a izvorne dimenzije bile su dva raspona od 25,20 m i 26,70 m, a širina ploče je 7,9 m. No, radi usporedbe je ukupna duljina između upornjaka prilagođena s 51,90 m na 45,25 m. Ploča je prilagođena na 11,75 m. Ploča se sastoji od pravokutnih greda izlivenih na licu mjesta (C45/55) širine 0,68 m i visine 0,77 m. Na nosačima leži ploča debljine 25 cm (C35/45).



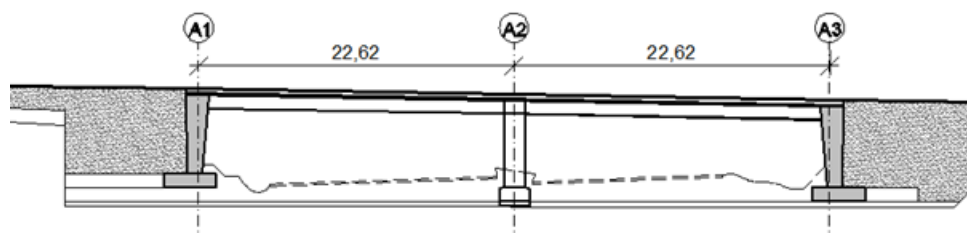
Slika 20: Slučaj A2: Prednapeti betonski nosač izveden na gradilištu a1) i a2) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek

Slučaj A3 je čelično-betonski spregnuti most s četiri nosača (slika 21). Most ima simetričnu konstrukciju s dva raspona od 22,62 m (tj. ukupna duljina između upornjaka je 45,25 m). Ukupna širina ploče je 11,75 m. Nosači su izvedeno iz HL 1000 A S355 J2 G3 čeličnih profila. Ploča (C35/45) se sastoji od 0,25 m sloja lijevanog na licu mjesta na predgotovljenim pločama (C45/55) debljine 0,12 m.

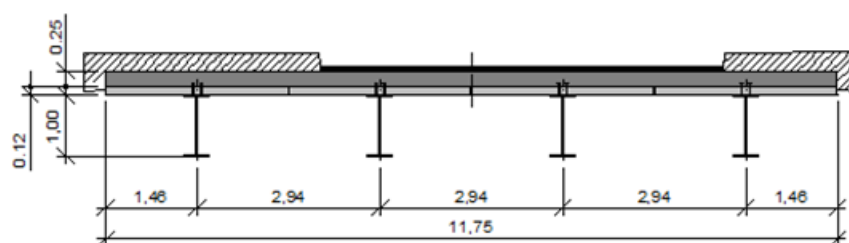
U slučajevima mostova A2 i A3 postavljaju se ležajevi ispod svakog glavnog nosača. Integralni most A1 ne sadrži ležajeve.



a1)



a2)



b)

Slika 21: Slučaj A3: Spregnuti most a1) i a2) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek

2.1.2 Razmatranja u fazi projektiranja

Tablica 11 prikazuje sažetak glavnih količina za tri slučaja mostova u analizi [23]

Tablica 11: Količine u slučajevima A1, A2, i A3 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize

Opis	Jedinica	Slučaj A1	Slučaj A2	Slučaj A3	Jedinica	Jedinična cijena (Njemačka 2008)
Donji ustroj						
Iskopi	[m ³]	4500	4800	4800	[€/m ³]	5,88
Zatrpavanje	[m ³]	2320	2520	2520	[€/m ³]	7,60
Beton za temelje C25/30	[m ³]	254	223,81	-	[€/m ³]	77,67
Beton za upornjake i pilote C30/37	[m ³]	746,20	681,97	969,6	[€/m ³]	84,47
Armatura S500	[kg]	90600	90690	64326,6	[€/kg]	0,99
Gornji ustroj						
Konstruktivni čelik S355 J2 G3	[kg]	81800	-	-	[€/kg]	2,49
Konstruktivni čelik S355 J2 G3 u HL1000A	[kg]	-	-	58084,35	[€/kg]	2,49
Zaštita od korozije	[m ²]	896	-	575,58	[€/m ²]	14,27
Predgotovljeni beton C30/37	[m ³]	58	-	52,26	[€/m ³]	588,73
Beton C35/45	[m ³]	144,20	571,20	130,66	[€/m ³]	84,47
Beton C45/55	[m ³]	-	172,82	-	[€/m ³]	588,73
Armatura S500	[kg]	44600	63038,3	44266,58	[€/kg]	0,99
Moždanci	[kg]	1382	-	748,7	[€/kg]	2,31
Elastomerni ležajevi	[kom]	-	12	12	[€/u]	812
Kalotni ležajevi	[kom]	-	2	2	[€/u]	750
Kolnik						
Slojevi asfalta kolnika	[m ²]	309	309	309	[€/m ²]	6
Vodonepropusni dio kolnika	[m ²]	309	309	309	[€/m ²]	11,40
Sigurnosne barijere	[kg]	7429,20	7429,20	7429,20	[€/kg]	1,2

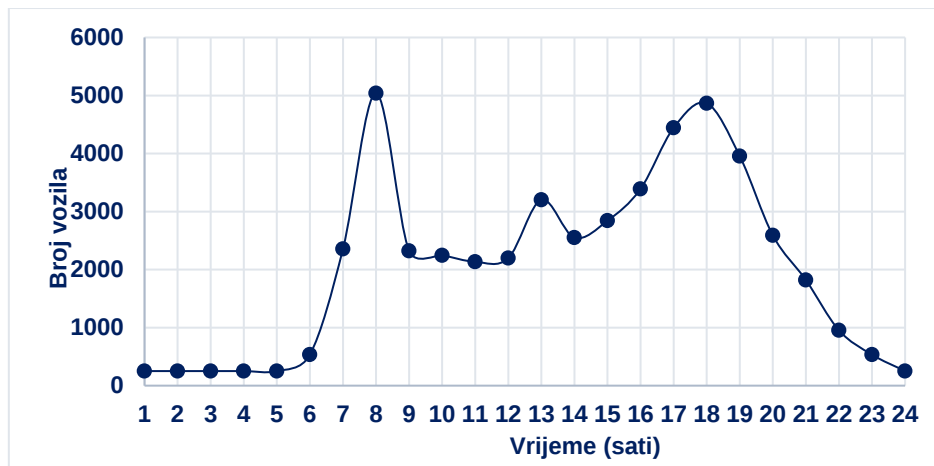
2.2 Analiza prometa

Za studije slučajeva A, svi mostovi su novi i postavljeni su preko autocesta. Stoga, tijekom faze izgradnje, nema prometa preko mostova, pa se u ovoj fazi ne uzimaju emisije. Kasnije, u fazi na kraju životnog vijeka također, uzeto je u obzir se da bi se promet preusmjerio na alternativni put; stoga ne bi bilo prometa na mostu. Cesta mosta sastoji se od jedne prometne trake za svaki smjer, a sigurnosne barijere su postavljene po cijelom mostu.

Međutim, tijekom razdoblja izgradnje promet ispod mosta je pod utjecajem ograničenja u brzini prometa i suženja kolnika. Zagušenje prometa zbog radne aktivnosti u okolini mosta ima 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 i teških vozila 88% u odnosu 12% od ADT-a. Raspodjela prometa po satu prikazana na slici 22 pretpostavljena je za autocestu.



Slika 22: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva A1, A2, i A3

Važno je napomenuti da rast prometa tijekom vremena slijedi jednadžbu (3) (vidjeti točku 5.3. - Dio A) gdje se razmatra stopa rasta od 0,5%. Rast prometa tijekom razdoblja od 100 godina prikazan je u tablici 12.

Tablica 12: 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 5000 vozila/dan u osnovnoj godini studije. Pretpostavlja se da se promet linearno povećava tijekom razdoblja od 100 godina kako je navedeno u tablici 13.

Tablica 13: Procijenjeni prosječni dnevni promet (ADT) preko mosta

	Osnovna godina	Osnovna godina + 50 godina	Osnovna godina + 100 godina
ADT(Vozila/dnevno)	5000	7500	10000

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 23.



(*) Svi materijali korišteni u ovoj studiji slučajeva [A] pokazani su ovdje. Međutim konstrukcijski čelik i zaštita od korozije nisu prisutni u slučaju A2 jer se radi o betonskom mostu.

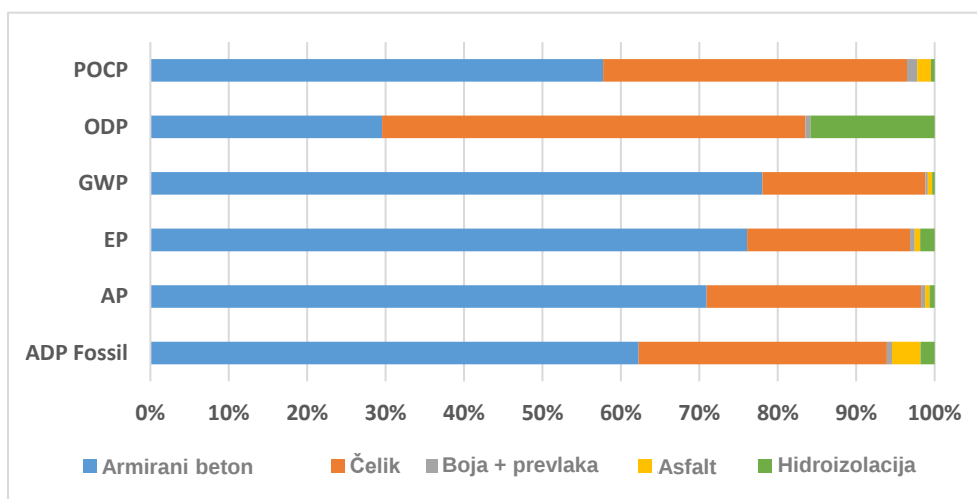
Slika 23: Faza proizvodnje materijala

- Analiza okoliša referentne studije slučaja A1

Dobiveni rezultati za fazu proizvodnje prikazani su u tablici 14. Zaključeno je da su proizvodnja konstrukcijskog čelika i armiranog betona glavni procesi koji doprinose globalnim utjecajima u fazi proizvodnje materijala. Isti rezultati su prikazani na slici 24.

Tablica 14: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [A1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Konstrukcijski čelik	Prevlaka + Boja	Asfalt	Vodonepropusni 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



Napomena: Rezultati za bojenje i prevlaku uključuju utjecaje na okoliš koji proizlaze od bojenja nekonstrukcijskih elemenata kao što je zaštitna oprema mosta.

Slika 24: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [A1]

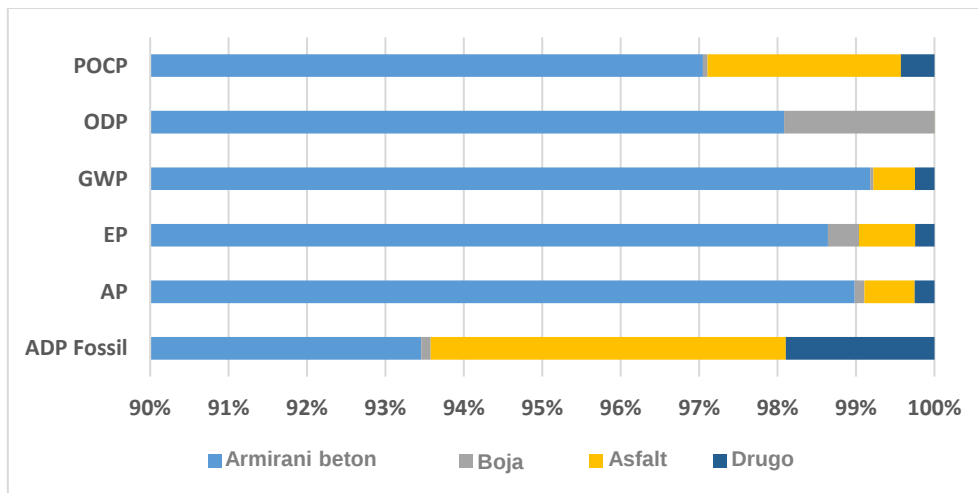
- Analiza okoliša za varijantu A2

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja A2 prikazani su na slici 25 i tablici 15. Tablica 16 prikazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja A1.

Tablica 15: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [A2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Boja	Asfalt	Drugo
ADP Fossil	MJ	4,19E+06	3,91E+06	4,99E+03	1,90E+05	7,94E+04
AP	Kg SO ₂ eq.	1,38E+03	1,37E+03	1,73E+00	8,84E+00	3,47E+00
EP	Kg PO ₄ eq.	1,56E+02	1,53E+02	6,18E-01	1,11E+00	3,83E-01
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,14E+05	7,08E+05	2,85E+02	3,79E+03	1,78E+03
ODP	Kg R11 eq.	2,04E-03	2,00E-03	3,90E-05	3,18E-09	5,11E-09
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,36E+02	1,32E+02	8,05E-02	3,35E+00	5,81E-01

Napomena: Ukupni rezultati pod „drugo“ proizlaze od pokrovnih/brtvenih/zaštitnih slojeva uglavnom od lijevanog asfalta ili bitumenskog brtvila.



(*) Rezultati za bojenje dolaze od boje koja se koristi za zaštitnu opremu (ograde), a ne od čeličnih konstrukcijskih elemenata.

Slika 25: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [A2]

Tablica 16: Utjecaji na okoliš slučaja A2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj A1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A2	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	5,22E+06	4,19E+06	-19,8%
AP	Kg SO ₂ eq.	1,54E+03	1,38E+03	-10,7%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,58E+02	1,56E+02	-1,5%
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,04E+05	7,14E+05	+1,4%
ODP	Kg R11 eq.	5,98E-03	2,04E-03	-66,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,92E+02	1,36E+02	-29,2%

Armironi beton je glavni u doprinosu emisijama (> 90%) u fazi izgradnje za slučaj A2. U usporedbi s A1, u svim kategorijama za slučaj A2 u fazi proizvodnje materijala izračunati su smanjeni utjecaji.

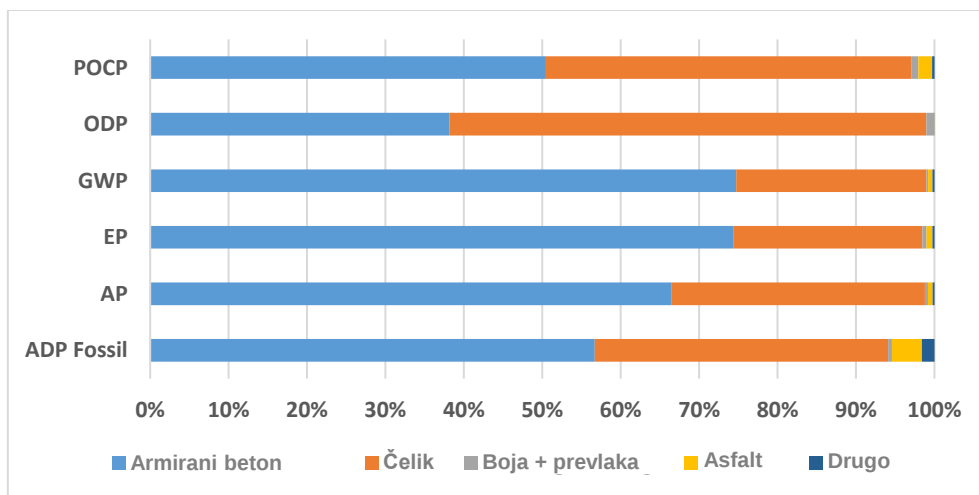
- Analiza okoliša varijante A3

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja A3 prikazani su na slici 26 i tablici 17. Tablica 18 prikazuje varijaciju tih rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja A1.

Tablica 17: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [A3]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armironi beton	Konstrukcijski čelik	Prevlaka + Boja	Asfalt	Vodonepropusni sloj
ADP Fossil	MJ	4,97E+06	2,82E+06	1,86E+06	2,42E+04	1,90E+05	7,94E+04
AP	Kg SO ₂ eq.	1,49E+03	9,90E+02	4,80E+02	5,74E+00	8,84E+00	3,47E+00
EP	Kg PO ₄ eq.	1,50E+02	1,11E+02	3,60E+01	8,13E-01	1,11E+00	3,83E-01
GWP	Kg CO ₂ eq.	6,89E+05	5,15E+05	1,67E+05	1,48E+03	3,79E+03	1,78E+03
ODP	Kg R11 eq.	3,77E-03	1,44E-03	2,29E-03	3,90E-05	3,18E-09	5,11E-09
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,91E+02	9,66E+01	8,93E+01	1,64E+00	3,35E+00	5,81E-01

Napomena: Ukupni rezultati pod „drugo“ proizlaze od pokrovnih/brtvenih/zaštitnih slojeva uglavnom od lijevanog asfalta ili bitumenskog brtvila.



Slika 26: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [A3]

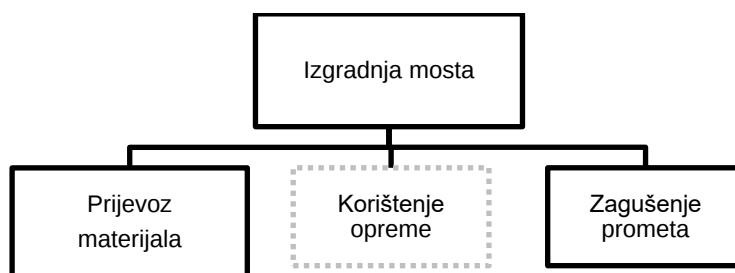
Tablica 18: Utjecaji na okoliš slučaja A3 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj A1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A3	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	5,22E+06	4,97E+06	-4,8%
AP	Kg SO ₂ eq.	1,54E+03	1,49E+03	-3,6%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,58E+02	1,50E+02	-5,3%
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,04E+05	6,89E+05	-2,1%
ODP	Kg R11 eq.	5,98E-03	3,77E-03	-37,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,92E+02	1,91E+02	-0,4%

Vidljivo je da su proizvodnja armiranog betona i konstrukcijskog čelika glavni procesi koji doprinose globalnim utjecajima u fazi proizvodnje materijala. U usporedbi s A1, smanjeni utjecaji izračunani su u većini kategorija za slučaj A3 u fazi proizvodnje materijala.

2.3.2 Faza izgradnje

Faza izgradnje uzima u obzir sve procese potrebne za izgradnju mosta i na koje utječe. Dakle, kao što je istaknuto na slici 27, ona također uključuje i prijevoz materijala na gradilište (prema udaljenostima navedenim u tablici 10).



Slika 27: Faza izgradnje

Međutim, zbog nedostatka podataka, u analizi nije uzeto u obzir korištenje i prijevoz građevinske opreme. U ovoj točki analizirano je samo zagušenje prometa zbog građevinske aktivnosti. Mostovi u ovoj studiji slučaja su novi; stoga, tijekom njihove izgradnje, nema prometa preko mosta pa se ne uzimaju u obzir emisije.

Međutim, tijekom razdoblja izgradnje, promet ispod mosta je pod utjecajem ograničenja u brzini prometa i suženjem 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 modela evaluacije reda i troškova korisnika zona radova (engl. Queue and User Cost Evaluation of Work Zones - QUEWZ-98) [24]. Model evaluacije reda i troškova korisnika zona radova procjenjuje prometne tokove kroz zone radova autocesta i omogućuje procjenu tradicionalnih troškova korisnika cesta i onečišćenja zraka na različitim strategijama zatvaranja prometnog traka. Utjecaji zbog viška potrošenog goriva, koji uključuju troškove zbog proizvodnje goriva, kvantificiraju se na temelju podataka GaBi [20]. U oba slučaja kvantifikacija utjecaja daje se razlikom između utjecaja vozila koja prolaze kroz zonu radova i utjecaja vozila koji prolaze kroz istu zonu, ali bez odgađanja 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, na promet na autocesti ispod mosta utječu ili ograničenja brzine prometa (kao što je gore spomenuto) ili suženja kolnika. Prosječni dnevni volumen prometa autoceste tijekom faze izgradnje nadvožnjaka uzet je kao 49485, kao što je opisano u točki 2.2. Trajanje izgradnje svakog mosta, uzimajući u obzir paralelne građevinske aktivnosti, prikazano je u tablici 19 zajedno s brojem dana s opstrukcijom prometa ispod mosta.

Tablica 19: Prekid prometa ispod mosta u slučaju B

	Slučaj A1 Integralni most	Slučaj A2 Betonski most (in situ)	Slučaj A3 Spregnuti most
Trajanje izgradnje (dani)	154	273	196
Dani s prekidom prometa ispod mosta	154 (1 traka zatvorena po smjeru)	119 (1 traka zatvorena po smjeru)	154 (1 traka zatvorena po smjeru)
		42 (2 trake zatvorene po smjeru)	42 (2 trake zatvorene po smjeru)
		112 (jedan smjer potpuno zatvoren)	

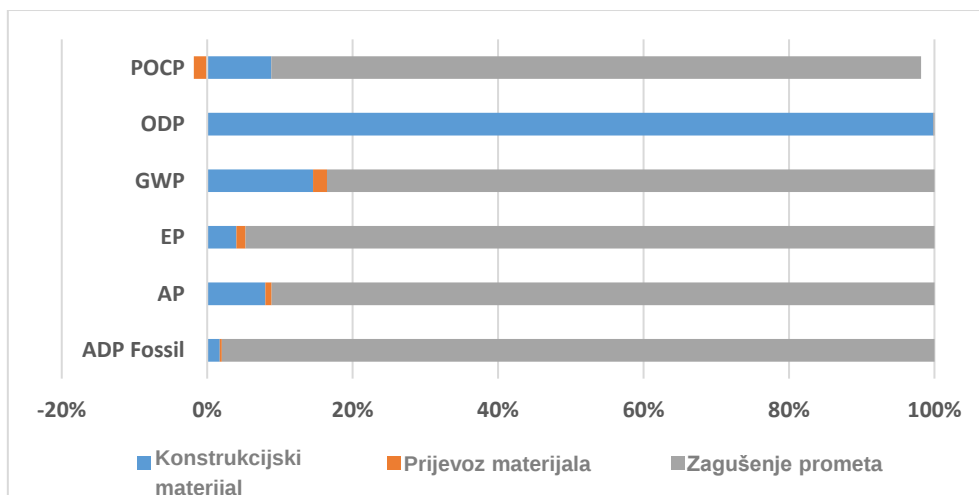
Napomena: Međutim, zbog ograničenja u trenutnoj verziji SBRI+ alata, sve analize životnog ciklusa se provode uzimajući samo 1 traku zatvorenu za promet u svakom smjeru [tri trake otvorene za promet u svakom smjeru] za vrijeme A1 = 154 dana, A2 = 273 dana i A3 196 dana.

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja A1*

Rezultati faze izgradnje za referentnu studiju slučaja A1 prikazani su u tablici 20 i ilustrirani na slici 28. Zagušenja prometa i operacije povezane s proizvodnjom građevinskih materijala na licu mjesta predstavljaju glavni doprinos utjecaja na okoliš u ovoj fazi. Uočeno je da doprinos zagušenja prometa čini više od 80% ukupnih utjecaja, osim kategorije utjecaja ODP. Utjecaj u ODP kategorije uglavnom dolaze od proizvodnje materijala na licu mjesta i mali su (red veličine od 10^{-4} kg R11 ekv.).

Tablica 20: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [A1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Konstruktivski materijal	Prijevoz materijala	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	2,02E+05	3,37E+04	1,15E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	6,37E+02	5,10E+01	5,46E+00	5,81E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	1,03E+02	4,14E+00	1,30E+00	9,78E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,27E+05	1,84E+04	2,45E+03	1,06E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,50E-04	2,50E-04	8,20E-10	3,66E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,99E+01	8,22E+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 [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

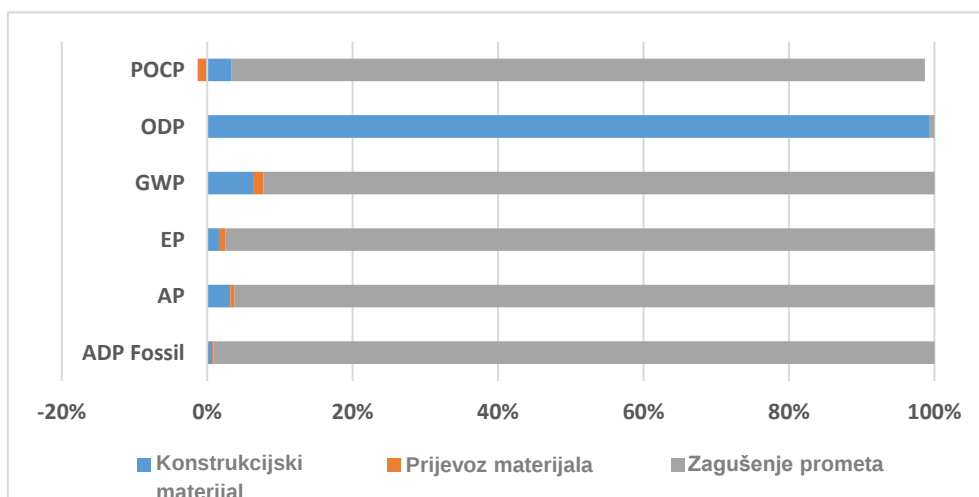
Slika 28: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja A1

- *Analiza okoliša varijante A2*

Rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja A2 prikazani su u tablici 21 i na slici 29. Tablica 22 pokazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja A1.

Tablica 21: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [A2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Konstrukcijski materijal	Prijevoz materijala	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	2,05E+07	1,38E+05	3,95E+04	2,03E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	1,07E+03	3,41E+01	6,40E+00	1,03E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	1,78E+02	2,88E+00	1,52E+00	1,73E+02
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,03E+05	1,28E+04	2,87E+03	1,88E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,00E-04	9,98E-05	9,60E-10	6,48E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,51E+02	5,10E+00	-2,02E+00	1,48E+02



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

Figure 29: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja A2

Tablica 22: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi izgradnje

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A2	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	2,05E+07	+75,2%
AP	Kg SO ₂ eq.	6,37E+02	1,07E+03	+67,9%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,03E+02	1,78E+02	+72,2%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,27E+05	2,03E+05	+60,4%
ODP	Kg R11 eq.	2,50E-04	1,00E-04	-59,9%
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,99E+01	1,51E+02	+67,9%

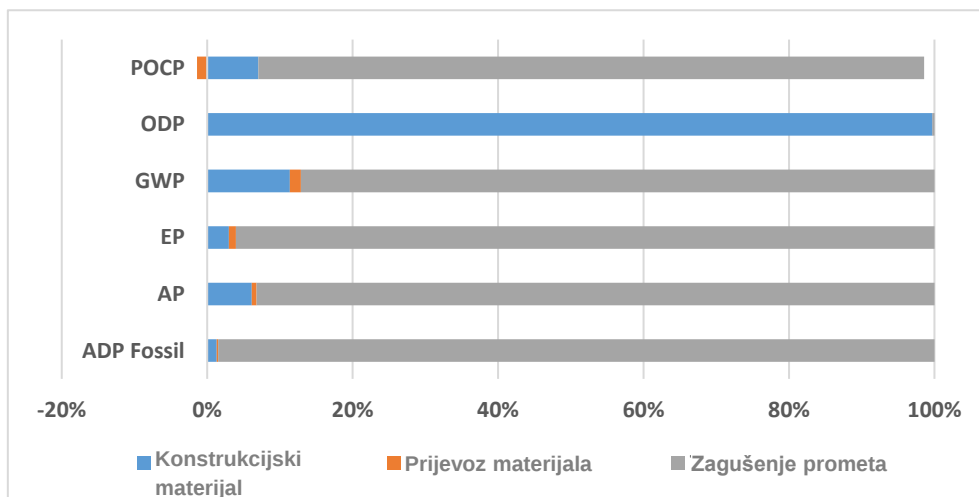
Ovdje se opet opaža da doprinos zagušenja prometa čini više od 90% ukupnih utjecaja, osim kategorije utjecaja ODP. Slučaj A2 rezultirao je znatno većim udjelom (> 60%) od slučaja A1 u ovoj fazi osim ODP, pri čemu se za slučaj A2 izračunava skoro 60% smanjenja utjecaja. Međutim, napominje se da su apsolutne vrijednosti emisija vrlo male po veličini za ODP, u odnosu na postotak varijacije.

- *Analiza okoliša varijante A3*

Rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja A3 prikazani su u tablici 23 i slici 30. Tablica 24 prikazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja A1.

Tablica 23: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [A3]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Konstrukcijski materijal	Prijevoz materijala	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	1,48E+07	1,92E+05	3,20E+04	1,46E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	7,93E+02	4,86E+01	5,18E+00	7,39E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	1,30E+02	3,88E+00	1,23E+00	1,25E+02
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,55E+05	1,76E+04	2,32E+03	1,35E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,87E-04	1,87E-04	7,77E-10	4,65E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,13E+02	8,14E+00	-1,63E+00	1,06E+02



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

Slika 30: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja A3

Tablica 24: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi izgradnje

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A3	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	1,48E+07	+26,6%
AP	Kg SO ₂ eq.	6,37E+02	7,93E+02	+24,4%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,03E+02	1,30E+02	+25,5%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,27E+05	1,55E+05	+22,0%
ODP	Kg R11 eq.	2,50E-04	1,87E-04	-25,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,99E+01	1,13E+02	+25,3%

Ovdje se opet vidi da doprinos zagušenja prometa doprinosi više od 85% od ukupnih utjecaja osim kategorije utjecaja ODP. U ovoj fazi, slučaj A3 rezultirao je većim utjecajima, u usporedbi s slučajem A1, u svakoj kategoriji s iznimkom ODP. Međutim, napominje se da su apsolutne vrijednosti emisija vrlo male po veličini za ODP, u odnosu na postotak varijacije. Treba napomenuti da ODP gotovo u potpunosti dominira utjecajima koji potječu iz proizvodnje materijala na licu mjesta, za razliku od ostalih kategorija gdje prevladava zagušenje prometa.

U ovoj fazi valja spomenuti da zagušenje prometa ima glavni doprinos utjecaju na okoliš. Iako su utjecaji uslijed zagušenja prometa izračunati s ograničenjem prometa na samo jednu prometnu traku u svakom smjeru, zbog ograničenja u trenutnoj verziji SBRI+ alata, stvarni scenarij je da su 2 ili više traka blokirana za promet u slučajevima A2 i A3 (Vidi tablicu 19). Povećanje utjecaja očigledno bi bilo više povećano nego što je gore izračunato, da su u slučajevima A2 i A3 razmatrana stvarna ograničenja u prometu.

2.3.3 Faza korištenja

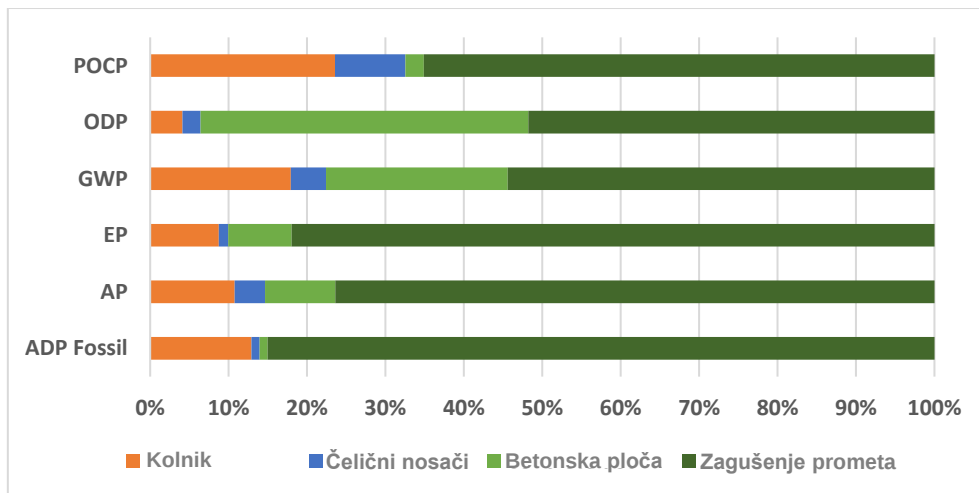
Shema održavanja navedena u tablici A5 Priloga A upućuje na ograničenja prometa iznad i ispod mosta, tijekom godina, u kojima se održavaju aktivnosti održavanja pa tako i za studije slučaja A1, A2 i A3.

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja A1*

Rezultati faze korištenja, za referentnu studiju slučaja A1 prikazani su u tablici 25 i slici 31, za dnevni plan rada i standardni scenarij održavanja.

Tablica 25: Analiza okoliša slučaja A1 u fazi korištenja (dnevni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Čelični nosači	Betonska ploča	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	9,53E+05	7,76E+04	7,50E+04	6,28E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	4,17E+02	4,49E+01	1,62E+01	3,74E+01	3,19E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	6,54E+01	5,73E+00	7,87E-01	5,28E+00	5,36E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,07E+05	1,93E+04	4,82E+03	2,49E+04	5,84E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	1,60E-08	8,99E-09	1,63E-07	2,02E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	7,02E+01	1,65E+01	6,31E+00	1,64E+00	4,57E+01

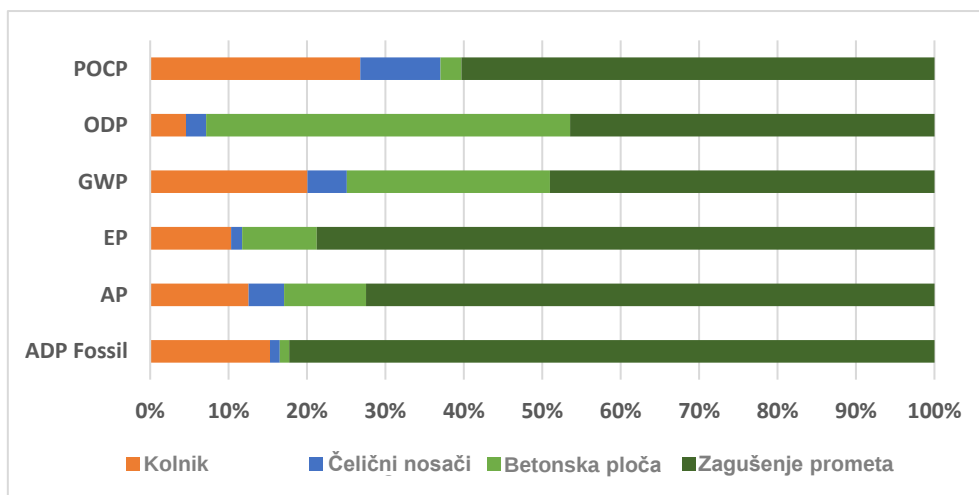


Slika 31: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A1 dnevni rad)

Za scenarij noćnog rada, rezultati faze korištenja, za referentnu studiju slučaja A1 prikazani su u tablici 26 i slici 32. Uočava se promjena samo u zagušenju prometa.

Tablica 26: Utjecaji na okoliš slučaja A1 u fazi korištenja (noćni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Čelični nosači	Betonska ploča	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	6,24E+06	9,53E+05	7,76E+04	7,50E+04	5,13E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	3,58E+02	4,49E+01	1,62E+01	3,74E+01	2,59E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	5,55E+01	5,73E+00	7,87E-01	5,28E+00	4,37E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	9,60E+04	1,93E+04	4,82E+03	2,49E+04	4,71E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,50E-07	1,60E-08	8,99E-09	1,63E-07	1,63E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,18E+01	1,65E+01	6,31E+00	1,64E+00	3,73E+01



Slika 32: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A1 noćni rad)

U oba scenarija primjećuje se da je glavni doprinosi za sve kategorije utjecaja proizlaze iz zagušenja prometa, održavanja betonske ploče, površine ceste i čeličnih nosača. Doprinos zagušenja prometa niži je u scenariju noćnog rada nego u scenariju dnevnog rada.

- Analiza okoliša varijante A2

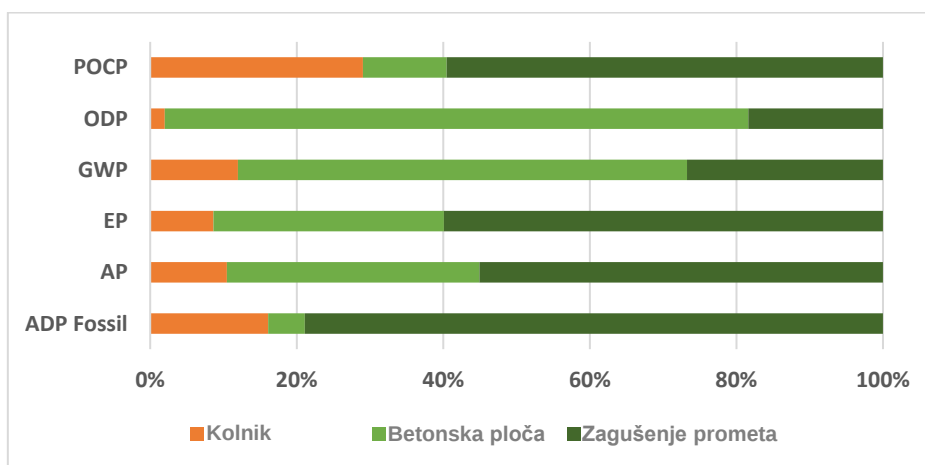
Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja A2 prikazani su na slici 33 i tablici 27, uz pretpostavku scenarija dnevnog rada za sve studije slučaja. Tablica 28 pokazuje varijaciju rezultata u odnosu na referentnu studiju slučaja A1.

Tablica 27: Utjecaji na okoliš slučaja A2 u fazi korištenja (dnevni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Betonska ploča	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	5,92E+06	9,53E+05	2,97E+05	4,67E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	4,29E+02	4,49E+01	1,48E+02	2,36E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	6,65E+01	5,73E+00	2,09E+01	3,98E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,61E+05	1,93E+04	9,85E+04	4,30E+04
ODP	Kg R11 eq.	8,09E-07	1,60E-08	6,44E-07	1,49E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	5,70E+01	1,65E+01	6,51E+00	3,39E+01

Tablica 28: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (dnevni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A2	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	5,92E+06	-19,8%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,17E+02	4,29E+02	+2,9%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,54E+01	6,65E+01	+1,6%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,07E+05	1,61E+05	+49,7%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	8,09E-07	+107,8%
POCP	Kg C ₂ H ₄	7,02E+01	5,70E+01	-18,9%

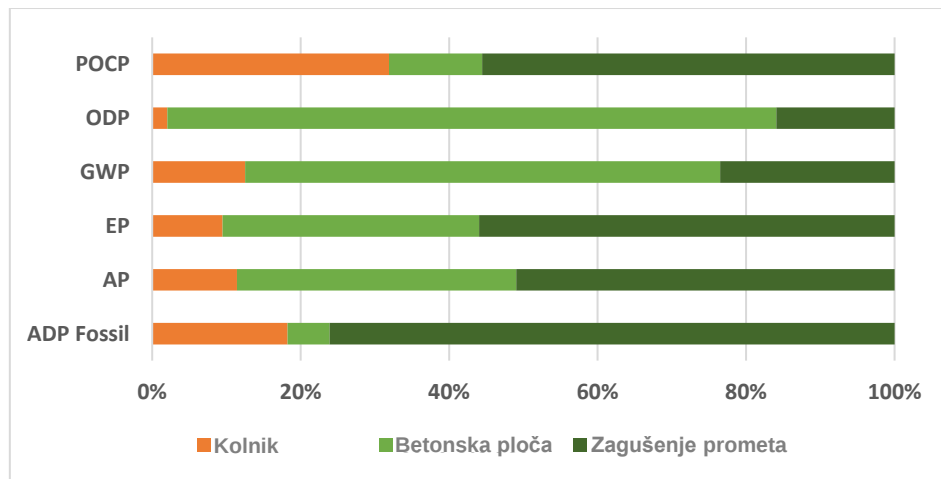


Slika 33: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A2 dnevni rad)

S obzirom na scenarij noćnog rada, rezultati dobiveni za varijantnu studiju slučaja A2 prikazani su u tablici 29 i rezultati su uspoređeni s onima iz slučaja A1 u tablici 30.

Tablica 29: Utjecaji na okoliš slučaja A2 u fazi korištenja (noćni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Betonska ploča	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	5,23E+06	9,53E+05	2,97E+05	3,98E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	3,93E+02	4,49E+01	1,48E+02	2,01E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	6,05E+01	5,73E+00	2,09E+01	3,38E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,54E+05	1,93E+04	9,85E+04	3,61E+04
ODP	Kg R11 eq.	7,85E-07	1,60E-08	6,44E-07	1,25E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	5,19E+01	1,65E+01	6,51E+00	2,88E+01



Slika 34: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A2 noćni rad)

Tablica 30: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (noćni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A2	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	6,24E+06	5,23E+06	-16,2%
AP	Kg SO ₂ eq.	3,58E+02	3,93E+02	+9,9%
EP	Kg PO ₄ eq.	5,55E+01	6,05E+01	+8,9%
GWP	Kg CO ₂ eq.	9,60E+04	1,54E+05	+60,3%
ODP	Kg R11 eq.	3,50E-07	7,85E-07	+124,1%
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,18E+01	5,19E+01	-16,0%

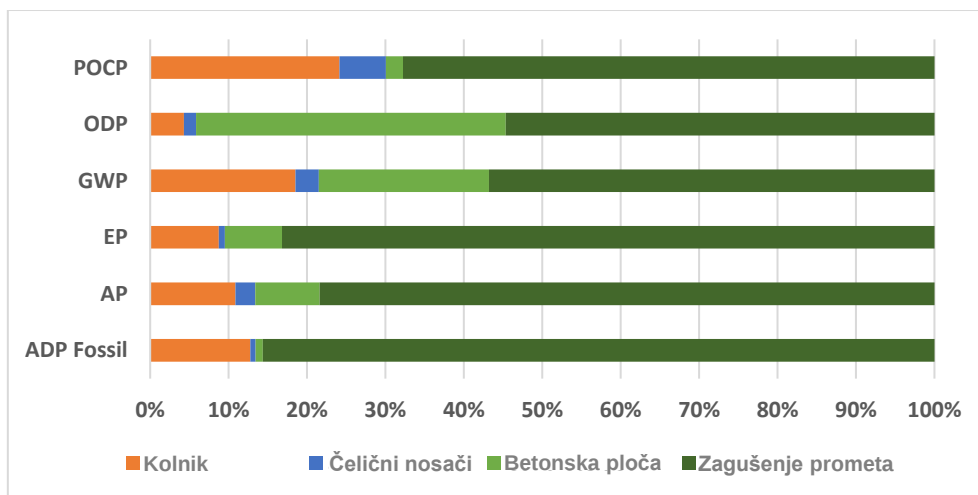
Kao što se i očekivalo, scenarij noćnog rada pruža ukupno veća smanjenja utjecaja.

- *Analiza okoliša varijante A3*

Rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja A3 prikazani su u tablici 31 i slici 35. Tablica 32 pokazuje varijaciju rezultata u odnosu na referentnu studiju slučaja A1 uz pretpostavku dnevnog scenarija za sve studije slučaja.

Tablica 31: Utjecaji na okoliš slučaja A3 u fazi korištenja (dnevni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Čelični nosači	Betonska ploča	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	7,46E+06	9,53E+05	4,98E+04	6,80E+04	6,39E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	4,13E+02	4,49E+01	1,04E+01	3,39E+01	3,24E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	6,55E+01	5,73E+00	5,06E-01	4,78E+00	5,45E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,04E+05	1,93E+04	3,10E+03	2,25E+04	5,90E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,73E-07	1,60E-08	5,78E-09	1,47E-07	2,04E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,85E+01	1,65E+01	4,06E+00	1,49E+00	4,65E+01



Slika 35: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A3 dnevni rad)

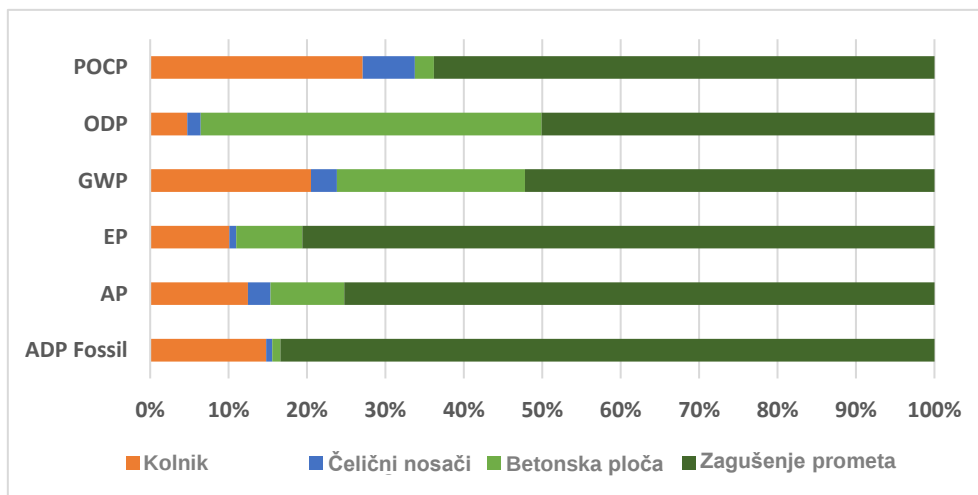
Tablica 32: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (dnevni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A3	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	7,46E+06	+1,0%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,17E+02	4,13E+02	-1,1%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,54E+01	6,55E+01	+0,1%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,07E+05	1,04E+05	-3,2%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	3,73E-07	-4,1%
POCP	Kg C ₂ H ₄	7,02E+01	6,85E+01	-2,4%

S obzirom na scenarij noćnog rada, rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja A3 prikazani su u tablici 33, a usporedba tih rezultata s onima iz slučaja A1 prikazana je u tablici 34.

Tablica 33: Utjecaji na okoliš slučaja A3 u fazi korištenja (noćni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Čelični nosači	Betonska ploča	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	6,45E+06	9,53E+05	4,98E+04	6,80E+04	5,38E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	3,61E+02	4,49E+01	1,04E+01	3,39E+01	2,71E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	5,68E+01	5,73E+00	5,06E-01	4,78E+00	4,58E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	9,39E+04	1,93E+04	3,10E+03	2,25E+04	4,90E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,39E-07	1,60E-08	5,78E-09	1,47E-07	1,70E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,11E+01	1,65E+01	4,06E+00	1,49E+00	3,90E+01



Slika 36: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A3 noćni rad)

Tablica 34: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (noćni rad)

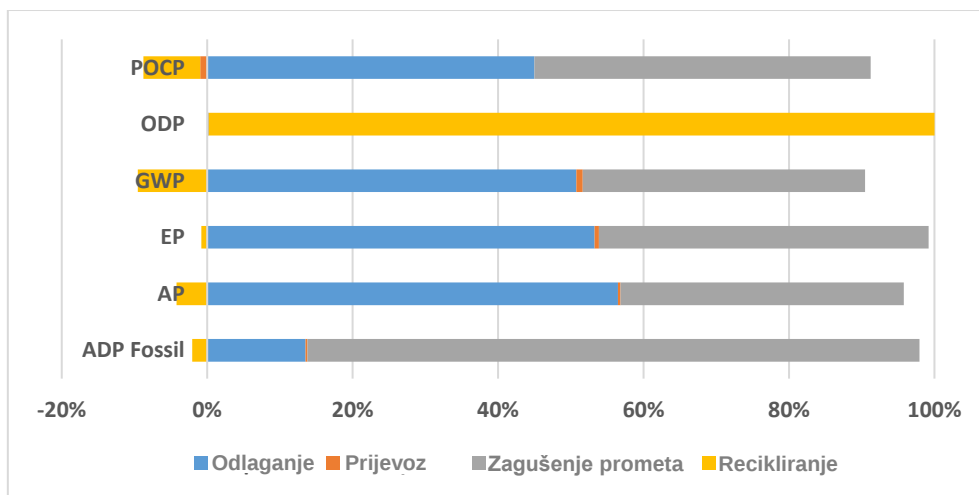
Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A3	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	6,24E+06	6,45E+06	+3,4%
AP	Kg SO ₂ eq.	3,58E+02	3,61E+02	+0,7%
EP	Kg PO ₄ eq.	5,55E+01	5,68E+01	+2,3%
GWP	Kg CO ₂ eq.	9,60E+04	9,39E+04	-2,2%
ODP	Kg R11 eq.	3,50E-07	3,39E-07	-3,3%
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,18E+01	6,11E+01	-1,1%

Slučaj A3 rezultirao je neznatno povećanim udjelima u nekim kategorijama, a rezultirao je neznatnim smanjenjem utjecaja kod drugih. Sveukupno, može se reći kako A1 i A3 imaju usporedive učinke u ovoj fazi.

2.3.4 Faza na kraju životnog vijeka

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja A1*

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze prikazane su na slici 37, što također ukazuje na doprinos svakog procesa po kategoriji utjecaja. Negativne vrijednosti na slici 37 predstavljaju doprinose dobivene procesima recikliranja.



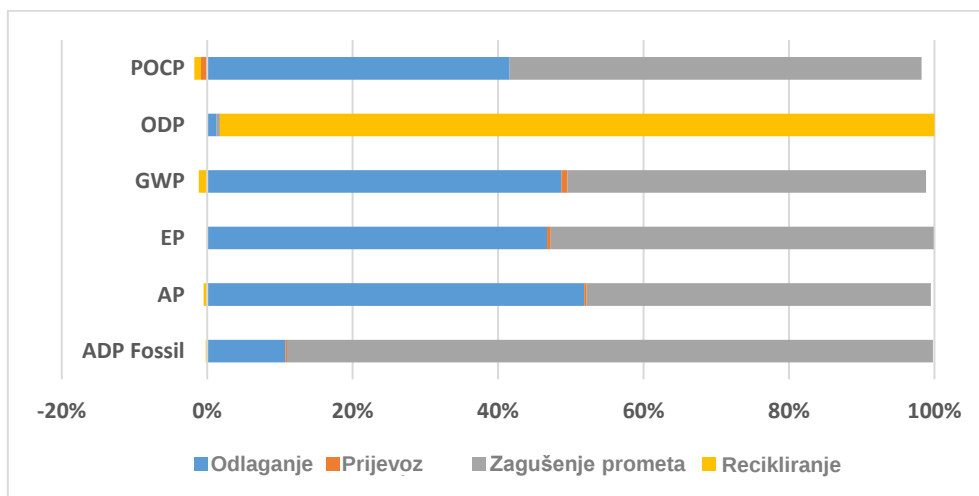
Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

Slika 37: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj A1

Zbrinjavanje betona i bitumenskih materijala pridonosi najvećem utjecaju u svim kategorijama, s izuzetkom ADP fosilnih goriva, gdje dominira drugi najznačajniji čimbenik, zagušenje prometa. Prijevoz tih materijala izazvao je najmanji utjecaj u svim kategorijama utjecaja. Recikliranje, s druge strane, pogoduje okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim potencijala iscrpljivanja ozonskog omotača, gdje proces samog recikliranja dovodi do povećanja takvih emisija.

- *Analiza okoliša varijante A2*

Kao što se može vidjeti na slici 38, odlaganje najviše doprinosi u svim kategorijama utjecaja, s izuzetkom ADP fosilnih goriva. Drugi najznačajniji čimbenik je zagušenje prometa. Prijevoz uzrokuje najmanje utjecaja u odnosu na druge. Recikliranje pridonosi okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim ODP gdje proces samog recikliranja dovodi do povećanja takvih emisija.



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

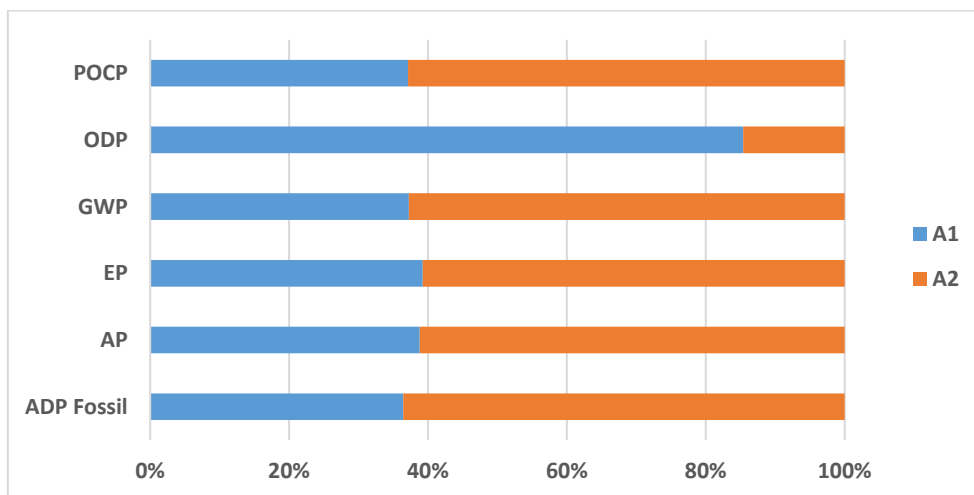
Slika 38: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [A2]

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze za varijantu studije slučaja A2 prikazane su u tablici 35. Ova tablica također pokazuje varijaciju rezultata ove studije slučaja u usporedbi s referentnom studijom slučaja A1. Ovi rezultati također su prikazani na slici 39.

Tablica 35: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi na kraju životnog vijeka

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A2	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	2,51E+07	4,39E+07	+74,5%
AP	Kg SO ₂ eq.	2,65E+03	4,18E+03	+57,7%
EP	Kg PO ₄ eq.	4,11E+02	6,36E+02	+54,8%
GWP	Kg CO ₂ eq.	4,37E+05	7,36E+05	+68,4%
ODP	Kg R11 eq.	1,64E-03	2,80E-04	-82,9%
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,88E+02	4,88E+02	+69,3%

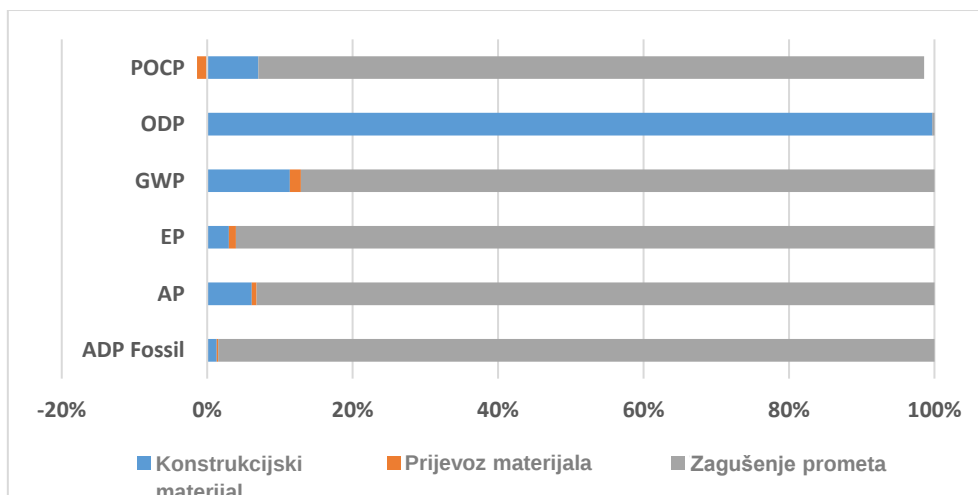
Prema tim rezultatima može se zaključiti da je u ovoj fazi referentni primjer doveo do nižih vrijednosti. To je dobiveno s prednostima koje proizlaze iz relativno veće mogućnosti recikliranja u referentnom primjeru A1.



Slika 39: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A2 u fazi na kraju životnog vijeka

- *Analiza okoliša varijante A3*

Kao što se može vidjeti na slici 38, odlaganje najviše doprinosi u svim kategorijama utjecaja, s izuzetkom ADP fosilnih goriva. Drugi najznačajniji čimbenik je zagušenje prometa. Prijevoz uzrokuje najmanje utjecaja u odnosu na druge. Recikliranje pridonosi okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim ODP.



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

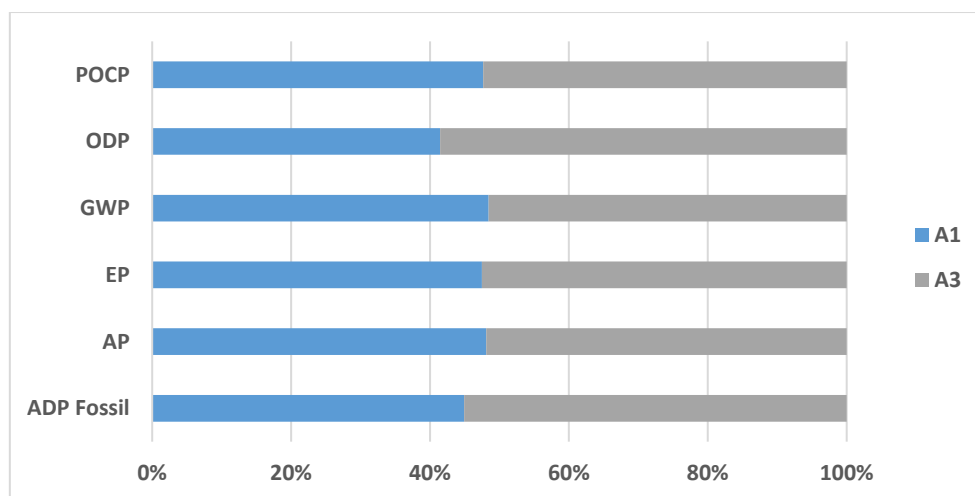
Slika 40: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [A3]

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze za varijantu studije slučaja A3 prikazane su u tablici 36. Ova tablica također pokazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja A1. Ti rezultati također su ilustrirani na slici 41.

Tablica 36: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi na kraju životnog vijeka

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A3	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	2,51E+07	3,08E+07	+22,6%
AP	Kg SO ₂ eq.	2,65E+03	2,86E+03	+7,9%
EP	Kg PO ₄ eq.	4,11E+02	4,55E+02	+10,7%
GWP	Kg CO ₂ eq.	4,37E+05	4,65E+05	+6,4%
ODP	Kg R11 eq.	1,64E-03	2,31E-03	+41,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,88E+02	3,16E+02	+9,9%

Prema ovim rezultatima, može se zaključiti da u ovoj fazi referentni primjer A1 rezultira manjim utjecajem na okoliš u svim kategorijama.



Slika 41: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A3 u fazi na kraju životnog vijeka

2.3.5 Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu

- *Ukupni rezultati životnog ciklusa za studiju slučaja A1*

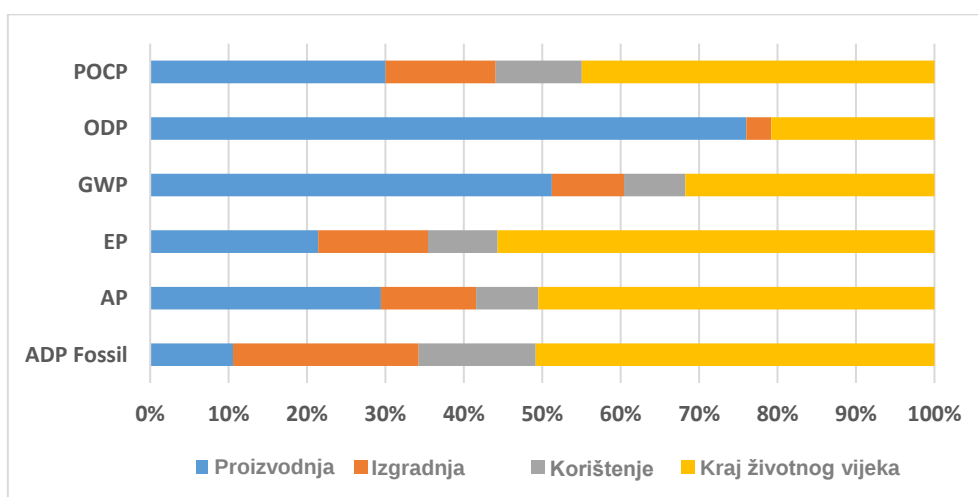
U prethodnim su točkama prikazani djelomični rezultati po fazama. U ovoj točki rezultati različitih faza su sažeti u odnosu na svaku kategoriju utjecaja, a zbirni rezultati prikazani su u tablici 37, s obzirom na dnevni plan rada i standardni scenarij održavanja.

Tablica 37: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [A1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	4,95E+07	5,22E+06	1,17E+07	7,38E+06	2,51E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	5,25E+03	1,54E+03	6,37E+02	4,17E+02	2,65E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	7,37E+02	1,58E+02	1,03E+02	6,54E+01	4,11E+02
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,38E+06	7,04E+05	1,27E+05	1,07E+05	4,37E+05
ODP	Kg R11 eq.	7,87E-03	5,98E-03	2,50E-04	3,89E-07	1,64E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,40E+02	1,92E+02	8,99E+01	7,02E+01	2,88E+02

Da bismo bolje razumjeli doprinos svake faze na ukupni rezultat, ti su rezultati također prikazani na slici 42.

Faze proizvodnje materijala i završetka životnog vijeka najviše pridonose svim kategorijama utjecaja. Faza izgradnje također značajno doprinosi, a faza korištenja ima relativno nizak doprinos za sve kategorije utjecaja.



Slika 42: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [A1]

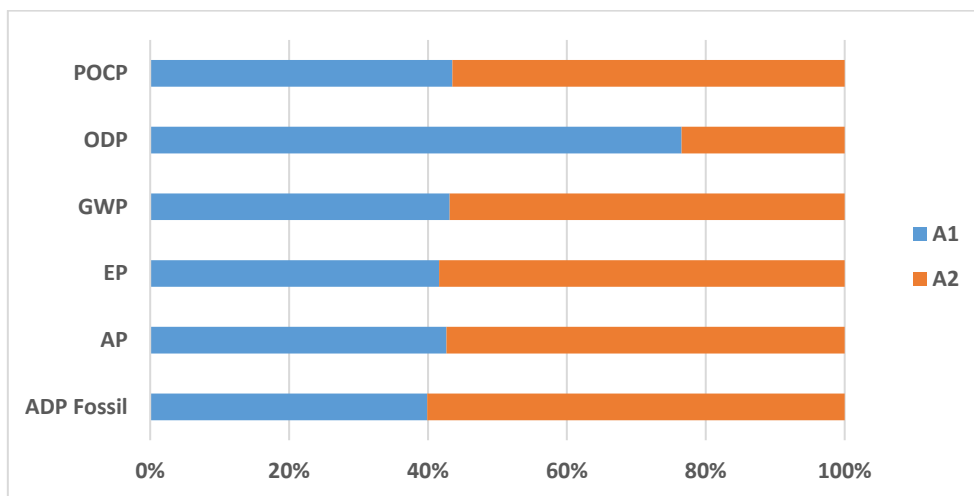
- *Ukupni rezultati životnog ciklusa za A2*

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja A2 detaljno su opisani u tablici 38, s obzirom na scenarij dnevnog rada u svim slučajevima. Ova tablica također pokazuje varijaciju rezultata ove studije slučaja u odnosu na referentnu studiju slučaja A1.

Tablica 38: Ukupni utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A2	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	4,95E+07	7,45E+07	+50,6%
AP	Kg SO ₂ eq.	5,25E+03	7,06E+03	+34,5%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,37E+02	1,04E+03	+40,5%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,38E+06	1,81E+06	+31,9%
ODP	Kg R11 eq.	7,87E-03	2,42E-03	-69,3%
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,40E+02	8,32E+02	+29,9%

Kako bismo bolje razumjeli doprinos svake studije slučaja na ukupni rezultat, rezultati su također ilustrirani slikom 43.



Slika 43: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A2 po kategoriji utjecaja

Kao što se može vidjeti iz gore navedenih ilustracija, referentni primjer A1 ima relativno povoljne karakteristike u svim kategorijama utjecaja, osim u slučaju potencijala iscrpljivanja ozona (ODP), gdje su veće emisije (iako reda veličine 10^{-3}) zabilježene za referentni primjer kao rezultat procesa recikliranja.

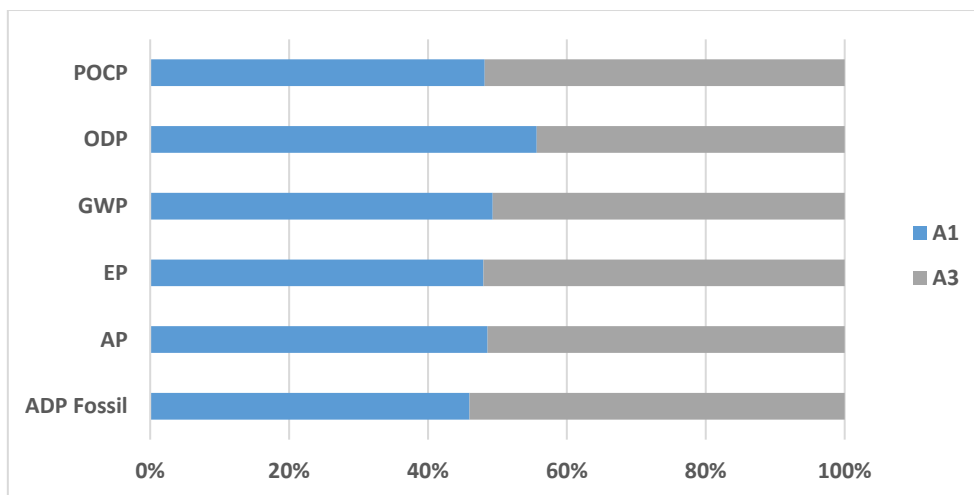
- *Ukupni rezultati životnog ciklusa za A3*

Rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja A3 prikazani su u tablici 39, s obzirom na scenarij dnevnog rada u svim slučajevima. Ova tablica također pokazuje varijaciju rezultata ove studije slučaja u odnosu na referentnu studiju slučaja A1.

Tablica 39: Ukupni utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja A1	Studija slučaja A3	Varijacija u odnosu na A1
ADP Fossil	MJ	4,95E+07	5,81E+07	+17,5%
AP	Kg SO ₂ eq.	5,25E+03	5,56E+03	+5,8%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,37E+02	7,99E+02	+8,4%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,38E+06	1,41E+06	+2,7%
ODP	Kg R11 eq.	7,87E-03	6,27E-03	-20,3%
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,40E+02	6,89E+02	+7,6%

Da bismo bolje razumjeli doprinos svake studije slučaja na ukupni rezultat, rezultati su također prikazani na slici 44.



Slika 44: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A3 po kategoriji utjecaja

Kao što se može vidjeti iz gore navedenih ilustracija, referentni primjer A1 ima relativno povoljne karakteristike u svim kategorijama utjecaja osim za potencijal iscrpljivanja ozona (ODP). Dva mosta rezultiraju usporedivim rezultatima u smislu GWP s razlikom od 2,7%.

Zbog ograničenja u trenutačnoj verziji SBRI + alata, sve analize životnog ciklusa izrađuju se s obzirom na samo 1 zatvorenu prometnu traku u svakom smjeru (tri trake otvorene za promet u svakom smjeru) za vrijeme A1 = 154 dana, A2 = 273 dana i A3 = 196 dana. Ako razmotrimo više zatvorenih traka, povećat će se emisije zbog zagušenja prometa, što će dovesti do veće razlike između studija slučaja.

2.3.6 Alternativni scenariji održavanja

- *Analiza referentne studije slučaja A1*

U ovoj točki razmatraju se dva dodatna alternativna planiranja održavanja. Prvi alternativni scenarij održavanja odnosi se na situaciju "nedostatak novca", u kojem se učestalost održavanja mijenja kako bi se nosila s ograničenjima proračuna. Drugi alternativni scenarij održavanja odnosi se na situaciju "produljenog životnog vijeka", u kojem se životni vijek mosta produžuje na 130 godina.

Oba alternativna scenarija utječu samo na fazu korištenja. Dakle, rezultati prikazani u ovoj točki odnose se samo na fazu korištenja. Rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 40 za standardni i oba alternativna scenarija održavanja.

Tablica 40: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM, STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL, STA})$
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	3,79E+06	-48,7%	1,53E+07	+107,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,17E+02	2,10E+02	-49,7%	8,60E+02	+106,1%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,54E+01	3,26E+01	-50,1%	1,37E+02	+109,5%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,07E+05	5,19E+04	-51,6%	2,13E+05	+98,1%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	1,71E-07	-56,0%	8,03E-07	+106,4%
POCP	Kg C ₂ H ₄	7,02E+01	3,73E+01	-46,9%	1,36E+02	+94,0%

Kako se dva alternativna scenarija održavanja odnose na dva različita vremenska razdoblja, rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevnog rada", prikazani su u tablici 41 po godini. Za scenarij "nedostatak novca" i scenarij "produljenog životnog vijeka" razmatrani su vremenski periodi od 100 godina i 130 godina.

Tablica 41: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM}, \text{STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL}, \text{STA})$
ADP Fossil	MJ	7,38E+04	3,79E+04	-48,7%	1,18E+05	+59,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,17E+00	2,10E+00	-49,7%	6,61E+00	+58,5%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,54E-01	3,26E-01	-50,1%	1,05E+00	+61,2%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,07E+03	5,19E+02	-51,6%	1,64E+03	+52,4%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-09	1,71E-09	-56,0%	6,18E-09	+58,8%
POCP	Kg C ₂ H ₄	7,02E-01	3,73E-01	-46,9%	1,05E+00	+49,2%

Iz rezultata je vidljivo da je scenarij "nedostatka novca" doveo do 50,5% (prosječno) smanjenih utjecaja godišnje u svim kategorijama, budući da je bilo manje radova održavanja s ovom shemom održavanja. Napor za produljenje životnog vijeka mosta kod scenarija "produljenog životnog vijeka" doveo je do povećanja utjecaja od 56,6% (prosječno) u svim kategorijama okoliša.

- *Analiza studije slučaja A2*

Rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 42 za standardne i alternativne scenarije održavanja.

Tablica 42: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM}, \text{STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL}, \text{STA})$
ADP Fossil	MJ	5,92E+06	3,05E+06	-48,5%	1,27E+07	+114,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,29E+02	1,97E+02	-54,2%	9,06E+02	+111,0%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,65E+01	3,08E+01	-53,7%	1,42E+02	+113,4%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,61E+05	6,57E+04	-59,1%	3,25E+05	+101,9%
ODP	Kg R11 eq.	8,09E-07	3,00E-07	-62,9%	1,66E-06	+104,8%
POCP	Kg C ₂ H ₄	5,70E+01	2,90E+01	-49,2%	1,15E+02	+101,9%

Kako se dva alternativna scenarija održavanja odnose na dva različita vremenska razdoblja, rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevnog rada", prikazani su u tablici 43 po godini. Razmatrani su vremenski periodi od 100 godina i 130 godina.

Tablica 43: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM}, \text{STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL}, \text{STA})$
ADP Fossil	MJ	5,92E+04	3,05E+04	-48,5%	9,78E+04	+65,1%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,29E+00	1,97E+00	-54,2%	6,97E+00	+62,3%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,65E-01	3,08E-01	-53,7%	1,09E+00	+64,2%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,61E+03	6,57E+02	-59,1%	2,50E+03	+55,3%
ODP	Kg R11 eq.	8,09E-09	3,00E-09	-62,9%	1,27E-08	+57,5%
POCP	Kg C ₂ H ₄	5,70E-01	2,90E-01	-49,2%	8,85E-01	+55,3%

Scenarij "nedostatak novca" doveo je do smanjenja utjecaja za sve kategorije utjecaja. Međutim, nastojanja za produženjem životnog vijeka mosta sa scenarijem "produženog životnog vijeka" dovela su do povećanog utjecaja u svim kategorijama okoliša.

- *Analiza studije slučaja A3*

Rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 44 za standardne i oba alternativna scenarija održavanja.

Tablica 44: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A3]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM, STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL, STA})$
ADP Fossil	MJ	7,46E+06	4,18E+06	-44,0%	1,52E+07	+103,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,13E+02	2,25E+02	-45,5%	8,39E+02	+103,2%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,55E+01	3,57E+01	-45,5%	1,35E+02	+105,8%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,04E+05	5,34E+04	-48,6%	2,04E+05	+96,4%
ODP	Kg R11 eq.	3,73E-07	1,76E-07	-52,8%	7,64E-07	+104,7%
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,85E+01	3,86E+01	-43,6%	1,32E+02	+92,4%

Kako se dva alternativna scenarija održavanja odnose na dva različita vremenska razdoblja, rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 45 po godini. Za scenarij "nedostatak novca" i scenarij "produženog životnog vijeka" razmatrani su vremenski periodi od 100 godina za scenarij "nedostatka novca" i 130 godina za scenarij "produljenog životnog vijeka".

Tablica 45: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A3]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM, STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL, STA})$
ADP Fossil	MJ	7,46E+04	4,18E+04	-44,0%	1,17E+05	+56,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,13E+00	2,25E+00	-45,5%	6,45E+00	+56,3%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,55E-01	3,57E-01	-45,5%	1,04E+00	+58,3%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,04E+03	5,34E+02	-48,6%	1,57E+03	+51,1%
ODP	Kg R11 eq.	3,73E-09	1,76E-09	-52,8%	5,87E-09	+57,5%
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,85E-01	3,86E-01	-43,6%	1,01E+00	+48,0%

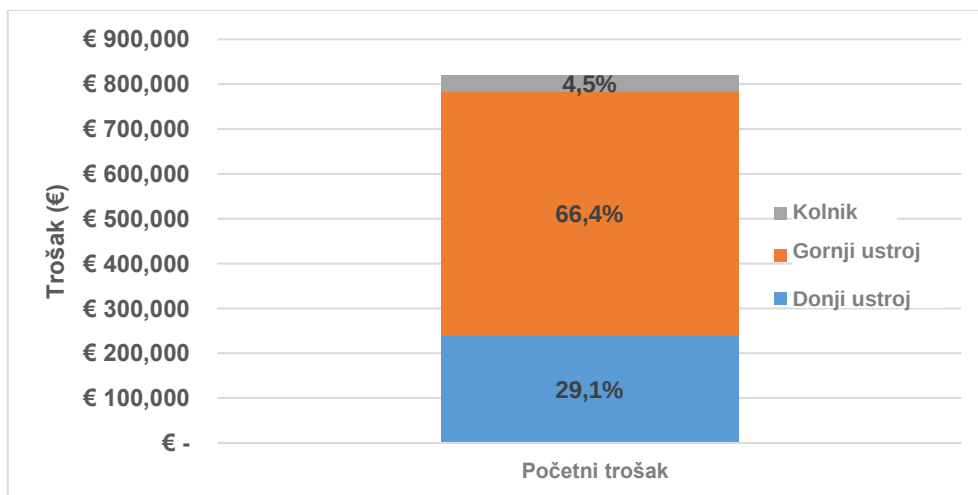
Scenarij "nedostatka novca" doveo je do smanjenja utjecaja u svim kategorijama utjecaja, dok je napor za produljenje životnog vijeka mosta sa scenarijem "produljenog životnog vijeka" doveo do povećanja utjecaja u svim kategorijama okoliša.

2.4 Analiza troškova životnog ciklusa

2.4.1 Početni troškovi izgradnje

- *Analiza referentne studije slučaja A1*

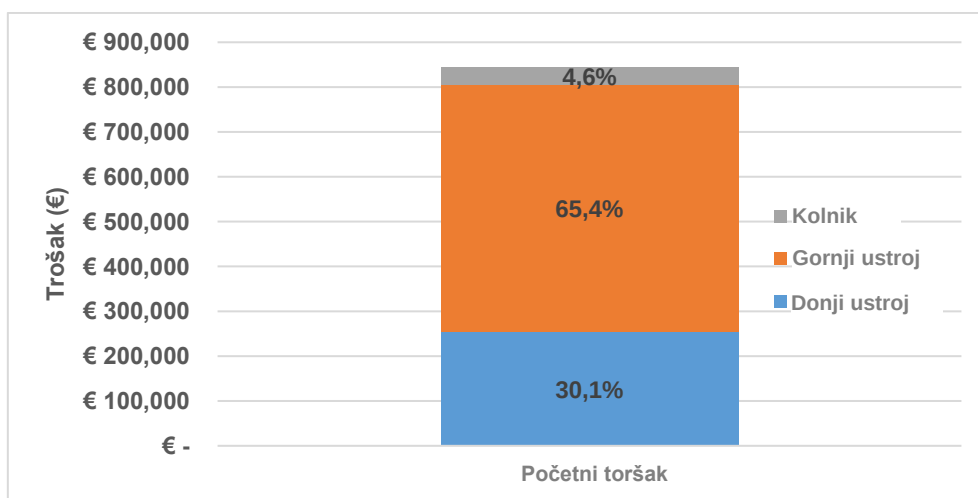
Početni trošak konstrukcije, uključujući troškove prijevoza materijala, iznosi 826.145,01 € što je oko 1.553,82 €/m². Slika 45 prikazuje udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika koji su izračunati na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 11.



Slika 45: Početni trošak slučaja A1

- Analiza varijante A2

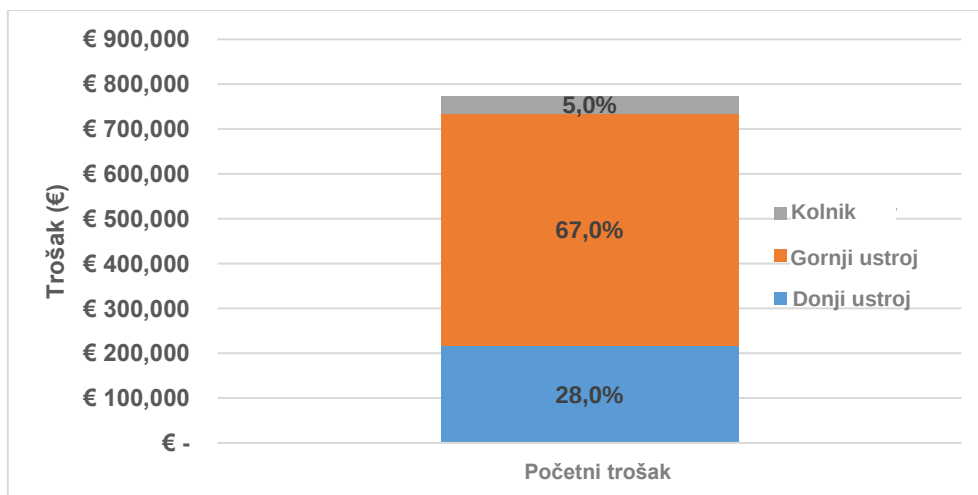
Početni trošak i udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika prikazan na slici 46 izračunat je na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 11. Rezultat dobiven za varijantu studije slučaja A2 početni je trošak, koji uključuje trošak prijevoza materijala, od 850.713,82 € što predstavlja oko 1.600,1 €/m².



Slika 46: Početni trošak slučaja A2

- Analiza varijante A3

Početni trošak i udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika prikazan na slici 47 izračunat je na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 11. Rezultat dobiven za varijantu studije slučaja A3 početni je trošak, koji uključuje troškove prijevoza materijala, od 779.264,42 € što predstavlja oko 1.465,64 €/m².



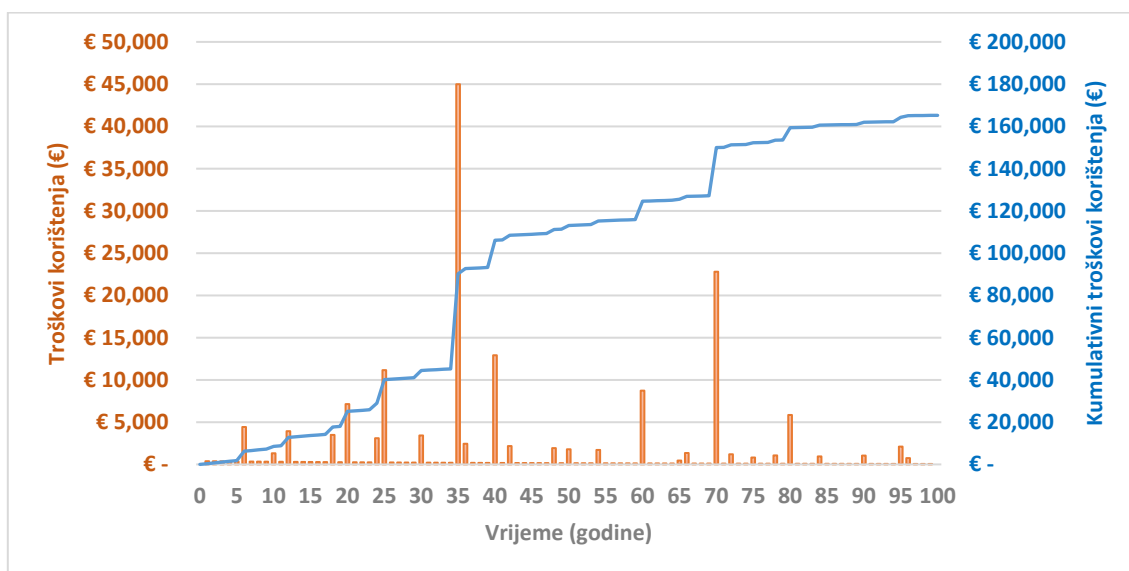
Slika 47: Početni trošak slučaja A3

2.4.2 Troškovi korištenja

U periodu od 100 godina, pretpostavlja se da se mostovi u primjerima održavaju i obnavljaju prema planu navedenom u Prilogu - tablica A1, definicija standardnog scenarija pregleda.

- *Analiza referentne studije slučaja A1*

Troškovi povezani s radovima pregleda i održavanja na mostu A1 tijekom njegovog vijeka trajanja izračunavaju se na temelju jediničnih troškova i učestalosti navedenih u tablicama A1 - A6 iz priloga i utvrđeno je da iznose 165.236,13 €. Ovi troškovi prikazani su na slici 48 zajedno s neto sadašnjim vrijednostima akumuliranih troškova s obzirom na diskontnu stopu od 2%. Na slici se može vidjeti da su troškovi korištenja znatno veći u 35. i 70. godini. Ovi skokovi u troškovima korištenja povezani su sa zamjenom slojeva zaštite od korozije.

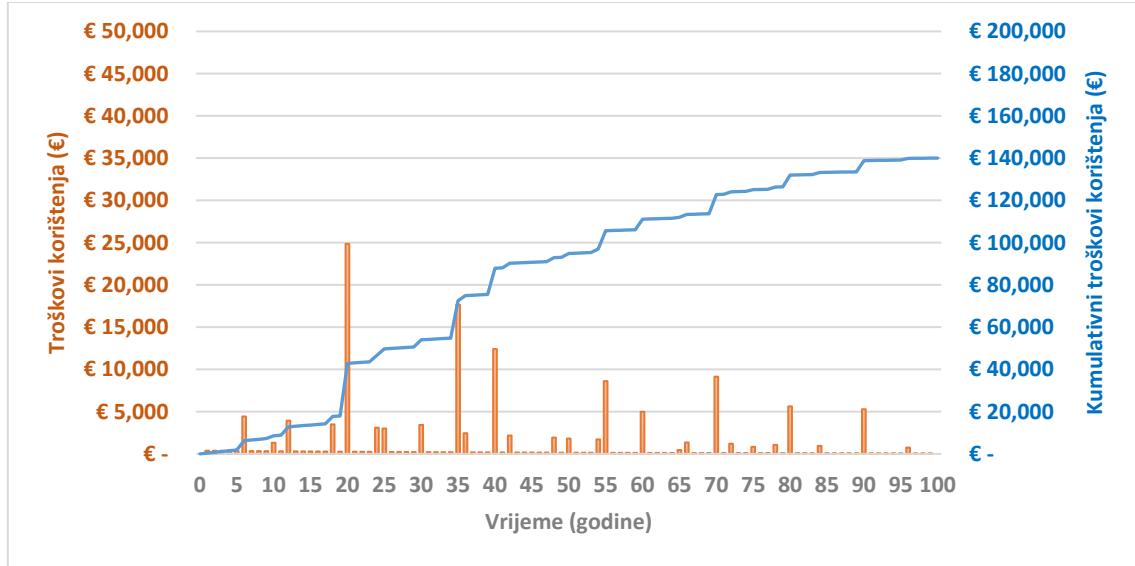


Slika 48: Troškovi korištenja slučaja A1 tijekom životnog vijeka

- *Analiza studije slučaja A2*

Troškovi povezani s radovima pregleda i održavanja na mostu A2 tijekom njegovog vijeka trajanja izračunavaju se na temelju jediničnih troškova i učestalosti navedenih u tablici A1 i

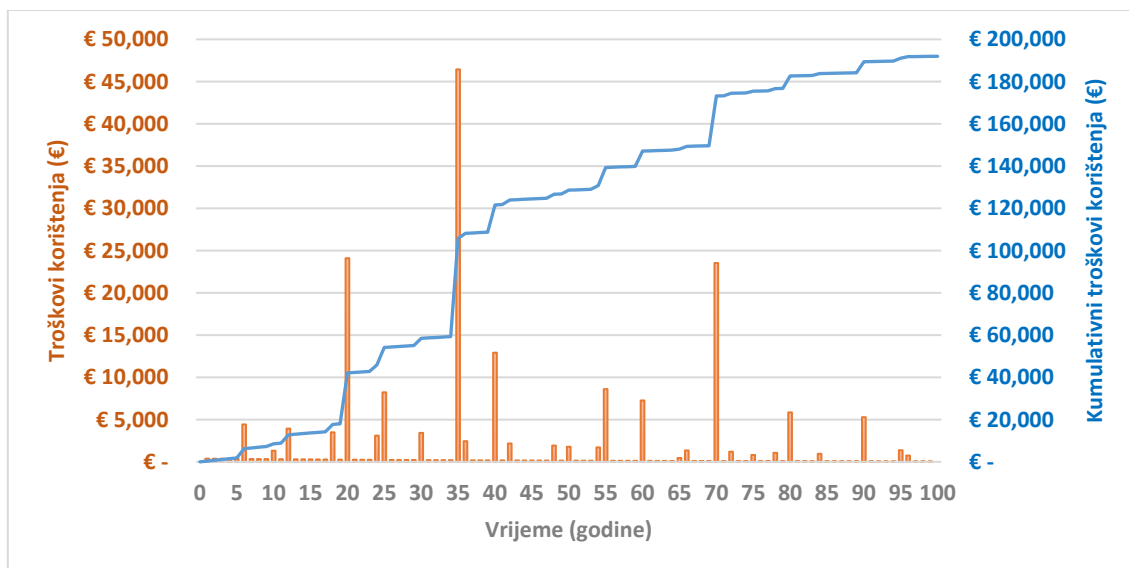
utvrđeno je da iznose 140.019,44 €. Ovi troškovi prikazani su na slici 49 zajedno s neto sadašnjim vrijednostima akumuliranih troškova s obzirom na diskontnu stopu od 2%. Na slici se može vidjeti da su troškovi korištenja znatno veći u 20., 35. i 40. godini. Ti skokovi dolaze kao posljedica troškova korištenja povezanih sa zamjenom površine ceste i popravcima [20. i 40. godina] ili zamjenom ležajeva [35. godina].



Slika 49: Troškovi korištenja slučaja A2 tijekom životnog vijeka

- *Analiza studije slučaja A3*

Troškovi povezani s radovima pregleda i održavanja na mostu A2 tijekom njegovog vijeka trajanja izračunavaju se na temelju jediničnih troškova i učestalosti navedenih u tablici A1 i za koje je utvrđeno da iznose 191.962,47 €. Ti su troškovi prikazani na slici 50 uz neto sadašnje vrijednosti akumuliranih troškova s obzirom na diskontnu stopu od 2%. Ti skokovi dolaze kao posljedica troškova korištenja povezanih s zamjenom površine ceste i popravcima [20. i 40. godina] ili zamjenom ležajeva [35. godina]. Slojevi za zaštitu od korozije zamjenjuju se u 35. i 70. godini.



Slika 50: Troškovi korištenja slučaja A3 tijekom životnog vijeka

U slučaju A1 potrebno je 112 dana za održavanje tijekom životnog vijeka mosta, dok je za A2 potrebno 191, a A3 206 dana. Kod slučaja A1 je postignut smanjeni broj dana potrebnih za održavanje jer je izgrađen bez ležajeva. Međutim, iz rezultata se može uočiti da je betonsko rješenje A2 rezultirao smanjenim troškovima korištenja u odnosu na druga dva slučaja. Rezultat toga su visoki troškovi održavanja slojeva za zaštitu od korozije kod druga dva mosta. Ipak, slučaj A1 se pokazao povoljnim u smislu troškova korištenja u usporedbi s slučajem A3.

2.4.3 Troškovi na kraju životnog vijeka

Trošak na kraju životnog vijeka obuhvaća troškove rada, troškove opreme, troškove upozorenja na cesti, troškove prijevoza i troškove za odlaganje materijala i/ili prihode zbog recikliranja materijala.

Trošak za rušenje sličnog mosta iznosi oko 100 €/m² [1]. Ovaj trošak uključuje troškove rada, troškove opreme i goriva, troškove pomoćnog materijala, troškove sortiranja materijala, troškove svih potrebnih mjera kako bi se osigurala sigurnost zone radova i troškove čišćenja zone.

Otpad od gradnje i rušenja (engl. Construction and Demolition Waste - C & DW) šalje se na recikliranje ili odlaganje na odlagalište. 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 C&DW varira ovisno o vrsti materijala i stupnju kontaminacije C&DW.

U slučaju čelika, tj. armature i konstrukcijskog čelika, pretpostavlja se da upravitelj plaća izvođaču radova 100 €/t (ova cijena obično ovisi o cijeni čelika, prema informacijama iz američkog instituta za recikliranje cijena od \$ 120/ oni čelika može se uzeti u obzir). Ova brojka ima negativan predznak jer je to prihod, a ne trošak za izvođača radova. Sažetak troškova na kraju životnog vijeka za mostove A1, A2 i A3 prikazano je u tablicama 46, 47 i 48. Integralni most, A1, rezultira s 9,5% nižim troškovima na kraju životnog vijeka od betonskog mosta i 7,2% manjim od spregnutog mosta.

Tablica 46: Trošak na kraju životnog vijeka za A1

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

Tablica 47: Trošak na kraju životnog vijeka za A2

Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	161,7284	-1562,67	50	33,49
Beton	4163,808	5747,43	50	862,11
Zemljani radovi	14640	101040,13	10	606,24
Bitumen	55,62	383,87	20	4,61
	-	114,09	-	-
			Suma (€)	107229,29
			Trošak rušenja (€)	7339,04
			Ukupni trošak (€)	114568,33

Tablica 48: Trošak na kraju životnog vijeka za A3

Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	199,6669	-2158,58	50	41,34
Beton	3005,4	4148,44	50	622,27
Zemljani radovi	14640	101040,13	10	606,24
Bitumen	55,62	383,87	20	4,61
	-	114,09	-	-
			Suma (€)	104802,40
			Trošak rušenja (€)	7339,04
			Ukupni trošak (€)	112141,45

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

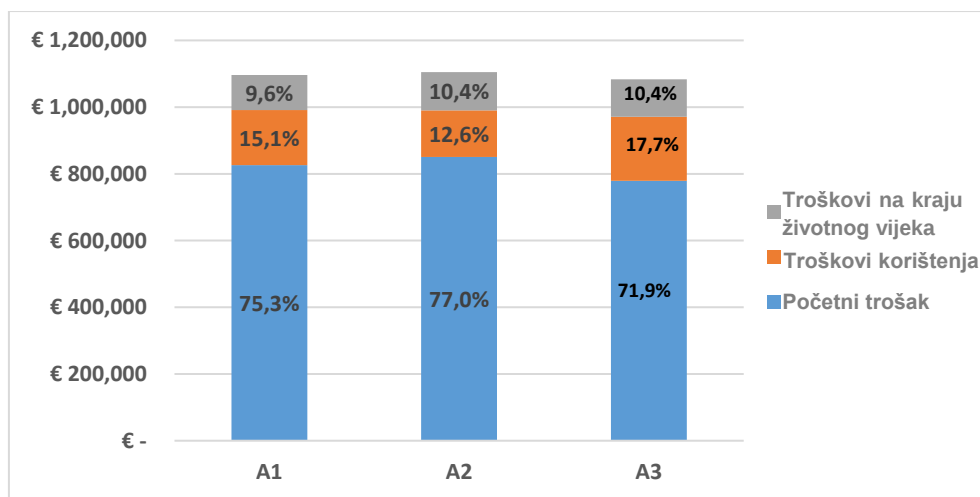
(**) Izračunate količine čelika uključuju i čelične šipke za armiranje i profile/ploče i spojeve od konstrukcijskog čelika. Napomena: Troškovi su dani u sadašnjoj vrijednosti izračunati prema jednadžbi 2 uz diskontnu stopu od 2%.

2.4.4 Ukupni troškovi životnog ciklusa

Ukratko, troškovi izračunati u prethodnim točkama za studiju slučaja A1 doveli su do ukupne neto sadašnje cijene životnog ciklusa (LCC) od 1.096.454,96 € koristeći diskontnu stopu od 2,0%. To predstavlja ukupni trošak od oko 2062,22 €/m². S druge strane, ukupni neto troškovi životnog ciklusa (LCC) od 1.104.940,0 € i 1.083.368,0 € izračunani su za studije slučaja A2 i A3, sa diskontnom stopom od 2,0%. To predstavlja ukupni trošak od oko 2078,2€ /m² za A2 i 2037,6 €/m² za A3. Troškovi mostova za svaku fazu sažeti su u tablici 49 i prikazani na slici 51.

Tablica 49: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva A1, A2, i A3

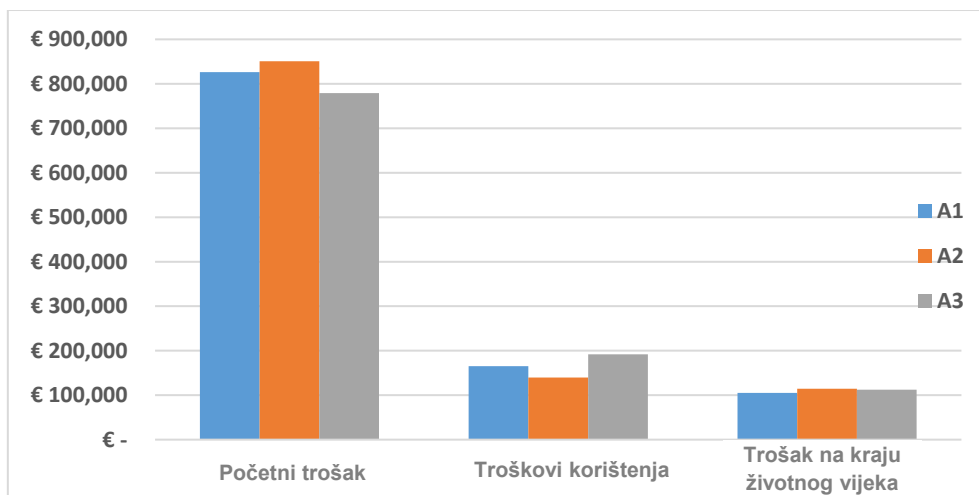
	Studija slučaja A1 (€)	Studija slučaja A2 (€)	Varijacija u odnosu na A1	Studija slučaja A3 (€)	Varijacija u odnosu na A1
Početni trošak	826145,01	850713,8	+3,0%	779264,4	-5,7%
Trošak korištenja	165236,13	139657,7	-15,5%	191962,5	+16,2%
Trošak na kraju životnog vijeka	105073,81	114568,3	+9,0%	112141,4	+6,7%
Ukupni trošak	1096454,96	1104940	+0,8%	1083368	-1,2%



Slika 51: Ukupni troškovi životnog ciklusa za A1, A2 i A3

Slika 52 uspoređuje ukupne troškove životnog ciklusa (LCC) za različite studije slučaja A1, A2 i A3. U ovoj usporedbi, očigledno je da je spregnuto rješenje (A3) bolje od betonske varijante (A2) i integralnog rješenja A1 pri razmatranju početnih troškova. S druge strane, očigledno je da je integralno spregnuto rješenje najbolji izbor u smislu minimiziranja troškova na kraju životnog vijeka. Betonsko rješenje rezultira visokim početnim troškovima i troškovima na kraju životnog vijeka. Ukratko, uobičajeno spregnuto rješenje mosta je jeftinije za razliku od 1,2% u usporedbi s integralnim mostom, a betonski most 0,8% skuplji od integralnog mosta.

Napominje se da su troškovi na kraju životnog vijeka znatno niži od troškova korištenja ili izgradnje zbog činjenice da se ti troškovi pojavljuju u 100. godini i smanjuju se s godišnjom diskontnom stopom od 2%.



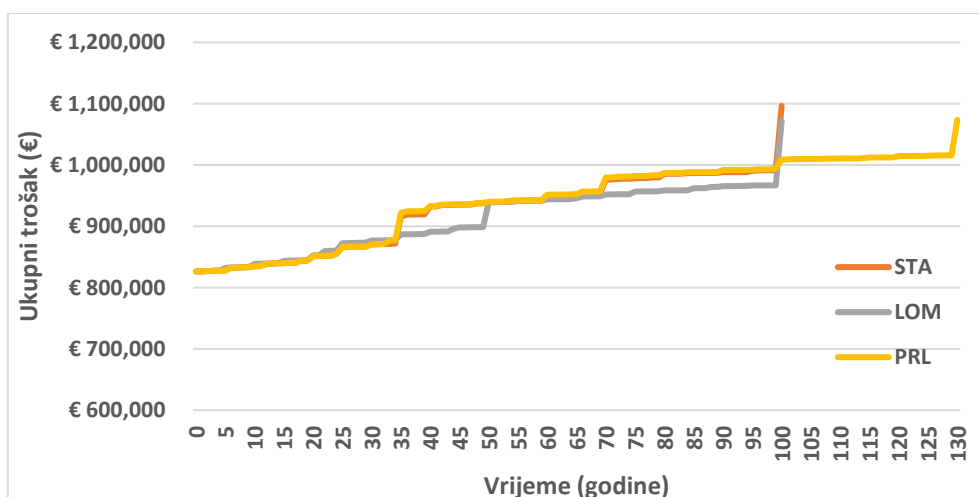
Slika 52: Ukupni troškovi životnog ciklusa za svaku studiju slučaja

2.4.5 Alternativni scenariji održavanja

Osim standardnog scenarija, proučavana su dva alternativna scenarija održavanja, odnosno scenariji "nedostatak novca" i "produženi životni vijek". Scenarij nedostatak novca odnosi se na situaciju u kojoj se učestalost održavanja smanjuje kako bi se moglo nositi s ograničenjima proračuna. S druge strane, scenarij produženog životnog vijeka uzima u obzir da je u 80. godini donesena odluka o zadržavanju mosta u službi dulje od projektiranog vijeka trajanja (130 godina umjesto 100). Strategija radnji održavanja prilagođena je na kraju životnog vijeka kako bi se osigurala odgovarajuća razina performansi mostova do 130. godine.

- *Analiza referentne studije slučaja A1*

Slika 53 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja A1 za scenarije održavanja: standardni, nedostatak novca i produženi životni vijek.



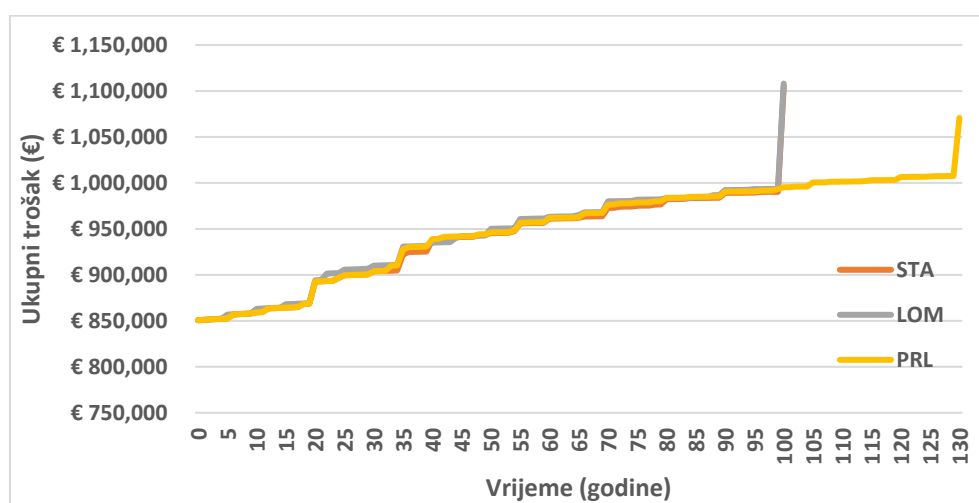
Slika 53: Troškovi životnog ciklusa za slučaj A1 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

Napominje se da je stopa porasta troškova životnog ciklusa niža nakon 80. godine od one na početku vijeka trajanja jer se troškovi smanjivani s fiksnom godišnjom diskontnom stopom od 2%. Nedostatak novca i scenariji produženog životnog vijeka rezultirali su smanjenjem LCC vrijednosti od 2,2% i 4% u usporedbi s standardnim scenarijem. Razlog smanjenja ukupnog

troška životnog ciklusa za produženi životni vijek je visoko oporezivani/smanjivani trošak na kraju životnog vijeka u 130. godini. Neto sadašnja vrijednost troška na kraju životnog vijeka u scenariju produženog životnog vijeka (u 130. godini) izračunava se kao 55% od standardnog scenarija (u 100. godina).

- *Analiza studije slučaja A2*

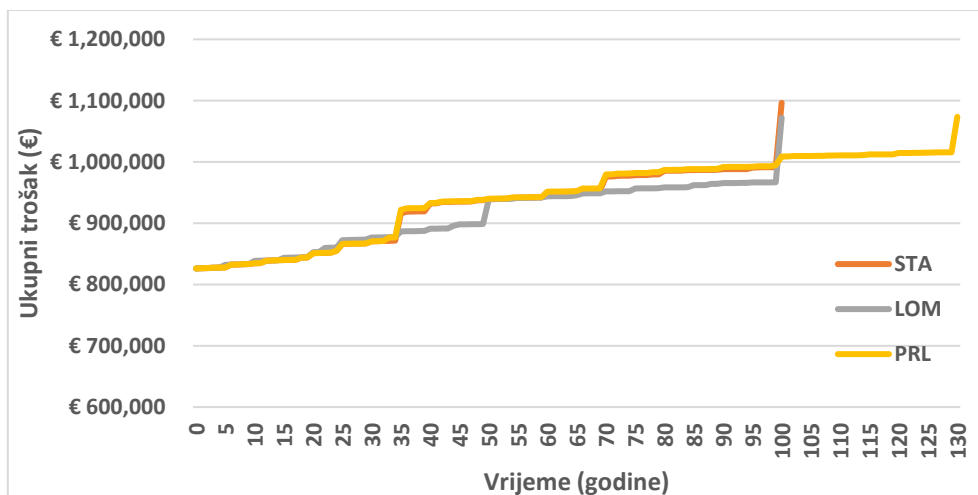
Slika 54 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja A2 za scenarije održavanja: standardni, nedostatak novca i produženi životni vijek. S prednapetim rješenjem betonskog mosta ovdje je zabilježena nešto niža LCC vrijednost za scenarij "produženog životnog vijeka", iako je vijek trajanja mosta dulji. Razlog smanjenja ukupnog troška životnog ciklusa za produženi životni vijek je visoko oporezivani/smanjivani trošak na kraju životnog vijeka u 130. godini. Neto sadašnja vrijednost troška u scenariju produženog životnog vijeka (u 130. godini) izračunava se kao 55% od standardnog scenarija (u 100. godini).



Slika 54: Troškovi životnog ciklusa za slučaj A2 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

- *Analiza studije slučaja A3*

Slika 55 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja A3 za scenarije održavanja: standardni, nedostatak novca i produženi životni vijek. Neznatno je viša LCC vrijednost zabilježena za scenarije "nedostatak novca" i "produženi životni vijek", iako je dulji vijek trajanja posljednje navedenog scenarija. Razlog smanjenja ukupnog troška životnog ciklusa za produženi životni vijek je visoko oporezivani/smanjivani trošak na kraju životnog vijeka u 130. godini. Neto sadašnja vrijednost troška u scenariju produženog životnog vijeka (u 130. godini) izračunava se kao 55% od standardnog scenarija (u 100. godini).

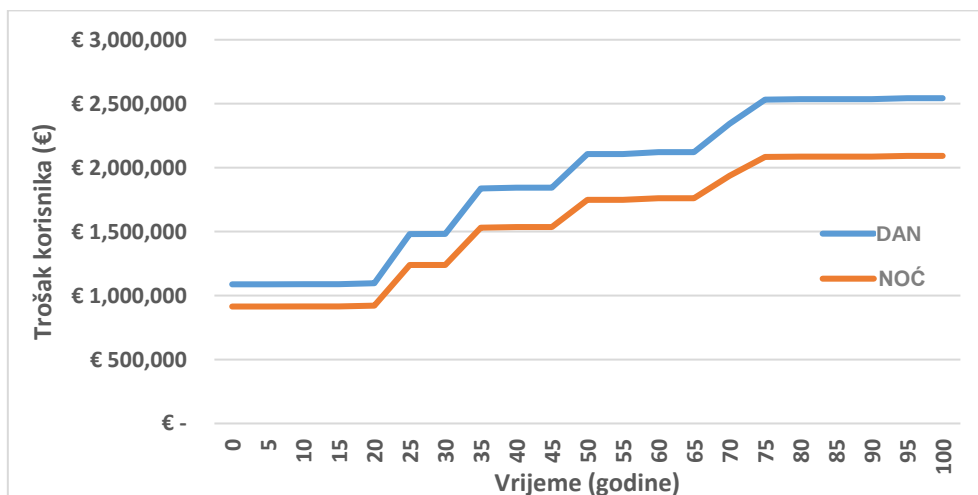


Slika 55: Troškovi životnog ciklusa za slučaj A3 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

2.5 Analiza socijalnih komponentata životnog ciklusa

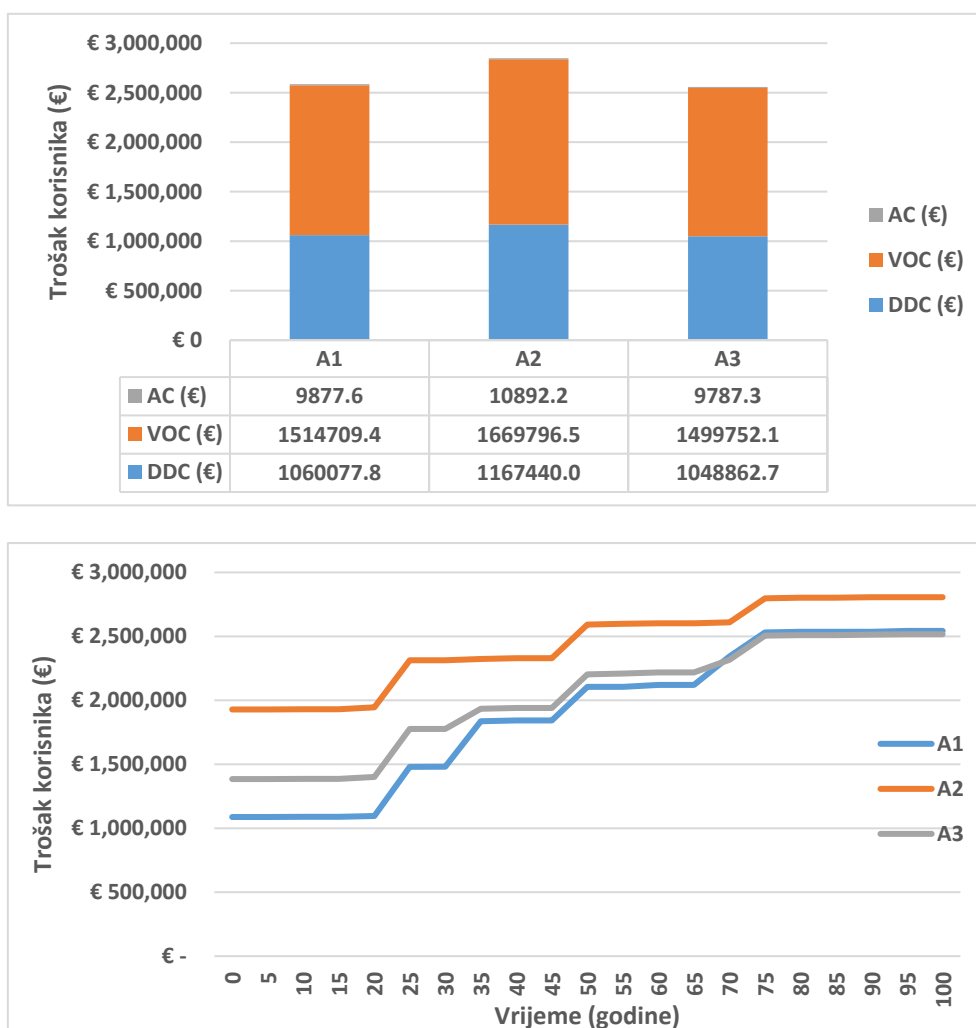
Proučena su dva scenarija održavanja za izračun troškova korisnika: (i) scenarij "dan" u kojem se većina radnji obavlja tijekom dana (od 6:00 do 22:00 sata), a most ima jednu traku zatvorenu za glavne radnje održavanja (površina ceste/zamjena vodonepropusnog sloja); (ii) scenarij "noć", slično scenariju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

Slika 56 prikazuje troškove korisnika za studije slučaja A1 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 56: Troškovi korisnika za studiju slučaja A1 sa scenarijima "dan" i "noć"

Slučajevi A1 i A3 rezultirali su usporedivom razlikom u troškovima korisnika od 1%. Također se na slici 57, može uočiti da su troškovi korisnika povezani sa slučajem A1 bili niži od onih za slučaj A2 u iznosu od 10,2%. Ta se razlika može objasniti potrebom za više dana održavanja u posljednja dva mosta kao rezultat zamjene ležajeva [koji ne postoje u slučaju A1] i dodatnim radovima potrebnim za stup u sredini raspona na mostovima A2 i A3.



Slika 57: Troškovi korisnika za studije slučaja A1, A2 i A3 sa standardnim scenarijem i planom “dnevni rad”

Sada, kada su izračunati troškovi korisnika, ukupna usporedba troškova korisnika za tri mosta prikazana je u tablici 50. Iz slika/brojeva kojih se sastoje korisnički troškovi veliki dio troškova životnog ciklusa za mostove koji prelaze autoceste (nadvožnjake) čine troškovi korisnika. Integralni most je 10,2% jeftiniji od njegovog betonskog ekvivalenta (A2) i 1,0% skuplji od konvencionalnog spregnutog mosta (A3) s stupom na sredini.

Tablica 50: Usporedba troškova korisnika između slučajeva A1, A2, i A3

	Studija slučaja A1 (€)	Studija slučaja A2 (€)	Varijacija u odnosu na A1	Studija slučaja A3 (€)	Varijacija u odnosu na A1
Troškovi korisnika	2584664,83	2848129	+10,2%	2558402	-1,0%

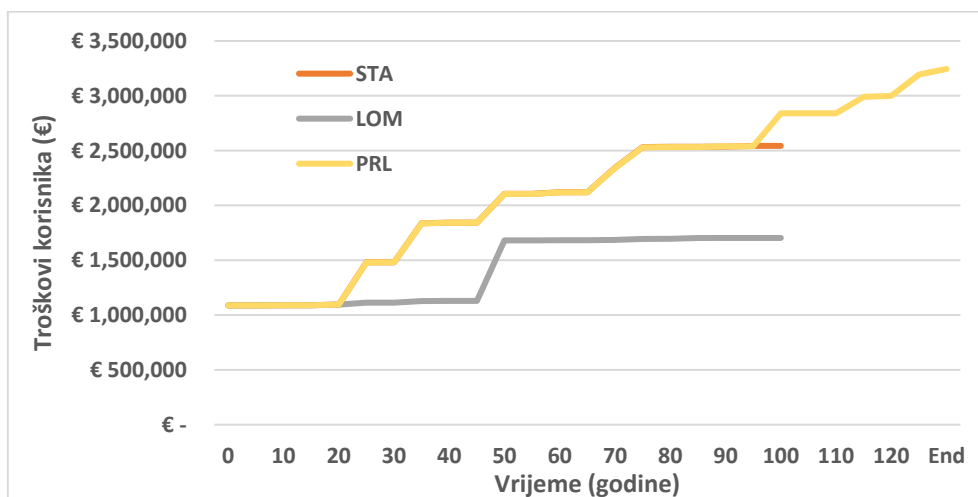
Napominje se još jednom da zbog ograničenja u trenutačnoj verziji SBRI + alata, sve analize životnog ciklusa izrađuju se s obzirom na samo jednu zatvorenu prometnu traku u svakom smjeru (tri trake otvorene za promet u svakom smjeru) za vrijeme A1 = 154 dana, A2 = 273 dana i A3 = 196 dana. Ako razmotrimo više zatvorenih traka, povećat će se emisije zbog zagušenja prometa (troškovi korisnika), što će dovesti do veće razlike između studija slučaja.

2.5.1 Alternativni scenariji održavanja

Kao što je bio slučaj kod LCA i LCC analiza, za troškove korisnika, proučavani su alternativni scenariji održavanja: "nedostatak novca" i "produženi životni vijek" i uspoređeni su sa standardnim scenarijem održavanja.

- *Analiza referentne studije slučaja A1*

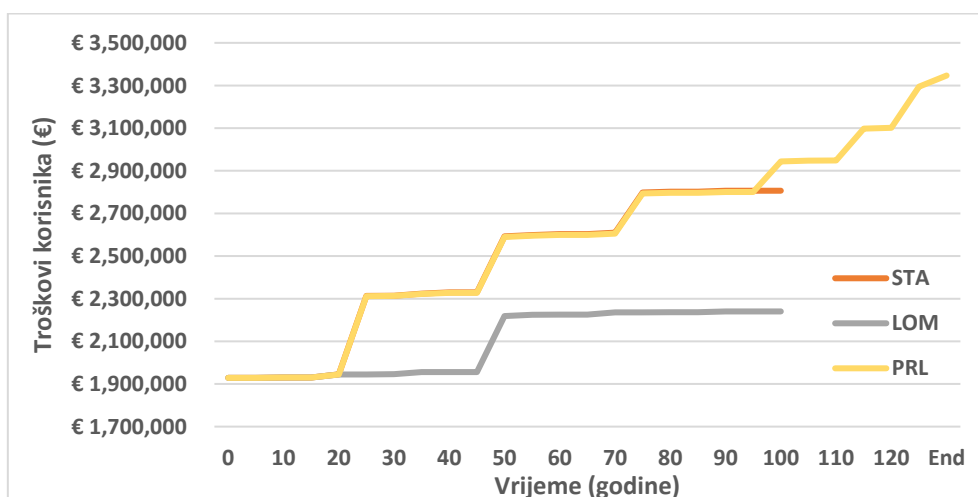
Slika 58 prikazuje troškove korisnika za studiju slučaja A1 za standardni scenarij, scenarij nedostatak novca i scenarij održavanja produženi životni vijek.



Slika 58: Troškovi korisnika za slučaj A1 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

- *Analiza studije slučaja A2*

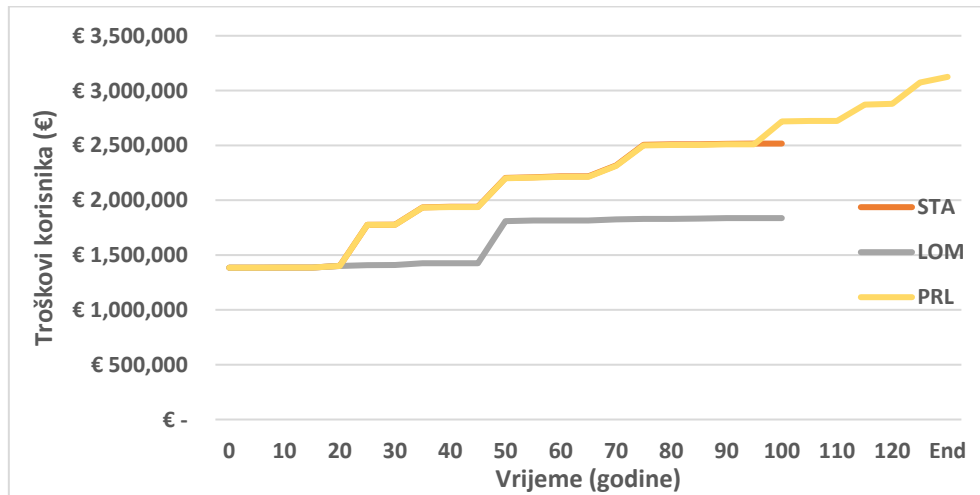
Slika 59 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja A2 za standardni scenarij, scenarij nedostatak novca i scenarij održavanja produženi životni vijek.



Slika 59: Troškovi korisnika za slučaj A1 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

- *Analiza studije slučaja A3*

Slika 60 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja A2 za standardni scenarij, scenarij nedostatak novca i scenarij održavanja produženi životni vijek.



Slika 60: Troškovi korisnika za slučaj A3 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

U sva tri slučaja A1, A2 i A3 scenarij "nedostatak novca" rezultirao je nižim troškovima korisnika od standardnog scenarija, dok je scenarij "produženi životni vijek" rezultirao višim troškovima korisnika, budući da se radovi održavanja održavaju češće na mostu kako bi se produžio vijek trajanja, što posljedično dovodi do ograničenja prometa i time troškova korisnika.

2.6 Diskusija rezultata za slučaj A

Iz analize životnog ciklusa može se vidjeti da su faze proizvodnje materijala i korištenja daleko dominirale u svim kategorijama utjecaja. Proizvodnja građevinskih materijala tijekom životnog ciklusa i zagušenja prometa zbog radnih aktivnosti glavni su uzroci opterećenja okoliša u analizi životnog ciklusa. U fazi korištenja utjecaji su uglavnom uzrokovani prometnim gužvama. Vidljivo je da su cjelokupni rezultati najčešće poboljšani obavljanjem radova održavanja noću. Noćna smjena osigurava smanjenje utjecaja zbog činjenice da je opseg prometa manji noću.

Što se tiče troškova životnog ciklusa, iz studija slučajeva vidljivo je da integralni i konvencionalni spregnuti mostovi pokazuju poželjne karakteristike. Vidljivo je da su početni troškovi veći za betonski most izveden na licu mjesta (A2) u usporedbi s ostalim dvjema spregnutim varijantama, tj. integriranim (A1) i konvencionalnim (A3) spregnutim rješenjima. Međutim, troškovi korištenja i rušenja niži su u slučaju A1, jer nema ležajeva i povezanih radnji održavanja. Troškovi korištenja manji su zbog svoje prirode. Time se izbjegava potreba za održavanjem ležajeva, jer ih nema. Primjena različitih scenarija na ove studije slučaja otkriva da scenarij nedostatka novca ima nižu LCC vrijednost. Zanimljivo je da scenarij produženog životnog vijeka također dovodi do nižeg LCC (ne uzimajući u obzir socijalne troškove). Razlog smanjenja ukupnog troška životnog ciklusa za produženi životni vijek je visoko oporezivani/smanjivani trošak kraja životnog vijeka u 130. godini. Neto sadašnja vrijednost troška na kraju životnog vijeka kod scenarija produženog životnog vijeka (u 130. godini) izračunava se kao 55% od standardnog scenarija (u 100. godini).

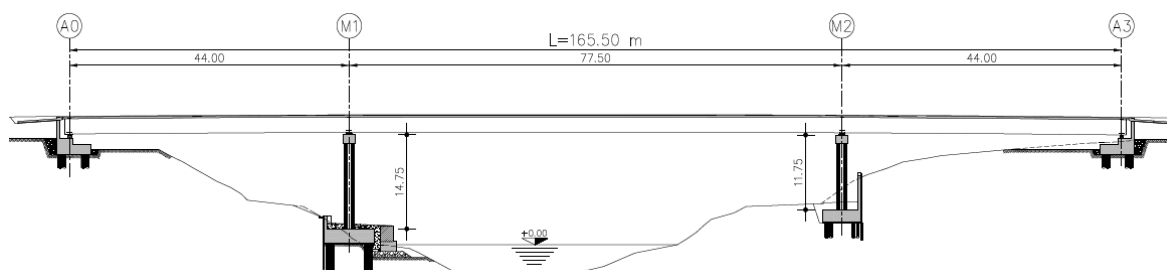
Još jednom, socijalni aspekti LCA analize dokazuju da je noćna smjena povoljna u smanjenju utjecaja na troškove korisnika. Troškovi korisnika koji su povezani s betonskim rješenjem koje odgovaraju slučaju A2 bili su 10,2% viši od onih za integralni slučaj spregnutog mosta A1. Integralni i konvencionalni spregnuti mostovi rezultiraju usporedivim troškovima korisnika s prednošću od 1% u korist konvencionalnog spregnutog. Usporedba između različitih scenarija otkriva da scenarij "nedostatak novca" ima niže troškove korisnika od standardnog scenarija, dok scenarij "produženog životnog vijeka" ima veće troškove korisnika. Međutim, valja napomenuti da ta razlika odlazi na štetu degradacije mosta što u konačnici može dovesti do odluke o zamjeni mosta u cjelini - što rezultira bitno višim troškovima.

3 STUDIJA SLUČAJA – TIP MOSTA B

3.1 Opis studije slučaja B1

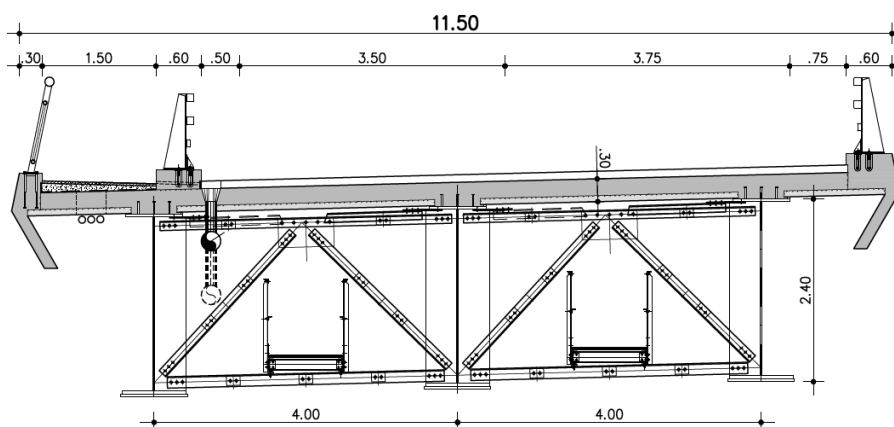
3.1.1 Definicija sustava, geometrije i parametara mosta

Slučaj B1 opisuje cestovni most s tri raspona, duljina $44,00 + 77,50 + 44,00 = 165,60$ m, i širine ploče od 11,50 m, slika 61. Čelično-betonski spregnuti rasponski sklop sastoji se od 3 zavarena čelična I nosača (S355 N), visine 2,40 m, postavljena na razmaku od 4,00 m, postavljeni na poziciju naguravanjem. Gornji ustroj je oslonjen i seizmički izoliran usidrenim (iako zamjenjivim) normalnim prigušujućim elastomernim ležajevima. Svaki armirano betonski stup (C30/37) sastoji se od dva kružna stupa promjera $\Phi 160$ na razmaku od 5,40 m, koji su spojeni poprečno s pravokutnom nadglavnom gredom. Donji ustroj (stupovi i armiranobetonski upornjaci) duboko je temeljen s osam grupa pilota.



Slika 61: Slučaj B1 – uzdužni pogled

Poprečni presjek ceste sastoji se od dva prometna traka 3,75 m i 3,50 m, dva rubna traka 0,75 m i 0,50 m, i pločnika širine 1,50 m. Kolnik, kao i pločnik, omeđeni su sa sigurnosnim barijerama i ogradom, slika 62.



Slika 62: Slučaj B1 – tipični poprečni presjek

Čelično-betonski spregnuti rasponski sklop sastoji se od 3 zavarene I čelična nosača (S355 N), visine 2,40 m, postavljena na razmaku od 4,00 m, koji su na poziciju postavljeni naguravanjem. Širina gornje pojasnice je promjenjiva od 750 mm do 880 mm, a donja ima širinu 880 mm. Ploča rasponskog sklopa (C30/37) sastoji se od sloja debljine 0,20 m izlivenog na mjestu na predgotovljenim pločama debljine 0,10 m. Tri čelična nosača spojena su poprečno svakih 8,80 m spregovima K oblika, koji su izvedeni čeličnim kutnim profilima. Na svakom poprečnom presjeku nad osloncima formirana je pločasta čelična dijafragma.

Gornji ustroj je oslonjen i seizmički izoliran usidrenim (iako zamjenjivim) normalnim prigušujućim elastomernim ležajevima (tip C prema EN1337). Ležajevi su postavljeni ispod svakog glavnog nosača. Na upornjacima su korišteni ležajevi 2x3 NDRB 400x500x241mm ($t_{el} = 121$ mm), a na stupovima 2x3 NDRB 700x800x235mm ($t_{el} = 120$ mm). Armirano betonski upornjaci (C25/30) široki su 12,60 m, a njihova ukupna visina iznosi 5,90 m. Duboki temelj svakog upornjaka sastoji se od glave pilota debljine 1,50 m i duljine 5,40 m i 8 $\Phi 120$ pilota dugih 38 m. Svaki armirano betonski stup (C30/37) sastoji se od dva kružna stupa $\Phi 160$ na razmaku od 5,40 m, koji su spojeni poprečno s pravokutnom nadglavnom gredom visine 1,30 m i širine 1,80 m. Duboki temelj svakog stupa sastoji se od glave pilota 7,80 x 12,6 x 1,5 m i 8 $\Phi 120$ pilota dugih 38 m. LCA, LCC i LCS analize na ovom mostu provedene su u sljedećim točkama. Ovaj primjer je namijenjen samo da pokaže LCA procjenu mostova velikih raspona i nema usporedbe dobivenih rezultata iz analiza.

3.1.2 Razmatranja u fazi projektiranja

Najznačajnije količine za slučaj B prikazane su u sljedećoj tablici:

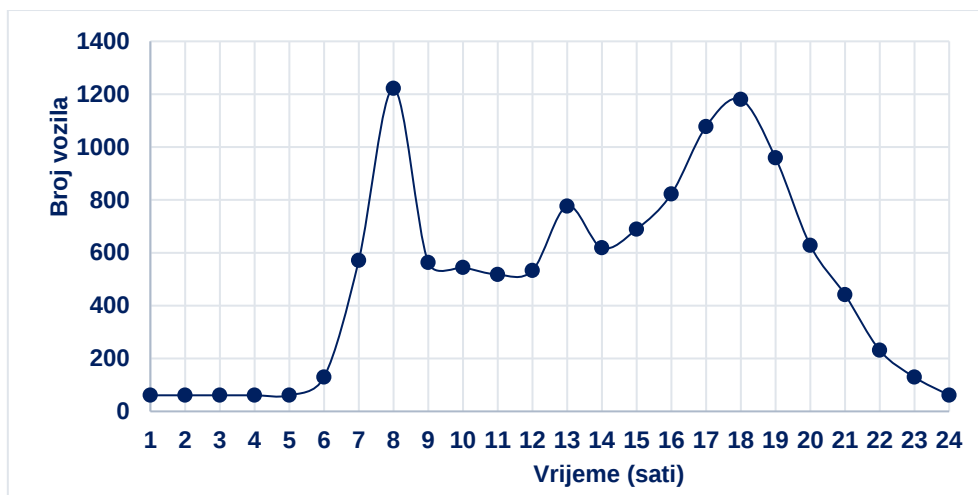
Tablica 51: Količine za slučaj B dane za provedbu LCA i LCC analiza

Opis	Jedinica	Slučaj B	Jedinica	Jedinična cijena* (Grčka 2015)
Donji ustroj				
Iskopi	[m ³]	1900	[€/m ³]	1,50
Zatrpavanje	[m ³]	510	[€/m ³]	5,00
Beton za upornjake C25/30	[m ³]	405	[€/m ³]	95,00
Armatura za upornjake B500C	[kg]	38600	[€/kg]	0,80
Beton za stupove C30/37	[m ³]	505	[€/m ³]	150,00
Armatura za stupove B500C	[kg]	87300	[€/kg]	0,80
Beton za pilote C20/25	[m ³]	1345	[€/m ³]	130,00
Armatura za pilote B500C	[kg]	215960	[€/kg]	0,80
Gornji ustroj				
Konstrukcijski čelik S355 N	[kg]	725000	[€/kg]	2,50
Antikorozivna zaštita	[m ²]	7600	[€/m ²]	9,00
Beton za ploču C30/37	[m ³]	685	[€/m ³]	110,00
Armatura za ploču B500C	[kg]	117100	[€/kg]	0,80
Ležajevi	[kom]	12		
	[lt]	1080	[€/lt]	45,00
Kolnik				
Slojevi asfalta kolnika (2x5cm)	[m ²]	2x1675	[€/m ²]	6,00
Vodonepropusni dio kolnika	[m ²]	2090	[€/m ²]	11,40
Vodolovna grla	[kg]	3297	[€/kg]	4,90
Žljebovi PVC $\Phi 200$	[m]	200	[€/m]	8,60
Prijelazne naprave T200	[m]	23	[€/m]	2900,00
Sigurnosne barijere	[kg]	21775	[€/kg]	1,70
Ograde	[kg]	4190	[€/kg]	1,90

(*) Navedeni jedinični troškovi odnose se na izravne troškove izgradnje. Kako bi se uzeli u obzir opći troškovi i dobit izvođača, troškovi su povećani za 30%. Napominjemo također da su ove vrijednosti za most s prometom u jednom smjeru. Za drugi smjer prometa pored je predviđen isti most. Zbog toga su LCA, LCC i LCS učinci udvostručeni u izračunima koji slijede.

3.2 Analiza prometa

Za osnovnu godinu studije, u izračunima je korišten prosječni dnevni promet „engl. Average Daily Traffic (ADT)“ od 12000 vozila/dan. Smatra se da je postotak lakih vozila i teških vozila 88% u odnosu na 12% od ADT-a. Pretpostavljena raspodjela prometa po satu za autocestu prikazana je na slici 63. Pretpostavlja se da rast prometa tijekom vremena slijedi jednadžbu (3) (vidi točku 5.3. - Dio A) gdje se razmatra stopa rasta od 0,5%.

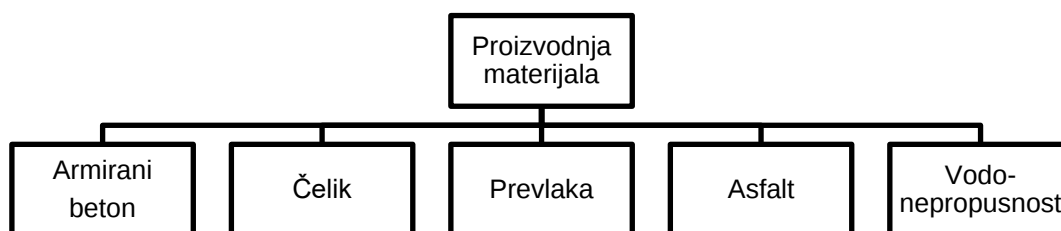


Slika 63: Raspodjela prometa po satu za studiju slučaja B1

3.3 Analiza okoliša u životnom ciklusu

3.3.1 Faza proizvodnje materijala

Ova faza uzima u obzir proizvodnju svih materijala potrebnih za izgradnju mosta, prema slici 64.



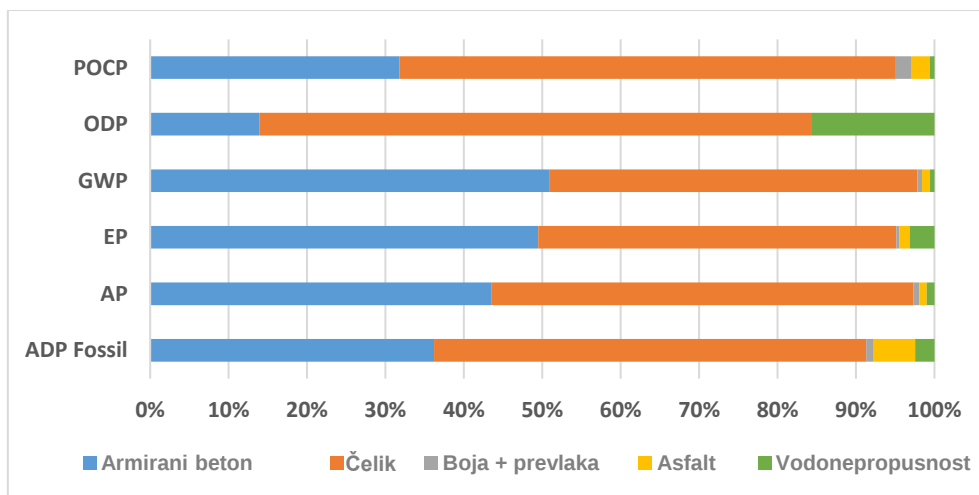
Slika 64: Faza proizvodnje materijala

- *Analiza okoliša*

Rezultati dobiveni za fazu izgradnje prikazani su u tablici 52. Zaključeno je da su proizvodnja konstrukcijskog čelika i armiranog betona glavni procesi koji doprinose globalnim utjecajima u fazi proizvodnje materijala. Isti su rezultati grafički prikazani na slici 65.

Tablica 52: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [B1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Čelik	Prevlaka	Asfalt	Vodonepropusni sloj
ADP Fossil	MJ	5,19E+07	1,88E+07	2,86E+07	5,06E+05	2,74E+06	1,27E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	1,36E+04	5,90E+03	7,30E+03	1,06E+02	1,28E+02	1,33E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	1,24E+03	6,16E+02	5,68E+02	5,14E+00	1,61E+01	3,93E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	5,40E+06	2,75E+06	2,53E+06	3,15E+04	5,48E+04	3,07E+04
ODP	Kg R11 eq.	8,14E-02	1,13E-02	5,73E-02	5,87E-08	4,60E-08	1,28E-02
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,03E+03	6,45E+02	1,28E+03	4,12E+01	4,85E+01	1,24E+01



Slika 65: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [B1]

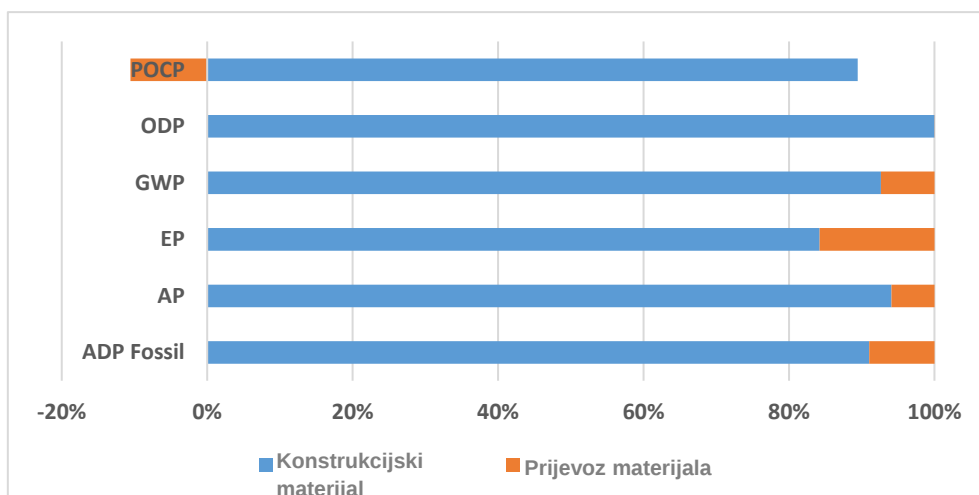
3.3.2 Faza izgradnje

- *Analiza okoliša*

Rezultati faze izgradnje studije slučaja B1 prikazani su u tablici 53 i prikazani grafički na slici 66. Radnje vezane uz konstrukcijske materijale predstavljaju glavni doprinos utjecajima na okoliš.

Tablica 53: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [B1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Konstrukcijski materijal	Prijevoz materijala
ADP Fossil	MJ	2,39E+06	2,18E+06	2,14E+05
AP	Kg SO ₂ eq.	5,88E+02	5,53E+02	3,47E+01
EP	Kg PO ₄ eq.	5,22E+01	4,39E+01	8,24E+00
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,11E+05	1,96E+05	1,55E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,43E-03	3,43E-03	5,21E-09
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,18E+01	9,27E+01	-1,09E+01



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

Slika 66: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje [B1]

3.3.3 Faza korištenja

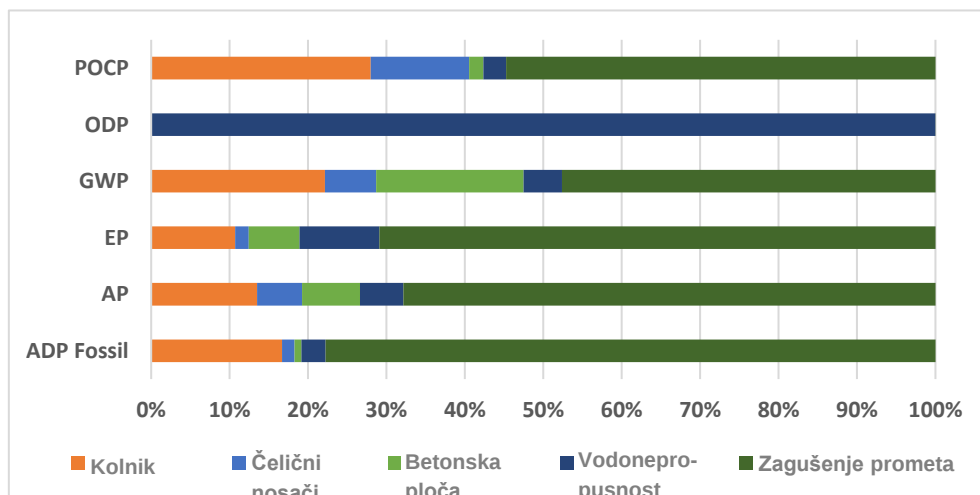
Shema održavanja navedena u tablici A4 - Dodatak A označava ograničenja prometa preko mosta, tijekom godina, u kojima se odvijaju aktivnosti održavanja.

- *Analiza okoliša*

Rezultati faze korištenja za slučaj B1 prikazani su na slici 67 za scenarij dnevnog rada.

Tablica 54: Utjecaji na okoliš u fazi korištenja [B1 dnevni rad]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Čelični nosači	Betonska ploča	Vodonepropusni sloj	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	8,25E+07	1,38E+07	1,32E+06	7,13E+05	2,55E+06	6,42E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	4,81E+03	6,49E+02	2,75E+02	3,55E+02	2,66E+02	3,26E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	7,73E+02	8,28E+01	1,34E+01	5,01E+01	7,86E+01	5,48E+02
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,26E+06	2,78E+05	8,18E+04	2,36E+05	6,15E+04	5,98E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	2,31E-07	1,53E-07	1,54E-06	2,56E-02	2,06E-06
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,54E+02	2,39E+02	1,07E+02	1,56E+01	2,48E+01	4,68E+02

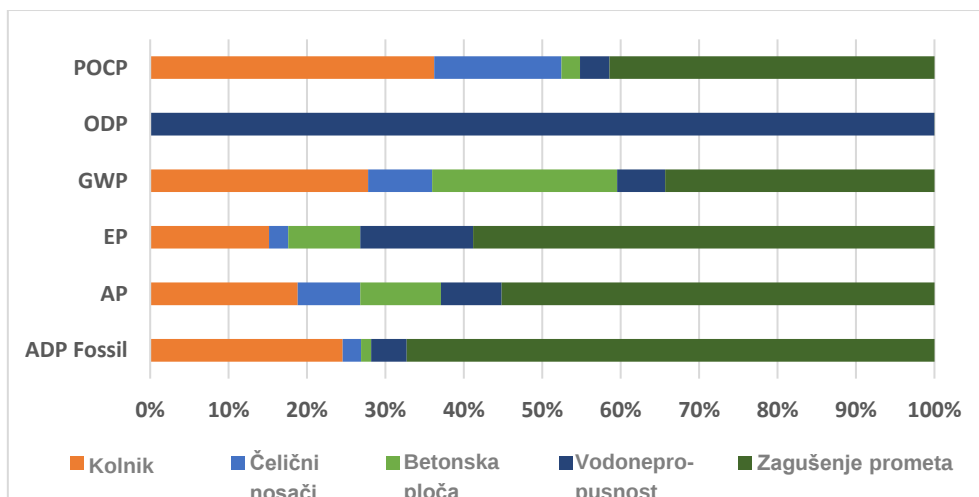


Slika 67: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [B1 dnevni rad]

Rezultati faze korištenja za scenarij noćnog rada slučaja B1 prikazani su na slici 68.

Tablica 55: Utjecaji na okoliš u fazi korištenja [B1 noćni rad]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Čelični nosači	Betonska ploča	Vodonepropusni sloj	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	5,61E+07	1,38E+07	1,32E+06	7,13E+05	2,55E+06	3,77E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	3,45E+03	6,49E+02	2,75E+02	3,55E+02	2,66E+02	1,90E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	5,46E+02	8,28E+01	1,34E+01	5,01E+01	7,86E+01	3,21E+02
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,00E+06	2,78E+05	8,18E+04	2,36E+05	6,15E+04	3,44E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	2,31E-07	1,53E-07	1,54E-06	2,56E-02	1,19E-06
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,60E+02	2,39E+02	1,07E+02	1,56E+01	2,48E+01	2,74E+02



Slika 68: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [B1 noćni rad]

Kao što se može vidjeti u tablicama 54 i 55., glavni doprinos za sve kategorije utjecaja dolazi od kolnika, čeličnih nosača, vodonepropusnog sloja i zagušenja prometa u oba scenarija. Iako je za "noćni scenarij" doprinos zagušenja prometa neznatno niži nego u scenariju dnevnog rada uzrokuje smanjenje do 32% u nekim kategorijama utjecaja.

Tablica 56: Usporedba utjecaja na okoliš za dnevni i noćni rad u fazi korištenja [B1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Slučaj B1 Dan	Slučaj B1 Noć	Varijacija u odnosu na B1 Dan
ADP Fossil	MJ	8,25E+07	5,61E+07	-32,0%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,81E+03	3,45E+03	-28,2%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,73E+02	5,46E+02	-29,4%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,26E+06	1,00E+06	-20,2%
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	2,56E-02	-0,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,54E+02	6,60E+02	-22,7%

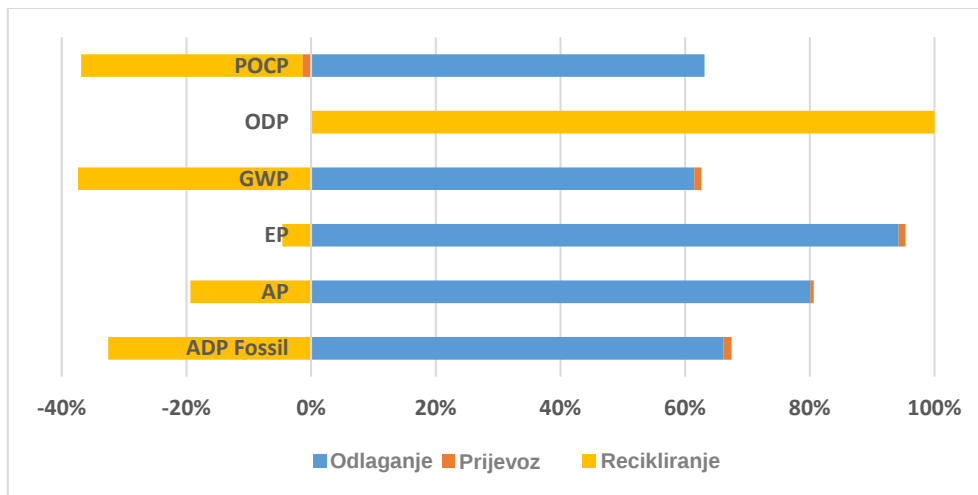
3.3.4 Faza na kraju životnog vijeka

- Analiza okoliša

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze prikazane su na slici 69, što također ukazuje na doprinos svakog procesa po kategoriji utjecaja. Negativne vrijednosti na slici 69 predstavljaju dobiti dane procesima recikliranja.

Tablica 57: Utjecaji na okoliš po procesu u fazi na kraju životnog vijeka [B1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Odlaganje	Prijevoz	Recikliranje
ADP Fossil	MJ	8,87E+06	1,68E+07	3,27E+05	-8,28E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	5,93E+03	7,75E+03	5,29E+01	-1,87E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	1,02E+03	1,05E+03	1,26E+01	-5,17E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	5,33E+05	1,30E+06	2,37E+04	-7,91E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,51E-02	1,27E-05	7,93E-09	2,51E-02
POCP	Kg C ₂ H ₄	3,10E+02	7,45E+02	-1,67E+01	-4,19E+02



Slika 69: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [B1]

Proces odlaganja nosi najveći doprinos dok prijevoz donosi mali utjecaj na različite kategorije. Također se može primijetiti da proces recikliranja pridonosi okolišu u svim kategorijama utjecaja osim ODP-a.

3.3.5 Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu

- *Ukupni rezultati životnog ciklusa za slučaj B1*

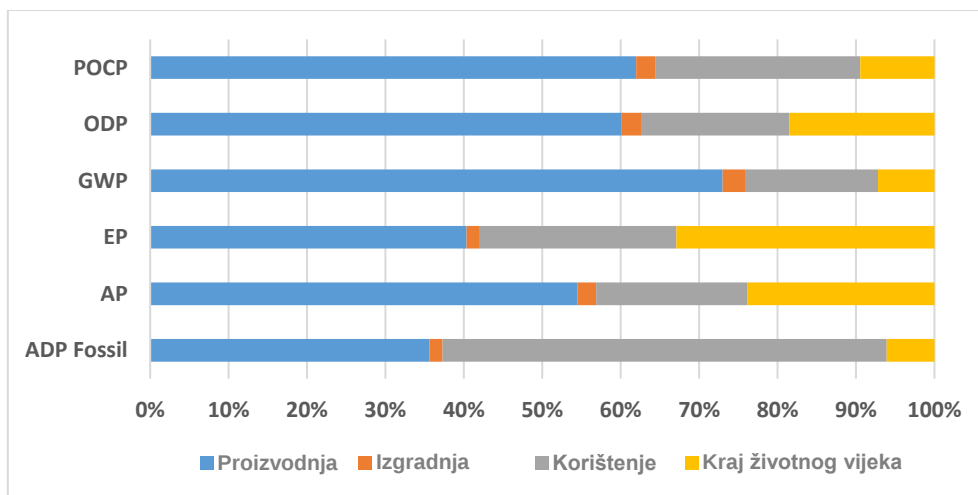
U prethodnim su točkama prikazani djelomični rezultati po fazama. U ovoj točki, rezultati različitih faza sažeti su u odnosu na svaku kategoriju utjecaja, a ukupni rezultati prikazani su u tablici 58, uzimajući u obzir dnevni plan rada u standardnom scenariju održavanja.

Tablica 58: Ukupni utjecaji na okoliš u analizi životnog ciklusa po fazi životnog ciklusa [B1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	1,46E+08	5,19E+07	2,39E+06	8,25E+07	8,87E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	2,49E+04	1,36E+04	5,88E+02	4,81E+03	5,93E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	3,09E+03	1,24E+03	5,22E+01	7,73E+02	1,02E+03
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,40E+06	5,40E+06	2,11E+05	1,26E+06	5,33E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,36E-01	8,14E-02	3,43E-03	2,56E-02	2,51E-02
POCP	Kg C ₂ H ₄	3,28E+03	2,03E+03	8,18E+01	8,54E+02	3,10E+02

Da bi se bolje mogao razumjeti doprinos svake faze u ukupnim rezultatima, rezultati su također prikazani na slici 70.

Faza proizvodnje materijala je faza koja najviše doprinosi svim kategorijama utjecaja, osim ADP fossil. Faza korištenja ima drugi po redu doprinos od kategorija utjecaja, a faza na kraju životnog vijeka predstavlja treći najveći doprinos. Faza izgradnje ima neznatan doprinos za sve kategorije utjecaja.



Slika 70: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [B1]

3.3.6 Alternativni scenariji održavanja

U ovoj točki razmatraju se dva dodatna alternativna plana održavanja. Prvi alternativni scenarij održavanja odnosi se na situaciju "nedostatak novca", u kojem se učestalost održavanja mijenja kako bi se nosilo s ograničenjima proračuna. Drugi alternativni scenarij održavanja odnosi se na situaciju "produženog životnog vijeka", u kojem se životni vijek mosta produžuje na 130 godina.

Oba alternativna scenarija utječu samo na fazu korištenja. Dakle, rezultati prikazani u ovoj točki odnose se samo na fazu korištenja. Rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 59 za standardni i oba alternativna scenarija održavanja.

Tablica 59: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [B1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij – nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM}, \text{STA})$	Scenarij – produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL}, \text{STA})$
ADP Fossil	MJ	8,25E+07	5,16E+07	-37,4%	1,57E+08	+90,0%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,81E+03	2,91E+03	-39,4%	9,00E+03	+87,3%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,73E+02	4,66E+02	-39,7%	1,44E+03	+86,3%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,26E+06	7,07E+05	-43,7%	2,29E+06	+82,7%
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	1,28E-02	-50,0%	2,56E-02	+0,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,54E+02	5,28E+02	-38,2%	1,52E+03	+77,4%

Kako se dva alternativna scenarija održavanja odnose na dva različita vremenska razdoblja, rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevnog rada", prikazani su u tablici 60 po godini. Za scenarij "nedostatak novca" i scenarij "produženog životnog vijeka" razmatrani su vremenski periodi od 100 godina i 130 godina .

Tablica 60: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [B1]

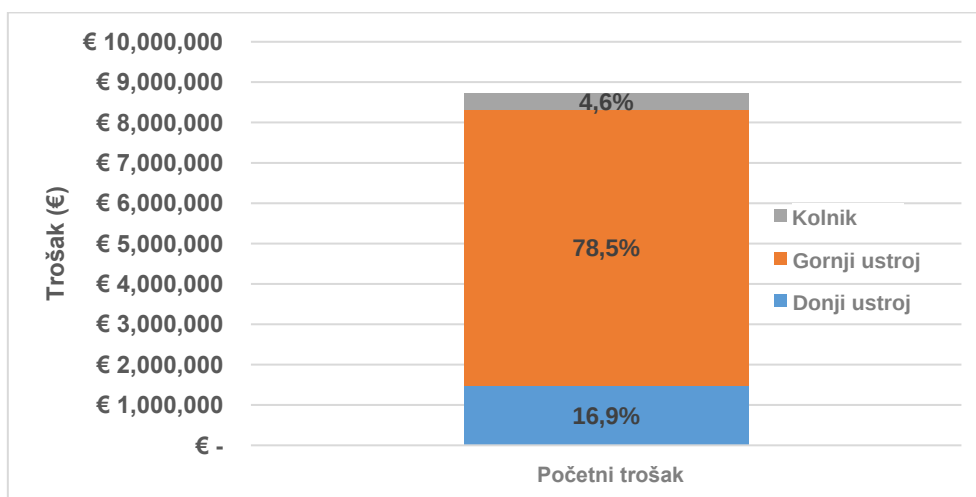
Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij – nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM, STA})$	Scenarij – produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL, STA})$
ADP Fossil	MJ	8,25E+05	5,16E+05	-37,4%	1,21E+06	+46,1%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,81E+01	2,91E+01	-39,4%	6,92E+01	+44,1%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,73E+00	4,66E+00	-39,7%	1,11E+01	+43,3%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,26E+04	7,07E+03	-43,7%	1,76E+04	+40,5%
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-04	1,28E-04	-50,0%	1,97E-04	-23,1%
POCP	Kg C ₂ H ₄	8,54E+00	5,28E+00	-38,2%	1,17E+01	+36,4%

Iz rezultata je vidljivo da scenarij "nedostatak novca" smanjuje utjecaje, u prosjeku za 41,4%. Napor za produženje životnog vijeka mosta sa scenarijem "produženog životnog vijeka" doveo je do povećanja utjecaja na 31,2% u svim kategorijama okoliša osim ODP-a.

3.4 Analiza troškova životnog ciklusa

3.4.1 Početni troškovi izgradnje

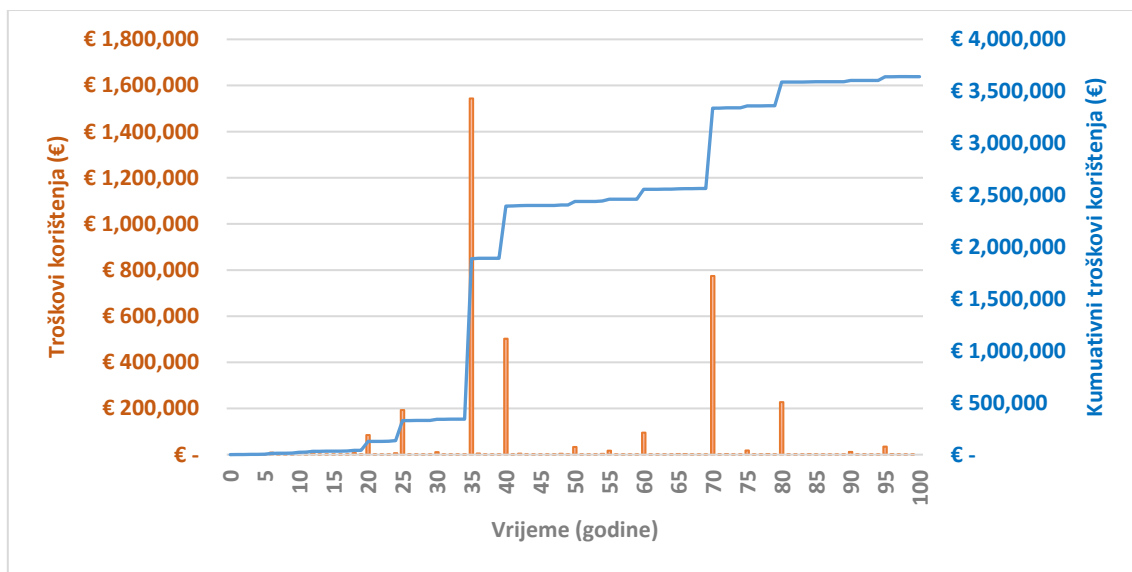
Početni trošak konstrukcije, uključujući troškove prijevoza materijala, iznosi 8.735.404,67 € što je oko 2.293,48 €/m². Slika 71 prikazuje udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika koji su izračunati na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 51.



Slika 71: Početni trošak slučaja B1

3.4.2 Troškovi korištenja

Tijekom perioda od 100 godina pretpostavlja se da se mostovi u primjerima održavaju i obnavljaju prema planu navedenom u Prilogu - tablica A1, definicija standardnog scenarija pregleda. Godišnji troškovi se temelje na jediničnim troškovima i učestalostima navedenim u tablici A6. Ti su troškovi prikazani na slici 72.



Slika 72: Troškovi korištenja slučaja B1 tijekom životnog vijeka

3.4.3 Troškovi na kraju životnog vijeka

Sažetak troškova na kraju životnog vijeka naveden je u tablici 61.

Tablica 61: Trošak na kraju životnog vijeka za B1

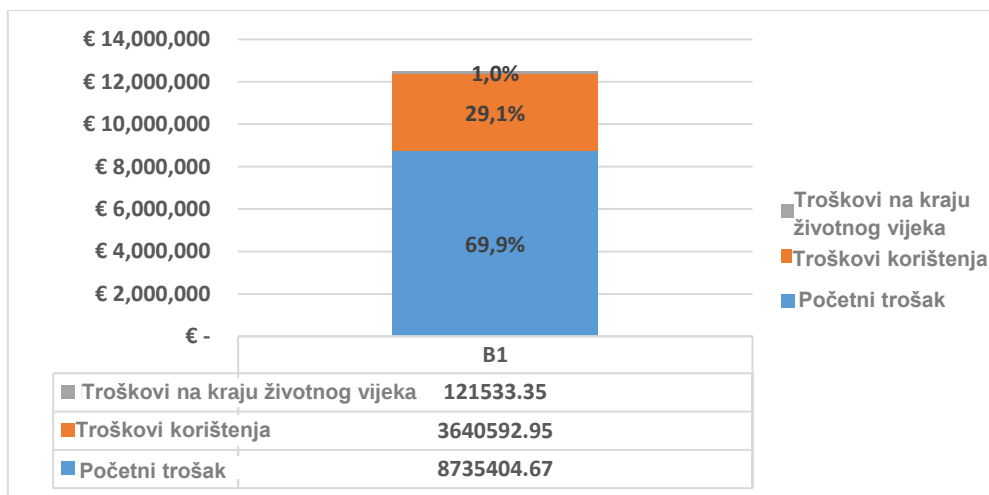
Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	2367,92	-26882,53	50	490,28
Beton	14112	19479,21	50	2921,88
Zemljani radovi	9640	66531,89	10	399,19
Bitumen	804	5548,93	20	66,59
Drugo	-	403,91	-	-
Suma (€)				68959,35
Trošak rušenja (€)				52574,00
Ukupni trošak (€)				121533,35

(*) 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%.

3.4.4 Ukupni troškovi životnog ciklusa

Kompilacija troškova izračunata u prethodnim točkama dovodi do ukupne neto sadašnje cijene životnog ciklusa (LCC) od 11.488.362,07 €, uz diskontnu stopu od 2% vezano na prvi scenarij na kraju životnog vijeka. To predstavlja ukupni trošak od oko 3.016,27 €/m². Troškovi mosta za svaku fazu prikazani su na slici 73.

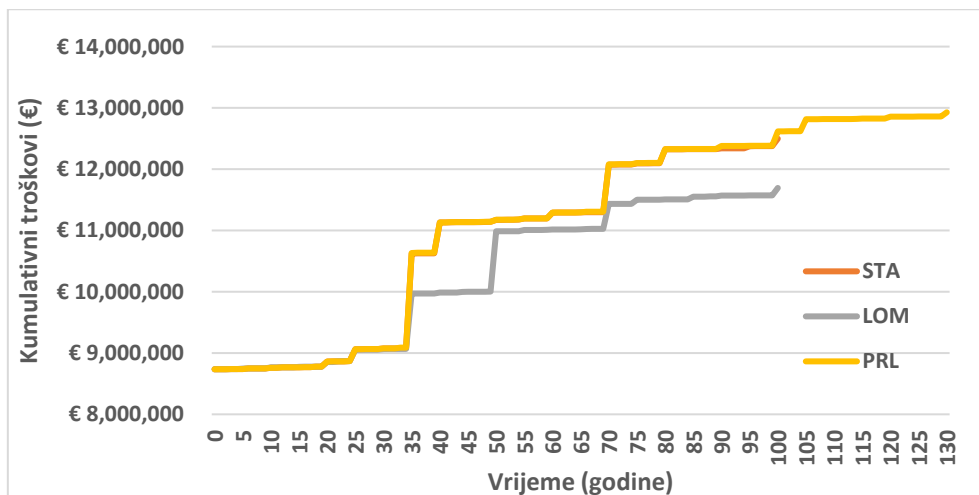


Slika 73: Troškovi životnog ciklusa za slučaj B1

3.4.5 Alternativni scenariji održavanja

Osim standardnog scenarija, proučavana su dva alternativna scenarija održavanja, odnosno "nedostatak novca" i scenarij "produženi životni vijek". Scenarij nedostatak novca odnosi se na situaciju u kojoj se učestalost održavanja smanjuje kako bi se nosilo s ograničenjima proračuna. S druge strane, scenarij produženog životnog vijeka uzima u obzir da je u 89. godini donesena odluka kako bi se most zadržao u službi dulje od projektiranog vijeka trajanja (130 godina umjesto 100). Strategija radnji održavanja usvojena je na kraju životnog vijeka kako bi se osigurala odgovarajuća razina performansi mostova do 130. godine.

Slika 74 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja B1 s scenarijima "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek".



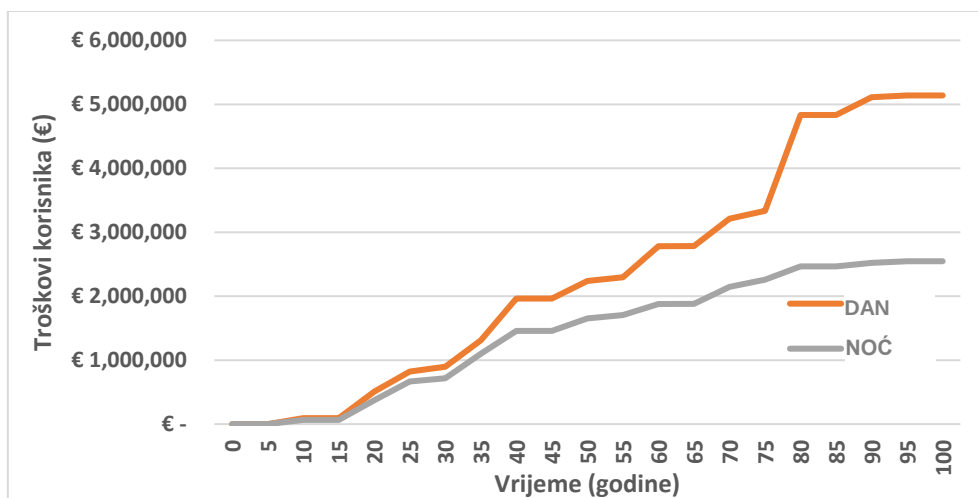
Slika 74: Troškovi životnog ciklusa za slučaj B1 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

Scenarij održavanja produženi životni vijek košta 3% više od standardnog scenarija, budući da se u tom scenariju održavaju česte aktivnosti održavanja kako bi se most zadržao u funkciji kroz duže vrijeme. Ovaj je rezultat zbog toga u suprotnosti s prethodnim primjerima u tome što je trošak na kraju životnog vijeka puno manji u usporedbi s troškovima održavanja izvršenih na mostu nakon 100. godine. Scenarij u slučaju nedostatka novca rezultirao je smanjenim troškovima u odnosu na standardni scenarij.

3.5 Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa

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

Slika 75 prikazuje troškove korisnika za studiju slučaja B1 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. Najveći porast u 80. godini posljedica je povećanja troškova korisnika tijekom održavanja površine ceste (kolnika) i vodonepropusnih slojeva.

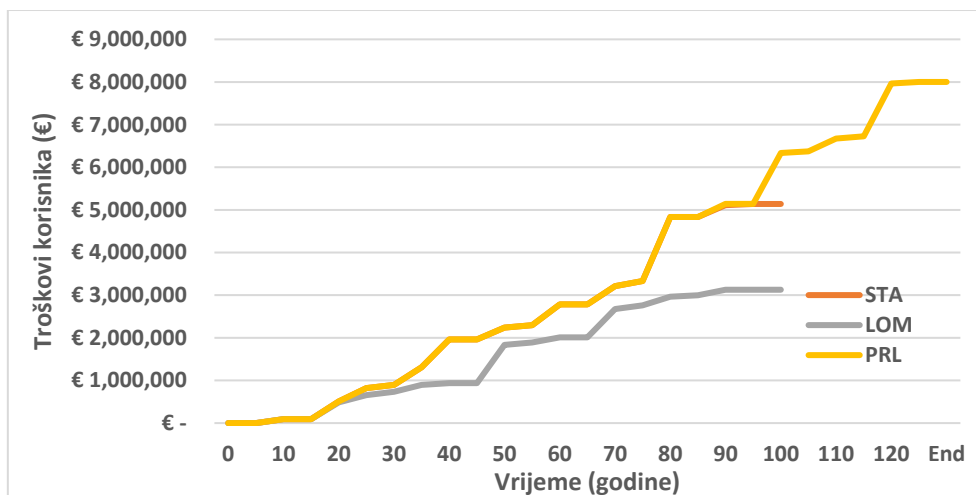


Slika 75: Troškovi korisnika za studiju slučaja B1 sa scenarijima "dan" i "noć"

3.5.1 Alternativni scenariji održavanja

Kao što je bio slučaj za LCA i LCC analize, za troškove korisnika, proučavani su alternativni scenariji održavanja: "nedostatak novca" i "produženi životni vijek" i uspoređeni s standardnim scenarijem održavanja.

Slika 76 prikazuje troškove korisnika za studiju slučaja B1 za scenarije održavanja: standardni, nedostatak novca i produženi životni vijek.



Slika 76: Troškovi korisnika za studiju slučaja B1 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

Scenarij "nedostatak novca" rezultirao je nešto nižim troškovima korisnika na kraju od standardnog scenarija, dok je scenarij "produženog životnog vijeka" rezultirao je višim troškovima korisnika ako je vijek trajanja mosta produžen.

3.6 Diskusija rezultata za slučaj B

U ovoj studiji slučaja za cestovne mostove velikih raspona, iz analize životnog ciklusa okoliša može se uočiti da faze proizvodnje materijala i korištenja daleko dominiraju svim kategorijama utjecaja. Proizvodnja građevinskih materijala tijekom životnog ciklusa i zagušenja prometa zbog radne aktivnosti glavni su uzroci opterećenja okoliša u analizi životnog ciklusa. U fazi korištenja utjecaji su uglavnom uzrokovani zagušenjem prometa. Vidljivo je da su cjelokupni rezultati najčešće poboljšani obavljanjem radova održavanja noću. Noćna smjena osigurava smanjenje utjecaja zbog činjenice da je opseg prometa manji noću.

Još jednom, socijalni aspekti LCA dokazuju da se noćna smjena smatra povoljnom za smanjenje utjecaja troškova korisnika. Troškovi korisnika izračunati za dvije različite radne smjene na istom mostu rezultirali su razlikom od gotovo 1,5 milijuna eura. Primjena različitih scenarija na ovu studiju slučaja otkriva da scenarij "nedostatak novca" na kraju ima niže troškove korisnika od standardnog scenarija, dok scenarij "produženog životnog vijeka" ima veće troškove korisnika. Međutim, valja napomenuti da niži troškovi kod scenarija "nedostatak novca" odlaze na štetu degradacije mosta što u konačnici može rezultirati odlukom o zamjeni mosta, što rezultira bitno višim troškovima.

4 STUDIJE SLUČAJA – TIP MOSTA C

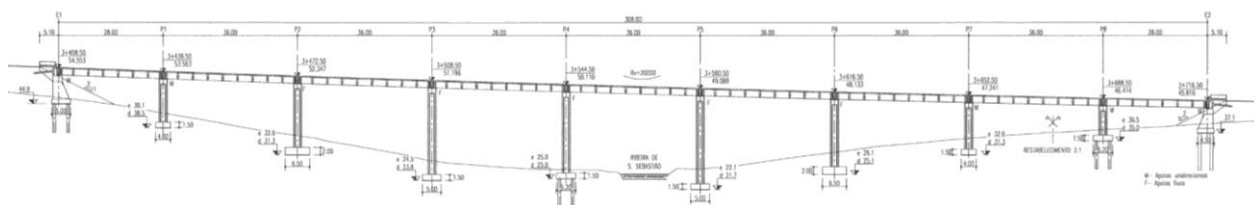
Za ovaj tip mosta istražuju se četiri slučaja: dva mosta s čelično-betonskim spregnutim rasponskim sklopom (C1.1 i C2.1), kao i njihovi ekvivalenti s predgotovljenim prednapetim betonskim gredama (C1.2 i C2.2).

4.1 Slučaj C1 – Cestovni mostovi s više raspona

4.1.1 Opis studija slučaja

4.1.1.1 Slučaj C1.1: Definicija sustava, geometrije i parametara mosta

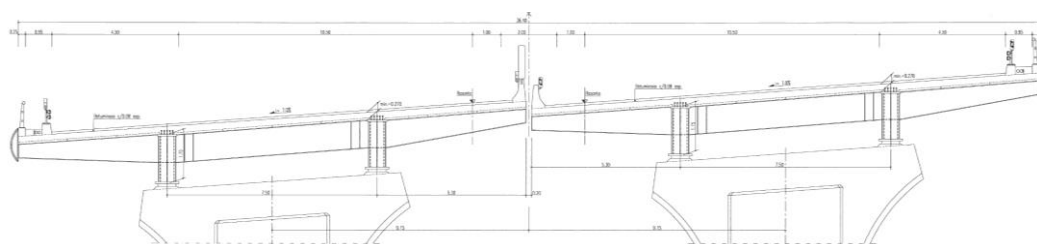
Ovaj most, pod nazivom Viaduto São Sebastião, nalazi se u Portugalu na autocesti A10. Most je otvoren za promet 2006. godine. Konstrukcijska tipologija mosta je kontinuirani greda ukupne duljine 308 m koja je oslonjena preko devet raspona (28 m + 7x36 m + 28 m), slika 77. Tlocrtna dispozicija je kružna krivulja s radijusom od 700 m i stalnim nagibom od 7%.



Slika 77: Slučaj C1.1 Uzdužni presjek

Poprečni presjek autoceste ima ukupnu širinu od 36,40 m sa sljedećim rasporedom trakova kako je prikazano na slici 78.

- 2 x 3 traka od 3,50 m: 21 m
- 2 desna zaustavna traka od 4,50 m: 9 m
- 2 lijeva rubna traka od 1,00 m: 2 m
- Centralna rezerva: 2 m
- 2 nogostupa širine 1,20 m: 2,40 m



Slika 78: Slučaj C1.1 - Tipični poprečni presjek

S obzirom na potrebnu širinu, odlučeno je projektirati dvije neovisne konstrukcije, jednu za svaki smjer prometa. Svaki rasponski sklop se sastoji od spregnutog dijela izvedenog od armiranobetonske ploče, poduprte s dva čelična pločasta I nosača visine 1750 mm. Gornje i donje pojasnice imaju konstantnu širinu od 700 mm i 850 mm. Debljine hrpta i pojasnica variraju duž duljine svakog raspona. Najveća debljina ploče je 70 mm. Poprečni nosači, postavljeni svaka 4 m, pružaju dodatan oslonac betonskoj ploči, omogućujući joj nosivost u dva smjera. Na istim razmacima su korišteni konzolni poprečni nosači s istom svrhom. Svaki

oslonac opremljen je nosivim ukrućenjima na obje strane hrpta. Izgradnja armiranobetonske ploče izvedena je s predgotovljenim betonskim elementima koje se koriste kao izgubljena oplata.

Srednji oslonci su stupovi s šupljim presjekom od armiranog betona. Na vrhu stupova, širina sandučastog presjeka se povećava kako bi pružila oslonac za oba nosača svakog rasponskog sklopa. Viši stupovi su visoki 26 m. Stupovi P2 do P6 podupiru rasponski sklop fiksnim lončastim ležajevima, pa se stoga sve uzdužne sile kočenja, temperatura i seizmički učinci apsorbirati dvoosnim savijanjem tih elemenata. Svi ostali spojevi između rasponskih sklopova i stupova također pružaju oslonac, ali bez ikakvog uzdužnog ograničenja.

Oba krajnja oslonca su otvoreni (spill-through) upornjaci koji se sastoje od ukopanih stupova pravokutnih poprečnih presjeka promjenjive visine i pokrivene ležajnom gredom koja nosi rasponski sklop preko lončastih ležajeva. Rasponski sklop je izgrađen postupnim naguravanjem. Cijeli poprečni presjek, osim betona izlivenog na mjestu, u potpunosti je naguran od kraja, do konačnog položaja. Nakon završetka procesa naguravanja, privremeni oslonci zamijenjeni su stalnim.

4.1.1.2 Slučaj C1.1: Razmatranja u fazi projektiranja

Najznačajnije količine za slučaj C1.1 prikazane su u sljedećoj tablici:

Tablica 62: Količine za slučaj C1.1 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize

Opis	Jedinica	Slučaj C1.1 (Spregnuti most)	Jedinica	Jedinična cijena* (Portugal 2006)
Donji ustroj				
Iskopi	[m ³]	3310	[€/m ³]	25,33
Zatrpavanje	[m ³]	1810	[€/m ³]	9,68
Oplate – za upornjake i stupove	[m ²]	8395	[€/m ²]	30,89
Armatura – osim betonske ploče	[kg]	897600	[€/kg]	0,93
Beton - C16/20	[m ³]	89	[€/m ³]	84,66
Beton - C30/37	[m ³]	3386	[€/m ³]	95,15
Gornji ustroj				
Konstruktivni čelik S355*	[kg]	1521000	[€/kg]	2,42
Oplate	[m ²]	1325	[€/m ²]	28,64
Armatura – betonska ploča	[kg]	371400	[€/kg]	0,93
Beton - lakoagregatni	[m ³]	96	[€/m ³]	82,31
Beton C 40/50	[m ³]	3095	[€/m ³]	107,59
Moždanci – uključujući ugradnju i kontrolu kvalitete	[kg]	31655	[€/kg]	5,66
Izgubljena oplata – betonske ploče C40/50 s armaturom A500NR	[m ²]	9850	[€/m ²]	42,88
Betonski ili čelični vijenci	[m]	620	[€/m]	203,52
Lončasti ležajevi i elastomerni armirani ležajevi	[kom]	40	[€/kom]	2682,85
Lamele (letve ograde čelik/ plastika i slično)	[kom]	108	[€/kom]	15,97
Kolnik				
Poravnavanje površine s bitumenskim betonom i obrada bitumena	[m ²]	22360	[€/m ²]	7,04
Zaštitni uređaj – zaštitna ograda	[m]	637	[€/m]	48,22
Zaštitna oprema - ograde	[m]	637	[€/m]	100,87
Prijelazna naprava	[m]	72	[€/m]	1167,43
Drugi radovi i/ili oprema	[gv]	1	[€/gv]	29753,88
Naguravanje ploče i skele za ploču	[gv]	1	[€/gv]	274652,79

(*) Opskrba, transport i montaža pločaste čelične konstrukcije, S355 čelične ploče prema EN10025, uključujući zavarivanje, zaštitne premaze i sva potrebne radove prema detaljnom projektu

Oba krajnja oslonca su otvoreni (spill-through) upornjaci koji se sastoje od ukopanih stupova s pravokutnih poprečnih presjeka promjenjive visine i pokrivene ležajnom gredom koja nosi rasponski sklop preko lončastih ležajeva. Rasponski sklop je izveden naguravanjem nosača.

4.1.1.4 Slučaj C1.2: Razmatranja u fazi projektiranja

Najznačajnije količine za slučaj C1.2 prikazane su u sljedećoj tablici:

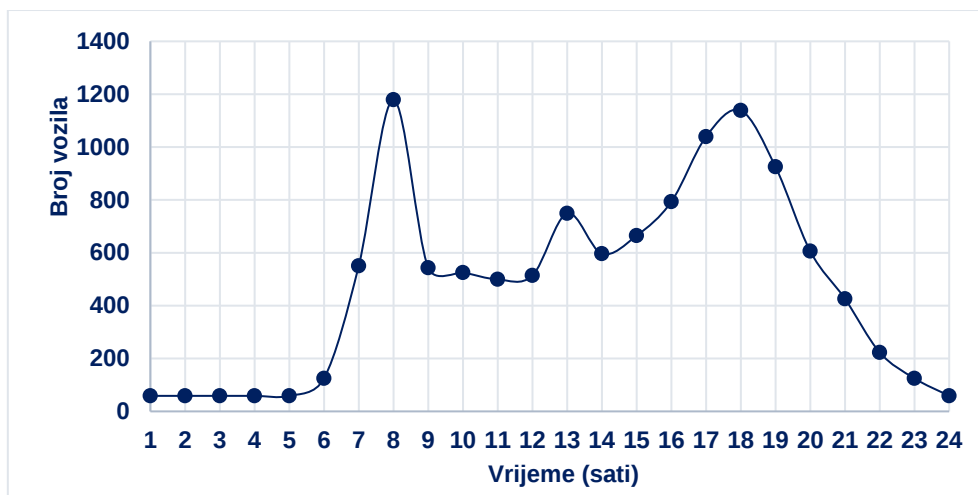
Tablica 63: Količine za slučaj C1.2 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize

Opis	Jedinica	Slučaj C1.2 (Betonski most)	Jedinica	Jedinična cijena (Portugal 2002)
Donji ustroj				
Iskopi	[m ³]	11077	[€/m ³]	14,60
Zatrpavanje	[m ³]	2846	[€/m ³]	5,10
Oplate – za upornjake i stupove	[m ²]	12387	[€/m ²]	43,73
Armatura – osim betonske ploče	[kg]	1210090,30	[€/kg]	1,17
Beton - C12/15	[m ³]	191	[€/m ³]	125,98
Beton - C30/37	[m ³]	7893	[€/m ³]	147,83
Gornji ustroj				
Oplate	[m ²]	18161	[€/m ²]	53,07
Armatura - betonska ploča	[kg]	511481,70	[€/kg]	1,17
Čelik za prednapinjanje - ploča	[kg]	170107,03	[€/kg]	3,88
Beton - C35/45	[m ³]	7049	[€/m ³]	161,82
Beton - lakoagregatni	[m ³]	45	[€/m ³]	142,88
Betonski ili čelični vijenac	[m]	691	[€/m]	122,47
Elastomerni uređaj za prigušenje	[kom]	24		311,44
Lončasti ležajevi i elastomerni armirani ležajevi	[kom]	44	[€/kom]	6040,21
Lamele (letve ograde čelik/ plastika i slično)	[kom]	112	[€/kom]	27,35
Kolnik				
Poravnavanje površine s bitumenskim betonom i obrada bitumena	[m ²]	19036	[€/m ²]	7,72
Pokrivanje ukopanih elemenata	[m ²]	5847		6,13
Zaštitni uređaj – zaštitna ograda	[m]	1323	[€/m]	54,29
Zaštitna oprema - ograde	[m]	691	[€/m]	147,98
Prijelazna naprava	[m]	74	[€/m]	4694,63
Drugi radovi i/ili oprema	[gv]	1	[€/gv]	74910,82
Naguravanje ploče i skele za ploču	[gv]	1	[€/gv]	817444,67

4.1.2 Analiza prometa

Za studije slučajeva u C1, pretpostavlja se da autocesta propušta prosječni dnevni promet „engl. Average Daily Traffic (ADT)“ od 11575 vozila/dan u osnovnoj godini studije. Također smatra se da je postotak lakih vozila i teških vozila 88% u odnosu na 12% ADT-a. Raspodjela prometa po satu prikazana na slici 81 pretpostavljena je za autocestu.

Važno je napomenuti da rast prometa tijekom vremena slijedi jednadžbu (2) (vidi točku 5.3 - Dio A) gdje se razmatra stopa rasta od 0,5%.



Slika 81: Raspodjela prometa po satu za studije slučaja C2.1 i C2.2

4.1.3 Analiza okoliša u životnom ciklusu

4.1.3.1 Faza proizvodnje materijala

Ova faza uzima u obzir proizvodnju svih materijala potrebnih za izgradnju mosta, prema slici 82. Izvori podataka su navedeni u tablici 8.



Slika 82: Faza proizvodnje materijala

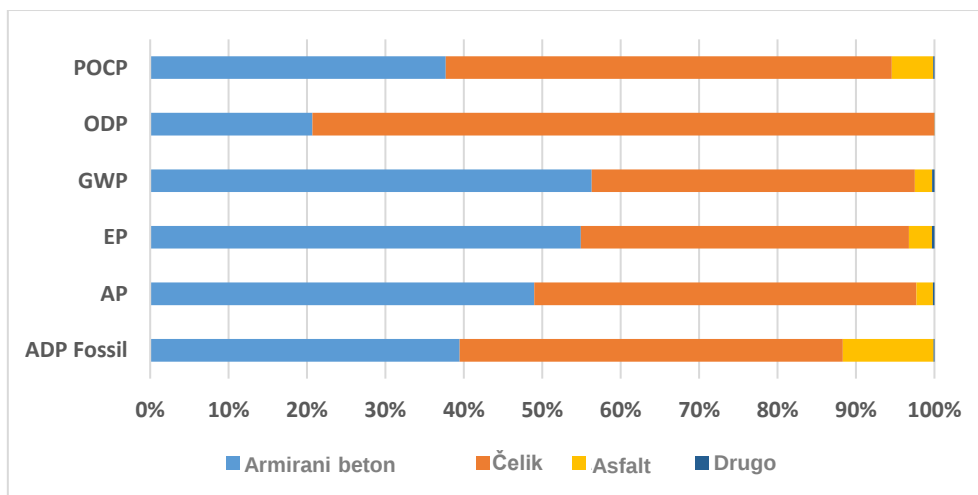
Slojevi prevlaka i hidroizolacije nisu prisutni u slučajevima C1.1 i C1.2.

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C1.1*

Rezultati dobiveni za fazu izgradnje detaljno su prikazani u tablici 64. Zaključeno je da su proizvodnja konstrukcijskog čelika i armiranog betona glavni procesi koji doprinose globalnim utjecajima u fazi proizvodnje materijala. Isti rezultati su grafički prikazani na slici 83.

Tablica 64: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala [C1.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Konstrukcijski čelik	Asfalt	Drugo
ADP Fossil	MJ	6,33E+07	2,50E+07	3,09E+07	7,32E+06	7,49E+04
AP	Kg SO ₂ eq.	1,62E+04	7,94E+03	7,90E+03	3,41E+02	3,17E+01
EP	Kg PO ₄ eq.	1,47E+03	8,05E+02	6,13E+02	4,29E+01	4,77E+00
GWP	Kg CO ₂ eq.	6,65E+06	3,75E+06	2,74E+06	1,46E+05	1,98E+04
ODP	Kg R11 eq.	7,57E-02	1,57E-02	6,01E-02	1,23E-07	1,24E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,45E+03	9,23E+02	1,39E+03	1,29E+02	3,89E+00



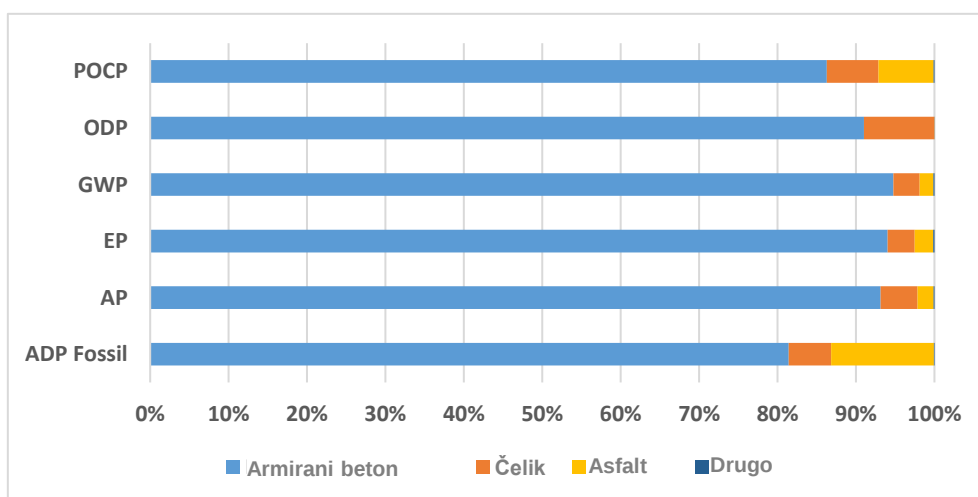
Slika 83: LCA analiza doprinosa za grupe materijala u fazi proizvodnje materijala [C1.1]

- *Analiza okoliša varijante C1.2*

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja C1.2 prikazani su u tablici 65 i grafički prikazani na slici 84.

Tablica 65: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala [C1.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Čelik (Prednapinjanje)	Asfalt	Drugo
ADP Fossil	MJ	4,76E+07	3,87E+07	2,57E+06	6,23E+06	3,51E+04
AP	Kg SO ₂ eq.	1,42E+04	1,32E+04	6,69E+02	2,91E+02	1,49E+01
EP	Kg PO ₄ eq.	1,54E+03	1,44E+03	5,30E+01	3,65E+01	2,23E+00
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,06E+06	6,69E+06	2,36E+05	1,24E+05	9,29E+03
ODP	Kg R11 eq.	2,34E-02	2,13E-02	2,10E-03	1,05E-07	5,80E-08
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,57E+03	1,36E+03	1,04E+02	1,10E+02	1,82E+00



Slika 84: LCA analiza doprinosa za grupe materijala u fazi proizvodnje materijala [C1.2]

Tablica 66 pokazuje varijaciju rezultata u usporedbi s referentnom studijom slučaja C1.1.

Tablica 66: Varijacija utjecaja na okoliš u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj C1.1

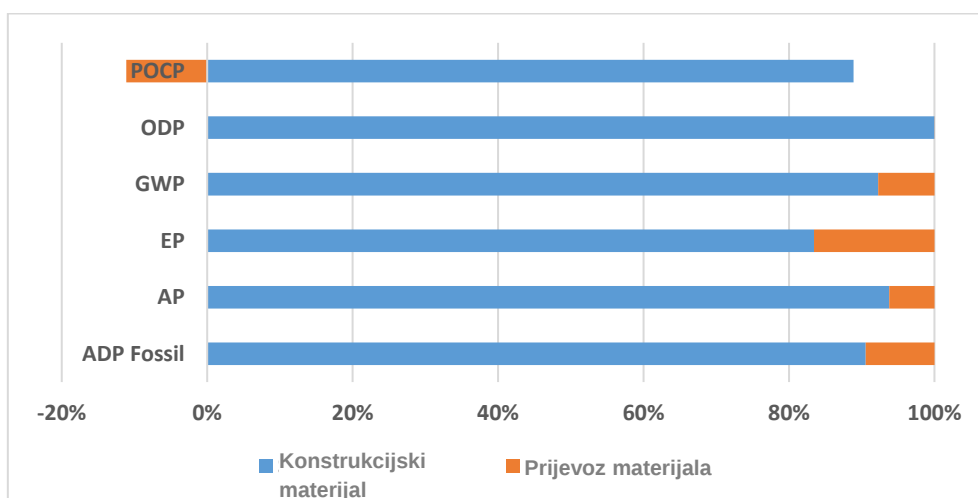
Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C1.1	Studija slučaja C1.2	Varijacija u odnosu na C1.1
ADP Fossil	MJ	6,33E+07	4,76E+07	-24,8%
AP	Kg SO ₂ eq.	1,62E+04	1,42E+04	-12,4%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,47E+03	1,54E+03	+4,8%
GWP	Kg CO ₂ eq.	6,65E+06	7,06E+06	+6,2%
ODP	Kg R11 eq.	7,57E-02	2,34E-02	-69,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,45E+03	1,57E+03	-35,9%

Može se primijetiti da rješenje C1.1 uzrokuje 21,9% (prosjeck) veći utjecaj na okoliš nego rješenje C1.2 u fazi proizvodnje materijala.

4.1.3.2 Faza izgradnje

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C1.1*

Rezultati faze izgradnje za referentnu studiju slučaja C1.1 ilustrirani su na slici 85. Postupci vezani za proizvodnju konstrukcijskih materijala na licu mjesta predstavljaju glavni doprinos utjecajima na okoliš.

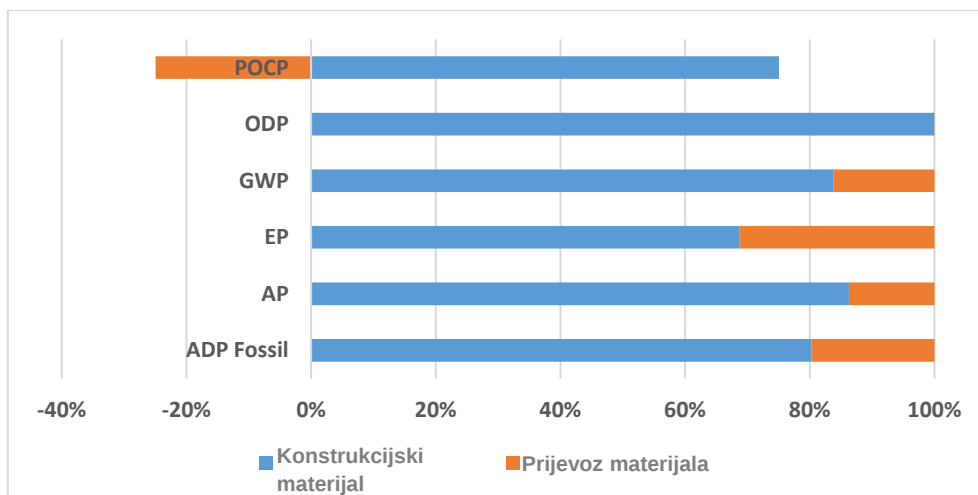


Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Vidi točku 1.2.2.

Slika 85: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za C1.1

- *Analiza okoliša varijante C1.2*

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja C1.2 prikazani su na slici 86.



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

Slika 86: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za C1.2

Tablica 67 ukazuje na varijaciju rezultata za slučaj C1.2 u odnosu na referentnu studiju slučaja C1.1.

Tablica 67: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi izgradnje

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C1.1	Studija slučaja C1.2	Varijacija u odnosu na C1.1
ADP Fossil	MJ	2,83E+06	1,95E+06	-31,1%
AP	Kg SO ₂ eq.	6,96E+02	4,54E+02	-34,8%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,21E+01	4,74E+01	-23,6%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,51E+05	1,73E+05	-31,0%
ODP	Kg R11 eq.	3,79E-03	1,17E-03	-69,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	9,54E+01	3,95E+01	-58,6%

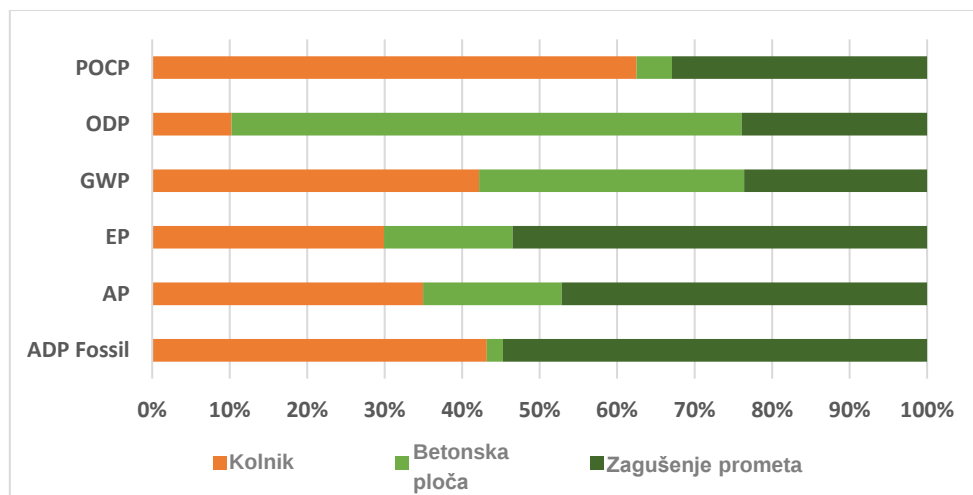
Slučaj C1.2 pokazao se kao bolja alternativa koja je dovela do smanjenja utjecaja na okoliš u fazi izgradnje u odnosu na slučaj C1.1.

4.1.3.3 Faza korištenja

Shema održavanja navedena u tablici A4 upućuje na ograničenja prometa preko mosta, tijekom godina, u kojima se održavaju aktivnosti održavanja za studije slučajeva C1.

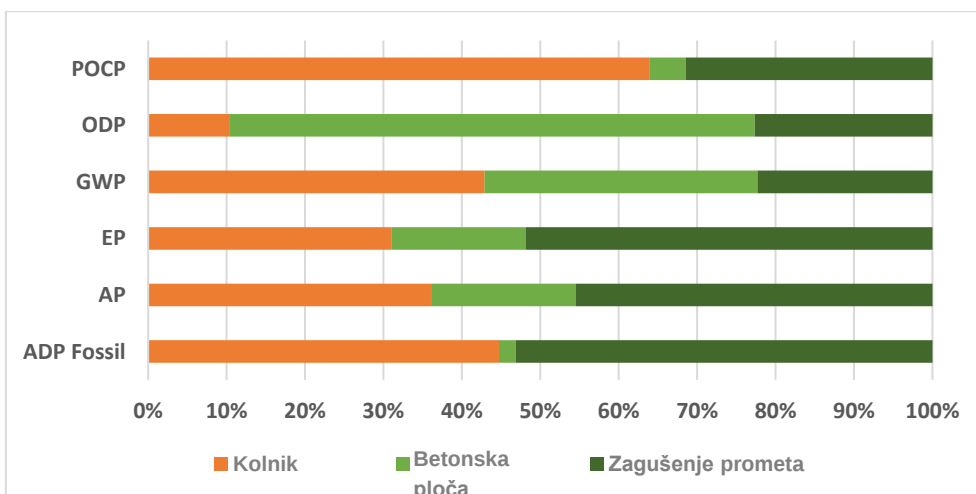
- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C1.1*

Rezultati faze korištenja, za referentnu studiju slučaja C1.1, prikazani su na slici 87 za scenarij dnevnog rada.



Slika 87: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C1.1 dnevni rad]

Za scenarij noćnog rada, rezultati faze korištenja, za referentnu studiju slučaja C1.1, prikazani su na slici 88.



Slika 88: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C1.1 noćni rad]

U oba scenarija uočava se da glavni doprinos za sve kategorije utjecaja dolazi od kolnika, čeličnih nosača i zagušenja prometa; iako je za "noćni scenarij" doprinos zagušenja prometa samo neznatno (1-4%) niži nego u scenariju dnevnog rada

- *Analiza okoliša varijante C1.2*

Rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja C1.2 prikazani su u tablici 68, uz pretpostavku dnevnog scenarija za sve studije slučajeva. Ova tablica također pokazuje varijaciju rezultata u odnosu na referentnu studiju slučaja C1.1.

Tablica 68: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi korištenja [dnevni rad]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C1.1	Studija slučaja C1.2	Varijacija u odnosu na C1.1
ADP Fossil	MJ	8,43E+07	8,34E+07	-1,1%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,91E+03	5,73E+03	+16,6%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,32E+02	8,57E+02	+17,1%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,75E+06	2,28E+06	+30,0%
ODP	Kg R11 eq.	6,00E-06	9,97E-06	+66,1%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,02E+03	9,73E+02	-4,1%

Uzimajući u obzir scenarij noćnog rada, rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja C1.2 prikazani su u tablici 69.

Tablica 69: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi korištenja [noćni rad]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C1.1	Studija slučaja C1.2	Varijacija u odnosu na C1.1
ADP Fossil	MJ	8,13E+07	8,03E+07	-1,3%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,76E+03	5,57E+03	+17,0%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,06E+02	8,30E+02	+17,6%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,72E+06	2,25E+06	+30,4%
ODP	Kg R11 eq.	5,90E-06	9,87E-06	+67,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	9,94E+02	9,51E+02	-4,3%

Rezultati pokazuju da slučaj C1.2, betonsko rješenje, uzrokuje veći utjecaj na okoliš u usporedbi s spregnutim rješenjem, slučaj C1.1, u fazi korištenja. Ove varijacije dolaze kao rezultat povećanih radova održavanja na kolniku, ležajevima, prijelaznim napravama i zaštitnim uređajima u slučaju C1.2. Iako betonsko rješenje u ovoj fazi ima nešto slabije utjecaje ($\leq 4\%$) u kategorijama utjecaja ADP i POCP na okoliš, ona uzrokuje znatno veće utjecaje na okoliš u većini drugih kategorija utjecaja. U ovoj fazi se može reći da je slučaj C1.1 veći prijatelj okolišu nego betonski ekvivalent, slučaj C1.2. Također se može primijetiti da su varijacije između slučajeva C1.1 i C1.2 za scenarij dnevnog rada i noćnog rada slične.

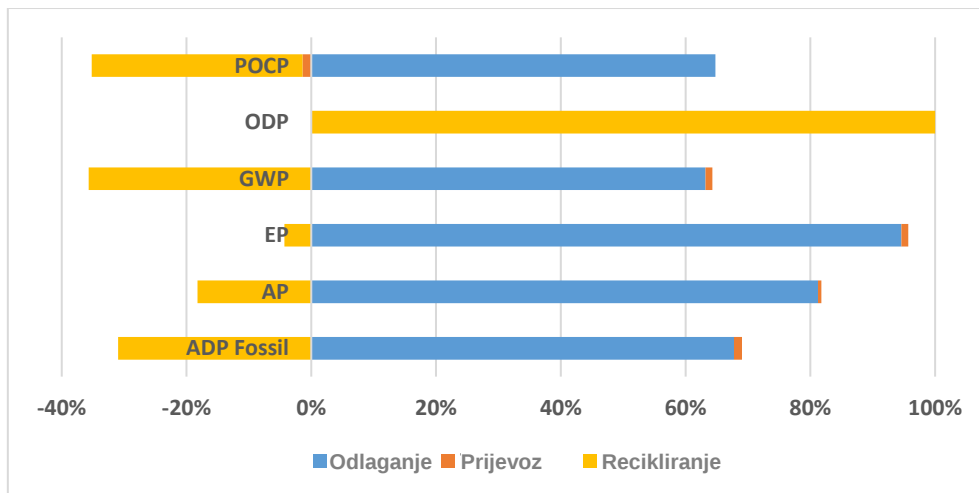
4.1.3.4 Faza na kraju životnog vijeka

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C1.1*

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze navedene su u tablici 70. Slika 89 prikazuje doprinos svakog procesa po kategoriji utjecaja. Negativne vrijednosti na slici predstavljaju doprinose dobivene procesima recikliranja.

Tablica 70: Utjecaji na okoliš u fazi na kraju životnog vijeka po procesima [C1.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Odlaganje	Prijevoz	Recikliranje
ADP Fossil	MJ	1,15E+07	2,04E+07	3,82E+05	-9,34E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	7,37E+03	9,43E+03	6,19E+01	-2,12E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	1,24E+03	1,28E+03	1,47E+01	-5,84E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,15E+05	1,58E+06	2,77E+04	-8,93E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,83E-02	1,55E-05	9,28E-09	2,83E-02
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,14E+02	9,06E+02	-1,95E+01	-4,73E+02



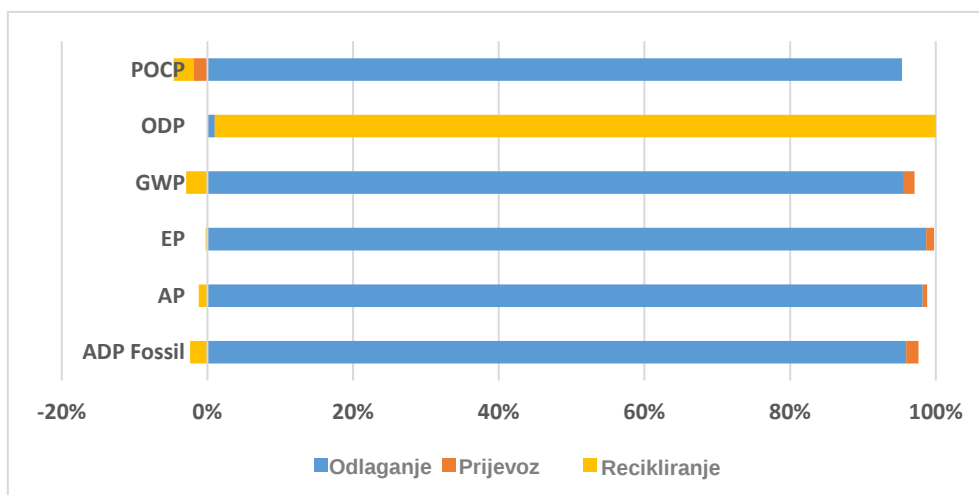
Slika 89: Analiza doprinosa procesa za vrijeme faze na kraju životnog vijeka [C1.1]

- Analiza okoliša varijante C1.2

Ukupne emisije po kategoriji utjecaja ove faze za varijantu studije slučaja C1.2 detaljno su dane u tablici 71 i slici 90.

Tablica 71: Utjecaji na okoliš u fazi na kraju životnog vijeka po procesima [C1.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Odlaganje	Prijevoz	Recikliranje
ADP Fossil	MJ	4,27E+07	4,30E+07	7,59E+05	-1,06E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	1,97E+04	1,98E+04	1,23E+02	-2,41E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	2,72E+03	2,70E+03	2,92E+01	-6,65E+00
GWP	Kg CO ₂ eq.	3,28E+06	3,33E+06	5,51E+04	-1,02E+05
ODP	Kg R11 eq.	3,26E-03	3,26E-05	1,84E-08	3,22E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,81E+03	1,91E+03	-3,88E+01	-5,38E+01

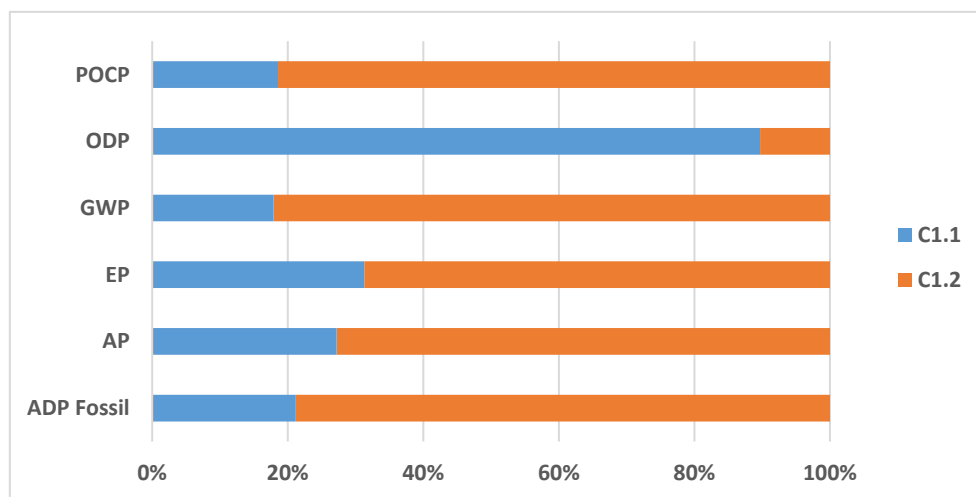


Slika 90: Analiza doprinosa procesa za vrijeme faze na kraju životnog vijeka [C1.2]

U oba slučaja, odlaganje betona i bitumenskih materijala uzrokovalo je najveći teret na okoliš dok je prijevoz ovih materijala uzrokovao relativno najmanji utjecaj. Recikliranje, s druge strane, pogoduje okolišu u svim kategorijama utjecaja, osim potencijala iscrpljivanja ozonskog omotača, gdje proces samog recikliranja dovodi do takvih emisija. Tablica 72 pokazuje varijaciju rezultata ove studije slučaja u usporedbi s referentnom studijom slučaja C1.1. Ovi rezultati su dalje ilustrirani slikom 91.

Tablica 72: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi na kraju životnog vijeka

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C1.1	Studija slučaja C1.2	Varijacija u odnosu na C1.1
ADP Fossil	MJ	1,15E+07	4,27E+07	+271,9%
AP	Kg SO ₂ eq.	7,37E+03	1,97E+04	+167,5%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,24E+03	2,72E+03	+119,7%
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,15E+05	3,28E+06	+358,3%
ODP	Kg R11 eq.	2,83E-02	3,26E-03	-88,5%
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,14E+02	1,81E+03	+338,4%



Slika 91: Usporedba slučaja C1.1 i C1.2 u fazi na kraju životnog vijeka

Prema ovim rezultatima može se zaključiti da je u ovoj fazi rješenje spregnutog mosta, slučaj C1.1, dovelo do znatno nižih vrijednosti na kraju životnog vijeka kao rezultat mogućeg recikliranja uz upotrebu čelika kao građevinskog materijala. Međutim, veći utjecaji zabilježeni su za slučaj C1.1 u ODP kategoriji kao rezultat samog procesa recikliranja koji uzrokuje takve emisije. Napominje se, međutim, da su ovi učinci uglavnom mali po veličini (red veličine od 10⁻² ili manje).

4.1.3.5 Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu

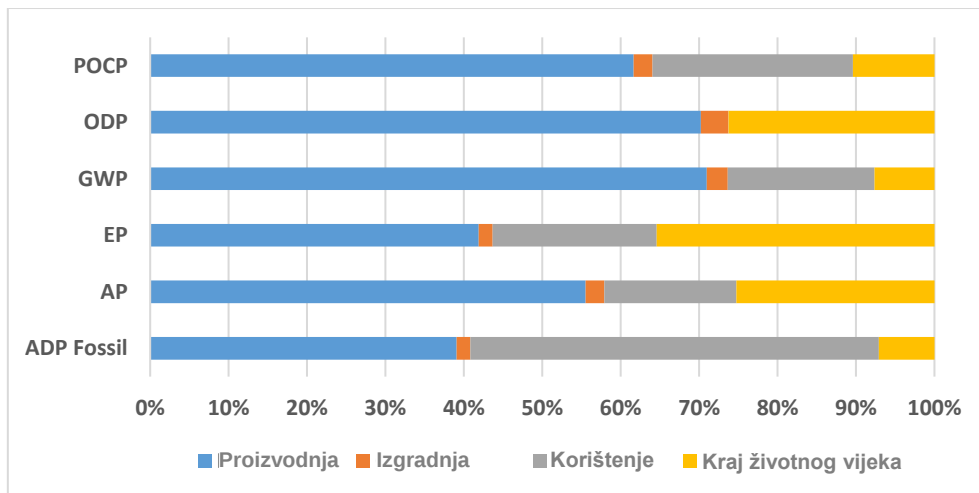
- Ukupni rezultati životnog ciklusa za studiju slučaja C1.1

U prethodnim su točkama prikazani djelomični rezultati po fazama. U ovoj točki, rezultati različitih faza su sažeti po svakoj kategoriji utjecaja, a ukupni rezultati prikazani su u tablici 73, s obzirom na dnevni rad i standardni scenarij održavanja.

Tablica 73: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C1.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	1,62E+08	6,33E+07	2,83E+06	8,43E+07	1,15E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	2,92E+04	1,62E+04	6,96E+02	4,91E+03	7,37E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	3,50E+03	1,47E+03	6,21E+01	7,32E+02	1,24E+03
GWP	Kg CO ₂ eq.	9,37E+06	6,65E+06	2,51E+05	1,75E+06	7,15E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,08E-01	7,57E-02	3,79E-03	6,00E-06	2,83E-02
POCP	Kg C ₂ H ₄	3,97E+03	2,45E+03	9,54E+01	1,02E+03	4,14E+02

Da bi se bolje razumjelo doprinos svake faze na ukupni rezultat, ti su rezultati ilustrirani i na slici 92.



Slika 92: Doprinis svake faze po kategoriji utjecaja (scenarij – dnevni rad), slučaj C1.1

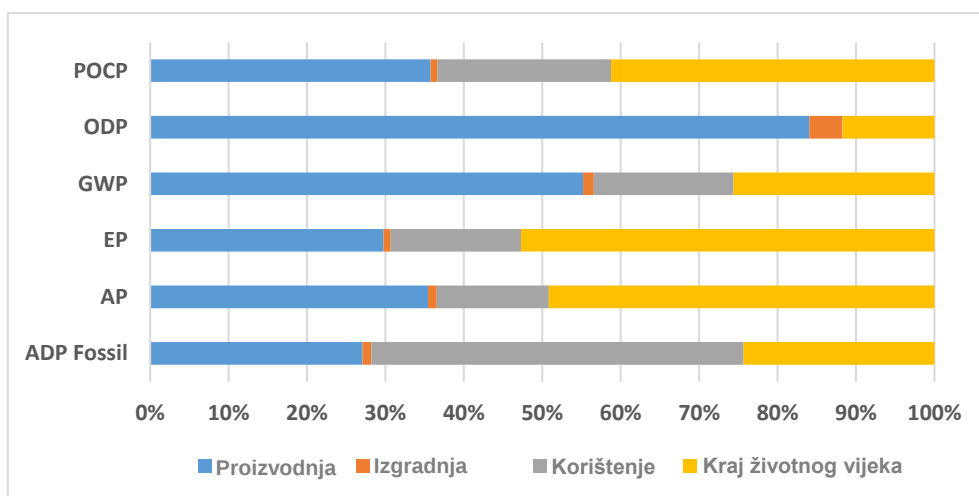
Faza proizvodnje materijala je faza koja pridonosi većini (prosjeak od 56,5%). Faza korištenja ima drugi najveći doprinos s prosječnim utjecajem od 24,5% nakon čega slijedi faza na kraju životnog vijeka s udjelom od 18,6% u ukupnim utjecajima. Faza izgradnje ima najmanje utjecaja (2,4% prosjek).

- *Ukupni rezultati životnog ciklusa za studiju slučaja C1.2*

Rezultati dobiveni za varijante studije slučaja C1.2 detaljno su prikazani u tablici 74 i slici 93 s obzirom na scenarij dnevnog rada.

Tablica 74: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C1.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	1,76E+08	4,76E+07	1,95E+06	8,34E+07	4,27E+07
AP	Kg SO ₂ eq.	4,01E+04	1,42E+04	4,54E+02	5,73E+03	1,97E+04
EP	Kg PO ₄ eq.	5,16E+03	1,54E+03	4,74E+01	8,57E+02	2,72E+03
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,28E+07	7,06E+06	1,73E+05	2,28E+06	3,28E+06
ODP	Kg R11 eq.	2,78E-02	2,34E-02	1,17E-03	9,97E-06	3,26E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,40E+03	1,57E+03	3,95E+01	9,73E+02	1,81E+03



Slika 93: Doprinis svake faze po kategoriji utjecaja [C1.2]

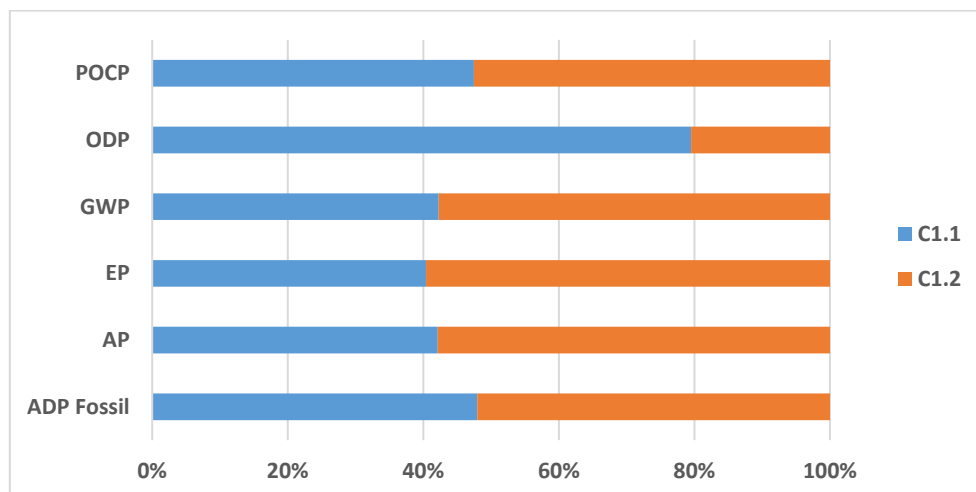
Kao što je prikazano na slici 93, faza proizvodnje materijala ima najveći doprinos učincima (44,5% prosječno), nakon čega slijede faza na kraju životnog vijeka, faza korištenja i faza izgradnje s prosječnim relativnim doprinosima od 34%, 19,9%, odnosno 1,6%.

Tablica 75 pokazuje varijaciju rezultata ove studije slučaja u odnosu na referentnu studiju slučaja C1.1.

Tablica 75: Ukupni utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C1.1	Studija slučaja C1.2	Varijacija u odnosu na C1.1
ADP Fossil	MJ	1,62E+08	1,76E+08	+8,5%
AP	Kg SO ₂ eq.	2,92E+04	4,01E+04	+37,4%
EP	Kg PO ₄ eq.	3,50E+03	5,16E+03	+47,5%
GWP	Kg CO ₂ eq.	9,37E+06	1,28E+07	+36,5%
ODP	Kg R11 eq.	1,08E-01	2,78E-02	-74,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	3,97E+03	4,40E+03	+10,6%

Da bismo bolje razumjeli doprinos svake studije slučaja na ukupni rezultat, rezultati se također prikazuju na slici 94.



Slika 94: Relativni doprinos svake studije slučaja po kategoriji utjecaja (scenarij – dnevni rad)

Kao što se može vidjeti iz gore navedenih ilustracija, referentni primjer C1.1 ima relativno povoljne karakteristike u svim kategorijama utjecaja osim za potencijal iscrpljivanja ozona (ODP).

4.1.3.6 Alternativni scenariji održavanja

- *Analiza referentne studije slučaja C1.1*

U ovoj točki razmatraju se dva dodatna alternativna plana održavanja. Prvi alternativni scenarij održavanja odnosi se na situaciju "nedostatak novca", u kojem se učestalost održavanja mijenja kako bi se nosila s ograničenjima proračuna. Drugi alternativni scenarij održavanja odnosi se na situaciju "produženog životnog vijeka", u kojem se životni vijek mosta produžuje na 130 godina.

Oba alternativna scenarija utječu samo na fazu korištenja. Dakle, rezultati prikazani u ovoj točki odnose se samo na fazu korištenja. Rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom

na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 76 za standardni i oba alternativna scenarija održavanja.

Tablica 76: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM}, \text{STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL}, \text{STA})$
ADP Fossil	MJ	8,43E+07	4,97E+07	-41,0%	1,38E+08	+63,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,91E+03	2,70E+03	-45,1%	8,36E+03	+70,1%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,32E+02	4,06E+02	-44,4%	1,25E+03	+71,5%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,75E+06	8,71E+05	-50,3%	3,00E+06	+71,3%
ODP	Kg R11 eq.	6,00E-06	2,55E-06	-57,5%	1,14E-05	+89,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,02E+03	5,79E+02	-43,0%	1,60E+03	+57,7%

Kako se dva alternativna scenarija održavanja odnose na dva različita vremenska razdoblja, rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 77 po godini. Za scenarij "nedostatak novca" i scenarij "produženog životnog vijeka" razmatrani su vremenski periodi od 100 godina i 130 godina .

Tablica 77: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM}, \text{STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL}, \text{STA})$
ADP Fossil	MJ	8,43E+05	4,97E+05	-41,0%	1,06E+06	+25,9%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,91E+01	2,70E+01	-45,1%	6,43E+01	+30,8%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,32E+00	4,06E+00	-44,4%	9,65E+00	+31,9%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,75E+04	8,71E+03	-50,3%	2,31E+04	+31,8%
ODP	Kg R11 eq.	6,00E-08	2,55E-08	-57,5%	8,74E-08	+45,5%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,02E+01	5,79E+00	-43,0%	1,23E+01	+21,3%

Iz rezultata je vidljivo da je scenarij "nedostatka novca" smanjio učinke u svim kategorijama u prosjeku za 46,9% (prosječno) godišnje u usporedbi sa standardnim scenarijem. S druge strane, nastojanja da produžimo životni vijek mosta sa scenarijem "produženi životni vijek" dovela su do povećanja utjecaja na okoliš u svim kategorijama okoliša za 31,2% (prosječno).

- *Analiza referentne studije slučaja C1.2*

Rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u tablici 78 za standardne i oba alternativna scenarija održavanja.

Tablica 78: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM}, \text{STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL}, \text{STA})$
ADP Fossil	MJ	8,34E+07	4,92E+07	-41,0%	1,38E+08	+65,5%
AP	Kg SO ₂ eq.	5,73E+03	2,96E+03	-48,3%	1,01E+04	+75,8%
EP	Kg PO ₄ eq.	8,57E+02	4,50E+02	-47,5%	1,51E+03	+76,6%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,28E+06	1,03E+06	-54,8%	4,11E+06	+80,2%
ODP	Kg R11 eq.	9,97E-06	3,89E-06	-61,0%	1,93E-05	+93,6%
POCP	Kg C ₂ H ₄	9,73E+02	5,51E+02	-43,4%	1,56E+03	+60,4%

Kako se dva alternativna scenarija održavanja odnose na dva različita vremenska razdoblja, rezultati analize okoliša za fazu korištenja, s obzirom na scenarij "dnevni rad", prikazani su u

tablici 79 po godini. Za scenarij "nedostatak novca" i scenarij "produženog životnog vijeka" razmatrani su vremenski periodi od 100 godina i 130 godina .

Tablica 79: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Standardni scenarij (STA)	Scenarij nedostatak novca (LOM)	$\Delta(\text{LOM, STA})$	Scenarij produženi životni vijek (PRL)	$\Delta(\text{PRL, STA})$
ADP Fossil	MJ	8,34E+05	4,92E+05	-41,0%	1,06E+06	+27,3%
AP	Kg SO ₂ eq.	5,73E+01	2,96E+01	-48,3%	7,75E+01	+35,2%
EP	Kg PO ₄ eq.	8,57E+00	4,50E+00	-47,5%	1,16E+01	+35,9%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,28E+04	1,03E+04	-54,8%	3,16E+04	+38,6%
ODP	Kg R11 eq.	9,97E-08	3,89E-08	-61,0%	1,49E-07	+48,9%
POCP	Kg C ₂ H ₄	9,73E+00	5,51E+00	-43,4%	1,20E+01	+23,4%

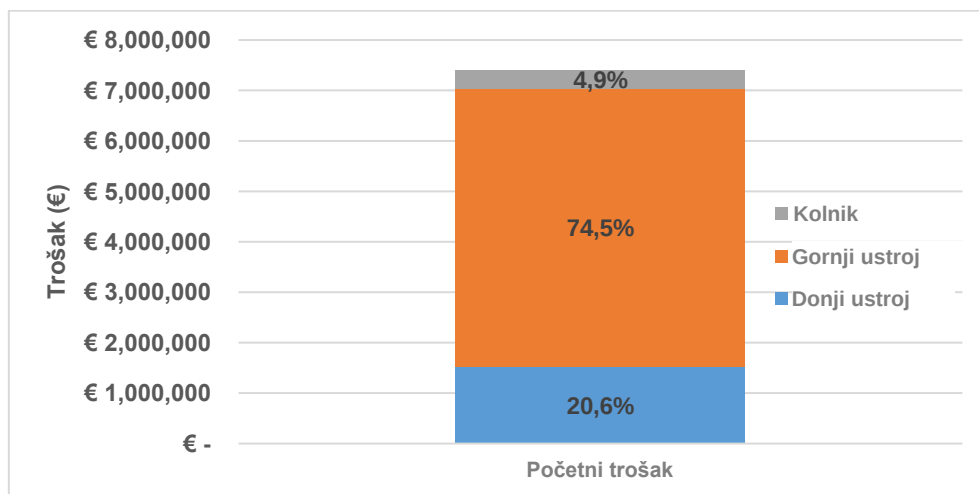
U slučaju C1.2 scenarij "nedostatak novca" doveo je do smanjenja utjecaja na sve kategorije utjecaja od 49,3% (prosječno) u usporedbi sa standardnim scenarijem. Iako je napor za produžavanje životnog vijeka mosta sa scenarijom "produženog životnog vijeka" doveo do prosječnog povećanja udjela u svim kategorijama okoliša za 34,9%.

4.1.4 Analiza troškova životnog ciklusa

4.1.4.1 Početni troškovi izgradnje

- *Analiza referentne studije slučaja C1.1*

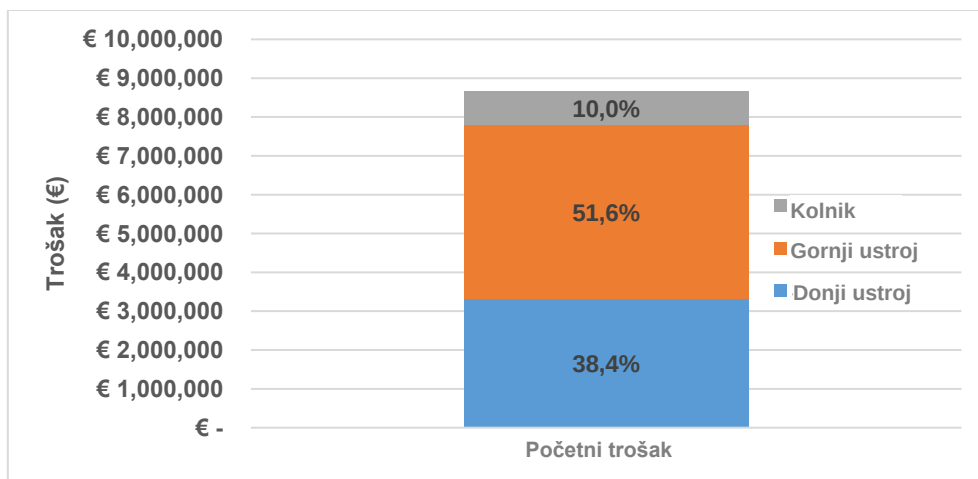
Početni trošak mosta, uključujući troškove prijevoza materijala, iznosi 7.421.217,1 € što je oko 665,60 €/m². Slika 95 prikazuje udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika koji su izračunati na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 62.



Slika 95: Početni trošak slučaja C1.1

- *Analiza varijante C1.2*

Početni trošak, uključujući troškove prijevoza materijala, izračunat za varijantu studije slučaja C1.2 iznosi 8.684.092,5 € što odgovara 759,56 €/m². Slika 96 prikazuje udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika koji se izračunavaju na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 63.



Slika 96: Početni trošak slučaja C1.2

Početni troškovi, prikazani iznad, izračunavaju se na temelju stvarnih jediničnih troškova mostova. Međutim, za svrhe usporedbe, ova dva rješenja trebaju se procijeniti na osnovi istih jediničnih troškova - osiguravajući zajednički temelj za usporedbu. Iz tog razloga, pretpostavlja se da su dva mosta izgrađena na istom mjestu, u isto vrijeme i po istim jediničnim troškovima gdje je to potrebno. U svrhu usporedbe, jedinični troškovi navedeni u tablici 80 jednako su korišteni u oba slučaja, umjesto stvarnih jediničnih troškova svakog mosta.

Tablica 80: Uobičajeni jedinični troškovi korišteni u svrhu usporedbe

Opis	Jedinica	Uobičajena jedinična cijena
Donji ustroj		
Iskopi	[€/m ³]	19,97
Zatrpavanje	[€/m ³]	7,39
Oplate – za upornjake i stupove	[€/m ²]	37,31
Armatura – osim betonske ploče	[€/kg]	1,05
Beton - C30/37	[€/m ³]	121,49
Gornji ustroj		
Armatura – Betonska ploča	[€/kg]	1,05
Beton - lakoagregatni	[€/m ³]	112,60
Betonski ili čelični vijenac	[€/m]	163,00
Lamele (letve ograde čelik/ plastika i slično)	[€/kom]	21,66
Kolnik		
Poravnavanje površine s bitumenskim betonom i obrada bitumena	[€/m ²]	7,38
Zaštitni uređaj – zaštitna ograda	[€/m]	51,26
Zaštitna oprema – ograde	[€/m]	124,43

Upotreba gore navedenih jediničnih troškova dovodi do početnog troška od 7.713.831,8 € i 8.301.478,8 € za slučajeve C1.1 i C1.2. To predstavlja početni trošak po jedinici površine od 691,84 €/m² za slučaj C1.1 odnosno 726,10 €/m² za slučaj C1.2.

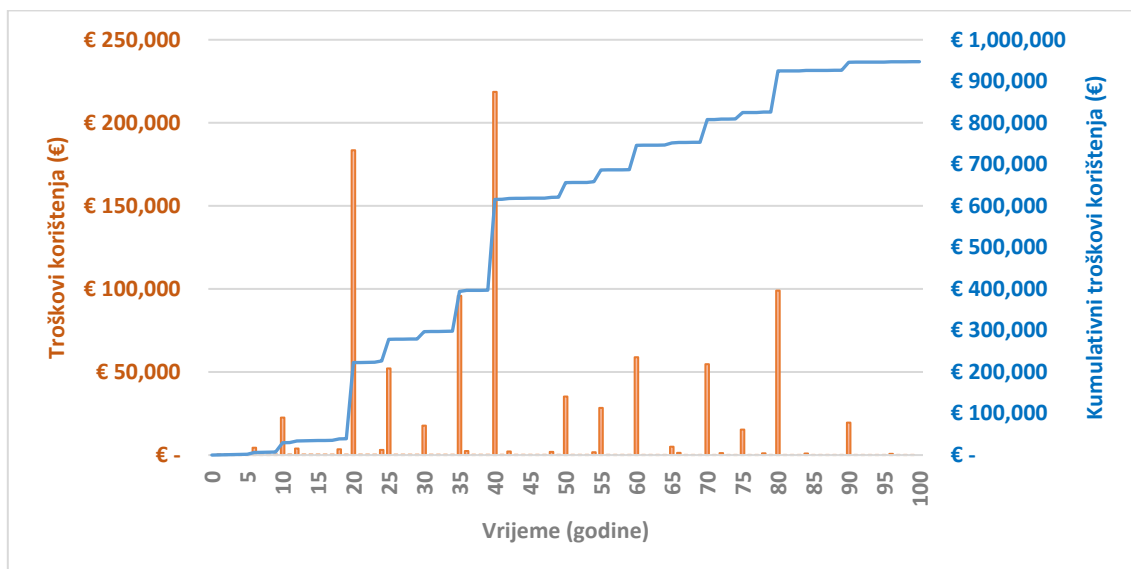
4.1.4.2 Troškovi korištenja

U periodu od 100 godina, pretpostavlja se da se mostovi u primjerima održavaju i obnavljaju prema planu navedenom u Prilogu - tablica A1, definicija standardnog scenarija pregleda.

- Analiza referentne studije slučaja C1.1

Troškovi povezani s radovima pregleda i održavanja na mostu C1.1 tijekom njegovog životnog vijeka izračunavaju se na temelju jediničnih troškova i učestalosti navedenih u tablicama A1 -

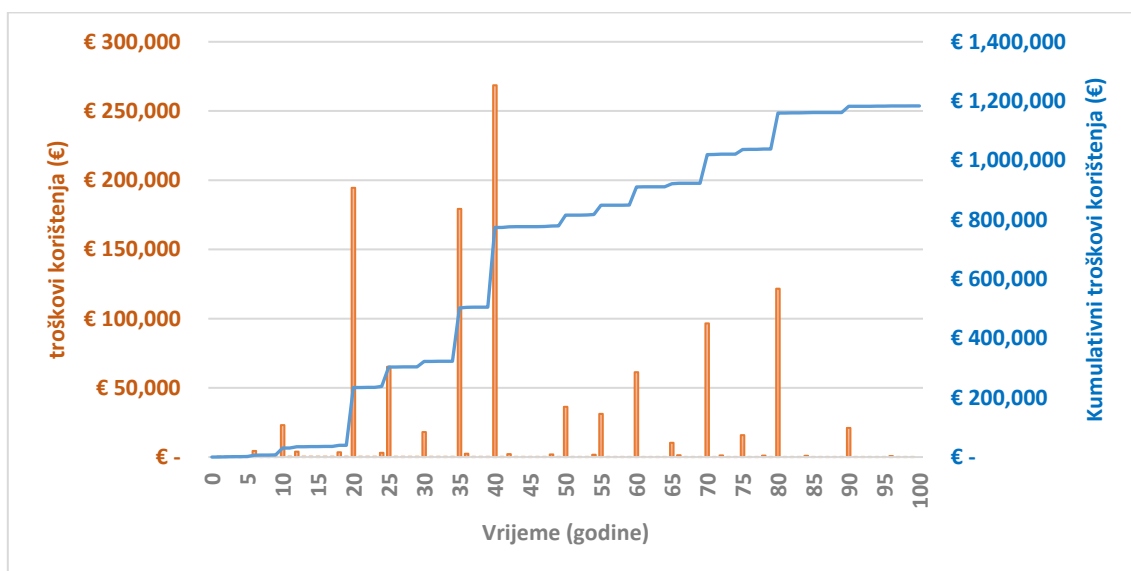
A6 iz priloga i za koje je utvrđeno da iznose 947.233,99 €. Ovi troškovi prikazani su na slici 97 zajedno s neto sadašnjim vrijednostima akumuliranih troškova s obzirom na diskontnu stopu od 2%.



Slika 97: Troškovi korištenja mosta C1.1 tijekom životnog vijeka

- *Analiza studije slučaja C1.2*

Trošak korištenja izračunat za studiju slučaja C1.2 iznosi 1.183.807,66 €. Godišnji i akumulirani troškovi korištenja prikazani su na slici 98.



Slika 98: Troškovi korištenja mosta C1.2 tijekom životnog vijeka

Iz prethodna dva indikatora može se vidjeti da su troškovi korištenja znatno veći u 20. i 40. godini. Ovi skokovi u troškovima korištenja povezani su sa zamjenom površine ceste (kolnika) koja pokriva relativno veliko područje (> 11000 m²). Trošak korištenja za spregnuto rješenje, slučaj C1.1, su 25% niži od onih koji se zahtijevaju za betonsko rješenje.

4.1.4.3 Troškovi na kraju životnog vijeka

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

Trošak za rušenje sličnog mosta je oko 100 €/m² [1]. Ovaj trošak uključuje troškove rada, troškove opreme i goriva, troškove pomoćnog materijala, troškove sortiranja materijala, troškove svih potrebne mjera kako bi se osigurala sigurnost zone radova i troškove čišćenja zone.

Otpad od gradnje i rušenja (engl. Construction and Demolition Waste - C & DW) šalje se na recikliranje ili odlaganje na odlagalište. 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 C&DW varira ovisno o vrsti materijala i stupnju kontaminacije C&DW.

U slučaju čelika, tj. armature i konstrukcijskog čelika, pretpostavlja se da upravitelj plaća izvođaču radova 100 €/t (ova cijena obično ovisi o cijeni čelika, prema informacijama iz američkog instituta za recikliranje cijena od \$ 120/toni čelika može se uzeti u obzir). Ova brojka ima negativan predznak jer je to prihod, a ne trošak za izvođača radova. Sažetak troškova na kraju životnog vijeka za mostove C1.1 i C1.2 prikazan je u tablicama 81 i 82. Betonsko rješenje, C1.2, rezultira 72,3% većim troškovima na kraju životnog vijeka od spregnutog mosta, C1.1.

Tablica 81: Trošak na kraju životnog vijeka za C1.1

Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	2821,655	-31550,05	50	584,22
Beton	15979,2	22056,56	50	3308,48
Zemljani radovi	10240	70672,88	10	424,04
Bitumen	2146,56	14814,80	20	177,78
Suma (€)				80488,72
Trošak rušenja (€)				153901,24
Ukupni trošak (€)				234389,95

Tablica 82: Trošak na kraju životnog vijeka za C1.2

Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	1891,679	-18277,98	50	391,67
Beton	36418,2	50269,12	50	7540,37
Zemljani radovi	27846	192183,30	10	1153,10
Bitumen	1827,456	12612,46	20	151,35
Suma (€)				246023,38
trošak rušenja (€)				157812,54
Ukupni trošak (€)				403835,92

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

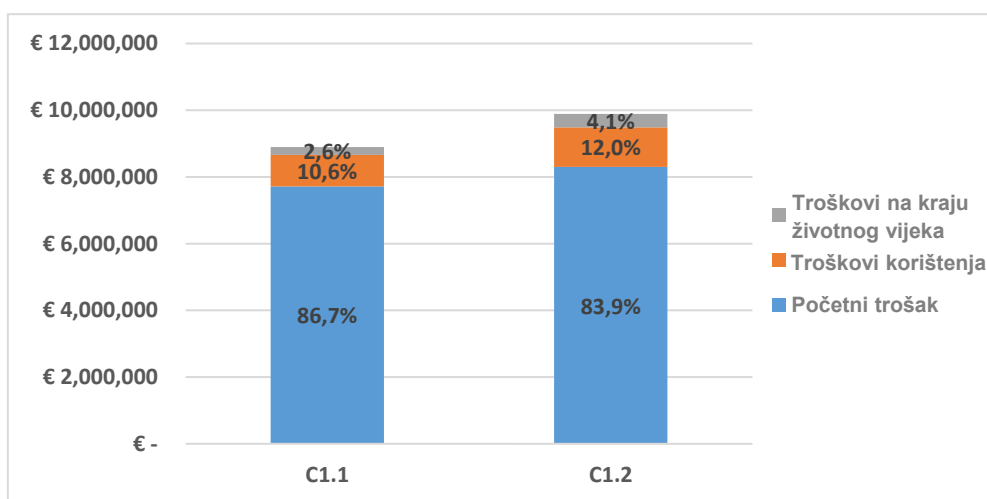
(**) Izračunate količine čelika uključuju i čelične šipke za armiranje i profile/ploče i spojeve od konstrukcijskog čelika. Napomena: Troškovi su dani u sadašnjoj vrijednosti izračunati prema jednadžbi 2 uz diskontnu stopu od 2%.

4.1.4.4 Ukupni troškovi životnog ciklusa

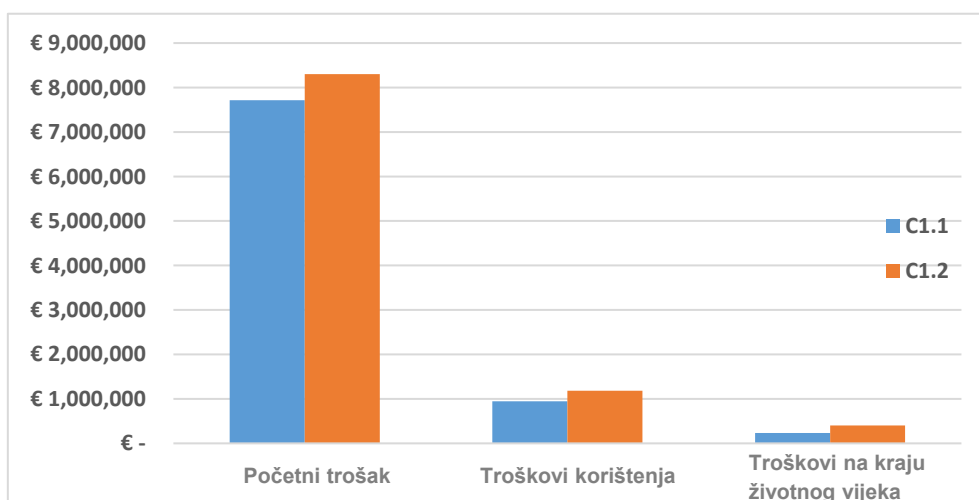
Ukupni troškovi izračunati u prethodnim točkama za studiju slučaja C1.1 doveli su do ukupne neto sadašnje cijene životnog ciklusa (LCC) od 8.895.455,74 € koristeći diskontnu stopu od 2,0%. To predstavlja ukupni trošak od oko 797,83 €/m². Za studiju slučaja C1.2, s druge strane, ukupni neto troškovi životnog ciklusa (LCC) od 9.889.122,39 € izračunati su sa diskontnom stopom od 2,0%. To predstavlja ukupni trošak od oko 864,96 €/m². Troškovi mosta za svaku fazu sažeti su u tablici 83 i prikazani su na slikama 99 i 100.

Tablica 83: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva C1.1 i C1.2

	Studija slučaja C1.1 (€)	Studija slučaja C1.2 (€)	Varijacija u odnosu na C1.1
Početni trošak	7713831,80	8301478,80	+7,6%
Trošak korištenja	947233,99	1183807,66	+25,0%
Trošak na kraju životnog vijeka	234389,95	403835,92	+72,3%
Ukupni trošak	8895455,74	9889122,39	+11,2%



Slika 99: Ukupni troškovi životnog ciklusa za C1.1 i C1.2



Slika 100: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva C1.1 i C1.2

Uobičajeno je da čelična i spregnuta rješenja mosta mogu biti skuplja u smislu početnog troška, tj. faze proizvodnje i izgradnje, ali mogu biti atraktivnija kada se razmatraju druge faze, korištenje i kraj životnog vijeka. Međutim, u ovoj usporedbi, očigledno je da je spregnuto

rješenje (studija slučaja C1.1) bolje od ekvivalentnog betonskog (C1.2) i ima 11,2% niži ukupni LCC. Razlike u troškovima donjeg ustroja mogu se objasniti znatno težim rasponskim sklopom slučaja C1.2, što je implicitno povezano s većim inercijalnim silama i, prema tome, većim seizmičkim naprezanjima u stupovima i temeljima.

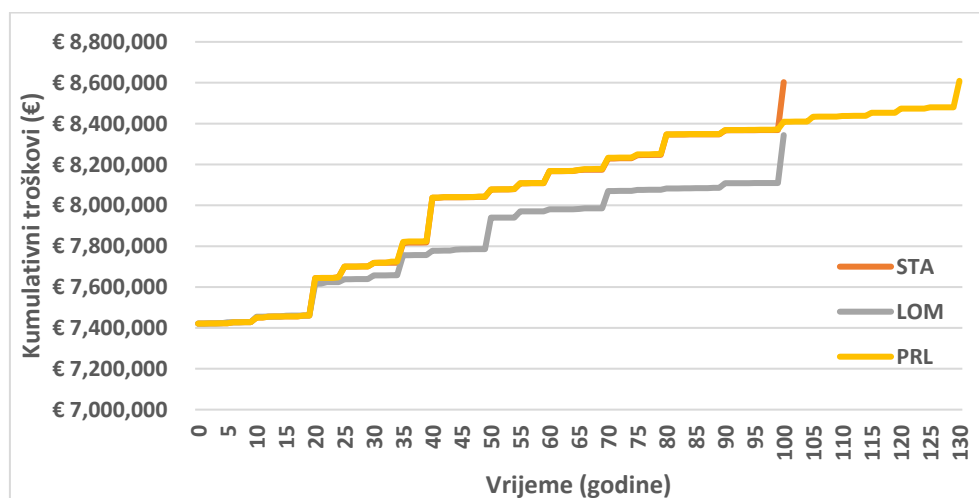
Može se primijetiti da su troškovi na kraju životnog vijeka znatno niži od troškova korištenja ili izgradnje zbog činjenice da se ti troškovi pojavljuju u 100. godini i smanjuju se s godišnjom diskontnom stopom od 2%. Svi gore navedeni izračuni napravljeni su pod pretpostavkom "standardnog" scenarija održavanja i dnevnih uvjeta rada.

4.1.4.5 Alternativni scenariji održavanja

Osim standardnog scenarija, proučavana su dva alternativna scenarija održavanja, odnosno scenarij "nedostatak novca" i scenarij "produženi životni vijek". Scenarij nedostatak novca odnosi se na situaciju u kojoj se učestalost održavanja smanjuje kako bi se nosilo s ograničenjima proračuna. S druge strane, scenarij produženog životnog vijeka podrazumijeva da je u 80. godini donesena odluka o zadržavanju mosta u službi dulje od projektiranog vijeka trajanja (130 godina umjesto 100). Strategija aktivnosti održavanja prilagođena je na kraju životnog vijeka kako bi se osigurala odgovarajuća razina performansi mostova do 130. godine.

- *Analiza referentne studije slučaja C1.1*

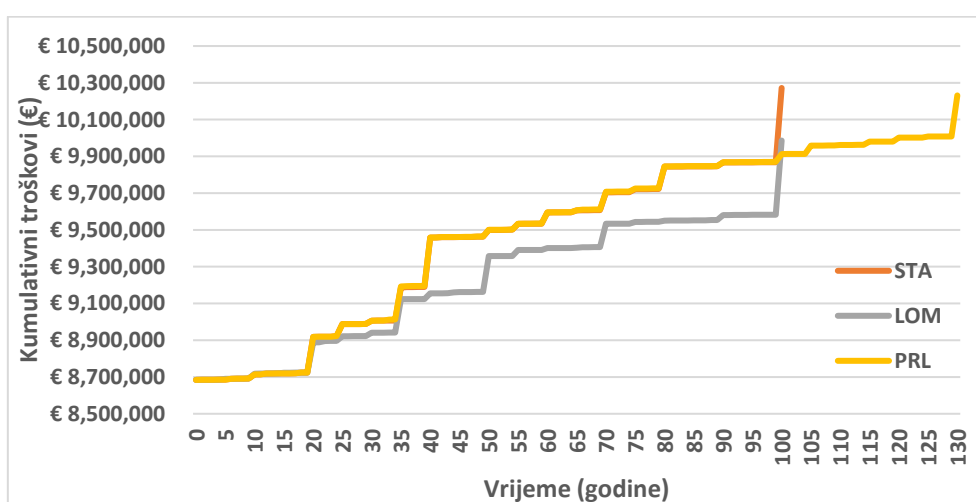
Slika 101 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja C1.1 s standardnim scenarijem održavanja [STA], scenarijem "nedostatak novca" [LOM] i scenarijem "produženi životni vijek" [PRL]. Napominje se da je stopa porasta troškova životnog ciklusa niža nakon 80. godine od one na početku vijeka trajanja jer se troškovi smanjuju s fiksnom godišnjom diskontnom stopom od 2%. Scenarij nedostatak novca rezultirao je smanjenjem troškova od 3%. Ukupni trošak u slučaju scenarija produženog životnog vijeka također je 1,3% manji od standardnog scenarija. Razlog smanjenja ukupnog troška životnog ciklusa za scenarij produženog životnog vijeka je visoko oporezivani/smanjivani trošak na kraju životnog vijeka u 130. godini. Neto sadašnja vrijednost na kraju životnog vijeka kod scenarija produženog životnog vijeka (u 130. godini) izračunava se kao 55% od standardnog scenarija (u 100. godini).



Slika 101: Troškovi životnog ciklusa za slučaj C1.1 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

- *Analiza studije slučaja C1.2*

Slika 102 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja C1.2 s standardnim scenarijem održavanja, scenarijem "nedostatak novca" i scenarijem "produženi životni vijek". Kod naknadno spregnutog armiranobetonskog rješenja mosta, za scenarij "nedostatak novca" zabilježena je 2,8% niža LCC vrijednost, iako je vijek trajanja mosta duži. Također se napominje da je scenarij "produženi životni vijek" rezultirao 1,7% nižim troškovima od standardnog scenarija. Razlog smanjenja ukupnih troškova je visoko oporezivani/smanjivani trošak na kraju životnog vijeka u 130. godini. Iste aktivnosti na kraju životnog vijeka koštaju isti iznos novca za sve scenarije. Međutim, troškovi se množe različitim čimbenicima pri pretvaranju u sadašnju vrijednost; a trošak na kraju životnog vijeka kod scenarija produženog životnog vijeka izračunat je kao 55% troškova iz standardnog scenarija u neto sadašnjoj vrijednosti.

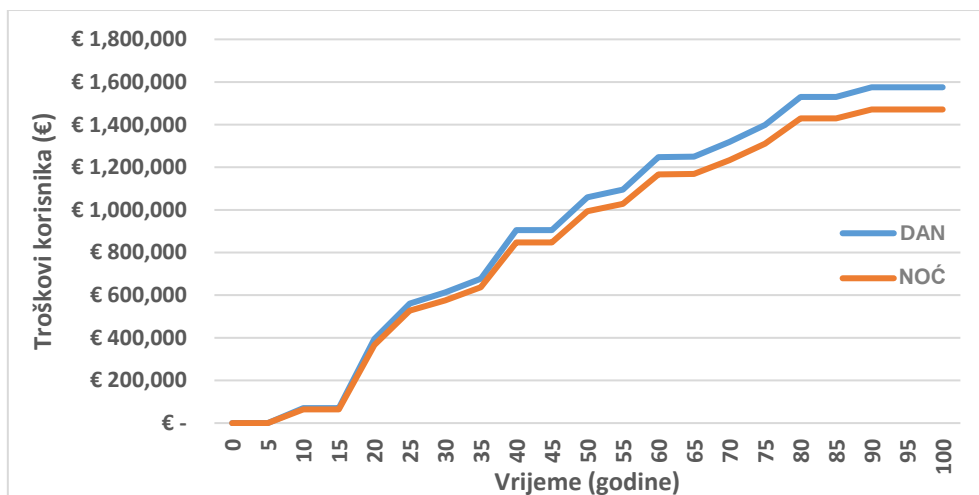


Slika 102: Troškovi životnog ciklusa za slučaj C1.2 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

4.1.5 Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa

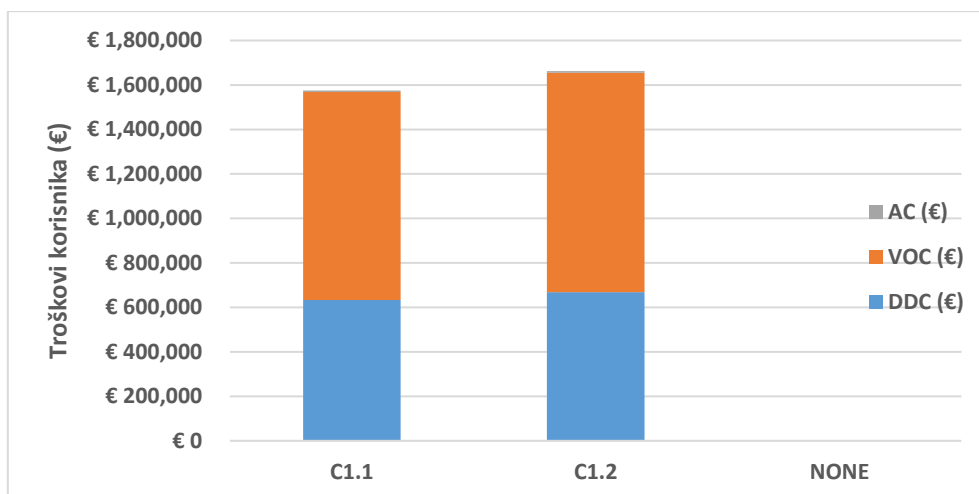
S obzirom na standardni scenarij održavanja, proučena su dva plana rada za izračun troškova korisnika: (i) scenarij dnevni rad gdje se većina radnji obavlja tijekom dana (od 6 do 22 sata), a most ima jednu traku zatvorenu za glavne aktivnosti održavanja (površina ceste); (ii) scenarij noćnog rada, slično scenariju "dan", osim što se većina radnji održavanja provodi tijekom noći (od 22 do 6 sati).

Slika 103 prikazuje troškove korisnika za studije slučaja C1.1 s radnim planovima "dan" i "noć" u standardnom scenariju održavanja. Napominje se da se neugodnost korisnika smanjuje ako se posao provodi tijekom noći jer je promet manji nego tijekom dana. Međutim, veličina razlike između dva scenarija nije velika jer most propušta relativno mali ADT, a ispod mosta nema prometa.



Slika 103: Troškovi korisnika za studiju slučaja C1.1 sa scenarijima "dan" i "noć"

Također, na slici 104, je vidljivo da su troškovi korisnika za studije slučaja C1.1 niži od onih za C1.2 za 6,4% jer održavanje betonskog mosta zahtijeva više vremena.



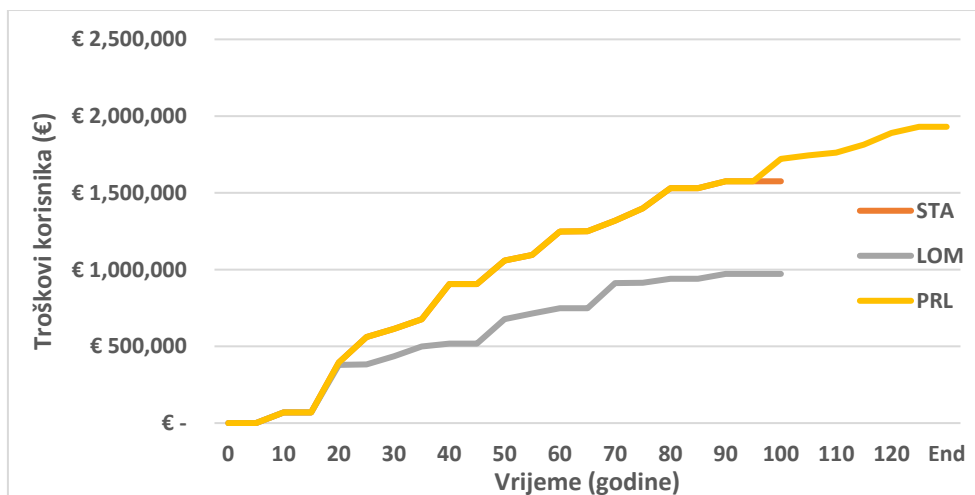
Slika 104: Usporedba troškova korisnika za slučajeve C1.1 i C1.2 sa standardnim scenarijem „dnevni rad“

4.1.5.1 Alternativni scenariji održavanja

Kao što je bio slučaj kod LCA i LCC analiza, za troškove korisnika, proučavani su alternativni scenariji održavanja: "nedostatak novca" i "produženi životni vijek" i uspoređeni su sa standardnim scenarijem održavanja.

- *Analiza referentne studije slučaja C1.1*

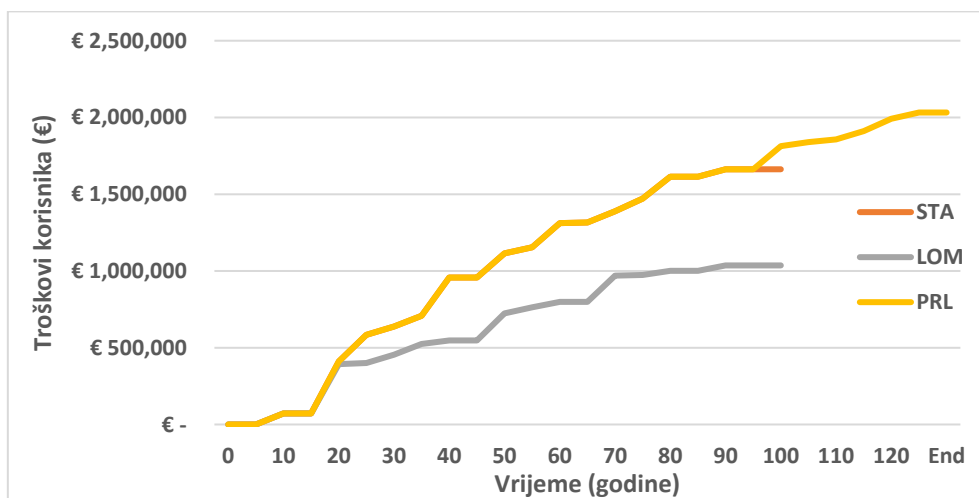
Slika 105 prikazuje troškove korisnika za studiju slučaja C1.1 sa standardnim scenarijem održavanja, scenarijem održavanja "nedostatak novca" i scenarij "produženi životni vijek".



Slika 105: Troškovi korisnika za slučaj C1.1 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

- *Analiza studije slučaja C1.2*

Slika 106 prikazuje ukupne troškove životnog ciklusa za studiju slučaja C1.2 sa standardnim scenarijem održavanja, scenarijem održavanja "nedostatak novca" i scenarij "produženi životni vijek".



Slika 106: Troškovi korisnika za slučaj C1.2 sa scenarijima održavanja "standardni", "nedostatak novca" i "produženi životni vijek"

U oba slučaja, C1.1 i C1.2, scenarij "nedostatak novca" rezultirao je nižim troškovima korisnika od standardnog scenarija, dok je scenarij "produženi životni vijek" rezultirao višim troškovima korisnika kako je vijeka trajanja mosta produžen. Utvrđeno je da su troškovi korisnika povezani sa slučajem C1.2 veći od onih za slučaj C1.1.

4.1.6 Diskusija rezultata za slučajeve C1

Iz analize životnog ciklusa okoliša može se uočiti da faze proizvodnje materijala i korištenja daleko nadilaze sve kategorije utjecaja u ovoj studiji slučaja. Proizvodnja građevinskih materijala tijekom životnog ciklusa i zagušenje prometa zbog radne aktivnosti glavni su uzroci opterećenja okoliša u analizi životnog ciklusa. U fazi korištenja utjecaji su uglavnom uzrokovani zagušenjem prometa. Vidljivo je da su cjelokupni rezultati većinom poboljšani obavljaju

aktivnosti održavanja noću. Noćna smjena osigurava smanjenje utjecaja zbog činjenice da je opseg prometa manji noću. Referentni primjer C1.1 ima relativno povoljne karakteristike u svim kategorijama utjecaja osim za potencijal iscrpljivanja ozona (OPD). Međutim, utjecaji izračunati za ODP su vrlo mali (reda veličine 10^{-3}).

Što se tiče troškova životnog ciklusa, iz studija slučaja jasno je vidljivo da spregnuti most pokazuje poželjne karakteristike. Iako su dva mosta imala različite jedinične troškove za iste stavke, dva su rješenja procijenjena na osnovi istih jediničnih troškova, gdje je to bilo potrebno - osiguravajući zajedničku osnovu u svrhu usporedbe. Početni trošak i troškovi korištenja za spregnuti most manji su od njegove betonske inačice. Spregnuti most pokazao se povoljniji u fazi na kraju životnog vijeka, kao i zbog velikih mogućnosti recikliranja čelika kao građevinskog materijala.

Još jednom, socijalni aspekti LCA dokazuju da je noćna smjena povoljna u smanjenju utjecaja na troškove korisnika. Troškovi korisnika za slučaj C1.1 niži su od onih za slučaj C1.2 za 5,5% zbog relativno manjeg vremena potrebnog za obavljanje aktivnosti održavanja u prvom. U oba slučaja C1.1 i C1.2, primjena scenarija održavanja "nedostatak novca" dovela je do nižih troškova korisnika, dok je scenarij "produženi životni vijek" doveo do povećanih troškova korisnika. Međutim, valja napomenuti da niži troškovi za scenarij "nedostatak novca" idu na štetu degradacije mosta što u konačnici može rezultirati odlukom o zamjeni mosta, što rezultira bitno višim troškovima.

4.2 Slučaj C2 – Cestovni mostovi s jednim rasponom

Slučaj C2 opisuje cestovni most preko jednog raspona s teoretskom dužinom koja iznosi 34,80 m i širinom rasponskog sklopa od 12,14 m. Rješenje spregnutog rasponskog sklopa sastoji se od dva zavarena I nosača S355-N, visine 1,85 m, postavljenim na razmaku od 7,00 m, postavljenim na poziciju laganim dizalicama. Ovaj most se nalazi u južnoj Albaniji.

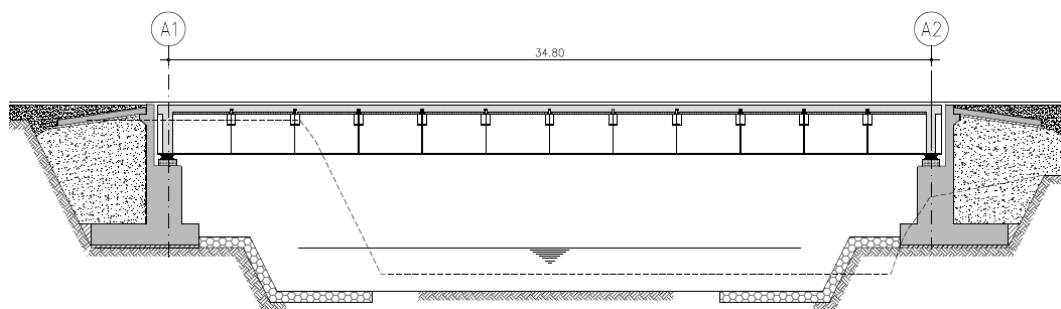
Za razliku od svih ostalih prethodnih studija slučaja, u ovom slučaju, da bi se spregnuti most mogao usporediti s ekvivalentnim betonskim rješenjem, projektiran je (nije izgrađen) varijantni fiktivni slučaj, koji se sastoji od 4 predgotovljene prednapeta I nosača (C30/37), visine 2,20 m, postavljenim na razmaku od 3,50 m, koji se ugrađuju na mjesto također pomoću dizalice.

Oba gornja ustroja su oslonjena i seizmički izolirana usidrenim (iako zamjenjivim) normalnim prigušujućim elastomernim ležajevima. Njihov donji ustroj je tipičan armirano betonski (C25/30) upornjak sa proširenim temeljem.

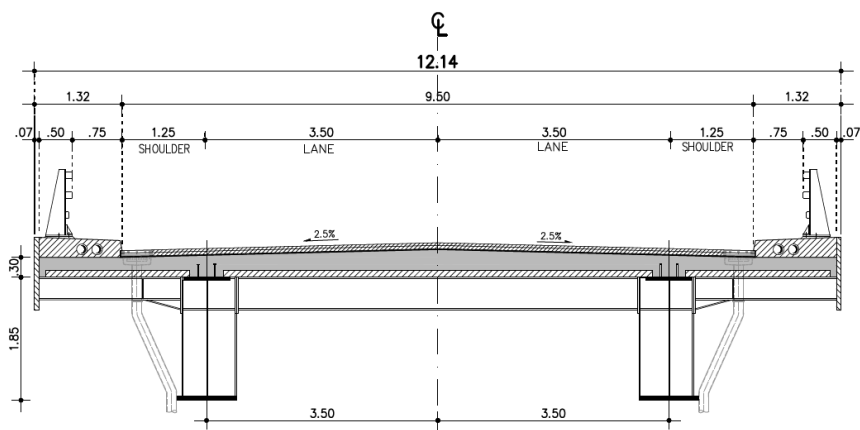
4.2.1 Opis studija slučajeva

4.2.1.1 Definicija sustava, geometrije i parametara mosta

Spregnuto rješenje rasponskog sklopa (slučaj C2.1, slika 107) sastoji se od dva zavarena „I“ nosača S355-N, visine 1,85 m, postavljenim na razmaku od 7,00 m, postavljenim na poziciju laganim dizalicama. Gornja pojasnica je široka 700 mm, a donja 900 mm. Betonska ploča (C30/37) sastoji se od 0,20 m debelog sloja lijevanog na licu mjesta na predgotovljenim pločama debljine 0,10 m. Poprečni nosači HEA 500 (između glavnih nosača) i HEA340 (konzole) postavljaju se svakih 2,90 m. Na svakom poprečnom presjeku nad osloncem izrađena je armiranobetonska poprečna greda, debljine 420 mm, slika 108.

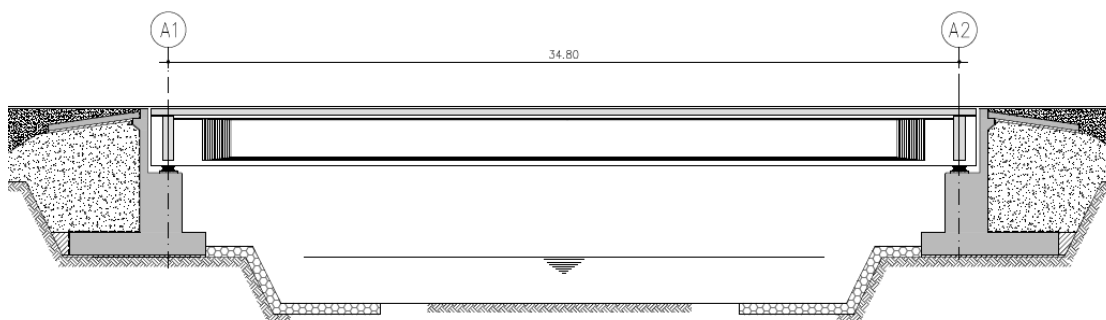


Slika 107: Slučaj C2.1 Uzdužni presjek

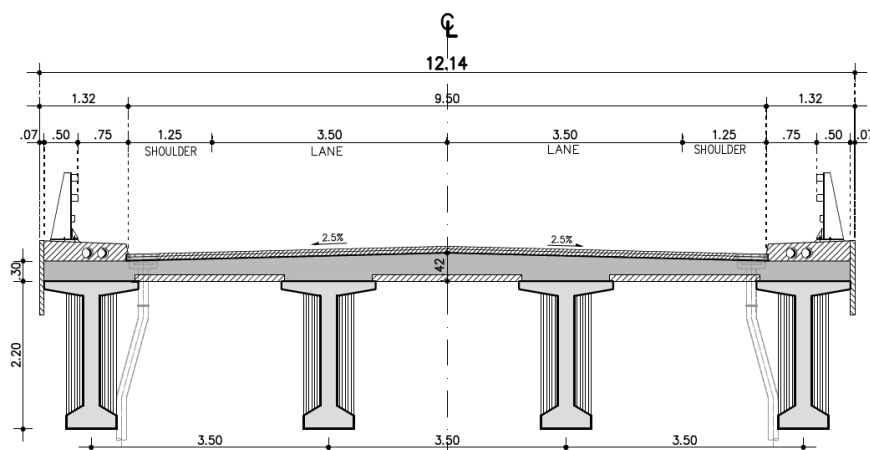


Slika 108: Slučaj C2.1 Tipični poprečni presjek

Ekvivalentni prednapeti betonski most (slučaj C2.2, slika 109) sastoji se od 4 predgotovljena „I“ nosača (C30/37), visine 2,20 m, postavljena na razmaku od 3,50 m, postavljenim na poziciju pomoću dizalice. Gornja pojasnica je široka 1400 mm, a donja 750 mm. Ploča rasponskog sklopa (C30/37) sastoji se od 0,20 m debelog sloja lijevanog na licu mjesta na predgotovljenim pločama debljine 0,10 m, isto kao u slučaju C2.1. Nisu predviđene poprečne grede unutar raspona dok je na svakom poprečnom presjeku nad osloncem, formirana armirano betonska poprečna greda, debljine 500 mm, slika 110.



Slika 109: Slučaj C2.2 Uzdužni presjek



Slika 110: Slučaj C2.2 Tipični poprečni presjek

Oba rasponska sklopa su oslonjena i seizmički izolirana usidrenim (iako zamjenjivim) normalnim prigušujućim elastomernim ležajevima (tip C prema EN1337). Ležajevi su postavljeni ispod svakog glavnog nosača. Za slučaj C2.1, 2x2 NDRB 350x450x166 mm ($t_{el} = 66$ mm), a za slučaj C2.2, 2x4 NDRB 300x400x145 mm ($t_{el} = 64$ mm).

Donji ustroj slučaja C2.1 je tipičan armano betonski upornjak (C25/30) s proširenim temeljem (tip tla A: Slojevi pješčenjaka i slitine). Upornjak je širok 12,14 m, a njegova ukupna visina iznosi 6,35 m. Temeljna ploča je debljine 1,00 m i dužine 4,90 m.

Zbog razloga usporedbe sa slučajem C2.1, za slučaj C2.2., projektiran je sličan upornjak, zadržavajući istu visinu i širinu. Debljina zida upornjaka je povećana kako bi se predgotovljene grede odgovarajuće oslonile. Također, duljina temeljne ploče je povećana na 6,0 m kako bi se reducirala naprezanja tla zbog povećanog stalnog opterećenja ove varijante.

Napominje se da je slučaj C2.2 fiktivni most (nije izgrađen), već samo projektiran radi usporedbe, neće pokazivati istu razinu iskoristivosti, što se lako može vidjeti u istim količinama betona u oba mosta. Stoga se ovaj primjer ne mora nužno uzimati u obzir kao "fer" usporedba, pri čemu su oba rješenja optimizirana na istu razinu.

4.2.1.2 Razmatranja u fazi projektiranja

Najznačajnije količine slučajeva C2.1 i C2.2 prikazane su u sljedećoj tablici (po rasponskom sklopu i za jedan smjer prometa):

Tablica 84: Količine u slučajevima C2.1 i C2.2 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize

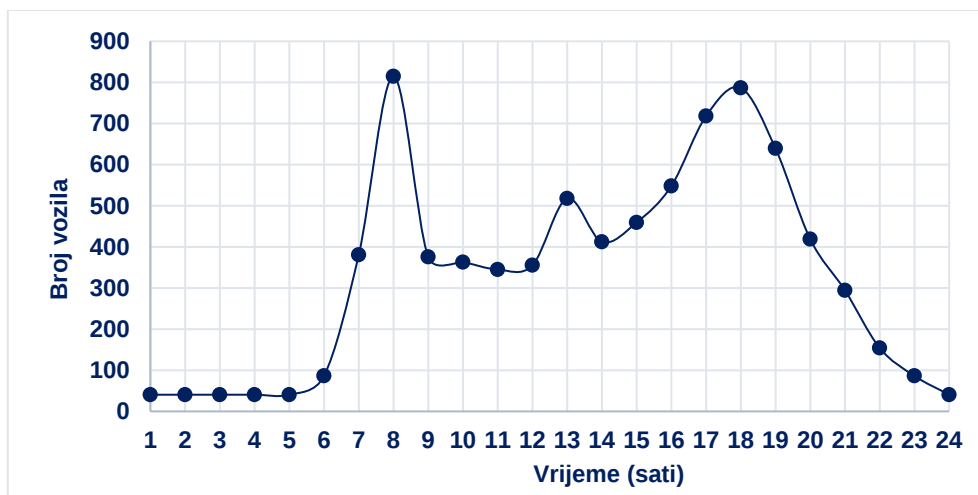
Opis	Jedinica	Slučaj C2.1 (spregnuti nosači)	Slučaj C2.2 (predgotovljene betonske grede)	Jedinica	Jedinična cijena* (Grčka 2015)
Donji ustroj					
Iskopi	[m ³]	2200	2400	[€/m ³]	1,50
Zatrpavanje	[m ³]	530	600	[€/m ³]	5,00
Beton za upornjake C25/30	[m ³]	300	350	[€/m ³]	95,00
Armatura za upornjake S500C	[kg]	22530	26180	[€/kg]	0,80
Gornji ustroj					
Konstruktivni čelik S355 N	[kg]	94000	-	[€/kg]	1,80
Zaštita od korozije	[m ²]	720	-	[€/m ²]	9,00
Predgotovljene betonske grede C30/37	[m ³]	-	148	[€/m ³]	160,00
Betonska ploča C30/37	[m ³]	210	212	[€/m ³]	110,00
Armatura S500C	[kg]	37350	41790	[€/kg]	0,80
Čelik za prednapinjanje 1570/1770	[kg]	-	8460	[€/kg]	3,10
Ležajevi	[kom]	4	8		
	[lt]	105	139	[€/lt]	45,00
Troškovi postavljanja kрана na gradilištu	[GV]	20000	70000	[€]	1
Kolnik					
Slojevi asfalta kolnika (2x5cm)	[m ²]	2x340	2x345	[€/m ²]	6,00
Vodonepropusni dio kolnika	[m ²]	418	422	[€/m ²]	11,40
Vodolovna grla	[kg]	1256	1256	[€/kg]	4,90
Žljebovi PVC Ø200	[m]	45,80	49,00	[€/m]	8,60
Prijelazna naprava T80	[m]	24,30	24,30	[€/m]	800,00
Sigurnosne barijere	[kg]	4650	4720	[€/kg]	1,90

(*) Navedeni jedinični troškovi odnose se na izravne troškove izgradnje. Kako bi se uzeli u obzir opći troškovi i dobit Izvođača, troškovi su povećani za 30%.

4.2.2 Analiza prometa

Za studije slučajeva C2, pretpostavlja se da autocesta odgovara prosječnom dnevnom prometu (ADT) od 8000 vozila/dan u osnovnoj godini studije. Također, smatra se da je postotak udjela lakih vozila i teških vozila 88% u odnosno 12% od ADT-a. Raspodjela prometa po satu prikazana na slici 111. pretpostavljena je za autocestu.

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



Slika 111: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeve C2.1 i C2.2

4.2.3 Analiza okoliša u životnom ciklusu

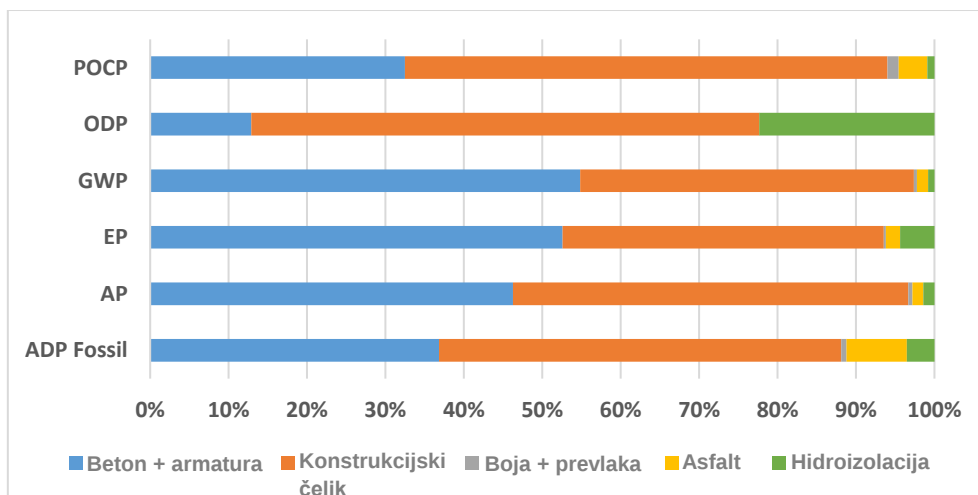
4.2.3.1 Faza proizvodnje materijala

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C2.1*

Dobiveni rezultati za fazu izgradnje detaljno su prikazani u tablici 85. Potrebno je imati na umu da su količine prikazane u tablici 84 upotrijebljene za izračunavanje i rezultati su udvostručeni kako bi predstavljali postojanje istog mosta u suprotnom smjeru prometa. Iz rezultata se može zaključiti da su proizvodnja konstrukcijskog čelika i armiranog betona glavni procesi koji doprinose globalnim utjecajima u fazi proizvodnje materijala. Isti rezultati su prikazani na slici 112.

Tablica 85: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [C2.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	konstrukcijski čelik	Prevlaka + Boja	Asfalt	Vodo-nepropusni sloj
ADP Fossil	MJ	7,23E+06	2,66E+06	3,71E+06	4,80E+04	5,57E+05	2,55E+05
AP	Kg SO ₂ eq.	1,88E+03	8,69E+02	9,47E+02	1,00E+01	2,59E+01	2,66E+01
EP	Kg PO ₄ eq.	1,80E+02	9,46E+01	7,37E+01	4,87E-01	3,26E+00	7,86E+00
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,72E+05	4,23E+05	3,28E+05	2,98E+03	1,11E+04	6,15E+03
ODP	Kg R11 eq.	1,15E-02	1,48E-03	7,42E-03	5,56E-09	9,34E-09	2,56E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,70E+02	8,78E+01	1,66E+02	3,90E+00	9,84E+00	2,48E+00



Napomena: Rezultati za bojenje i prevlačenje uključuju utjecaje na okoliš koji proizlaze od bojenja nekonstrukcijskih elemenata kao što je zaštitna oprema mosta.

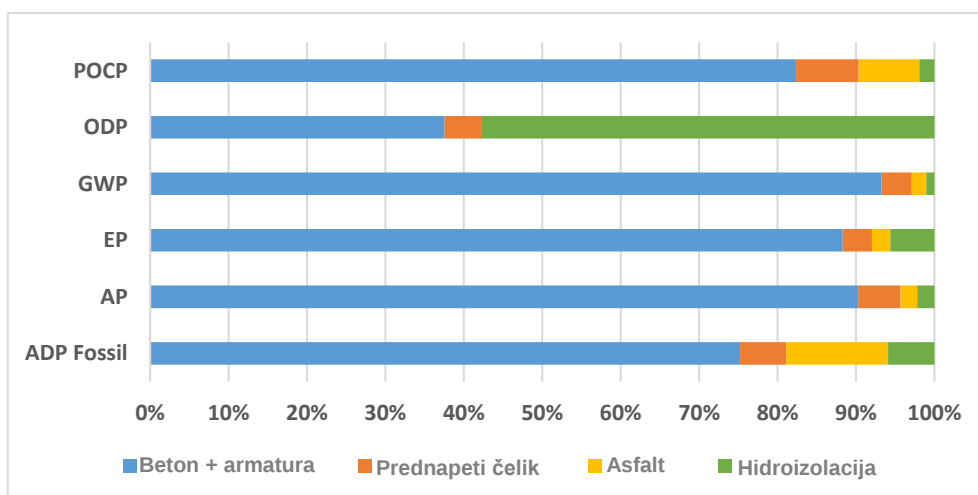
Slika 112: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [C2.1]

- Analiza okoliša varijante C2.2

Rezultati dobiveni za varijantu studije slučaja C2.2 prikazani su u tablici 86 i isto je grafički prikazano na slici 113.

Tablica 86: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [C2.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Armirani beton	Čelik za prednapinjanje	Asfalt	Vodonepropusni sloj
ADP Fossil	MJ	4,35E+06	3,27E+06	2,56E+05	5,65E+05	2,57E+05
AP	Kg SO ₂ eq.	1,23E+03	1,11E+03	6,65E+01	2,63E+01	2,69E+01
EP	Kg PO ₄ eq.	1,41E+02	1,25E+02	5,27E+00	3,31E+00	7,94E+00
GWP	Kg CO ₂ eq.	6,06E+05	5,65E+05	2,35E+04	1,13E+04	6,21E+03
ODP	Kg R11 eq.	4,47E-03	1,68E-03	2,09E-04	9,47E-09	2,59E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,29E+02	1,07E+02	1,03E+01	9,99E+00	2,50E+00



Slika 113: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [C2.2]

Tablica 87 pokazuje varijaciju rezultata za slučaj C2.2 u odnosu na referentnu studiju slučaja C2.1.

Tablica 87: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj C2.1

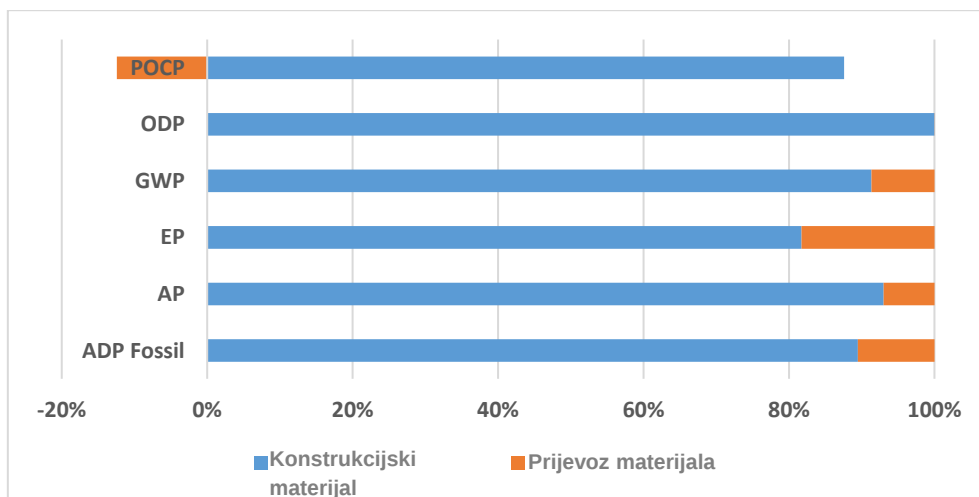
Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1	Studija slučaja C2.2	Varijacija u odnosu na C2.1
ADP Fossil	MJ	7,23E+06	4,35E+06	-39,9%
AP	Kg SO ₂ eq.	1,88E+03	1,23E+03	-34,5%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,80E+02	1,41E+02	-21,6%
GWP	Kg CO ₂ eq.	7,72E+05	6,06E+05	-21,5%
ODP	Kg R11 eq.	1,15E-02	4,47E-03	-61,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	2,70E+02	1,29E+02	-52,2%

Prema ovim rezultatima, studija slučaja C2.2 ima veliku prednost u odnosu na slučaj C2.1 u svim kategorijama utjecaja u fazi proizvodnje materijala.

4.2.3.2 Faza izgradnje

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C2.1*

Rezultati analize okoliša za fazu izgradnje za referentnu studiju slučaja C2.1 prikazani su na slici 114. Operacije povezane s proizvodnjom konstrukcijskih materijala na licu mjesta predstavljaju glavni doprinos utjecajima na okoliš.

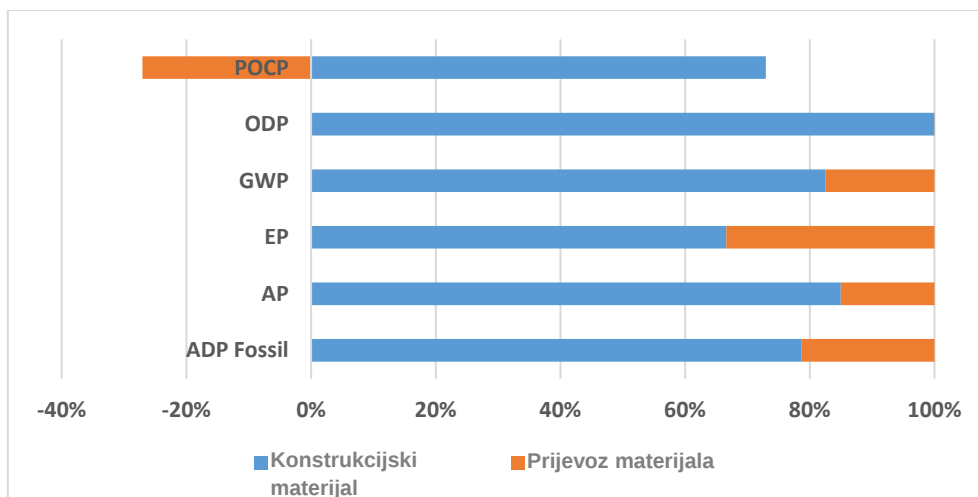


Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

Slika 114: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje [C2.1]

- *Analiza okoliša varijante C2.2*

Analiza okoliša slučaja C2.2 za fazu izgradnje rezultirala je vrijednostima prikazanim na slici 115.



Napomena: Razlog za negativnu vrijednost POCP su emisije dušikovog oksida (NO) iz kamiona, koje imaju negativan utjecaj na kategoriju okoliša POCP [21]. Pogledajte točku 1.2.2.

Slika 115: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje [C2.2]

Dobiveni rezultati za varijantu studije slučaja C2.2 sažeti su i uspoređeni s referentnom studijom slučaja C2.1 u tablici 87.

Tablica 88: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi izgradnje

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1	Studija slučaja C2.2	Varijacija u odnosu na C2.1
ADP Fossil	MJ	3,19E+05	1,63E+05	-48,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	7,77E+01	3,76E+01	-51,6%
EP	Kg PO ₄ eq.	7,05E+00	4,02E+00	-43,0%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,81E+04	1,44E+04	-48,6%
ODP	Kg R11 eq.	4,45E-04	9,43E-05	-78,8%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,04E+01	3,01E+00	-70,9%

Prema tim rezultatima, studija slučaja C2.2 ima veliku prednost (> 40% smanjenja) u usporedbi s C2.1 u svim kategorijama utjecaja u fazi izgradnje.

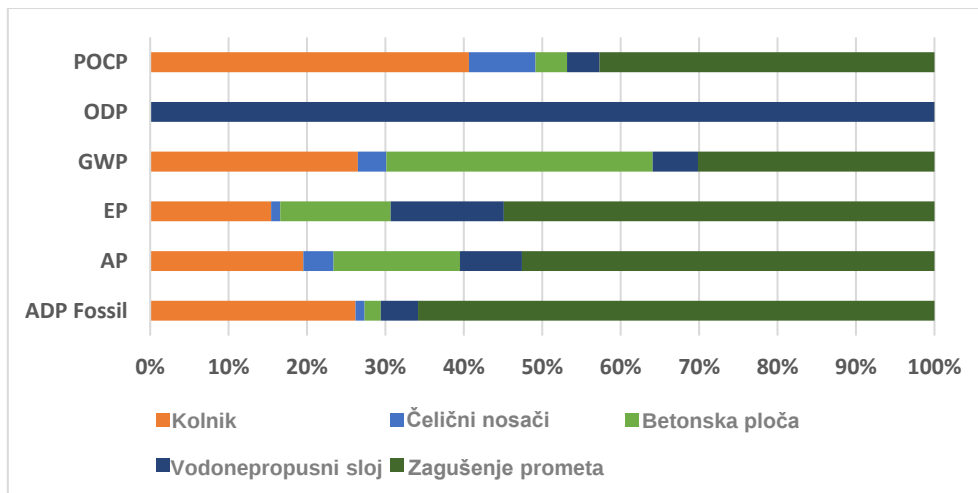
4.2.3.3 Faza korištenja

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C2.1*

Rezultati dobiveni za scenarij dnevnog rada u fazi korištenja referentne studije slučaja C2.1 prikazani su u tablici 88 i slici 116.

Tablica 89: Analiza okoliša slučaja C2.1 u fazi korištenja (dnevni rad)

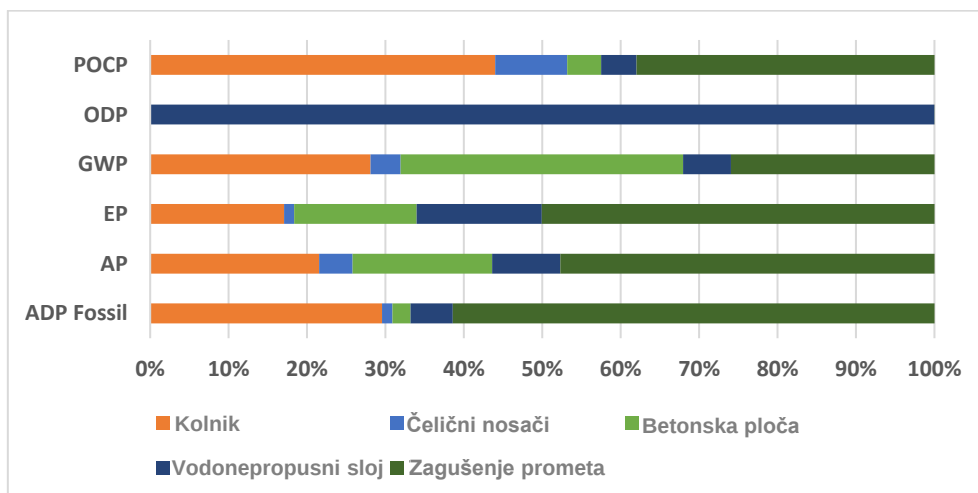
Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Površina ceste	Čelični nosači	Betonska ploča	Vodonepropusni sloj	Zagušenje prometa
ADP Fossil	MJ	1,07E+07	2,80E+06	1,25E+05	2,18E+05	5,09E+05	7,03E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	6,75E+02	1,32E+02	2,61E+01	1,09E+02	5,33E+01	3,55E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	1,09E+02	1,68E+01	1,27E+00	1,54E+01	1,57E+01	5,99E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,13E+05	5,65E+04	7,75E+03	7,24E+04	1,23E+04	6,43E+04
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	4,70E-08	1,45E-08	4,74E-07	5,12E-03	2,23E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,19E+02	4,86E+01	1,01E+01	4,79E+00	4,96E+00	5,10E+01



Slika 116: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C2.1 dnevni rad]

Potencijal iscrpljivanja ozona (ODP) dominira s utjecajem koji dolazi od vodonepropusnog sloja. Zamjena vodonepropusnog sloja u 40. i 80. godini čine najveći doprinos u usporedbi s ostalim procesima održavanja, iako uglavnom vrlo malog iznosa (red veličine od 10^{-7} ili manje). Ostale kategorije utjecaja dominiraju utjecajima koji proizlaze iz zagušenja prometa, održavanja betonske ploče i površine ceste (kolnika). Vidljivo je da je doprinos održavanja čeličnih nosača, odnosno primjena sloja za zaštitu od korozije, minimalan u usporedbi s ostalima. Kao što će se vidjeti u sljedećem odlomku, gornje objašnjenje se odnosi i na scenarij noćnog rada.

Rezultati dobiveni scenarijem noćnog rada u fazi korištenja referentne studije slučaja C2.1 prikazani su na slici 117.



Slika 117: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C2.1 noćni rad]

U scenarijima dnevnog i noćnog rada može se uočiti da održavanje površine ceste, čeličnih nosača i zagušenje prometa najviše doprinose u gotovo svim kategorijama utjecaja. Iz tablice 90 može se uočiti da je manji utjecaj izračunat sa scenarijem noćnog rada nego za dnevni rad. U obje analize svi parametri osim prometa su zadržani konstantnima. Dakle, ovo smanjenje može se pripisati samo manjem zagušenjem prometa tijekom noćnog rada. Tablica 91 uspoređuje rezultate za oba plana rada s naglaskom na samo zagušenje prometa. Prosječno smanjenje od 17 do 19% izračunato je s noćnim planom rada.

Tablica 90: Varijacija utjecaja na okoliš u fazi korištenja uzimajući u obzir varijaciju noćnog rada u odnosu na dnevni rad [C2.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1 Dan	Studija slučaja C2.1 Noć	Varijacija u odnosu na C2.1 Dan
ADP Fossil	MJ	1,07E+07	9,45E+06	-11,5%
AP	Kg SO ₂ eq.	6,75E+02	6,12E+02	-9,4%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,09E+02	9,85E+01	-9,7%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,13E+05	2,01E+05	-5,7%
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	5,12E-03	0,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,19E+02	1,10E+02	-7,6%

Tablica 91: Varijacija utjecaja dnevni i noćni rad uzimajući u obzir samo zagušenje prometa [C2.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1 Dan	Studija slučaja C2.1 Noć	Varijacija u odnosu na C2.1 Dan
ADP Fossil	MJ	7,03E+06	5,80E+06	-17,4%
AP	Kg SO ₂ eq.	3,55E+02	2,92E+02	-17,9%
EP	Kg PO ₄ eq.	5,99E+01	4,93E+01	-17,7%
GWP	Kg CO ₂ eq.	6,43E+04	5,22E+04	-18,9%
ODP	Kg R11 eq.	2,23E-07	1,81E-07	-18,6%
POCP	Kg C ₂ H ₄	5,10E+01	4,19E+01	-17,8%

- *Analiza okoliša varijante C2.2*

U Tablici 92 prikazani su utjecaji na okoliš u fazi korištenja za scenarije dnevnog i noćnog rada za varijantu studije slučaja C2.2.

Tablica 92: Varijacija utjecaja na okoliš u fazi korištenja uzimajući u obzir varijaciju noćnog rada u odnosu na dnevni rad [C2.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.2 dan	Studija slučaja C2.2 noć	Varijacija u odnosu na C2.2 dan
ADP Fossil	MJ	1,11E+07	9,85E+06	-11,3%
AP	Kg SO ₂ eq.	6,78E+02	6,13E+02	-9,6%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,13E+02	1,02E+02	-9,6%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,12E+05	1,99E+05	-5,9%
ODP	Kg R11 eq.	5,17E-03	5,17E-03	0,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,14E+02	1,04E+02	-8,1%

Kao što se i očekivalo, scenarij noćnog rada rezultira smanjenjem utjecaja. Međutim, smanjenje (7,3%) nije tako veliko zbog relativno malog ADT-a za ove mostove. Slučaj C2.2 se u tablicama 93 i 94 uspoređuje s referentnim slučajem C2.1 u fazi korištenja s dnevnim i noćnim planovima rada.

Tablica 93: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi korištenja (dnevni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1	Studija slučaja C2.2	Varijacija u odnosu na C2.1
ADP Fossil	MJ	1,07E+07	1,11E+07	+4,0%
AP	Kg SO ₂ eq.	6,75E+02	6,78E+02	+0,4%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,09E+02	1,13E+02	+3,2%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,13E+05	2,12E+05	-0,8%
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	5,17E-03	+1,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,19E+02	1,14E+02	-4,8%

Tablica 94: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi korištenja (noćni rad)

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1	Studija slučaja C2.2	Varijacija u odnosu na C2.1
ADP Fossil	MJ	9,45E+06	9,85E+06	+4,2%
AP	Kg SO ₂ eq.	6,12E+02	6,13E+02	+0,2%
EP	Kg PO ₄ eq.	9,85E+01	1,02E+02	+3,3%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,01E+05	1,99E+05	-0,9%
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	5,17E-03	+1,0%
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,10E+02	1,04E+02	-5,4%

Varijantni slučaj C2.2 doveo je do većih utjecaja u većini kategorija u odnosu na referentni slučaj C2.1 u fazi korištenja.

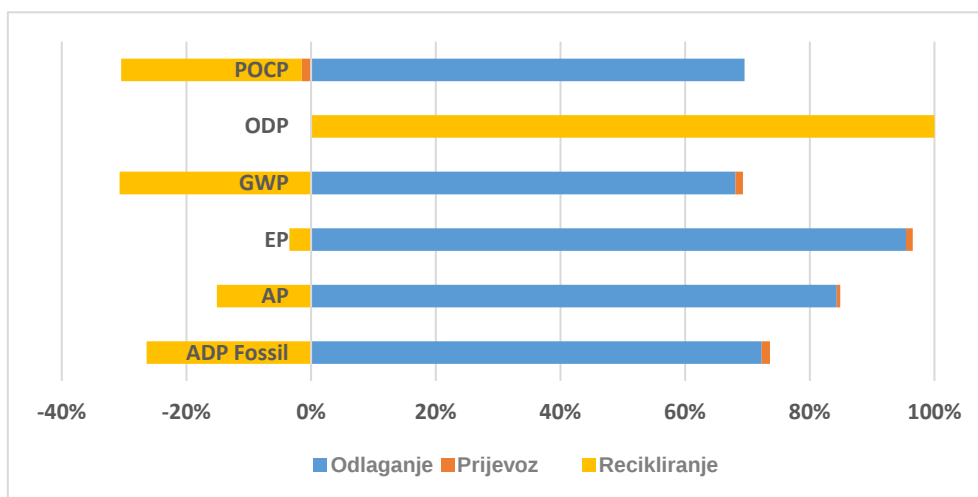
4.2.3.4 Faza na kraju životnog vijeka

- *Analiza okoliša referentne studije slučaja C2.1*

Doprinos svakog procesa u fazi na kraju životnog vijeka kao i ukupne emisije po kategoriji utjecaja prikazane su u tablici 95. Isto je prikazano na slici 118. Zbrinjavanje betona i bitumenskih materijala uzrokuje najveći teret na okoliš dok njihov prijevoz uzrokuje najmanji relativni utjecaj. Negativne vrijednosti na slici predstavljaju doprinose dobivene zbog procesa recikliranja.

Tablica 95: Utjecaji na okoliš po procesu u fazi na kraju životnog vijeka [C2.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Odlaganje	Prijevoz	Recikliranje
ADP Fossil	MJ	1,92E+06	2,94E+06	5,48E+04	-1,07E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	1,12E+03	1,36E+03	8,88E+00	-2,43E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	1,80E+02	1,84E+02	2,11E+00	-6,71E+00
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,29E+05	2,27E+05	3,98E+03	-1,03E+05
ODP	Kg R11 eq.	3,25E-03	2,23E-06	1,33E-09	3,25E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	7,32E+01	1,30E+02	-2,80E+00	-5,43E+01



Slika 118: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [C2.1]

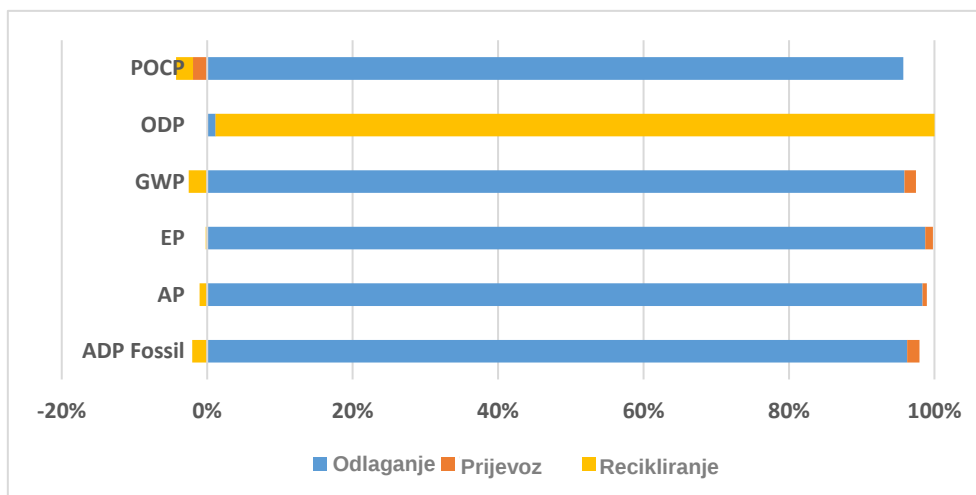
- *Analiza okoliša varijante C2.2*

Doprinos svakog procesa na kraju životnog vijeka kao i ukupne emisije po kategoriji utjecaja prikazane su u tablici 96. Isto je prikazano na slici 119 radi bolje ilustracije. Zbrinjavanje betona i bitumenskih materijala uzrokuje najveći teret na okoliš, dok njihov prijevoz uzrokuje relativno

najmanje utjecaj. Negativne vrijednosti na slici predstavljaju doprinose dobivene zbog procesa recikliranja.

Tablica 96: Utjecaji na okoliš po procesu u fazi na kraju životnog vijeka [C2.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Odlaganje	Prijevoz	Recikliranje
ADP Fossil	MJ	4,00E+06	4,02E+06	7,05E+04	-8,60E+04
AP	Kg SO ₂ eq.	1,84E+03	1,85E+03	1,14E+01	-1,95E+01
EP	Kg PO ₄ eq.	2,54E+02	2,52E+02	2,71E+00	-5,37E-01
GWP	Kg CO ₂ eq.	3,08E+05	3,11E+05	5,12E+03	-8,22E+03
ODP	Kg R11 eq.	2,64E-04	3,04E-06	1,71E-09	2,60E-04
POCP	Kg C ₂ H ₄	1,70E+02	1,78E+02	-3,60E+00	-4,35E+00

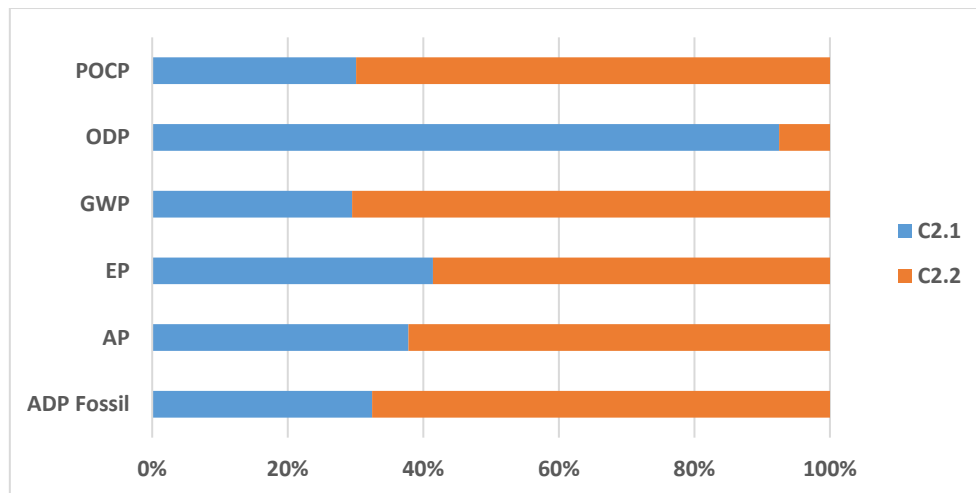


Slika 119: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [C2.2]

Rezultati za ta dva slučaja sažeti su i uspoređeni u tablici 97 i prikazani na slici 120.

Tablica 97: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi na kraju životnog vijeka

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1	Studija slučaja C2.2	Varijacija u odnosu na C2.1
ADP Fossil	MJ	1,92E+06	4,00E+06	+108,3%
AP	Kg SO ₂ eq.	1,12E+03	1,84E+03	+64,5%
EP	Kg PO ₄ eq.	1,80E+02	2,54E+02	+41,4%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,29E+05	3,08E+05	+138,9%
ODP	Kg R11 eq.	3,25E-03	2,64E-04	-91,9%
POCP	Kg C ₂ H ₄	7,32E+01	1,70E+02	+132,4%



Slika 120: Analiza doprinosa za svaki most za vrijeme faze na kraju životnog vijeka [slučajevi C2.1 i C2.2]

Iz prethodnih dviju ilustracija može se zaključiti da je referentni primjer doveo do nižih vrijednosti u ovoj fazi. Te su vrijednosti dobivene procesima recikliranja u referentnom primjeru C2.1. Veći učinci zabilježeni su za slučaj C2.1 u ODP kategoriji kao rezultat samog procesa recikliranja koji uzrokuje takve emisije. Napominje se, međutim, da su ovi učinci uglavnom mali (red veličine 10^{-3} ili manje).

4.2.3.5 Rezultati analize okoliša u životnom ciklusu

- Ukupni rezultati analize životnog ciklusa za studiju slučaja C2.1

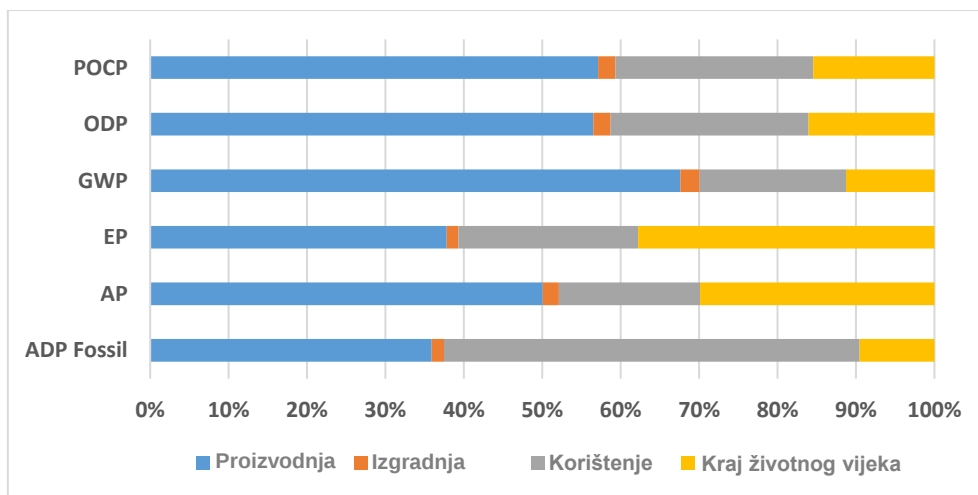
Prethodne točke predstavile su djelomične rezultate po fazama u životnom vijeku mosta. U ovoj točki sažeti su rezultati za svaku kategoriju utjecaja različitih faza i ukupni rezultati prikazani su u tablici 98, s obzirom na scenarij dnevnog rada.

Tablica 98: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C2.1]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	2,01E+07	7,23E+06	3,19E+05	1,07E+07	1,92E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	3,75E+03	1,88E+03	7,77E+01	6,75E+02	1,12E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	4,76E+02	1,80E+02	7,05E+00	1,09E+02	1,80E+02
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,14E+06	7,72E+05	2,81E+04	2,13E+05	1,29E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,03E-02	1,15E-02	4,45E-04	5,12E-03	3,25E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,73E+02	2,70E+02	1,04E+01	1,19E+02	7,32E+01

Radi boljeg razumijevanja doprinosa svake faze na ukupni rezultat, ovi su rezultati također ilustrirani na slici 121.

Faza proizvodnje je faza koja najviše doprinosi svim kategorijama utjecaja, s prosječnim postotkom od 50,8%. Faza korištenja ima drugi po veličini doprinos za kategorije utjecaja (27,2% prosjek). Faza na kraju životnog vijeka ima relativno manji utjecaj (20% prosječno), ali znatan doprinos, dok faza izgradnje ima neznatan doprinos (2% prosječno) za sve kategorije utjecaja.



Slika 121: Doprinost svake faze po kategoriji utjecaja [C2.1]

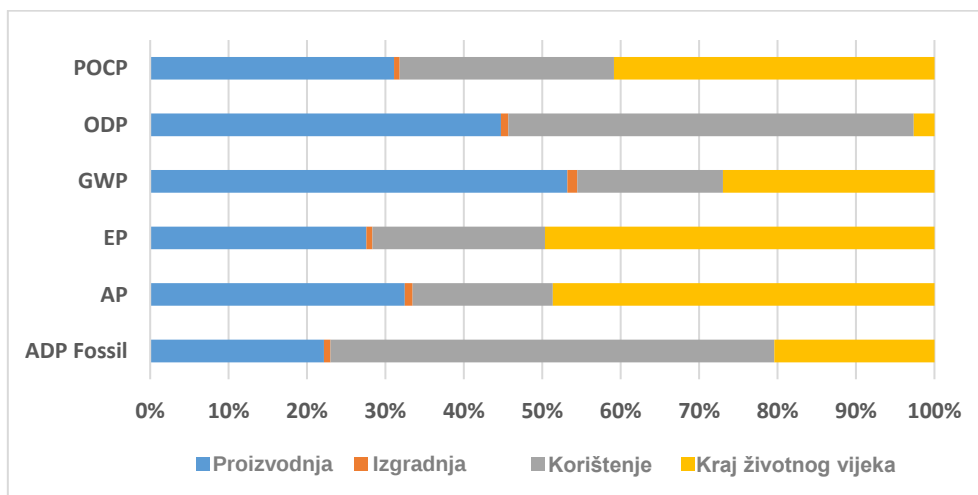
- *Ukupni rezultati analize životnog ciklusa za C2.2*

Rezultati za svaku kategoriju utjecaja različitih faza predstavljene u prethodnim točkama sažeti su i ukupni rezultati prikazani su u tablici 99, s obzirom na dnevni scenarij za studiju slučaja C2.2.

Tablica 99: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C2.2]

Kategorija utjecaja	Jedinica	Ukupno	Proizvodnja	Izgradnja	Korištenje	Kraj životnog vijeka
ADP Fossil	MJ	1,96E+07	4,35E+06	1,63E+05	1,11E+07	4,00E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	3,79E+03	1,23E+03	3,76E+01	6,78E+02	1,84E+03
EP	Kg PO ₄ eq.	5,12E+02	1,41E+02	4,02E+00	1,13E+02	2,54E+02
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,14E+06	6,06E+05	1,44E+04	2,12E+05	3,08E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,00E-02	4,47E-03	9,43E-05	5,17E-03	2,64E-04
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,16E+02	1,29E+02	3,01E+00	1,14E+02	1,70E+02

Kao što je prikazano na slici 122, faza proizvodnje materijala ima najveći doprinos učincima (35,3% prosječno), nakon čega slijedi faza na kraju životnog vijeka, faza korištenja i fazi izgradnje s prosječnim relativnim doprinosima od 31,6%, 32,1%, odnosno 1%. Usporedbom vrijednosti dobivenih u tablici 98 i tablici 99 može se vidjeti da betonsko rješenje rezultira znatno većim utjecajem u fazi korištenja i fazi na kraju životnog vijeka.



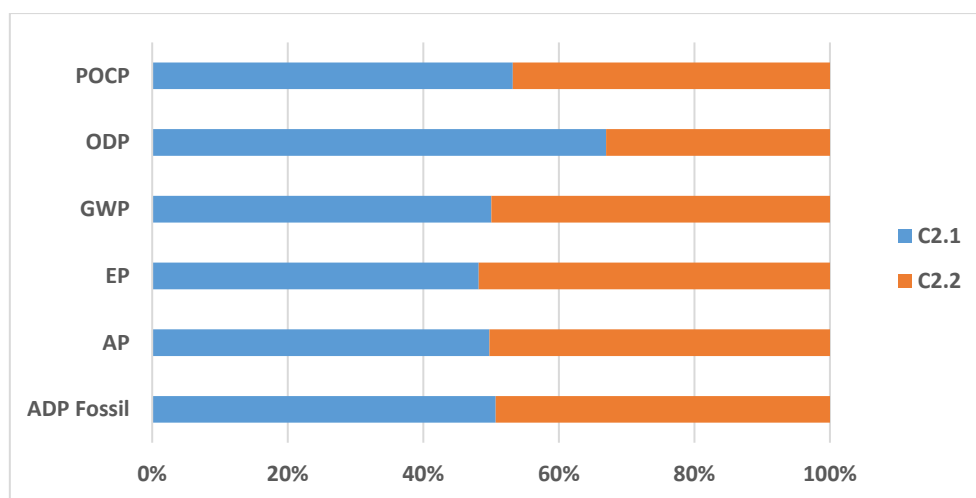
Slika 122: Doprinost svake faze po kategoriji utjecaja [C2.2]

Rezultati dobiveni za slučaj C2.2 uspoređeni su s referentnim slučajem C2.1 u tablici 100, s obzirom na dnevni scenarij za oba slučaja.

Tablica 100: Varijacija ukupnih utjecaja na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1

Kategorija utjecaja	Jedinica	Studija slučaja C2.1	Studija slučaja C2.2	Varijacija u odnosu na C2.1
ADP Fossil	MJ	2,01E+07	1,96E+07	-2,7%
AP	Kg SO ₂ eq.	3,75E+03	3,79E+03	+1,0%
EP	Kg PO ₄ eq.	4,76E+02	5,12E+02	+7,6%
GWP	Kg CO ₂ eq.	1,14E+06	1,14E+06	-0,2%
ODP	Kg R11 eq.	2,03E-02	1,00E-02	-50,7%
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,73E+02	4,16E+02	-12,1%

Kako bi se bolje razumjelo doprinos svake studije slučaja na ukupni rezultat, rezultati su ilustrirani na slici 123.



Slika 123: Relativni doprinosi slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 po kategoriji utjecaja

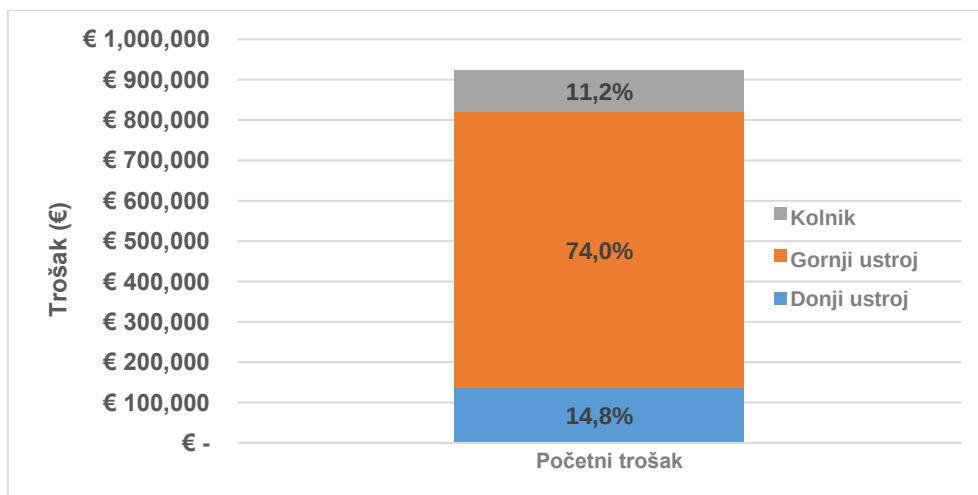
Referentni primjer C2.1 dobio je prednost pred slučajem C2.2 u pogledu zakiseljavanja, eutrofikacije, adijabatske iscrpljenosti (fossilna goriva) i potencijala globalnog zagrijavanja. Međutim, slučaj C2.2 se pokazao poželjnim u slučaju iscrpljivanja ozona i potencijale stvaranja fotokemijskih oksidanasa. Najveća razlika pojavljuje se u kategoriji utjecaja potencijal iscrpljivanja ozona. Veći utjecaji registrirani su za slučaj C2.1 u ODP kategoriji zbog emisija u fazama proizvodnje, izgradnje i recikliranja. Napominje se, međutim, da su ovi učinci uglavnom mali (red veličine 10^{-2} ili manje).

4.2.4 Analiza troškova životnog ciklusa

4.2.4.1 Početni troškovi izgradnje

- Analiza referentne studije slučaja C2.1

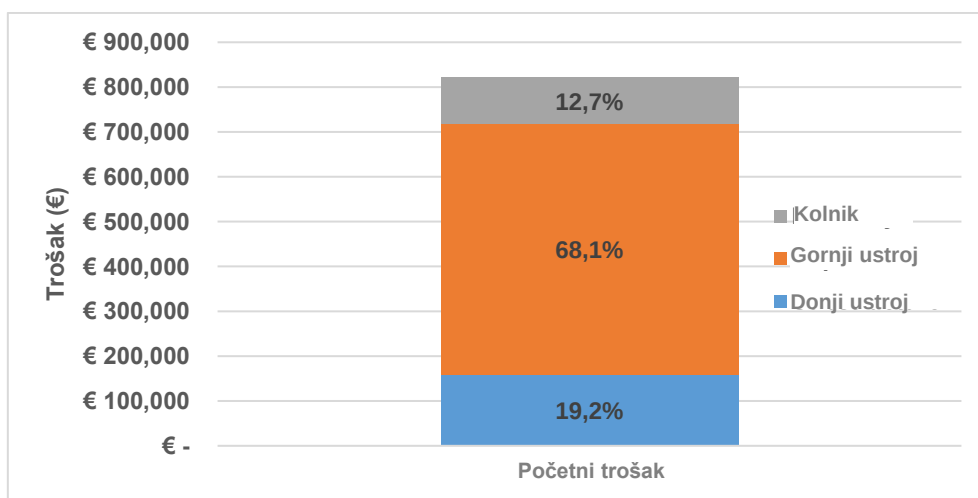
Početni trošak konstrukcije mosta, uključujući troškove prijevoza materijala, iznosi 928.779,30 €. Za površinu dva mosta, $2 \times 422,85\text{m}^2$, to znači cijenu od oko 1098,2 €/m². Slika 124 prikazuje udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika koji se izračunavaju na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 84.



Slika 124: Početni trošak slučaja C2.1

- Analiza varijante C2.2

Početni trošak, uključujući troškove prijevoza materijala, izračunat za varijantu studije slučaja C2.2 iznosi 826.410,9 €. Za površinu dva mosta, $2 \times 422,45 \text{ m}^2$, to znači cijenu od oko 978,1 €/m². Slika 125 prikazuje udio troškova donjeg ustroja, gornjeg ustroja i kolnika koji se izračunavaju na temelju troška materijala i jediničnih troškova navedenih u tablici 84.



Slika 125: Početni trošak slučaja C2.2

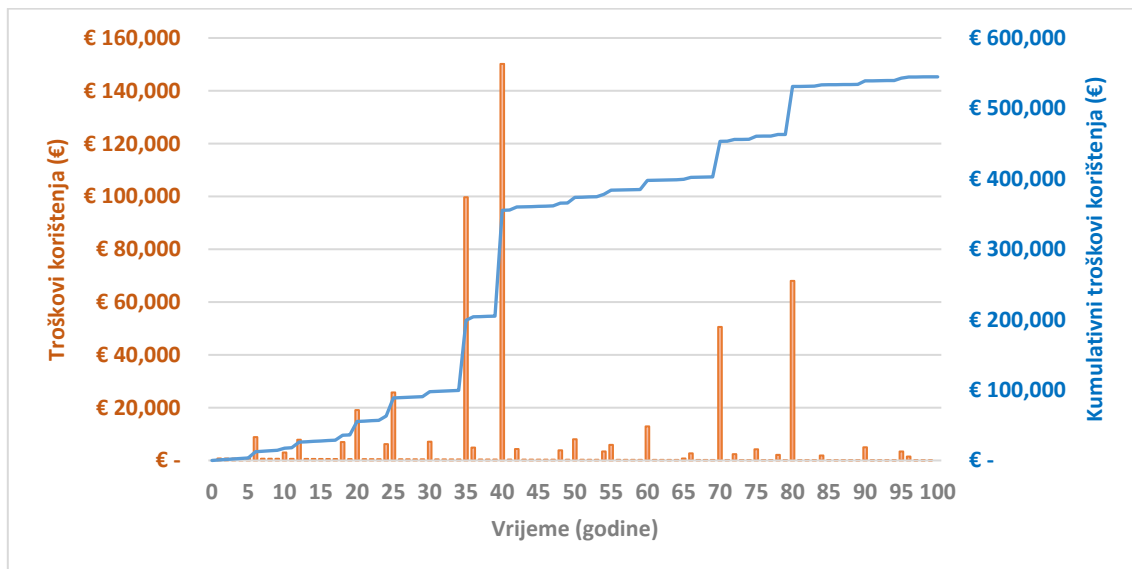
4.2.4.2 Troškovi korištenja

U periodu od 100 godina pretpostavlja se da se studije slučaja mosta održavaju i obnavljaju prema planu navedenom u Prilogu - tablici A1, koja sadrži definiciju standardnog scenarija pregleda. Osim troškova održavanja, sljedeći dijagrami uključuju troškove povezane s aktivnostima pregleda.

- Analiza referentne studije slučaja C2.1

Troškovi korištenja po godini temelje se na jediničnim troškovima i učestalosti aktivnosti održavanja navedenih u tablici A1. Ti su troškovi ilustrirani slikom 126 zajedno s kumulativnim troškovima korištenja na njihovoj neto sadašnjoj vrijednosti s obzirom na diskontnu stopu od

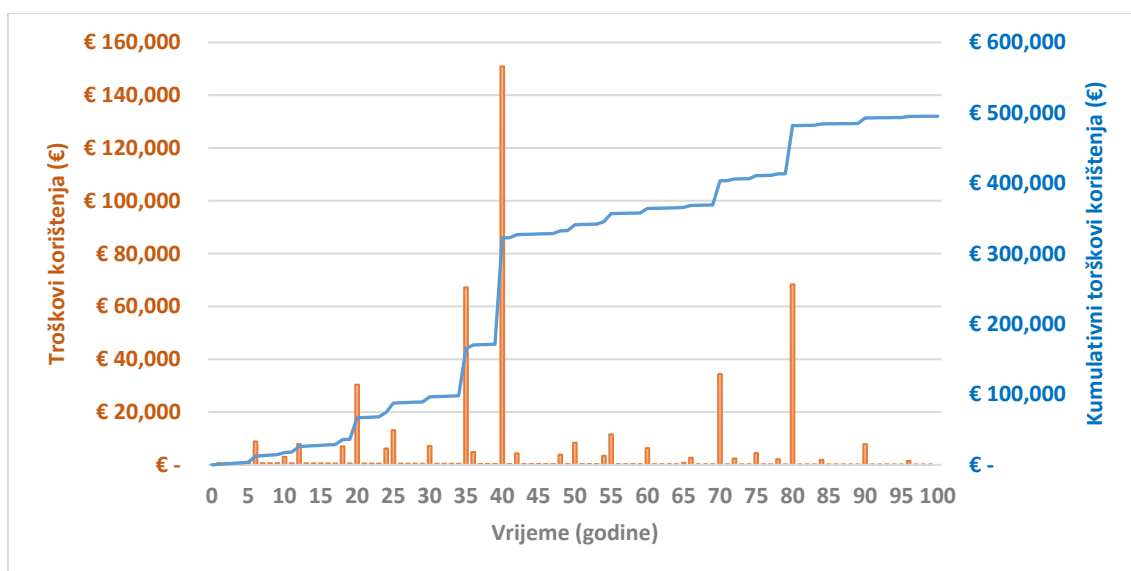
2%. Visoka vrijednost troškova korištenja u 40. godini dolazi zbog radova na zamjeni površine ceste i prijelaznih naprava. Jedinični trošak povezan sa zamjenom prijelaznih naprava je visok, što rezultira većim troškovima korištenja. Zamjena prijelaznih naprava se ponavlja u 80. godini. Ipak, taj skok nije vidljiv na slici jer se devalvacija novca povećava s vremenom pretvarajući ove troškove u neto sadašnju vrijednost. U istim gore navedenim godinama, betonska ploča se također održava. Skokovi u 35. i 70. godini, s druge strane, odnose se na troškove nastale tijekom aktivnosti održavanja ležajeva i zaštitnim slojevima čeličnih nosača.



Slika 126: Troškovi korištenja slučaja C2.1 tijekom životnog vijeka

- *Analiza referentne studije slučaja C2.2*

Godišnji troškovi korištenja temelje se na jediničnim troškovima i učestalosti aktivnosti održavanja navedenih u tablici A1. Ovi troškovi prikazani su na slici 127 zajedno s kumulativnim troškovima korištenja u njihovoj neto sadašnjoj vrijednosti s obzirom na diskontnu stopu od 2%. Visoka vrijednost troškova korištenja u 40. godini dolazi zbog rada na zamjeni prijelaznih naprava. Jedinični trošak povezan sa zamjenom tih uređaja je visok, a time je i veći trošak korištenja.



Slika 127: Troškovi korištenja slučaja C2.2 tijekom životnog vijeka

Postoje varijacije između troškova korištenja za dva mosta u različito vrijeme u njihovu životnom vijeku. Na primjer, skokovi troškova korištenja za C2.2 u 35. i 70. godini odnose se na troškove nastale tijekom održavanja ležajeva. C2.2 zahtijeva održavanje osam ležajeva nasuprot četiri ležaja koji zahtijevaju održavanje u C2.1.

4.2.4.3 Troškovi kraja životnog vijeka

Sažetak troškova na kraju životnog vijeka za mostove C2.1 i C2.2 prikazan je u tablicama 101 i 102. Betonsko rješenje, C2.2, rezultira 12,3% većim troškovima na kraju životnog vijeka od spregnutog mosta.

Tablica 101: Trošak na kraju životnog vijeka za C2.1

Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	307,76	-3492,68	50	63,72
Beton	2448	3379,05	50	506,86
Zemljani radovi	10920	75366,00	10	452,20
Bitumen	163,2	1126,35	20	13,52
Drugo		81,52		0,00
Suma (€)				77496,53
Trošak rušenja (€)				11663,01
Ukupni trošak (€)				89159,55

Tablica 102 Trošak na kraju životnog vijeka za C2.2

Materijal	Masa (tone)	Trošak zbrinjavanja ili vrijednost otpada (€)*	Udaljenost (km)	Trošak prijevoza (€)*
Čelik**	152,86	-1476,98	50	31,65
Beton	3408	4704,16	50	705,62
Zemljani radovi	12000	82819,78	10	496,92
Bitumen	155,25	1071,48	20	12,86
Drugo		82,49		0,00
Suma (€)				88447,98
Trošak rušenja (€)				11663,01
Ukupni trošak (€)				100111,00

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

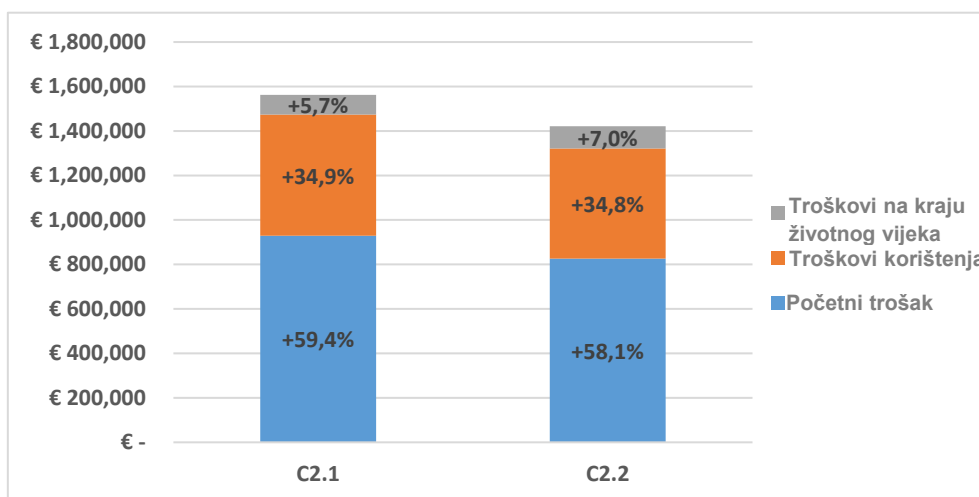
(**) Izračunate količine čelika uključuju i čelične šipke za armiranje i profile/ploče i spojeve od konstrukcijskog čelika. Napomena: Troškovi su dani u sadašnjoj vrijednosti izračunati prema jednadžbi 2 uz diskontnu stopu od 2%.

4.2.4.4 Ukupni troškovi životnog ciklusa

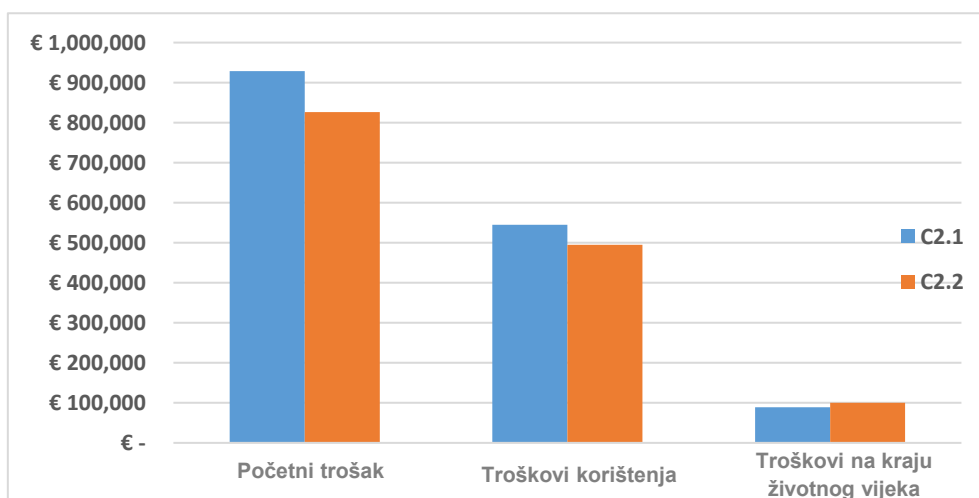
Ukupni troškovi izračunati u prethodnim točkama za studiju slučaja C2.1 doveli su do ukupne neto sadašnjeg troška životnog ciklusa (LCC) od 1.562.781,9 € koristeći diskontnu stopu od 2,0%. To predstavlja ukupni trošak od oko 1847,92 €/m². Za studiju slučaja C2.2, s druge strane, ukupna neto sadašnji trošak životnog ciklusa (LCC) od 1.421.637,6 € izračunat uz diskontnu stopu od 2,0%. To predstavlja ukupni trošak od oko 1682,61 €/m². Troškovi mosta za svaku fazu sažeti su u tablici 103 i prikazani su na slikama 128 i 129.

Tablica 103: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva C2.1 i C2.2

	Studija slučaja C2.1 (€)	Studija slučaja C2.2 (€)	Varijacija u odnosu na C2.1
Početni trošak	928779,3	826410,9	-11,0%
Trošak korištenja	544843,0	495043,4	-9,1%
Trošak na kraju životnog vijeka	89159,5	100183,3	+12,4%
Ukupni trošak	1562781,9	1421637,6	-9,0%



Slika 128: Ukupni troškovi životnog ciklusa za C2.1 i C2.2 (bez troškova korisnika)



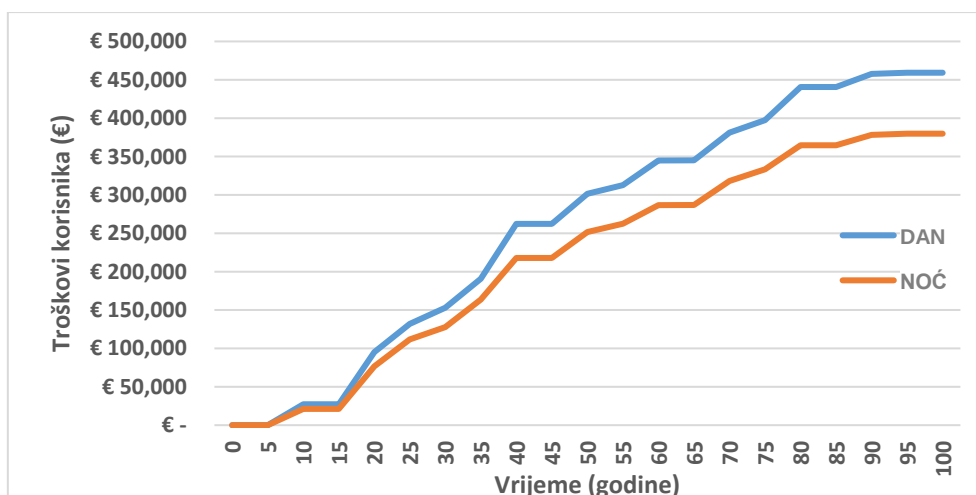
Slika 129: Troškovi životnog ciklusa slučaja C2.1 uspoređeni sa slučajem C2.2

Čini se da je spregnuto rješenje skuplje u fazi izgradnje i korištenja, ali atraktivnije kada se razmatra faza na kraju životnog vijeka. Ipak, rješenje C2.2 ima 17,9% niži ukupni LCC u usporedbi sa studijom slučaja C2.1. Napominje se da su troškovi na kraju životnog vijeka znatno niži od troškova korištenja ili izgradnje zbog činjenice da se ti troškovi pojavljuju u 100. godini i smanjuju se s godišnjom diskontnom stopom od 2%.

4.2.5 Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa

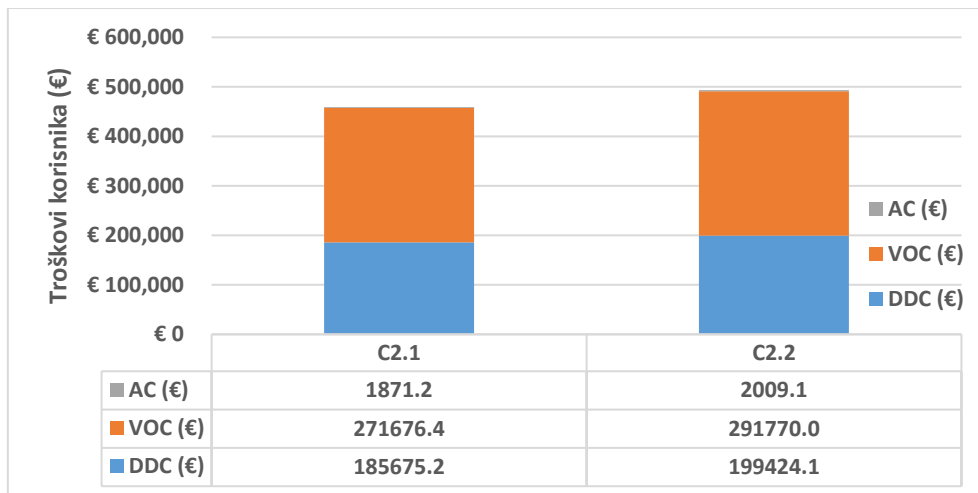
Proučena su dva scenarija održavanja za izračun troškova korisnika: (i) dnevni scenarij u kojem se aktivnosti održavanja provode tijekom dana (od 6:00 do 22:00 sata), a most ima jednu traku zatvorenu za glavne aktivnosti održavanja (zamjena površine ceste/vodonepropusnog sloja); (ii) scenarij noćnog rada, koji se razlikuje od dnevnog scenarija jer se radnje održavanja provode tijekom noći (od 22:00 do 6:00 sati).

Slika 130 prikazuje troškove korisnika za studiju slučaja C2.1 sa scenarijima dnevnog i noćnog rada. Napominje se da se neugodnost korisnika smanjuje ako se radovi provode tijekom noći jer je promet manji nego tijekom dana. Izračunato smanjenje troškova korisnika u slučaju noćnog rada iznosi 17,3%.



Slika 130: Troškovi korisnika za studiju slučaja C2.1 sa scenarijima “dan” i “noć”

Također, na slici 131, je vidljivo, da su troškovi korisnika za studiju slučaja C2.1 za 7,4% niži od onih za C2.2, jer održavanje betonskog mosta traži više vremena. Postoji potreba za održavanjem čeličnih nosača kod spregnutog mosta, što nije potrebno u slučaju betonskog mosta. Međutim, betonski most ima osam ležajeva, dvostruko više nego kod spregnutog mosta, što zahtijeva duže održavanje. Ova razlika rezultirala je značajnom razlikom da održavanje spregnutog mosta traje 194 dana tijekom cijelog životnog vijeka mosta dok za betonski most traje 211 dana. Što je trajanje održavanja duže, to su veći troškovi korisnika.



Slika 131: Troškovi korisnika za studije slučaja C2.1 i C2.2 s scenarijem dnevni rad

4.2.6 Diskusija rezultata za slučajeve C2

U ovoj studiji slučajeva za male cestovne mostove, iz analize okoliša u životnom ciklusu može se uočiti da faze proizvodnje materijala i korištenja daleko dominiraju svim kategorijama utjecaja. Proizvodnja građevinskih materijala tijekom životnog ciklusa i zagušenje prometa zbog radne aktivnosti glavni su uzroci opterećenja okoliša u analizi životnog ciklusa. U fazi korištenja utjecaje uglavnom uzrokuje zagušenje prometa. Vidljivo je da su ukupni rezultati poboljšani pri obavljanju radova održavanja noću. Noćna smjena omogućuje smanjenje utjecaja zbog činjenice da je opseg prometa manji noću.

Referentni primjer C2.1 odnio je prednost pred C2.2 u smislu zakiseljavanja, eutrofikacije, adijabatske iscrpljenosti (fosilna goriva) i potencijala globalnog zagrijavanja. Međutim, za C2.2 je dobiveno da ima prednost u smislu iscrpljivanja ozona i potencijala stvaranja fotokemijskih oksidanasa. Najveća razlika pojavljuje se u kategoriji utjecaja potencijal iscrpljivanja ozona. Veći utjecaji zabilježeni su za slučaj C2.1 u ODP kategoriji zbog emisija u fazama proizvodnje, izgradnje i recikliranja. Međutim, ovi su učinci uglavnom mali (red veličine 10^{-2} ili manje). Sveukupno se može reći da oba primjera imaju usporedive utjecaje na okoliš.

Što se tiče troškova životnog ciklusa, očito je da je početni trošak za spregnuti most veći (11,2%) zbog troškova materijala i troškova izgradnje. Troškovi korištenja također su izračunati veći za 9,1% kod spregnutog mosta. Međutim, spregnuti most postiže prednost u fazi na kraju životnog vijeka u usporedbi s betonskom inačicom za 12,4%. Prednost dolazi kao rezultat velikih mogućnosti recikliranja čelika na kraju životnog vijeka.

Veća vrijednost LCC za slučaj C2.1 dobivena je zbog činjenice da početni trošak iznosi oko 59,4% ukupnih troškova mosta. Troškovi korištenja i kraja životnog vijeka čine 64,9% i 5,7% ukupnih troškova. S druge strane, slučaj C2.2 zahtijeva 9,1% više troškova održavanja zbog dužih trajanja aktivnosti održavanja. Može se donijeti isti zaključak i za troškove korisnika.

Još jednom, socijalni aspekti analize životnog ciklusa dokazuju da je noćna smjena povoljna u smanjenju utjecaja na trošak korisnika. Utvrđeno je da su troškovi korisnika izračunati za spregnuti most manji od onih izračunatih za betonski most. Razlika u troškovima korisnika između dva mosta još bi se značajnije povećala ako bi prosječni dnevni promet bio veći ili ako bi bilo prometa ispod mosta. To podrazumijeva da bi, s obzirom na veći prosječni dnevni promet (ADT), spregnuto rješenje također dobilo veću prednost u pogledu LCS i LCC analiza.

5 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 svog dugog životnog ciklusa mostovi su projektirani za procese degradacije kao što su umor, korozija i karbonizacija. 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. Prema rasponu i njihovoj funkcionalnosti definirana su tri tipa mostova, tipična u području primjene betonskih i spregnutih mostova u Europi. Mostovi malih raspona do 35 metara u izvedbi sa spregnutim nosačima ili predgotovljenim betonskim nosačima razmatrani su kao mostovi tipa C2. Mostovi autocesta s više raspona koji imaju strukturnu tipologiju kontinuiranog nosača ukupne duljine 308 m s devet raspona razmatrani su kao mostovi tipa B1. Mostovi tipa A predstavljaju nadvožnjake od 40 do 50 m raspona s usporedbom različitih tipova upornjaka (integralni i mostovi oslonjeni na ležajeve) i raspodjele raspona (jedan ili dva raspona i dvosmjerni mostovi). Rasponi do 166 metara postignuti su velikim mostovima autocesta i svrstani su u tip C1.

Kao što je navedeno u tablici 7, odabran je i detaljno proučavan opsežan broj studija slučaja, dodijeljen tipovima mostova. Osnova analize bila je opsežno prikupljanje podataka i uspoređivanje u različitim uključenim europskim zemljama. Detaljna kompilacija podataka je integrirana u bazu podataka. Mostovi su projektirani za više od 100 godina, a faza korištenja ima središnju ulogu. Posebna pozornost posvećena je prikupljanju i uspoređivanju strategija pregleda i održavanja. Opisan je standardni scenarij, uključujući učestalost, troškove, ograničenja prometa tijekom aktivnosti, opremu itd. Za scenarije održavanja definirani su prosječni životni vijekovi elemenata mosta i opisane su potrebne aktivnosti. Osim toga, izrađena su i proučavana dva specifična scenarija: a) scenarij nedostatak novca i b) scenarij produženi životni vijek. Za oba ova scenarija napravljene su daljnje pretpostavke i pretpostavljena je prilagođena učestalost aktivnosti održavanja.

Studije slučaja izrađene su prema zahtjevima norma i pravila. Određene količine materijala su dodatno korištene u troškovima životnog ciklusa i analizama okoliša u životnom ciklusu. Stanje mostova se odmah počinje pogoršavati nakon početka korištenja. Kako bi mostovi bili iznad potrebnog uvjeta, potrebno je provesti aktivnosti pregleda, održavanja i popravaka. Svakom intervencijom prouzročeni su utjecaji na okoliš i ekonomski utjecaji te ih treba uzeti u obzir. Dakle, performanse konstrukcije moraju biti poznate jer ekološka i ekonomska analiza izravno o tome ovisi.

Za analizu okoliša u životnom ciklusu postavljena je granica sustava, uključujući sve faze tijekom cjelokupnog životnog ciklusa mostova, od eksploatacije sirovina do kraja životnog vijeka, uzimajući u obzir recikliranje. Utvrđeno je sedam indikatora ponašanja okoliša i utvrđeni su ulazni parametri.

Troškovi životnog ciklusa promatrani su od projektiranja do kraja životnog vijeka mostova. Da bi se usporedili prošli i budući tijekovi novca s današnjim, uspoređeno je nekoliko metoda. Godišnja diskontna stopa postavljena je na 2% u LCC analizi za 100-godišnji životni vijek za standardni scenarij održavanja i scenarij nedostatak novca te 130-godišnji životni vijek za

scenarij produženog životnog vijeka. Analiza socijalnih komponenata životnog ciklusa razmatrana je s obzirom na troškove korisnika, uz izravne mjerljive troškove. Ovi troškovi korisnika su troškovi uzrokovani aktivnostima održavanja koji su rezultat zagušenja prometa ili prekida uobičajenog odvijanja prometa. Troškovi korisnika podijeljeni su na troškove zbog kašnjenja prometa i operativne troškove vozila.

Uspostavljena baza podataka, analiza performansi životnog ciklusa, ekološka i ekonomska analiza životnog ciklusa integrirane su u holistički pristup u spomenutim studijama slučaja.

Mogu se donijeti sljedeći zaključci za svaki tip mosta:

- *Slučaj A – Nadvošnjaci na autocestama*

Za nadvošnjake autocesta utjecaji na okoliš od proizvodnje materijala i faze korištenja dominiraju kroz životni ciklus. Općenito, smanjenje tih utjecaja postiže se integralnim rješenjem mosta. Za nadvošnjake autocesta zabilježena je velika korist u slučaju integralnih nadvošnjaka jer se izbjegava održavanje ležajeva i prijelaznih naprava, čime se smanjuju zagušenja prometa.

U smislu LCC analiza, integralno spregnuto rješenje (A1) je skupo u smislu inicijalnih ulaganja u odnosu na betonsku inačicu. Zaključeno je da je spregnuto rješenje (studija slučaja A3) bolje od druga dva rješenja, betonskog ekvivalenta (A2) i integralnog rješenja A1 pri razmatranju početnih troškova. S druge strane, integralni most je rezultirao smanjenim troškovima korištenja jer izbjegava potrebu za održavanjem prijelaznih naprava. Integralni most zahtijeva manje održavanja i time dovodi do manjih smetnji u prometu i smanjenja troškova korisnika. Međutim, tradicionalni spregnuti most dobiva malu prednost u cjelokupnoj analizi.

LCA analiza, uzimajući u obzir alternativne scenarije održavanja, pokazala je da je scenarij nedostatak novca rezultirao smanjenim emisijama u svim kategorijama utjecaja za betonski most, dok su integralni i tradicionalni spregnuti mostovi imali određena povećanja kao i smanjenja različitih kategorija utjecaja. Scenarij produženog životnog vijeka rezultirao je većim utjecajima na okoliš u sva tri slučaja.

LCC analiza uzimajući u obzir alternativne scenarije održavanja rezultirala je više ili manje sličnim ekonomskim implikacijama kod betonskog mosta (A2); dok su za integralni most i tradicionalni spregnuti most, scenarij nedostatak novca i produženi životni vijek uzrokovali dodatne troškove u usporedbi sa standardnim scenarijem.

Analiza socijalnih komponenata (LCS) pokazala je da integralni i spregnuti most dijele slične karakteristike za alternativne scenarije održavanja. U oba tipa mosta scenarij nedostatka novca dovodi do smanjenja troškova korisnika, scenarij a) produženi životni vijek uzrokuje povećanje troškova korisnika. Međutim, za betonski most (A2), oba alternativna scenarija, standardni i produženi životni vijek, rezultirala su relativno višim troškom korisnika u odnosu na scenarij nedostatka novca.

Zaključno, proizlazi da se za takve male raspone mogu preferirati integralni upornjaci u odnosu na uobičajene upornjake (s ležajevima i prijelaznim napravama). Također, izbor između betonskog mosta i čelično - betonskog spregnutog mosta ovisi o važnosti troškova korisnika, a time i položaju mosta u transportnoj mreži.

- *Slučaj B – Veliki cestovni mostovi*

Slični zaključci o analizi okoliša u životnom ciklusu mogu se donijeti za velike mostove autocesta. Kao i u prethodnom slučaju, proizvodnja materijala i faza korištenja ovdje opet dominiraju životnim ciklusom. Još jednom, socijalni aspekti LCA analize dokazuju da se noćna smjena smatra povoljnom za smanjenje utjecaja na trošak korisnika. Troškovi korisnika za dvije različite radne smjene na istom mostu rezultirali su razlikom od gotovo 1,5 milijuna eura. Primjena različitih scenarija na ovu studiju slučaja otkriva da scenarij "nedostatak novca" na kraju ima niže troškove korisnika od standardnog scenarija, dok scenarij "produženi životni vijek" ima veće troškove korisnika.

- *Slučaj C1 – Cestovni mostovi s više raspona*

Iz analize okoliša u životnom ciklusu je uočeno da faze proizvodnje materijalne i korištenja dominiraju svim kategorijama utjecaja. Što se tiče faza, proizvodnja građevinskih materijala tijekom životnog ciklusa i zagušenje prometa zbog radne aktivnosti glavni su uzroci opterećenja okoliša u analizi životnog ciklusa. U fazi korištenja utjecaje uglavnom uzrokuju zagušenja prometa.

Što se tiče troškova životnog ciklusa, iz studija slučajeva jasno je vidljivo da spregnuti most pokazuje poželjne karakteristike. Početni trošak i troškovi korištenja za čelični spregnuti most bili su manji od njegove betonske inačice. Spregnuti most stekao je prednost u fazi na kraju životnog vijeka, zbog toga što ima velike mogućnosti recikliranja čelika. Još jednom, socijalni aspekti LCA analiza dokazuju da je noćna smjena povoljna u smanjenju utjecaja na trošak korisnika.

Procjenjujući alternativne scenarije održavanja, ustanovljeno je da je scenarij nedostatak novca doveo do nižih utjecaja na okoliš kako kod spregnutog mosta tako i kod betonskog mosta. Štoviše, iz LCC i LCS analiza zaključeno je da se niži troškovi korištenja i korisnika ostvaruju sa scenarijem "nedostatak novca" u usporedbi sa standardnim scenarijem održavanja za obje vrste mostova. Napor za produljenje vijeka trajanja mosta sa scenarijem "produženog životnog vijeka" dovodi do povećanja utjecaja u svim kategorijama okoliša. Troškovi korištenja i troškovi korisnika također su povećani, jer se vijek trajanja produžuje, osim što je niža vrijednost LCC dobivena za naknadno prednapeti armirano betonski most kod scenarija "produženi životni vijek", iako je vijek trajanja mosta dulji.

- *Slučaj C2 – Mali cestovni mostovi s jednim rasponom*

U ovoj studiji slučaja malih mostova na autocestama iz analize okoliša u životnom ciklusu zabilježeno je da faze proizvodnje materijala i korištenja daleko dominiraju svim kategorijama utjecaja. Što se tiče faza, proizvodnja građevinskih materijala tijekom životnog ciklusa i zagušenje prometa zbog radne aktivnosti glavni su uzroci opterećenja okoliša u analizi životnog ciklusa. U fazi korištenja utjecaji su uglavnom uzrokovani zagušenjem prometa.

Što se tiče troškova životnog ciklusa, bilo je očito da je početni trošak za spregnuti most veći zbog troškova materijala i troškova izgradnje. Štoviše, troškovi korištenja su više ili manje slični za dvije vrste mostova, odnosno, spregnuti most i njegov betonski ekvivalent. Međutim, spregnuti most dobiva malu prednost na kraju životnog vijeka zahvaljujući velikim mogućnostima recikliranja.

Socijalni aspekti životnog ciklusa dokazuju da je noćna smjena povoljna u smanjenju utjecaja na trošak korisnika. Vidljivo je da su ukupni rezultati poboljšani pri obavljanju radova održavanja noću. Noćna smjena omogućuje smanjenje utjecaja zbog činjenice da je opseg prometa manji noću. Troškovi korisnika koji su izračunati za dvije vrste mostova usporedivi su za zadani promet.

LITERATURA

- [1] H. Gervásio, Sustainable design and integral life-cycle analysis of bridges. PhD Thesis, University of Coimbra, 2010.
- [2] ISO 14040 - Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [3] ISO 14044 Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [4] M. G. Alexander, Y. Ballim and K. Stanish, "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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] EUR 26322, "Sustainable steel-composite bridges in built environment (SBRI)," Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.
- [8] IPCC, Fourth Assessment Report – Climate Change 2007, Geneva, Switzerland.: IPCC., 2007.
- [9] CML, "Operational Guide to the ISO standards, Jeroen B. Guinée (Ed.)," in *Handbook on life cycle assessment*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [10] M. Huijbregts, Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis, The Netherlands: University of Amsterdam, 2001.
- [11] J. R. 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.
- [12] 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..
- [13] H. Salokangas, ETSI PROJECT (STAGE II) Bridge Life Cycle Optimisation., Espoo, Finland.: Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering, TKK-R-BE3., 2009.

- [14] 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.
- [15] J. 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.
- [16] J. Vincke and P. Brans, "A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM.," *Management Science*, vol. 31, p. 641–656, 1985.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] ThinkStep, "GaBi" [Computer Program], Leinfelden-Echterdingen, Germany, 2015.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] FOSTA P843 - NaBrü, "Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit," Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 2014.
- [24] P. Seshadri and R. Harrison, "Workzone mobile source emission prediction," Center for transportation research, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1993.

6 POPIS SLIKA

Slika 1: Dijagram toka integralne analize životnog ciklusa.....	4
Slika 2: Holistički pristup analizi životnog ciklusa.....	5
Slika 3: Procesi degradacije	6
Slika 4: Shema analize okoliša u životnom ciklusu	11
Slika 5: Granica sustava LCA analize	12
Slika 6: Faze/troškovi životnog ciklusa od izgradnje do kraja životnog vijeka mosta.....	15
Slika 7: Koncept "trošak cijelog životnog vijeka" i "trošak životnog ciklusa" [6].	15
Slika 8: Elementi betonske ploče	16
Slika 9: Elementi čeličnih nosača	16
Slika 10: Elementi temelja	17
Slika 11: Elementi ležajeva.....	17
Slika 12: Detalji opreme.....	18
Slika 13: Shematski prikaz troškova životnog ciklusa	19
Slika 14: Profil jedne jedinice novca za različite vrijednosti r	20
Slika 15: Sučelje SBRI+ aplikacije.....	25
Slika 16: Faza proizvodnje materijala.....	26
Slika 17: Faza izgradnje	27
Slika 18: Procesi uključeni u fazu na kraju životnog vijeka	29
Slika 19: Slučaj A1: Integrali spregnuti most: a1) i a2) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek s nosačima promjenjive visine	31
Slika 20: Slučaj A2: Prednapeti betonski nosač izveden na gradilištu a1) i a2) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek.....	32
Slika 21: Slučaj A3: Spregnuti most a1) i a2) Uzdužni pogled; b) Poprečni presjek.....	33
Slika 22: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva A1, A2, i A3	35
Slika 23: Faza proizvodnje materijala.....	35
Slika 24: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [A1]	36
Slika 25: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [A2]	37

Slika 26: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [A3]	38
Slika 27: Faza izgradnje	38
Slika 28: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja A1	40
Figure 29: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja A2	40
Slika 30: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za studiju slučaja A3	41
Slika 31: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A1 dnevni rad)	43
Slika 32: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A1 noćni rad)	43
Slika 33: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A2 dnevni rad)	44
Slika 34: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A2 noćni rad)	45
Slika 35: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A3 dnevni rad)	46
Slika 36: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja (A3 noćni rad)	47
Slika 37: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka – slučaj A1	48
Slika 38: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [A2]	48
Slika 39: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A2 u fazi na kraju životnog vijeka	49
Slika 40: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [A3]	50
Slika 41: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A3 u fazi na kraju životnog vijeka	50
Slika 42: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [A1]	51
Slika 43: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A2 po kategoriji utjecaja	52
Slika 44: Relativni doprinosi slučajeva A1 i A3 po kategoriji utjecaja	53
Slika 45: Početni trošak slučaja A1	56
Slika 46: Početni trošak slučaja A2	56
Slika 47: Početni trošak slučaja A3	57
Slika 48: Troškovi korištenja slučaja A1 tijekom životnog vijeka	57
Slika 49: Troškovi korištenja slučaja A2 tijekom životnog vijeka	58
Slika 50: Troškovi korištenja slučaja A3 tijekom životnog vijeka	59
Slika 51: Ukupni troškovi životnog ciklusa za A1, A2 i A3	61
Slika 52: Ukupni troškovi životnog ciklusa za svaku studiju slučaja	62
Slika 53: Troškovi životnog ciklusa za slučaj A1 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	62

Slika 54: Troškovi životnog ciklusa za slučaj A2 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	63
Slika 55: Troškovi životnog ciklusa za slučaj A3 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	64
Slika 56: Troškovi korisnika za studiju slučaja A1 sa scenarijima “dan” i “noć”	64
Slika 57: Troškovi korisnika za studije slučaja A1, A2 i A3 sa standardnim scenarijem i planom “dnevni rad”	65
Slika 58: Troškovi korisnika za slučaj A1 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	66
Slika 59: Troškovi korisnika za slučaj A1 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	66
Slika 60: Troškovi korisnika za slučaj A3 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	67
Slika 61: Slučaj B1 – uzdužni pogled	69
Slika 62: Slučaj B1 – tipični poprečni presjek.....	69
Slika 63: Raspodjela prometa po satu za studiju slučaja B1.....	71
Slika 64: Faza proizvodnje materijala.....	71
Slika 65: Analiza doprinosa elemenata u fazi proizvodnje materijala [B1]	72
Slika 66: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje [B1]	72
Slika 67: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [B1 dnevni rad].....	73
Slika 68: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [B1 noćni rad].....	74
Slika 69: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [B1]	75
Slika 70: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [B1].....	76
Slika 71: Početni trošak slučaja B1	77
Slika 72: Troškovi korištenja slučaja B1 tijekom životnog vijeka.....	78
Slika 73: Troškovi životnog ciklusa za slučaj B1	79
Slika 74: Troškovi životnog ciklusa za slučaj B1 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	79
Slika 75: Troškovi korisnika za studiju slučaja B1 sa scenarijima “dan” i “noć”	80
Slika 76: Troškovi korisnika za studiju slučaja B1 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	81
Slika 77: Slučaj C1.1 Uzdužni presjek.....	82

Slika 78: Slučaj C1.1 - Tipični poprečni presjek	82
Slika 79: Slučaj C1.2 Uzdužni presjek.....	84
Slika 80: Slučaj C1.2 Tipični poprečni presjek	84
Slika 81: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva C2.1 i C2.2	86
Slika 82: Faza proizvodnje materijala.....	86
Slika 83: LCA analiza doprinosa za grupe materijala u fazi proizvodnje materijala [C1.1]	87
Slika 84: LCA analiza doprinosa za grupe materijala u fazi proizvodnje materijala [C1.2]	87
Slika 85: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za C1.1	88
Slika 86: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje za C1.2	89
Slika 87: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C1.1 dnevni rad]	90
Slika 88: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C1.1 noćni rad]	90
Slika 89: Analiza doprinosa procesa za vrijeme faze na kraju životnog vijeka [C1.1].....	92
Slika 90: Analiza doprinosa procesa za vrijeme faze na kraju životnog vijeka [C1.2].....	92
Slika 91: Usporedba slučaja C1.1 i C1.2 u fazi na kraju životnog vijeka	93
Slika 92: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja (scenarij – dnevni rad), slučaj C1.1	94
Slika 93: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [C1.2]	94
Slika 94: Relativni doprinos svake studije slučaja po kategoriji utjecaja (scenarij – dnevni rad)	95
Slika 95: Početni trošak slučaja C1.1	97
Slika 96: Početni trošak slučaja C1.2	98
Slika 97: Troškovi korištenja mosta C1.1 tijekom životnog vijeka	99
Slika 98: Troškovi korištenja mosta C1.2 tijekom životnog vijeka	99
Slika 99: Ukupni troškovi životnog ciklusa za C1.1 i C1.2.....	101
Slika 100: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva C1.1 i C1.2.....	101
Slika 101: Troškovi životnog ciklusa za slučaj C1.1 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	102
Slika 102: Troškovi životnog ciklusa za slučaj C1.2 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	103
Slika 103: Troškovi korisnika za studiju slučaja C1.1 sa scenarijima “dan” i “noć”	104
Slika 104: Usporedba troškova korisnika za slučajeve C1.1 i C1.2 sa standardnim scenarijem „dnevni rad“	104

Slika 105: Troškovi korisnika za slučaj C1.1 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	105
Slika 106: Troškovi korisnika za slučaj C1.2 sa scenarijima održavanja “standardni”, “nedostatak novca” i “produženi životni vijek”	105
Slika 107: Slučaj C2.1 Uzdužni presjek.....	107
Slika 108: Slučaj C2.1 Tipični poprečni presjek	107
Slika 109: Slučaj C2.2 Uzdužni presjek.....	107
Slika 110: Slučaj C2.2 Tipični poprečni presjek	108
Slika 111: Raspodjela prometa po satu za studije slučajeva C2.1 i C2.2	110
Slika 112: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [C2.1].....	111
Slika 113: Analiza doprinosa procesa u fazi proizvodnje materijala [C2.2].....	111
Slika 114: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje [C2.1]	112
Slika 115: Analiza doprinosa procesa u fazi izgradnje [C2.2]	113
Slika 116: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C2.1 dnevni rad]	114
Slika 117: Analiza doprinosa procesa u fazi korištenja [C2.1 noćni rad]	114
Slika 118: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [C2.1]	116
Slika 119: Analiza doprinosa procesa u fazi na kraju životnog vijeka [C2.2]	117
Slika 120: Analiza doprinosa za svaki most za vrijeme faze na kraju životnog vijeka [slučajevi C2.1 i C2.2]	118
Slika 121: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [C2.1]	119
Slika 122: Doprinos svake faze po kategoriji utjecaja [C2.2]	119
Slika 123: Relativni doprinosi slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 po kategoriji utjecaja.....	120
Slika 124: Početni trošak slučaja C2.1	121
Slika 125: Početni trošak slučaja C2.2	121
Slika 126: Troškovi korištenja slučaja C2.1 tijekom životnog vijeka	122
Slika 127: Troškovi korištenja slučaja C2.2 tijekom životnog vijeka	123
Slika 128: Ukupni troškovi životnog ciklusa za C2.1 i C2.2 (bez troškova korisnika)	124
Slika 129: Troškovi životnog ciklusa slučaja C2.1 uspoređeni sa slučajem C2.2	124
Slika 130: Troškovi korisnika za studiju slučaja C2.1 sa scenarijima “dan” i “noć”	125
Slika 131: Troškovi korisnika za studije slučaja C2.1 i C2.2 s scenarijem dnevni rad	126

7 POPIS TABLICA

Tablica 1: Standardni scenarij - učestalost pregleda i prosječno pojavljivanje	8
Tablica 2: Prosječni pretpostavljeni životni vijek za elemente mosta (za standardni scenarij, scenarij nedostatak novca i scenarij produženi životni vijek)	9
Tablica 3: Standardni scenarij - prosječne učestalosti aktivnosti održavanja/popravaka	9
Tablica 4: Scenarij nedostatak novca – prosječne učestalosti aktivnosti održavanja/popravaka	10
Tablica 5: Scenarij produženi životni vijek - prosječne učestalosti aktivnosti održavanja / popravaka	10
Tablica 6: Indikatori okoliša LCA	13
Tablica 7: Tipovi mostova – Studije slučajeva.....	26
Tablica 8: Izvori podataka o materijalima i prijevozu.....	27
Tablica 9: Prijevoz materijala za fazu izgradnje	27
Tablica 10: Prijevoz materijala za fazu na kraju životnog vijeka	29
Tablica 11: Količine u slučajevima A1, A2, i A3 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize.....	34
Tablica 12: Procijenjeni prosječni dnevni promet (ADT) ispod mosta.....	35
Tablica 13: Procijenjeni prosječni dnevni promet (ADT) preko mosta	35
Tablica 14: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [A1].....	36
Tablica 15: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [A2].....	36
Tablica 16: Utjecaji na okoliš slučaja A2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj A1.....	37
Tablica 17: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [A3].....	37
Tablica 18: Utjecaji na okoliš slučaja A3 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj A1.....	38
Tablica 19: Prekid prometa ispod mosta u slučaju B	39
Tablica 20: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [A1]	39
Tablica 21: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [A2]	40
Tablica 22: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi izgradnje	41
Tablica 23: Utjecaji na okoliš u fazi izgradnje po kategoriji utjecaja [A3]	41
Tablica 24: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi izgradnje	42
Tablica 25: Analiza okoliša slučaja A1 u fazi korištenja (dnevni rad).....	42

Tablica 26: Utjecaji na okoliš slučaja A1 u fazi korištenja (noćni rad).....	43
Tablica 27: Utjecaji na okoliš slučaja A2 u fazi korištenja (dnevni rad).....	44
Tablica 28: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (dnevni rad)	44
Tablica 29: Utjecaji na okoliš slučaja A2 u fazi korištenja (noćni rad).....	44
Tablica 30: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (noćni rad)	45
Tablica 31: Utjecaji na okoliš slučaja A3 u fazi korištenja (dnevni rad).....	45
Tablica 32: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (dnevni rad)	46
Tablica 33: Utjecaji na okoliš slučaja A3 u fazi korištenja (noćni rad).....	47
Tablica 34: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi korištenja (noćni rad)	47
Tablica 35: Utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi na kraju životnog vijeka ..	49
Tablica 36: Utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1 u fazi na kraju životnog vijeka ..	50
Tablica 37: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [A1]	51
Tablica 38: Ukupni utjecaji na okoliš slučaja A2 uspoređeni sa slučajem A1	51
Tablica 39: Ukupni utjecaji na okoliš slučaja A3 uspoređeni sa slučajem A1	52
Tablica 40: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A1]	53
Tablica 41: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A1]	54
Tablica 42: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A2]	54
Tablica 43: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A2]	54
Tablica 44: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A3]	55
Tablica 45: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [A3]	55
Tablica 46: Trošak na kraju životnog vijeka za A1	60
Tablica 47: Trošak na kraju životnog vijeka za A2	60
Tablica 48: Trošak na kraju životnog vijeka za A3	60
Tablica 49: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva A1, A2, i A3	61
Tablica 50: Usporedba troškova korisnika između slučajeva A1, A2, i A3	65
Tablica 51: Količine za slučaj B dane za provedbu LCA i LCC analiza	70
Tablica 52: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [B1].....	71

Tablica 53: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [B1].....	72
Tablica 54: Utjecaji na okoliš u fazi korištenja [B1 dnevni rad]	73
Tablica 55: Utjecaji na okoliš u fazi korištenja [B1 noćni rad]	73
Tablica 56: Usporedba utjecaja na okoliš za dnevni i noćni rad u fazi korištenja [B1].....	74
Tablica 57: Utjecaji na okoliš po procesu u fazi na kraju životnog vijeka [B1]	74
Tablica 58: Ukupni utjecaji na okoliš u analizi životnog ciklusa po fazi životnog ciklusa [B1].....	75
Tablica 59: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [B1]	76
Tablica 60: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [B1]	77
Tablica 61: Trošak na kraju životnog vijeka za B1	78
Tablica 62: Količine za slučaj C1.1 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize	83
Tablica 63: Količine za slučaj C1.2 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize	85
Tablica 64: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala [C1.1]	86
Tablica 65: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala [C1.2]	87
Tablica 66: Varijacija utjecaja na okoliš u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj C1.1	88
Tablica 67: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi izgradnje	89
Tablica 68: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi korištenja [dnevni rad]	91
Tablica 69: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi korištenja [noćni rad]	91
Tablica 70: Utjecaji na okoliš u fazi na kraju životnog vijeka po procesima [C1.1]	91
Tablica 71: Utjecaji na okoliš u fazi na kraju životnog vijeka po procesima [C1.2]	92
Tablica 72: Utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1 u fazi na kraju životnog vijeka	93
Tablica 73: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C1.1].....	93
Tablica 74: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C1.2].....	94
Tablica 75: Ukupni utjecaji na okoliš slučaja C1.2 uspoređeni sa slučajem C1.1.....	95
Tablica 76: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.1].	96
Tablica 77: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.1]	96
Tablica 78: Usporedba utjecaja na okoliš u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.2].	96

Tablica 79: Usporedba utjecaja na okoliš po godini u fazi korištenja s različitim scenarijima održavanja [C1.2]	97
Tablica 80: Uobičajeni jedinični troškovi korišteni u svrhu usporedbe	98
Tablica 81: Trošak na kraju životnog vijeka za C1.1	100
Tablica 82: Trošak na kraju životnog vijeka za C1.2	100
Tablica 83: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva C1.1 i C1.2	101
Tablica 84: Količine u slučajevima C2.1 i C2.2 na temelju kojih se provode LCA i LCC analize	109
Tablica 85: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [C2.1]	110
Tablica 86: Utjecaji na okoliš u fazi proizvodnje materijala po kategoriji utjecaja [C2.2]	111
Tablica 87: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 u fazi proizvodnje materijala u odnosu na slučaj C2.1	111
Tablica 88: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi izgradnje	113
Tablica 89: Analiza okoliša slučaja C2.1 u fazi korištenja (dnevni rad)	113
Tablica 90: Varijacija utjecaja na okoliš u fazi korištenja uzimajući u obzir varijaciju noćnog rada u odnosu na dnevni rad [C2.1]	115
Tablica 91: Varijacija utjecaja dnevnog i noćnog rada uzimajući u obzir samo zagušenje prometa [C2.1]	115
Tablica 92: Varijacija utjecaja na okoliš u fazi korištenja uzimajući u obzir varijaciju noćnog rada u odnosu na dnevni rad [C2.2]	115
Tablica 93: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi korištenja (dnevni rad)	115
Tablica 94: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi korištenja (noćni rad)	116
Tablica 95: Utjecaji na okoliš po procesu u fazi na kraju životnog vijeka [C2.1]	116
Tablica 96: Utjecaji na okoliš po procesu u fazi na kraju životnog vijeka [C2.2]	117
Tablica 97: Utjecaji na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1 u fazi na kraju životnog vijeka	117
Tablica 98: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C2.1]	118
Tablica 99: Ukupni utjecaji na okoliš u životnom ciklusu po fazi životnog ciklusa [C2.2]	119
Tablica 100: Varijacija ukupnih utjecaja na okoliš slučaja C2.2 uspoređeni sa slučajem C2.1	120
Tablica 101: Trošak na kraju životnog vijeka za C2.1	123
Tablica 102: Trošak na kraju životnog vijeka za C2.2	123
Tablica 103: Usporedba troškova životnog ciklusa slučajeva C2.1 i C2.2	124

DODATAK A:

7.1 TablicaA1: Standardni scenarija 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 zaglavlja (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
Zaštitna ograda Iskorištene	potpuna zamjena zaštitnih ograda							x								x				
Sigurnosne ograde – 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)

7.2 Tablica A2: Scenarij održavanja kod nedostatka novca

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																				
Korozija (male točke/male površine)	zaštita od korozije dijelova površine (1)				X		X								X		X				
Korozija (kompletno obnavljanje)	kompletno obnavljanje zaštite od korozije (1)									X											
Beton Betonska ploča - iskorištena	uklanjanje/zamjena																				
Korozija armature kolnička ploča	djelomično obnavljanje									X											
Betonska rubna greda	potpuna zamjena									X											
Betonska rubna greda	tretman cijele površine						X										X				
Betonska rubna greda	tretman djelomične obnove površine								X										X		
Popravci betonske rubne grede	djelomično obnavljanje				X										X						
Prijelazne naprave Neispravni moduli (u slučaju modularne naprave)	potpuna zamjena									X											
Neispravna betonska zaglavljia (popravak)	potpuna / djelomična zamjena	X		X		X		X				X		X		X		X			
Pritezanje vijaka/djelomična izmjena modula	potpuna / djelomična zamjena	X		X		X		X				X		X		X		X			
čišćenje		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																				
Kalotni ležajevi - održavanje	potpuna / djelomična zamjena																				
Korozija metalnih elemenata (Sa2 / St3)	bojenje metalnih elemenata						X							X							
Površina kolnika Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena			X										X							
Pukotine, kolotrazi, rupe	neoštećeni habajući sloj*							X										X			
Pukotine, kolotrazi, rupe	mali popravci	X				X						X				X					
Vodonepropusni sloj Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena									X											
Ograde Iskorištene	potpuna zamjena ograda									X											
bojenje	bojenje metalnih elemenata			X				X						X				X			
oštećenja uzrokovana korozijom	djelomična zamjena							X										X			
Žljebovi Zamjena odvodnje	potpuna zamjena				X					X					X						
Sigurnosna barijera Iskorištene	potpuna zamjena sigurnosnih barijera									X											
Sigurnosne barijere – Mali popravci zbog korozije	potpuna / djelomična zamjena				X			X						X				X			
oštećenje uzrokovano nesrećama (čelik)	djelomična zamjena																				

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

7.3 Tablica A3: Scenarij održavanja produženog životnog vijeka

Oštećenje	Aktivnosti održavanja	Godine																											
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130			
Čelik																													
Čelični nosač – iskorišten	uklanjanje/zamjena																												
Korozija (male točke/male površine)	zaštita od korozije dijelova površine (1)				X						X							X						X					
Korozija (kompletno obnavljanje)	kompletno obnavljanje zaštite od korozije (1)						X						X						X										
Beton																													
Betonska ploča – iskorištena	uklanjanje/zamjena																												
Korozija armature kolnička ploča	djelomično obnavljanje				X				X					X					X				X		X				
Betonska rubna greda	tretman cijele površine																		X										
Betonska rubna greda	tretman djelomične obnove površine																					X							
Betonska rubna greda	potpuna zamjena							X								X													
Popravci betonske rubne grede	djelomično obnavljanje				X						X								X			X		X		X			
Prijelazne naprave																													
Neispravni moduli (u slučaju modularne naprave)	potpuna zamjena							X								X													
Neispravna betonska zaglavljiva (popravak)	potpuna /djelomična zamjena	X		X		X			X		X		X					X		X		X		X					
Pritezanje vijaka	potpuna /djelomična zamjena	X		X		X			X		X		X					X		X		X		X					
Čišćenje		X		X		X			X		X		X					X		X		X		X					
Ležajevi																													
Elastomerni ležajevi – iskorišteni	potpuna zamjena						X							X							X								
Elastomerni ležajevi (popravak)	djelomična zamjena			X						X								X						X					
Kalotni ležajevi – iskorišteni	potpuna zamjena																												
Kalotni ležajevi - održavanje	potpuna /djelomična zamjena																												
Korozija metalnih elemenata (Sa2 / St3)	bojenje metalnih elemenata						X							X							X								
Vodonepropusni sloj																													
Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena			X				X				X					X			X									
Pukotine, kolotrazi, rupe	neoštećeni habajući sloj*																								X				
Pukotine, kolotrazi, rupe	mali popravci	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						
oštećenja uzrokovana korozijom	djelomična zamjena																						X						
Žljebovi																													
Zamjena odvodnje	potpuna zamjena				X					X						X				X									
Sigurnosna barijera																													
Iskorištene	potpuna zamjena sigurnosnih barijera							X									X												
Sigurnosne barijere – Mali popravci zbog korozije	potpuna / djelomična zamjena				X								X							X			X						
oštećenje uzrokovano nesrećama (čelik)	djelomična zamjena																												

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

7.4 Tablica A4: Ograničenja prometa za slučajeve B i C

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		
Betonska rubna greda	tretman djelomične obnove površine	Ograničenje brzine	-
Betonska rubna greda	potpuna zamjena	Ograničenje brzine	-
Popravci betonske rubne grede	djelomično obnavljanje	Ograničenje brzine	-
Prijelazne naprave			-
Slomljeni moduli (kod modularnih naprava)	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	-
Slomljeni betonski dijelovi (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	Ograničenje brzine	-
Elastomerni ležajevi (popravak)	djelomična zamjena	Ograničenje brzine	-
Kalotni ležajevi - iskorišteni	potpuna zamjena	Ograničenje brzine	-
Kalotni ležajevi - održavanje	potpuna / djelomična zamjena	Ograničenje brzine	-
Korozija metalnih elemenata (Sa2 / St3)	bojenje metalnih elemenata	Ograničenje 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/Ograničenja brzine	-
bojenje	bojenje metalnih elemenata	Nema ograničenja/Ograničenja brzine	-
oštećenja uzrokovana korozijom	djelomična zamjena	Nema ograničenja/Ograničenja brzine	-
Žljebovi Zamjena odvodnje	potpuna zamjena	Nema ograničenja/Ograničenja 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)

7.5 Tablica A5: Ograničenja prometa za slučaj A

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
Korozije armature u ploči	djelomično obnavljanje	1 trak zatvoren po danu	1 trak zatvoren po danu
Betonska rubna greda	Tretman cijele površine	Ograničenje brzine	1 trak zatvoren po danu
Betonska rubna greda	tretman djelomične obnove površine	Ograničenje brzine	1 trak zatvoren po danu
Betonska rubna greda	potpuna zamjena	Ograničenje brzine	1 trak zatvoren po danu
Popravci betonske rubne grede	djelomično obnavljanje	Ograničenje 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 zaglavija (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	Ograničenje brzine	Nema ograničenja
Elastomerni ležajevi (popravak)	djelomična zamjena	Ograničenje brzine	Nema ograničenja
Kalotni ležajevi - iskorišteni	potpuna zamjena	Ograničenje brzine	Nema ograničenja
Kalotni ležajevi - održavanje	potpuna / djelomična zamjena	Ograničenje brzine	Nema ograničenja
Korozija metalnih elemenata (Sa2 / St3)	bojenje metalnih elemenata	Ograničenje brzine	Nema ograničenja
Površina kolnika Pukotine, kolotrazi, rupe	potpuna zamjena	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Pukotine, kolotrazi, rupe	neoštećeni habajući sloj*	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/Ograničenje brzine	Nema ograničenja
bojenje	bojenje metalnih elemenata	Nema ograničenja/Ograničenje brzine	Nema ograničenja
oštećenja uzrokovana korozijom	djelomična zamjena	Nema ograničenja/Ograničenje brzine	Nema ograničenja
Žljebovi Zamjena odvodnje	potpuna zamjena	Nema ograničenja/Ograničenje brzine	Nema ograničenja
Sigurnosna barijera Iskorištene	potpuna zamjena sigurnosnih barijera	1 trak zatvoren po danu	Nema ograničenja
Sigurnosne barijere – Mali popravci	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)

7.6 Tablica A6: Vrste radova, vrednovanje rada i jedinična cijena održavanja

Održavanje		Vrednovanje rada	Jedinična cijena
Za dio	Tip održavanja		
Ležajevi	Popravak	1,5 dana/kom	2100 €/kom
Ležajevi	Zamjena	2 dana/kom	(2100 + cijena novog ležaja) €/kom
Betonska ploča	Obnavljanje	0,08 dana/m ²	30 €/m ²
Betonske rubne grede	Zamjena	0,225 dana/m	70 €/m
Rubne grede	Obnavljanje	0,225 dana/m	70 €/m
Prijelazne naprave	Popravak	0,75 m/h	10 €/m
Prijelazne naprave	Održavanje	40 m/danu	10 €/m
Prijelazne naprave	Zamjena	3,5 m/danu	2500 €/m
Žljebovi odvodnje	Zamjena	0,1 dana/m	140 €/m
Ograde	Obnavljanje	4 m ² /h	90 €/m
Ograde	Obnavljanje	1,75 m/h	115 €/m
Površina kolnika	Popravak	0,02 dana/m ²	11,4 €/m ²
Površina kolnika	Zamjena	0,02 dana/m ²	11,5 €/m ²
Sigurnosne ograde	Zamjena	1,3 m ² /h	140 €/m
Čelični nosači	Obnavljanje	0,02 dana/m ²	75 €/m ²
Čelični nosači	Popravak	0,02 dana/m ²	100 €/m ²
Vodootporni sloj	Zamjena	0,02 dana/m ²	202 €/m ²

SBRI+ PRIRUČNIK ZA PROJEKTIRANJE I

Opće informacije i riješeni primjeri

