



Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů II Pokročilé aplikace

Ana Pascual, Petr Jehlička, Pavel Ryjáček a František Wald

V projektu SBRI byla připravena metodika a nástroj na analýzu životního cyklu ocelobetonových mostů. Přístup vypracovaný v projektu je v monografii ukázán na inovativních konstrukčních řešeních, která se realizovala v zemích partnerů projektu. Inovativní varianty jsou v práci porovnány s tradičními návrhy stejných mostů.



Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů II

Pokročilé aplikace

Ana Pascual, Petr Jehlička, Pavel Ryjáček a František Wald

Praha

Česká technika - nakladatelství ČVUT

První vydání, 2018

ISBN 978-80-01-06438-2

ISBN (elektronicky) 978-80-01-06440-5

Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů II

Pokročilé aplikace

Institute of Structural Design (USTUTT), Germany
Universidade de Coimbra, Portugal
Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des
réseaux, (IFSTTAR), France
ArcelorMittal (AMBD), Luxembourg
Brisa Engenharia e Gestão SA (BEG), Portugal
BKE sp. z o.o., Poland
České vysoké učení technické v Praze



Projekt s finanční podporou z Fondu pro výzkum uhlí a ocel (RFCS)
Evropského společenství



Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů II

Pokročilé aplikace

Ana Pascual, Petr Jehlička, Pavel Ryjáček a František Wald

Kromě šíření za účelem výzkumu a soukromého studia smí být publikace reprodukována, ukládána nebo předávána pouze s předchozím písemným svolením vydavatelů, podle zákona o autorských právech a patentové ochraně v souladu s podmínkami licencí vydaných Licenční agenturou pro autorská práva.

Autoři věnovali velkou pozornost tomu, aby zajistili, že veškeré údaje a informace obsažené v dokumentu jsou přesné v době zveřejnění. Autoři a oponenti nenesou odpovědnost za nesprávnou interpretaci údajů a škody vzniklé nebo související s jejich použitím. Pro opravy kontaktujte laskavě Katedru ocelových a dřevěných konstrukcí, ČVUT v Praze.

Praha

Česká technika - nakladatelství ČVUT

Copyright ©

První vydání, 2018

ISBN 978-80-01-06438-2

ISBN (elektronicky) 978-80-01-06440-5

Předmluva

Vydání připravila Ana Pascual z Univerzity ve Stuttgartu jako součást projektu RFCS Valorisation of Knowledge for Sustainable Steel-Composite Bridges in Built Environment (SBRI⁺). Práci pro ČR lokalizovali Petr Jehlička, Pavel Ryjáček a František Wald.

Na projektu pracoval kolektiv autorů z

ArcelorMittal (AMBD) (Co-ordinator)
Rue de Luxembourg 66, Esch Sur Alzette
Luxembourg
www.arcelormittal.com/sections

Universidade Coimbra
Paco das Escolas, 3001 - 451 Coimbra, Portugal
www.uc.pt

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>

Brisa Engenharia e Gestão SA (BEG)
Quinta da Torre da Aguilha Edificio Brisa, S. Domingos de Rana, 2785-599, Portugal
www.brisa.pt

Universitatea Politehnica Timisoara (UPT)
Piata Victoriei 2, Timisoara, Romania
<http://www.upt.ro>

Fundacion Tecnalia Research & Innovation
Parque Tecnológico De Miramon Pase Donostia-San Sebastian, 20009, Spain
www.tecnalia.com

Atkins Consultants Limited
Woodcote Grove, Ashley Road, EPSOM, KT18 5BW, United Kingdom
www.atkinsglobal.com

BKE sp. z o.o.
Na Miasteczku 12c/243, Poznań, 61-144, Poland
www.bke.poznan.pl

S. Stathopoulos - K. Farros Consulting Engineers (Domi S.A.)
Korgialeniou 14, Athens, 11526, Greece
www.domi-ae.gr

Universität Stuttgart (USTUTT)
Institute of Structural Design
Pfaffenwaldring 7, Stuttgart, 70569, Germany
www.uni-stuttgart.de

Aktien-Gesellschaft der Dillinger Hüttenwerke
Street Werkstraße 1, Dillingen, 66763, Germany
www.dillinger.biz

RAMBOLL SVERIGE AB
Stockholm, 10265, Sweden
www.ramboll.se

FOSTA -Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V.
Sohnstrasse 65, Dusseldorf, 40237, Germany
www.stahlforschung.de

Ceske Vysoke Uceni Technicke V Praze
Zikova 4, Praha 16636, Czech Republic
www.cvut.cz

Universita Degli Studi Di Napoli Federico II
Corso Umberto I 40, Napoli, 80138, Italy
www.unina.it

Stichting Bouwen Met Staal
Boerhaavelaan 40, Zoetermeer, 2713 HX, Netherlands
www.bouwenmetstaal.nl

Sveučiliste U Zagrebu Gradevinski Fakultet
Fra Andrije Kacica Miosica 26, Zagreb, 10000, Croatia
www.grad.hr

Onesource Consultadoria Informática
Urbanização Ferreira Jorge – 1º dto Lote 14, Coimbra 3040 016, Portugal
www.onesource.pt

Na projektu pracovali:

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

Obsah

1	ÚVOD.....	1
1.1	Holistický přístup	1
1.2	Strategie inspekce a údržby	2
1.2.1	Běžný scénář	2
1.3	Prezentace pokročilých typů mostů	4
1.3.1	Most D.....	4
1.3.2	Most E.....	4
1.4	Scénáře a předpoklady pro analýzu životního cyklu životního cyklu	6
1.4.1	Etapa výroby materiálu	6
1.4.2	Etapa výstavby.....	7
1.4.3	Etapa provozu.....	7
1.4.4	Etapa ukončení životnosti	8
1.4.5	Environmentální kategorie ADP _{Elements}	9
1.4.6	Environmentální kategorie POCP (Doprava nákladními auty)	10
1.4.7	Předpoklady pro scénáře inspekce a údržby.....	10
1.5	Předpoklady pro analýzu nákladů na konci životnosti	10
2	ŘEŠENÝ PŘÍKLAD MOST D	11
2.1	Obecný popis	11
2.1.1	Motivace.....	11
2.1.2	Cíle.....	11
2.1.3	Ochrana proti korozi.....	11
2.1.4	Analýza dalších kritérií	14
2.1.5	Definice případových studií.....	14
2.2	Scénáře a předpoklady analýzy životního prostředí v životním cyklu.....	16
2.2.1	Analýza dopravy.....	16
2.3	Environmentální analýza životního cyklu	17
2.3.1	Etapa výroby materiálu	17
2.3.2	Etapa výstavby.....	19
2.3.3	Etapa provozu.....	21
2.3.4	Konec životnosti	22
2.3.5	Výsledky analýzy životního cyklu životního prostředí.....	24
2.4	Analýza nákladů na životní cyklus	25
2.4.1	Počáteční stavební náklady.....	25
2.4.2	Provozní náklady	25
2.4.3	Náklady na konci životnosti	27
2.4.4	Celkové náklady na životní cyklus	28
2.5	Sociální analýza	29
2.6	Shrnutí výsledků variant D	31

3	ŘEŠENÉ PŘÍKLADY VARIANTA E – NOSNÍK PRECOBEAM	32
3.1	Obecný popis	32
3.1.1	Výhody nosníků PRECOBEAM	34
3.1.2	Příklady mostů s nosníky PRECOBEAM	35
3.1.3	Rozsah případové studie	36
3.2	Analýza dopravy	40
3.3	Environmentální analýza životního cyklu	41
3.3.1	Fáze výroby materiálu	41
3.3.2	Etapa výstavby	43
3.3.3	Etapa provozu	45
3.3.4	Konec životnosti	48
3.3.5	Výsledky analýzy životního cyklu životního prostředí	49
3.4	Analýza nákladů na životní cyklus	51
3.5	Sociální analýza životního cyklu	51
3.6	Diskuse výsledků pro variantu E	52
4	ZÁVĚR	53
	PŘÍLOHA A ÚDRŽBA A OMEZENÍ DOPRAVY	57
	Tabulka A1: Běžná údržba	57
	Tabulka A2: Dopravní omezení pro varianty D	58
	Tabulka A3: Dopravní omezení pro varianty E	59

1 Úvod

1.1 Holistický přístup

V projektu SBRI byla připravena metodika a nástroj na analýzu životního cyklu ocelobetonových mostů. Přístup vypracovaný v projektu je v monografii ukázán na inovativních variantách řešení realizovaných v zemích partnerů projektu. V práci jsou inovativní řešení porovnávána pro stejné typy mostů s tradičním. Analyzované případové studie jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Případové studie v části II

	Počet variant	Varianty
Varianty D	3	D1 Žárově zinkování
		D2 Tradiční povlaky
		D3 Žárově zinkování + tradiční povlaky
Varianty E	2	E1 PRECOBEAM
		E2 Ocelobetonový nosník

Analýza

Holistický přístup umožnil pochopit vztahy a určit potenciál pro optimalizaci. Byly řešeny ekologické (environmentální hodnocení životního cyklu), ekonomické (náklady na životní cyklus) a sociálně-funkční aspekty (sociální analýza životního cyklu), pro které jsou zvoleny dále popsané analytické postupy.

Posouzení životního cyklu

Posouzení životního cyklu je pro hodnocení dopadu na životní prostředí ověřenou metodou. Výrobky mohou mít negativní dopad na životní prostředí během jejich celého životního cyklu od návrhu, výroby surovin a konstrukce až po recyklaci nebo likvidaci. Hodnocení životního cyklu (LCA) se proto používá k ověření toku materiálu a energie a jejich vlivu na životní prostředí po celý životní cyklus. Řešení vypracované v projektu SBRI je rozšířeno a přizpůsobeno inovativním mostům.

Náklady na životní cyklus

Výpočet nákladů životního cyklu (LCC) zahrnuje všechny náklady vzniklé během životního cyklu, které lze konstrukci mostu přímo přiřadit. Jednou z otázek výpočtu nákladů životního cyklu je uvažování údržby během životního cyklu. Náklady na životní cyklus jsou zobrazeny jako scénář a uvažovány včetně teoretické životnosti jednotlivých komponent mostu.

Sociální analýza životního cyklu

Sociální kritéria umožňují vyčíslit dopady mostu na přímé uživatele a okolí. Uživatelé mostu jsou všichni lidé, kteří po a případně pod komunikací cestují.

Postup prací

Nejprve se shromáždí vstupní údaje. K získání správných výsledků se stanoví přesné objemy materiálu a konstrukční procesy.

1.2 Strategie inspekce a údržby

Během provozu mostu se provádí pravidelné kontroly, které umožňují průběžné sledování a hodnocení stavu mostu a upozorňují na případnou údržbu a opravy. V první monografii byly zohledněny tři scénáře inspekce a údržby:

Standartní scénář - pro 100letou životnost se předpokládá, že bude na nezbytné prohlídky a údržbu a opravy dispozici dostatek zdrojů.

Nedostatek zdrojů - pro 100letou životnost se předpokládá, že není dostatek prostředků na potřebné prohlídky a následnou údržbu a opravy. Předpokládá se, že most bude na konci životnosti výrazně degradován a bude třeba na znalost skutečného stavu mostu prohlídku rozšířit. Údržba a opravy budou ke konci životnosti k roku 100 růst.

Prodloužená životnosti - v 80. roce provozu mostu je rozhodnuto, že most bude udržován v provozu až do roku 130. Po roce 80 jsou prohlídky, údržba a opravy přizpůsobeny tak, aby dosáhlo se požadovaného prodloužení životnosti.

V dílu II se uvažuje pouze běžný scénář.

1.2.1 Standartní scénář

V běžném scénáři je popsána metodika a četnost prohlídek a průměrné životnosti mostních prvků, která je nezbytná k ověření stavu mostu. Správný návrh údržby a oprav se považuje za základ dobrého stavu mostu. V běžném scénáři se předpokládá, že údržba probíhá před koncem průměrné životnosti prvků mostu. Konstrukční prvky se opraví, když je dosažena jejich průměrná životnost. Prvky, které nelze opravit, se po uplynutí své životnosti vymění.

Za provozu se konstrukce mostu prohlíží a po prohlídkách následuje údržba a opravy:

Běžná prohlídka - vizuální každoroční prohlédnutí všech částí mostu. Cílem je zjistit malé poruchy, které lze okamžitě opravit.

Hlavní prohlídka - podrobná vizuální kontrola se zaměřením na závažné poruchy. Cílem je zhodnotit stav mostu v čase. Popíše se případná nutná údržba a opravy.

Mimořádná prohlídka - podrobná vizuální kontrola se zaměřením na zvláštní cíle, např. na plán prací pro úplnou nebo částečnou rekonstrukci mostu. Během zvláštní prohlídky se případně i s pomocí laboratorní analýzy degradace materiálů vyhodnotí skutečný stav mostu a doporučí se opravy zjištěných poškození.

Opakování prohlídek pro běžný scénář je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2: Běžný scénář, typy a opakování prohlídek a průměrný počet, pro korozivní úbytky podle EN ISO 12944-2: 1998

Prohlídka	Opakování	Počet za 100 let
Běžná	Ročně	100
Hlavní	Po šesti letech	17
Mimořádná	Dvakrát za 100 let	2

Tabulka 3 shrnuje průměrnou životnost, která se předpokládá pro jednotlivé prvky mostu.

Tabulka 3: Průměrná životnost mostních prvků pro standardní scénář

Prvky mostu	Průměrná životnost, roky
Hlavní nosná betonová konstrukce	100
Betonový obrubník	40
Svodidlo	40
Hlavní nosná ocelová konstrukce	100
Ochrana oceli proti korozi	35
Ložisko	40
Vozovkové souvrství	20
Vodotěsná izolace	40
Oplechování, žlaby	25
Elastomerové ložisko	35
Kalotové/hrncové ložisko	100
Zábradlí	40

Předpokládá se dobrý stav mostu a u prvků mostu se uvažuje opakování údržby a oprav podle tabulky 4.

Tabulka 4: Standardní scénář - průměrná frekvence údržby a oprav

Prvek mostu	Údržba	Běžné opakování, roky
Hlavní nosná betonová konstrukce	Malá oblast opravy	25
Betonový obrubník	Malá oprava	25
Svodidlo	Částečná oprava	25
Ochrana oceli proti korozi	Oprava	25
Ložisko	Částečná oprava	10
Vozovkové souvrství	Malá oprava	10
Vodotěsná izolace	Výměna bez údržby	0
Oplechování, žlaby	Výměna bez údržby	0
Elastomerové ložisko	Čištění, nátěry, mazivo	20
Zábradlí	Nátěry	20

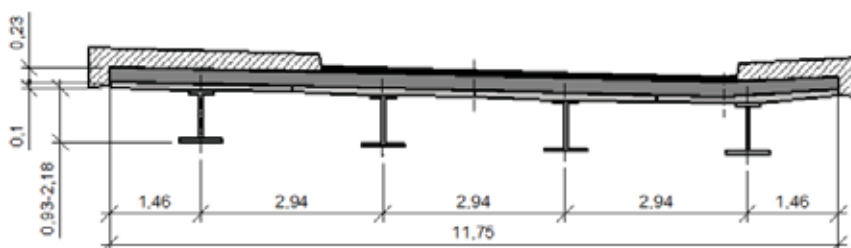
1.3 Prezentace pokročilých typů mostů

1.3.1 Most D

Je analyzován integrovaný most přes dálnici s žárově zinkovanými nosníky ponorem. Jeho výstavba začala v polovině roku 2014. Most, viz obrázek 1 až 3, je prvním silničním mostem, který byl postaven z žárově zinkovaných nosníků ponorem přes dálnici v Německu. Jeho analýza rozšiřuje poznatky udržitelné výstavby s podporou projektu SBRI. Výhody a nevýhody jsou řešeny dále.



Obrázek 1: Žárovně zinkovaný most v Německu - boční pohled



Obrázek 2: Žárovně zinkovaný most v Německu – příčný řez



Obrázek 3: Žárovně zinkovaný most v mostárně

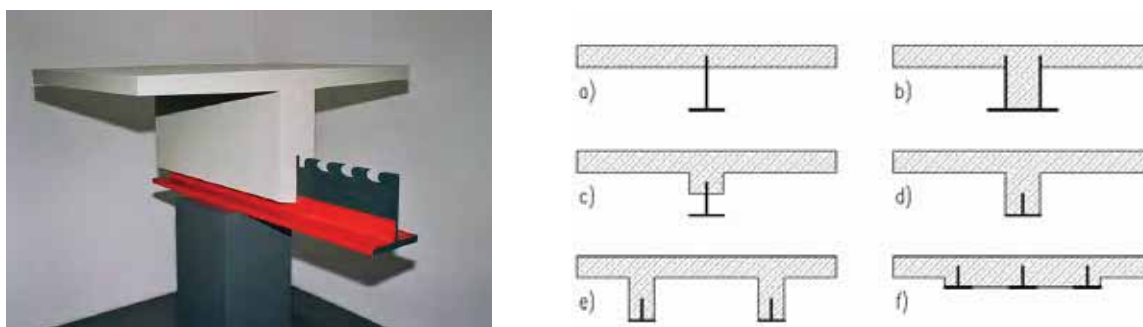
1.3.2

1.3.3 Most E

Při navrhování a výstavbě mostů jsou otázky udržitelnosti, údržby a trvanlivosti pro evropské silniční správy stejně důležité jako otázky jejich bezpečnosti a provozuschopnosti.

Od roku 1998 byly postaveny prefabrikované mosty VFT® (Verbund-Fertigteil-Träger). Systém byl využit na více než 300 realizací v Německu, Polsku a Rakousku. Řešení je u malých a středních rozpětí pro pozemní dopravu cenově výhodné.

Systém PRECOBEAM - nosník VFT s obetonovanými válcovanými nosníky představuje další vývojový stupeň. Válcovaný nosník je ve stěně rozříznut tak, aby se vzniklý T průřez dobře spřáhl s betonovou deskou, viz obrázek 4. Vhodný řez umožňuje dokonalé spřažení. Výšku nosníku lze měnit výškou betonové části. Řezem lze dosáhnout malého odpadu.



Obrázek 4: PRECOBEAM, varianty nosníku pro různá rozpětí mostu

Princip PRECO kombinuje výhody nosníku VFT s robustností tradiční deskové mostovky. Ocelové prvky lze umístit do různé polohy, viz obrázek 4. Betonová deska je spřažena pomocí výztuže.

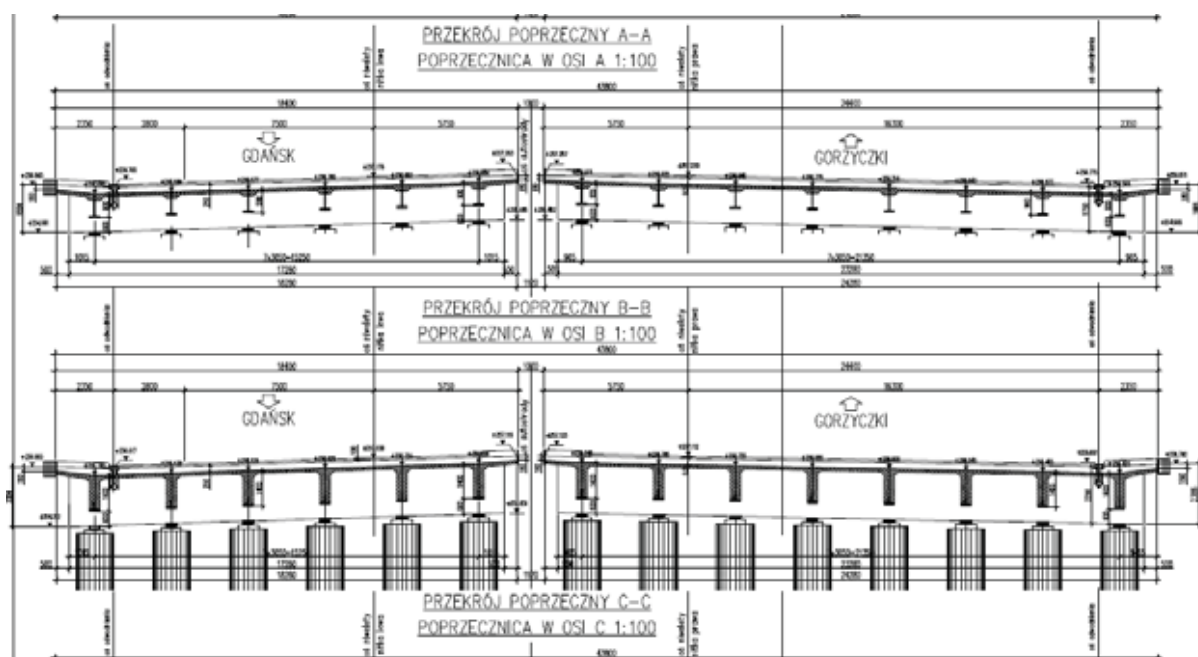
Ekonomické řešení se osvědčilo. Do konce roku 2016 bylo v Evropě postaveno nejméně 34 mostů na tomto principu spřažení, 13 v Německu, 11 Polsku, 4 České republice, 4 Rakousku a 2 Rumunsku.

Most postavený metodou VFT v Polsku z roku 2000 jsou na obrázku 5. Byla vyvinuta řada variant řešení, které se snadno přizpůsobují místním požadavkům. Řešení je ověřeno provozem.



Obrázek 5: PRECOBEAM v Polsku

Zkušenosti získané ze šesti mostů PRECOBEAM a analýza jejich životního cyklu a nákladů ukazují výhody tohoto řešení pro polské i jiné mosty.



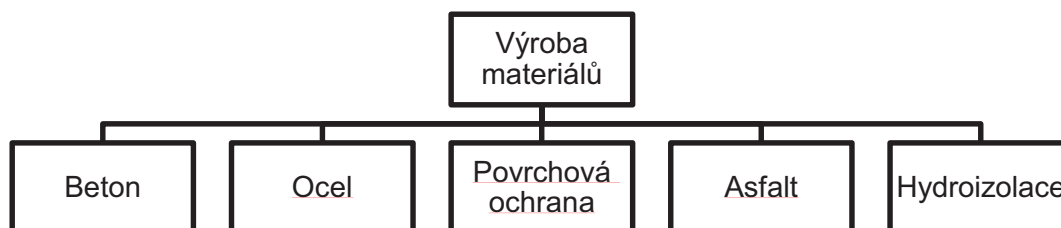
Obrázek 6 Alternativa řešení PRECOBEAM navržená společností SSF Ingenieure, Mnichov

V projektu byl analyzován životní cyklus a environmentální a společenské studie podle národních praxí a předpisů na jejich revize a údržbu. Úplné náklady na celý životní cyklus zatím kvůli nedostatku dat nejsou k dispozici.

1.4 Scénáře a předpoklady pro analýzu životního cyklu životního cyklu

1.4.1 Etapa výroby materiálů

Etapa zohledňuje výrobu materiálů pro vybudování mostu, viz obrázek 7. Zdroje dat jsou shrnuty v tabulce 5.



Obrázek 7: Etapa výroby materiálů

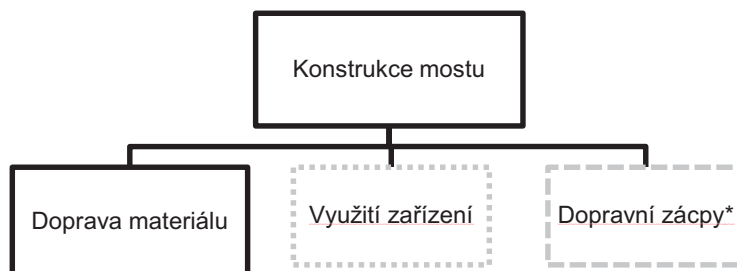
Tabulka 5: Zdroje dat pro materiály a dopravu

Materiál/proces	Zdroj
Beton (více jakostí)	GaBi [1]
Konstrukční ocel	Dodáno World Steel pro GaBi [1]
Žárově zinkovaná ocel	EPD-BFS-20130173-IBG1-DE [2]

Výztuž	GaBi [1]
Povlaky a nátěry	GaBi [1]
Asfalt	GaBi [1]
Hydroizolace	GaBi [1]

1.4.2 Etapa výstavby

Etapa výstavby zahrnuje všechny procesy výstavby mostu. Na obrázku 8 je vidět, že se hodnotí se i doprava materiálu na stavenišť.



(*) Pod silničními mosty nad dálnicemi se během stavby uvažují dopravní zácpy

Obrázek 8: Etapa výstavby

Pro nedostatek údajů nebylo při analýze zohledněno použití a doprava stavebních zařízení. Protože všechny mosty jsou nové, nebyla zvažována doprava nad mosty.

- *Doprava materiálu*

Stavební materiál se na stavenišť přepravuje na vzdálenosti, které jsou shrnuty v tabulce 6. Spotřeba nafty je vypočtena na základě dopravní vzdálenosti.

Tabulka 6: Přeprava materiálů pro stavbu

Doprava	Vzdálenost (km)
Konstrukční ocel	50
Výztuž	50
Čerstvý beton	10
Prefabrikáty	10
Asfalt	20
Hydroizolace	20

- *Doprava po mostě*

Protože všechny mosty jsou nové, nebylo uvažováno s provozem.

1.4.3 Etapa provozu

Předpokládá se, že po dobu životnosti mostu nedojde k významnějšímu poškození nebo poruše. Plánů údržby a oprav je stanoven v části A oddílu 2.4 části I [2]. Byly uvažovány tři scénáře údržby, standatní scénář, nedostatek prostředků a prodloužená životnost. Byly studovány dva pracovní scénáře, práce ve dne a v noci. Podrobné plány údržby jsou uvedeny v tabulce D1 přílohy A. Vychází se z předpokládané životnosti jednotlivých částí mostu.

- *Doprava materiálu*

Pokud most prochází údržbou nebo rehabilitací je pro ně na most dopraven materiál. Pokud není uvedeno jinak, uvažují se cestovní vzdálenosti jako ve stadiu výstavby.

- *Doprava na mostě*

Pro výpočet spotřeby paliva a emisí vozidel se pro každou činnost zvažují možné scénáře. Ve všech variantách je vždy alespoň jeden pruh komunikace v každém směru otevřen. Pokud je jej třeba zavřít, jsou uvažovány dva různé scénáře a to práce během dne (od 6:00 do 22:00) a během noci (od 22:00 do 18:00).

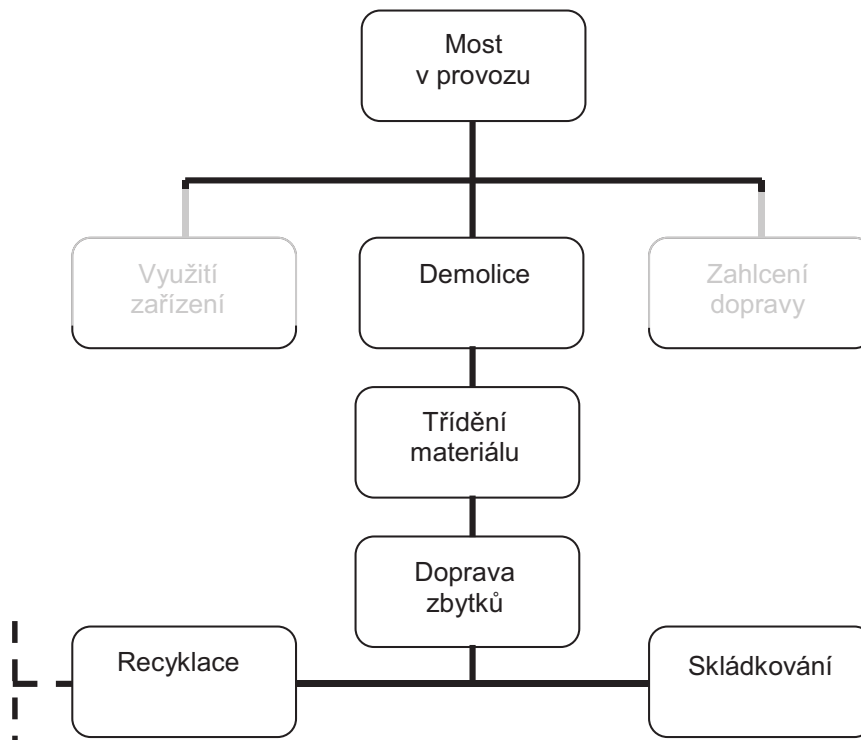
Systémy údržby uvedené v příloze A uvádějí omezení provozu na mostu a pod ním v průběhu let, ve kterých probíhají údržbářské činnosti

1.4.4 Etapa ukončení životnosti

V závěru životnosti se předpokládá, že mosty jsou zbourány a materiál je tříděn před odesláním do místa konečného určení na místě. Přeprava mezi místem demolice a třídírnou není třeba. U ocelových spřažených mostů se předpokládá, že ocelová konstrukce bude znovu použita. Zbývající části, obecně betonové a asfaltové materiály, jsou demolovány a přepravovány do zařízení na likvidaci odpadu. Náklady na konec životnosti by měly zohledňovat náklady na demontáž mostů (práce, vybavení, výstražné značky silničního provozu), náklady na dopravu a náklady na ukládání materiálů a/nebo příjmy z recyklace materiálů.

Předpokládá se, že ocelová konstrukce bude recyklována s recyklačním rozsahem 90 %. Přístup uzavřené smyčky se předpokládá tam, kde se šrot přetaví, aby vznikla nová ocel s malou nebo žádnou změnou vlastních vlastností. Pokud jde o ocelovou výztuž, předpokládá se, že bude recyklována ve stejném uzavřeném cyklu jako konstrukční ocel, ale při recyklaci pouze 70 %. Obrázek 9 znázorňuje obecné procesy jednotky zahrnuté v této fázi.

Pro nedostatek dat nebylo strojní stavební zařízení v analýze zohledněno. Dopravní obtíže byly zanedbávány. Očekává se, že se provoz při ukončení životnosti přesměruje na jinou trasu.



Obrázek 9: Procesy zařazené do ukončení životnosti

- *Doprava materiálu*

V závěru životnosti se předpokládá, že most bude zbourán a materiál bude roztříděn přímo na místě demolice. Po třídění se předpokládá, že se materiály naloží na nákladní automobily a přepraví do místa konečného určení. Jízdní vzdálenosti mezi místem třídění a konečným určením materiálů jsou odhadnuty v tabulce 7.

Tabulka 7: Přeprava materiálů do konce životnosti

Activity	Vzdálenost (km)
Recyklace konstrukční oceli	50
Recyklace výztuže	50
Skládka inertních materiálů	50
Skládka asfaltu	20

- *Doprava přes most*

Během demolice mostu se předpokládá, že doprava přes most bude odkloněna na alternativní komunikaci. Proto se emise a spotřeba paliva nezohledňují.

1.4.5 Environmentální kategorie $ADP_{Elements}$

Environmentální kategorie přijaté v metodice, viz příloha A monografie [2], jsou vypočteny podle metodiky CML [3]. Ve vztahu k environmentální kategorii $ADP_{elements}$ jsou součinitele charakterizace (CF), které se používají v metodě výpočtu, založeny na extrakční rychlosti a konečné rezervě každého prvku. U mnoha materiálů používaných ve stavebnictví však CF nelze kvůli nedostatku údajů o materiálových konfiguracích a konečných rezervách [4] definovat. Proto se součinitel používá s uznáváním tohoto omezení. Při porovnání různých stavebních materiálů nelze ukazatel uvažovat. Proto nejsou environmentální dopady tohoto ukazatele uvedeny v následující analýze.

1.4.6 Environmentální kategorie POCP (Doprava nákladními auty)

Podle metodiky CML [3] jsou pro výpočet environmentální kategorie POCP nákladních automobilů emise NO_x rozděleny na dvě jednotlivé emise NO₂ a NO. Důvodem záporné hodnoty jsou emise oxidu dusičitého (NO), které mají vliv na ekologickou kategorii POCP, protože pomáhají snižovat vysoké koncentrace ozonu v blízkosti úrovně terénu, které mohou být škodlivé pro lidi, zvířata a plodiny.

1.4.7 Předpoklady pro scénáře inspekcí a údržby

V monografii jsou zohledněny tři scénáře údržby (standartní, nedostatek prostředků a prodloužená životnost). Dále se uvažovalo s dobou údržby za provozu. Dopady na životní prostředí přetížením dopravy byly kvantifikovány s ohledem na dva alternativní scénáře: (i) práce ve dne, během které probíhají údržbářské akce během dne (od 6:00 do 22:00 hodin); a (ii) práce v noci, při které se údržba uskutečňuje v noci (od 22:00 do 18:00)..

1.5 Předpoklady pro analýzu nákladů na konci životnosti

Náklady na konci životnosti zahrnují náklady na pracovní sílu, vybavení a výstražnou signalizaci silnic, dopravu a ukládání materiálů a/nebo příjmy z recyklace materiálů.

Náklady na demolici se uvažují 100 € / m² [5]. Zahrnují náklady na práci, vybavení a pohonné hmoty, pomocné materiály, třídění materiálů, všechna nezbytná opatření k zajištění bezpečnosti pracovního prostoru a na čištění oblasti.

Stavební a demoliční odpad (C & DW) je odeslán k recyklaci nebo uložení na skládce. Náklady na dopravu vyžadují odhady vzdálenosti od místa demolice k místu likvidace nebo recyklace, účinnosti nákladních automobilů a cenu paliva. Pro odpady odeslaných na úložiště odpadu provozovatel zařízení účtuje poplatek za převzetí odpadu. Náklady na likvidaci C & DW se liší podle druhu materiálu a stupně kontaminace C & DW.

U oceli se předpokládá, že dodavatel zaplatí dodavateli 100 EUR/t (tato cena obvykle závisí na ceně oceli, podle informací od amerického recyklačního institutu lze konzervativně uvažovat s 120 USD/t oceli). Hodnota se odečítá, jelikož jde o výnos, a pro dodavatele nikoli o náklad.

2 ŘEŠENÝ PŘÍKLAD MOST D

2.1 Obecný popis

2.1.1 Motivace

Ocelové mosty se obvykle využívají na velká rozpětí a ocelobetonové spřažené spíše na střední a malá rozpětí. Během životního cyklu po 100 let je třeba zajistit bezpečnost na komunikacích, stabilitu a trvanlivost mostní konstrukce. Environmentálním a dopravním otázkou je třeba uvažovat pro konstrukci mostu a jeho detaily, jde o korozi, karbonaci, únava materiálů apod. Ochrana proti korozi je důležitým aspektem zejména u ocelových a ocelobetonových mostů. Aby šlo čelit nárokům na údržbu povrchů, je třeba při návrhu nových projektů včas uvažovat opatření proti korozi, a tak dosáhnout efektivních řešení. Srovnání systémů protikorozi ochrany zde dokládá holistický pohled na celý životní cyklus. Hospodárné řešení optimalizuje návrh mostu s přihlédnutím k celkové životnosti a a celkovým nákladům.

V průběhu životního cyklu se plánuje řada oprav, při kterých je třeba zhodnotit čas a velikost opatření. Pro ochranu proti korozi je ve srovnání s organickým povlakem žárové zinkování mostních konstrukcí slibným řešením. Od zinkového potahu lze očekávat, že nebude vyžadovat žádnou mezistupňovou renovaci, je možné omezit údržbu a eliminovat omezení provozu. Předpokládá se, že organický povlak se dvakrát úplně během životního cyklu mostu v souladu se strategií údržby vymění [6].

Žárové zinkování jako protikorozi ochrana ocelových nosníků v konstrukci mostů je zde analyzována z hlediska udržitelnosti. Proces je analyzován v projektu mostu holisticky uvažováním nákladů, emisí a omezení provozu po celý životní cyklus.

V Německu byly dosud postaveny pouze žárově zinkované lávky pro chodce. Otázky únavové pevnosti žárově zinkovaných mostů byly řešeny v projektu TU Dortmund [7]. V pilotním projektu se uvažovalo s žárovým zinkováním i na konstrukce silničních mostů. Ze studie mostu při holistické analýze vychází, že žárové zinkování je velmi konkurenční variantou.

2.1.2 Cíle

Cílem kapitoly vypracovat návrh konstrukce ocelobetonového mostu s celoživotní ochranou proti korozi.

Srovnání je vypracováno pro integrovaný ocelobetonový most rozpětí 45 m. U ocelových nosníků je porovnán organický ochranný povlak, žárové zinkování a duplexním systémem. Spřažený most je hodnocen pro celou dobu životnosti, od výroby po demolici.

2.1.3 Ochrana proti korozi

Trvanlivost ocelových a ocelobetonových mostních konstrukcí závisí na agresivitě prostředí. Účinná ochrana proti korozi je integrální část návrhu konstrukce mostů. Očekává se životnost 100 let. V Německu je v silniční síti více než 1 200 ocelových a ocelobetonových mostů, které mají plochu PKO asi 15 mil m². Obvykle, vícevrstvé systémy z organických povlaků slouží jako ochrana proti korozi. Při konstrukci německých mostů se žárové zinkování používá pouze pro značení silničních mostů, pro doplňky, jako jsou zábradlí, svodidla, ložiska a protihlukové stěny. První dálniční žárově zinkovaný most byl postaven v Sauerlandu nad řekou Lenne v roce 1987 se zatížitelností 12 tun [8]. Dalším řešením ochrany je kombinace zinkování a nátěrového systému, tzv. duplexní systém. Životnost duplexního systému je ve skutečnosti větší než součet jednotlivých ochranných životů, žárového zinkování a nátěru, protože elektrolytické procesy zvyšují účinnost ochrany [9].

Pasivní korozní ochrana ocelových konstrukcí, která je předmětem analýzy, jsou:

A) tradiční organické nátěry,

- B) žárové zinkování,
- C) duplexní systémy.

A. Tradiční organické nátěry

Ochranný systém se skládá z jedné nebo více základních vrstev, mezivrstev a krycí vrstvy. Základní nátěr zajišťuje přilnavost ostatních povlaků na povrchu. Mezivrstvy obsahují pigmenty inhibujícími korozi, epoxidová pryskyřice nebo polyuretan. Krycí vrstva odolává povětrnostním vlivům a má dekorativní funkci. Výběr povlakových vrstev se navrhuje tak, aby byla zajištěna ochrana oceli před korozním namáháním podle normy EN ISO 12944-2 [10]. ZTV-ING (Zusätzliche Technische Ver-tragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-Ing) také přináší pravidla pro ochranu proti korozi v části 4, oddíl 3 [11].

Ocelové nosníky jsou obecně opatřeny vícevrstevnými protikorozními povlaky, které je třeba obnovovat každých 25 až 35 let. Renovace ochrany přináší náklady, často vede k omezení používání a přináší emise do životního prostředí.

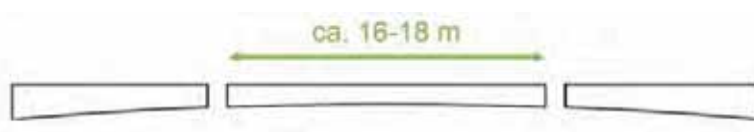
B. Žárové zinkování

Žárové zinkování je nejrozšířenější ochranou proti korozi kovových konstrukcí v exteriérech. Ochranu nelze připravit na staveništi, ale v zařízení pro galvanizaci za tepla podle EN ISO 1461 [12]. Po přípravě povrchu a chemickém čištění se ocelové části suší a pokovují v lázni s roztaveným roztokem zinku při teplotě kolem 450°C, viz obrázek 10. Ocel exotermicky reaguje s tekutým zinkem a na povrchu oceli se vytvářejí vrstvy slitiny železa a zinku. Vrstva má vyšší tvrdost než ocel a vysokou odolnost v oděru. Mechanické poškození během přepravy a montáže je tím omezeno. V rozích a na hranách se doporučuje zesílení zinku, aby se zlepšila ochrana proti korozi.

Dalším aspektem, který je třeba zvážit, pro analýzu nákladů životního cyklu, je velikost nosníků. V současnosti je délka nosníku, která může být ošetřena, nejvýše 18 m. U mostů s delším rozpětím je třeba navrhnout spoje. Pro spojitý most o rozpětí 40 m se navrhnou optimálně dva spoje v oblasti nulových momentů.



Obrázek 10: Žárové zinkování ocelových konstrukcí
(a) Vyjmutí z lázně (b) Žárové zinkované nosníky se spřahovacími trny



Obrázek 11: Návrh spojů v žárově zinkovaném spojitém mostu**Obrázek 12: Mapa korozních úbytků zinku podle Německé agentury pro životní prostředí**

Na povrchu ocelové konstrukce zinek vlivem povětrnosti oxiduje. Vrstvy oxidu jsou větrem a deštěm vymývány a nahrazovány novými oxidy zinku. Během života konstrukce se zinkový povlak ztenčuje. Časem dojde k odstranění zinkové vrstvy.

Trvání korozní ochrany přímo závisí na tloušťce povlaku zinku, která je definována korozním namáháním v normě EN ISO 12944-2 [10]. Prostředí s odpovídajícími ročními ztrátami zinku se dělí na korozní kategorie. Mapa Úřadu pro životní prostředí Obrázek 12 ukazuje očekávané roční ztráty zinku. Srovnání tabulky 8, podle EN ISO 12944-2, 1998 s mapou Německa z Obrázek 12 ukazuje, že v Německu jsou, s výjimkou pobřežních oblastí, kategorie koroze C2 a C3. Lze předpokládat ročně ztráty od 0,5 do 1,7 mikrometru ročně [13]. U zinkového povlaku 85 mikrometrů je zajištěna doba ochrany 50 let. U mostů lze navrhnout korozní ochranu jako životnost mostu, tj. 100 let. Kromě makroklimatu se zohledňuje mikroklima a hraniční struktury. Při určování potřebné tloušťky zinku musí být zohledněna, zejména pro mosty na dálnici a dálniční nadjezdy vliv slané mlhy a slaného ostříku.

Tabulka 8: Ztráta zinku vzhledem ke koroznímu zatížení (EN ISO 12944-2, 1998)

Kategorie koroze		Ztráta zinkové vrstvy [$\mu\text{m/a}$]
C1	Nevýznamná	$\leq 0,1$
C2	Malá	$> 0,1 - 0,7$
C3	Střední	$> 0,7 - 2,1$
C4	Silná	$> 2,1-4,2$
C5	Velmi silná	$>4,2 - 8,4$

U ocelových konstrukcí vystavených atmosférickému namáhání je žárové zinkování vhodná ochrana proti korozi. U mnoha žárově pozinkovaných konstrukcí se dosáhla stejná trvanlivost a životnost ochrany jako konstrukce. Doba trvání ochrany závisí na kvalitě oceli, která exotermicky různě reaguje se zinkem v zinkové lázni, kvalitě žáruvzdorného zinkování, geometrii prvků a atmosférických podmínkách.

C. Duplexní systém

Duplexní systémy ochrana sestává z pozinkování, převážně žárového, v kombinaci s jedním, nebo více, povlaky podle EN ISO 12944-5 [14]. Hlavní výhodou duplexního systému je významné zvýšení doby ochrany proti korozi ve srovnání se součtem doby ochrany jednotlivých systémů: žárové zinkování a povlakování. Synergický efekt v závislosti na systému [1,2] zvyšuje účinnost ochrany asi 1,2 až 2,5. Povlak zinku je chráněn před povětrnostními, chemickými vlivy a proti otěru překrytým povlakem. Povlak zinku zaručuje při poškození povlaku před korozi elektrolytickou ochranu. Vzájemná ochrana se projeví v rozích a na hranách, kde zinkový povlak je tlustší, a tím kompenzuje obtížné ulpívání nátěru.

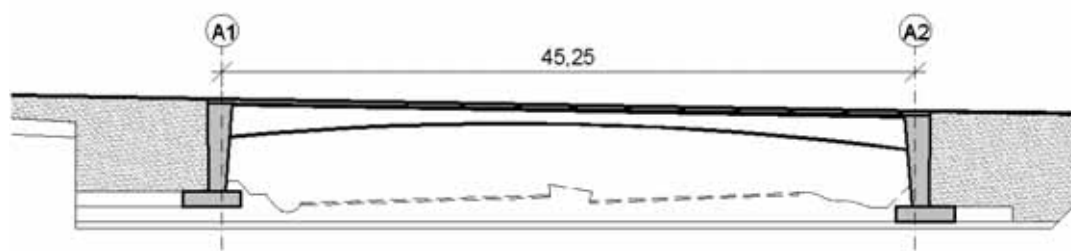
2.1.4 Analýza dalších kritérií

Prodloužit doby ochrany lze nástřikem horkého zinku. Pokud se nástřik aplikuje v době, kdy je počáteční systém stále účinný, lze dosáhnout výhod duplexních systémů.

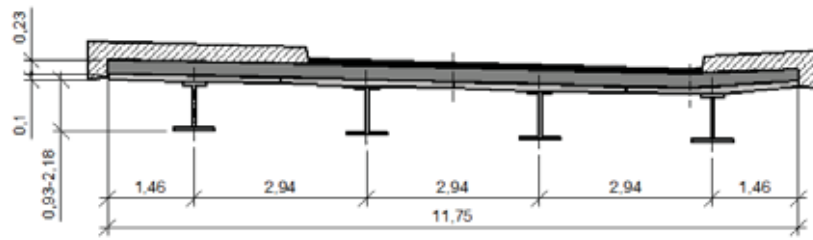
Cílem je zajistit ochranu proti korozi na návrhovou životnost mostu tj. 100 let. Ochranu a její údržbu je třeba naplánovat na celý životní cyklus mostu.

2.1.5 Definice případových studií

Dále je analyzován most z varianty A1 z textu I [2]. Jedná se o most přes dálnici o dvou dopravních pruhůch o rozpětí 45,25 m a šířce 11,75 m. Most tvoří čtyři ocelobetonové nosníky, viz Obrázek 13, z oceli S355 J2 s proměnnou výškou průřezu od 0,93 m ve středním rozpětí až po 2,18 m v opěrách. Trámy jsou vzdálené 2,94 m. Horní pásnice má šířku 400 mm a dolní 700 mm. Mostovka z C35/45 se skládá z 0,23 m tlusté in-situ betonované desky na prefabrikátech tloušťky 0,1 - 0,12 m.



a)


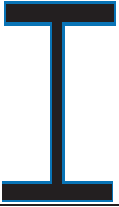
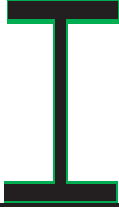


b)

Obrázek 13: Příklad D. Integrovaný ocelobetonový most
a) Podélný pohled; b) Průřez nosníky s proměnnou výškou

Tři studie konstrukčních variant ochrany proti korozi jsou shrnuty v tabulce 9, kde jsou uvedena opatření pro údržbu po životní cyklus mostu.

Tabulka 9: Most D

	Ochrana proti korozi	Údržba
	Varianta D1 Žárové zinkování (tloušťka 300 μm)	Žádná renovace během celého životního cyklu
	Varianta D2 Organická ochranná vrstva	Kompletní renovace protikorozi ochrany v 33. a 66. roce životního cyklu
	Varianta D3 Žárové zinkování (tloušťka 200 μm) a organická ochrana	Organický korozi povlak aplikován v 66. roce na zbytkový povlak žárového zinku

V tabulce 10 jsou shrnuty výsledky případové studie D.

Tabulka 10: Výsledky pro varianty D1, D2 a D3

Popis	D1	D2	D3	Jedn.	Cena na jedn. (Německo 2008)
Výkopy	4500	4500	4500	[€/m ³]	5.88
Doprava	2320	2320	2320	[€/m ³]	7.60
Beton základů C25 / 30	254	254	254	[€/m ³]	77.67
Opěry + piloty beton C30 / 37	746.20	746.20	746.20	[€/m ³]	84.47
Výztuž B500	90600	90600	90600	[€/kg]	0.99
Nosná konstrukce					
Konstrukční ocel S355 J2	81800	81800	81800	[€/kg]	2.49
Konstrukční ocel S355 J2 v provedení HL1000A	-	-	-	[€/kg]	2.49
Betonové prefabrikáty C30 / 37	58	58	58	[€/m ³]	588.73
Beton C35 / 45	144.20	144.20	144.20	[€/m ³]	84.47
Betonový předpjatý nosník C45 / 55	-	-	-	[€/m ³]	588.73
Výztuž B500	44600	44600	44600	[€/kg]	0.99
Spřáhovací trny	1382	1382	1382	[€/u]	2.31
Elastomerové ložisko	-	-	-	[€/u]	812
Válcové ložisko	-	-	-	[€/u]	750
Vozovka					
Asfaltové vrstvy	309	309	309	[€/m ²]	6
Hydroizolace	309	309	309	[€/m ²]	11.40
Svodidla	7429.20	7429.20	7429.20	[€/m ³]	1.9
Ochrana proti korozi					
Organické nátěry	-	896	896	[€/m ²]	25
Žárové zinkování (tloušťka 300μm)	896	-	-	[€/m ²]	22
Žárové zinkování (tloušťka 200μm)	-	-	896	[€/m ²]	21
PKO styčníků	8	-	8	[€/u]	1750

2.2 Scénáře a předpoklady analýzy životního prostředí v životním cyklu

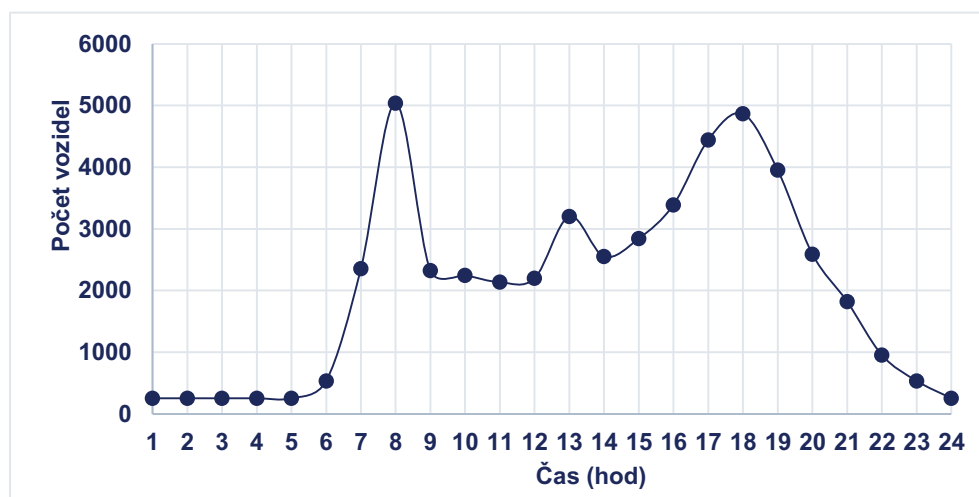
2.2.1 Analýza dopravy

V případové studii A jsou analyzovány nové mosty přes dálnici. Během etapy výstavby nedochází k omezení dopravy, a proto nejsou zohledněny emise. Na konci životního cyklu je provoz odkloněn na alternativní komunikace. Mostovka se skládá z jednoho dopravního pruhu pro každý směr a celý most je vybaven svodidly.

Během výstavby je provoz pod mostem ovlivněn omezením rychlosti a zúžením vozovky. Dopravní zácpy mohou mít dva dopady i) dopady způsobené přímými emisemi z vozidel a ii) dopady způsobené spotřebovaným množstvím paliva.

- *Doprava pod mostem*

Na dálnici je průměrný denní provoz (ADT) ve výchozím roce studie 49 485 vozidel/den. Předpokládá se, že podíl lehkých a těžkých vozidel je 88 % a 12 % ADT. Pro dálnici bylo předpokládáno časové rozdělení dopravy uvedené na obrázku 14.



Obrázek 14: Rozložení dopravy pro případové studie D1, D2 a D3.

Růst provozu v čase je popsán rovnicí (3), viz kap. 5.3 části A, díl I [2]. Uvažuje se 0,5 % růst. Růst dopravy pro 100 let uveden v tabulce 11.

Obrázek 14: Rozložení hodinové dopravy pro případové studie D1, D2 a D3.

	Základní rok	Základní rok+ 50 let	Základní rok + 100 years
Vozidel/den ADT	49 485	63 500	81 485

- *Doprava na mostě*

Předpokládá se, že most bude převádět průměrnou denní dopravu (ADT) ve výši 8 000 vozidel/den a bude lineárně růst po dobu 100 let, jak je uvedeno v tabulce 12.

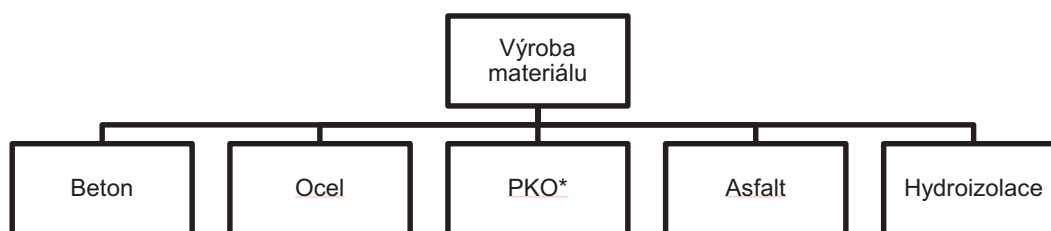
Tabulka 12: Odhadovaný průměrná denní provoz (ADT) přes most

	Základní rok	Základní rok+ 50 let	Základní rok + 100 years
Vozidel/den ADT	8 000	12 500	16 000

2.3 Environmentální analýza životního cyklu

2.3.1 Etapa výroby materiálu

Výroba materiálů pro stavbu mostu se uvažuje podle obrázku 15. Data byla shromážděna ze zdrojů v tabulce 5.



(*) Povlak se aplikuje pouze v případech D2 (obyčejný povlak z oceli) a D3 (duplexní systém: žárově pozinkovaný + potah nanášený v roce 66).

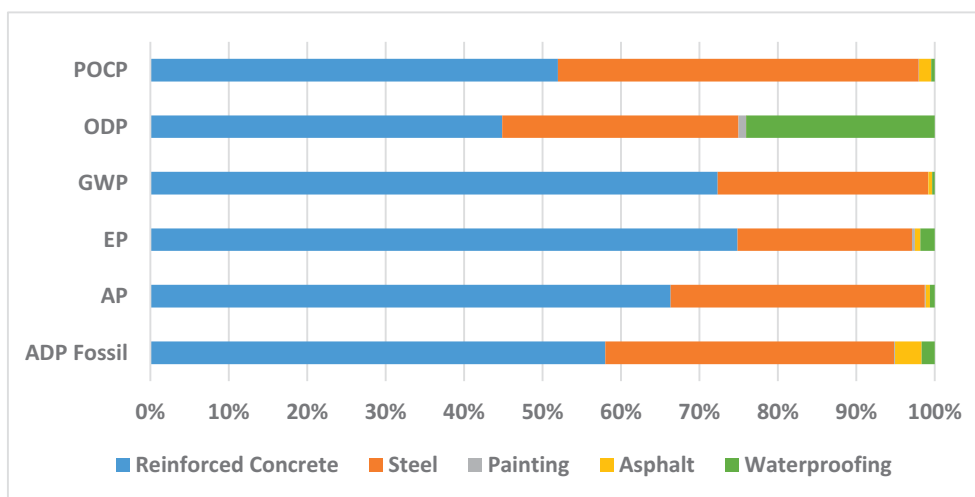
Obrázek 15: Etapa výroby materiálu

- *Environmentální analýza variant D1 a D3*

Výsledky pro fázi výstavby jsou uvedeny v tabulce 13 a na Obrázek 16. Výroba konstrukční oceli a železobetonu jsou hlavními procesy, které přispívají ke globálním dopadům ve fázi výroby materiálu.

Tabulka 13: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu podle kategorií [D1 & D3]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Beton	Ocel	Nátěr	Asfalt	Vodotěsná vrstva
ADP Fossil	MJ	5,60E+06	3,25E+06	2,06E+06	4,99E+03	1,90E+05	9,41E+04
AP	Kg SO2 eq	1,65E+03	1,10E+03	5,36E+02	1,73E+00	8,84E+00	9,84E+00
EP	Kg PO4 eq	1,60E+02	1,20E+02	3,57E+01	6,18E-01	1,11E+00	2,91E+00
GWP	Kg CO2 eq	7,60E+05	5,50E+05	2,04E+05	2,85E+02	3,79E+03	2,27E+03
ODP	Kg R11 eq	3,94E-03	1,77E-03	1,19E-03	3,90E-05	3,18E-09	9,46E-04
POCP	Kg C2H4	2,14E+02	1,11E+02	9,83E+01	8,05E-02	3,35E+00	9,17E-01



(*) Výsledky pro PKO pocházejí z nátěrů aplikovaných na zádržná zařízení (zábradlí), nikoli z konstrukčních prvků

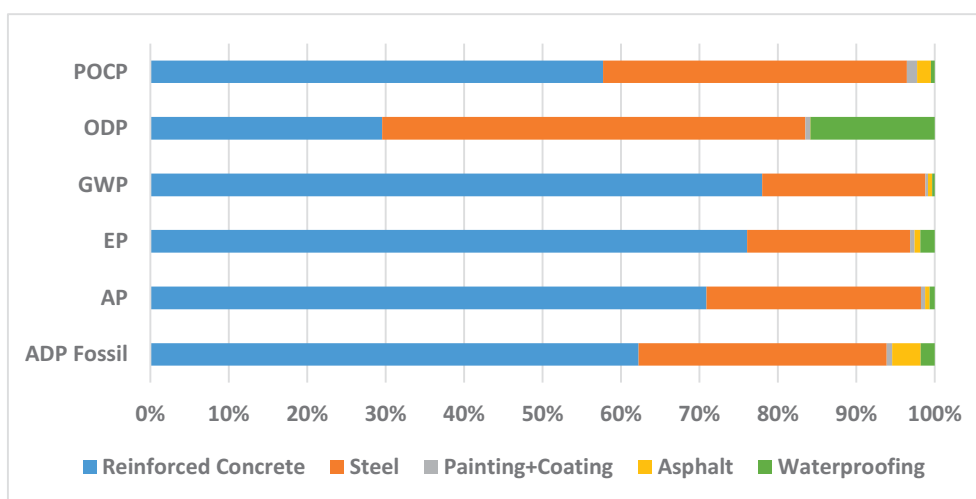
Obrázek 16: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu podle kategorií [D1 & D3]

- *Environmentální analýza varianty D2*

Výsledky pro variantní případovou studii D2 jsou uvedeny na obrázku 17 a v tabulce 14. Tabulka 15 uvádí odchylky od referenční případové studie D1. Příspěvek změny typu oceli je zvýrazněn v tabulce 16

Tabulka 14: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu podle kategorie [D2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Beton	Ocel	Nátěr	Asfalt	Vodotěsná vrstva
ADP Fossil	MJ	5,22E+06	3,25E+06	1,65E+06	3,48E+04	1,90E+05	9,41E+04
AP	Kg SO2 eq	1,54E+03	1,10E+03	4,22E+02	7,97E+00	8,84E+00	9,84E+00
EP	Kg PO4 eq	1,58E+02	1,20E+02	3,28E+01	9,21E-01	1,11E+00	2,91E+00
GWP	Kg CO2 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 C2H4	1,92E+02	1,11E+02	7,45E+01	2,51E+00	3,35E+00	9,17E-01



Obrázek 17: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu podle kategorie [D2]

Tabulka 15: Environmentální dopady D2 ve fázi výroby materiálu ve vztahu k D1

Kategorie dopadu	Jednotka	Studie D1	Studie D2	Změna vzhledem k D1
ADP Fossil	MJ	5,60E+06	5,22E+06	-6,8%
AP	Kg SO2 eq	1,65E+03	1,54E+03	-6,5%
EP	Kg PO4 eq	1,60E+02	1,58E+02	-1,6%
GWP	Kg CO2 eq	7,60E+05	7,04E+05	-7,3%
ODP	Kg R11 eq	3,94E-03	5,98E-03	+51,8%
POCP	Kg C2H4	2,14E+02	1,92E+02	-10,0%

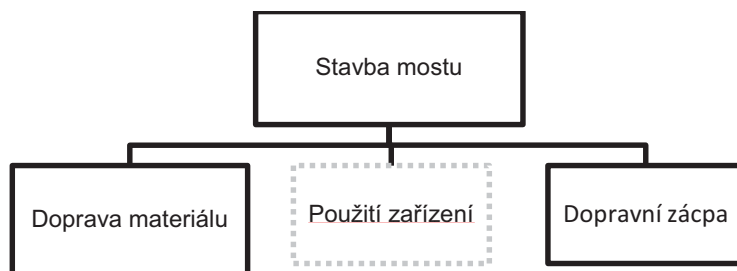
Tabulka 16: Environmentální dopady D2 ve fázi výroby materiálu vzhledem k D1 [pouze ocel]

Kategorie dopadu	Jednotka	Studie D1	Studie D2	Změna vzhledem k D1
ADP Fossil	MJ	2,06E+06	1,65E+06	-19,9%
AP	Kg SO2 eq	5,36E+02	4,22E+02	-21,1%
EP	Kg PO4 eq	3,57E+01	3,28E+01	-8,1%
GWP	Kg CO2 eq	2,04E+05	1,47E+05	-28,1%
ODP	Kg R11 eq	1,19E-03	3,23E-03	+171,9%
POCP	Kg C2H4	9,83E+01	7,45E+01	-24,2%

Ve fázi výroby materiálu pro případ D2 jsou beton a ocel hlavním přispěvatelem pro emise (> 80% celkem). Ve srovnání s variantou D1 byly ve variantě D2 sníženy dopady každé kategorie s výjimkou ODP. Výroba žárově pozinkované oceli zahrnuje další krok, tj. máčení v zinkové lázni, což vedle k přírůstkům.

2.3.2 Etapa výstavby

Etapa výstavby zohledňuje stavbu mostu. Na obrázku 18 je vidět vliv dopravy materiálů na stavbu podle vzdáleností v tabulce 6.



Obrázek 18: Etapa výstavby

Kvůli nedostatku údajů nebyla při analýze zohledněna doprava stavebních zařízení. Jsou analyzovány pouze dopravní zácpy způsobené stavební činností.

Během výstavby dochází k ovlivnění provozu pod mostem omezením rychlosti dopravy a zúžením vozovky. Dopravní zácpy z důvodu pracovní činnosti v okolí mostu mají dva hlavní typy dopadů: i) dopady způsobené přímými emisemi z vozidel a ii) dopady způsobené spotřebovaným množstvím paliva. Dopady způsobené přímými emisemi z vozidel jsou kvantifikovány na základě modelu QUEWZ-98 [17]. Model fronty a hodnocení nákladů jsou klasifikovány pomocí dopravních toků a umožňuje odhadnout náklady pro uživatele silnic a znečištění ovzduší uzavíráním dopravních pruhů. Dopady způsobené zvýšením spotřeby paliva jsou kvantifikovány na základě údajů z GaBi [16]. V obou případech se kvantifikují rozdíly dopady vozidel procházejících pracovní zónou a dopady vozidel projíždějících zónou bez zpoždění v důsledku pracovní činnosti.

- *Doprava nad a pod mostem*

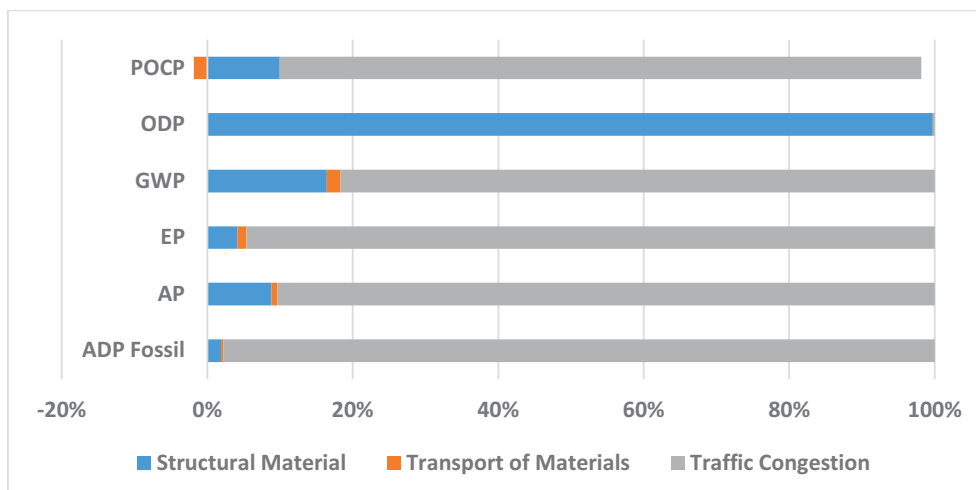
Všechny mosty v této případové studii jsou nové. Provoz na dálnici pod mostem je ovlivněn omezením rychlosti dopravy nebo zúžením vozovky. Průměrný denní provoz dálnice v průběhu etapy výstavby mostového mostu se uvažuje jako 49 485, viz 2.2.1. Doba výstavby je pro všechny tři mosty stejná. Proces výstavby trvá 154 dní. Jedná o paralelní stavební činnost. Během procesu výstavby bude pod jedním mostem omezen jeden pruh.

- *Environmentální analýza D1, D2 a D3*

Stejný most je zde analyzován s různou ochranou proti korozi. Dopad na životní prostředí tří variant je stejný. Výsledky pro etapu výstavby jsou uvedeny v tabulce 17 a zobrazeny na obrázku 19. Dopravní omezení tvoří více než 80% environmentálních dopadů, kromě ODP.

Tabulka 17: Environmentální analýza studií D1-D3

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Konstrukční materiál	Doprava materiálu	Dopravní zácpa
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	2,23E+05	3,37E+04	1,15E+07
AP	Kg SO2 eq	6,43E+02	5,66E+01	5,46E+00	5,81E+02
EP	Kg PO4 eq	1,03E+02	4,28E+00	1,30E+00	9,78E+01
GWP	Kg CO2 eq	1,30E+05	2,13E+04	2,45E+03	1,06E+05
ODP	Kg R11 eq	1,48E-04	1,48E-04	8,20E-10	3,66E-07
POCP	Kg C2H4	9,11E+01	9,41E+00	-1,72E+00	8,34E+01



Poznámka: Důvodem záporné hodnoty v POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají vliv na ekologickou kategorii POCP [3]. Viz oddíl 1.4.6.

Obrázek 19: Environmentální analýza studií D1, D2 a D3

2.3.3 Etapa provozu

Jednotlivé sledované případy se liší způsobem ochrany proti korozi. Způsob obnovy pro jednotlivé protikorozi ochrany je uveden v tabulce 9. Vliv na životní prostředí z ostatních materiálů je ve všech třech případech stejný, viz tabulka 18.

Tabulka 18: Environmentální dopady materiálů v provozním stádiu

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Povrchová vrstva	Betonová deska	Izolace	Dopravní zácpa
ADP Fossil	MJ	5,27E+06	9,53E+05	7,50E+04	1,88E+05	4,06E+06
AP	Kg SO ₂ eq.	3,08E+02	4,49E+01	3,74E+01	1,97E+01	2,06E+02
EP	Kg PO ₄ eq.	5,15E+01	5,73E+00	5,28E+00	5,81E+00	3,46E+01
GWP	Kg CO ₂ eq.	8,63E+04	1,93E+04	2,49E+04	4,54E+03	3,76E+04
ODP	Kg R11 eq.	1,89E-03	1,60E-08	1,63E-07	1,89E-03	1,30E-07
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,96E+01	1,65E+01	1,64E+00	1,83E+00	2,95E+01

Vliv korozní ochrany je popsán v tabulce 19. Tabulka 20 srovnává celkové dopady na životní prostředí během provozu.

Tabulka 19: Ekologické dopady ochrany proti korozi ve fázi provozu

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

Tabulka 20: Srovnání dopadů pro studie D1, D2 a D3 na životní prostředí ve fázi provozu

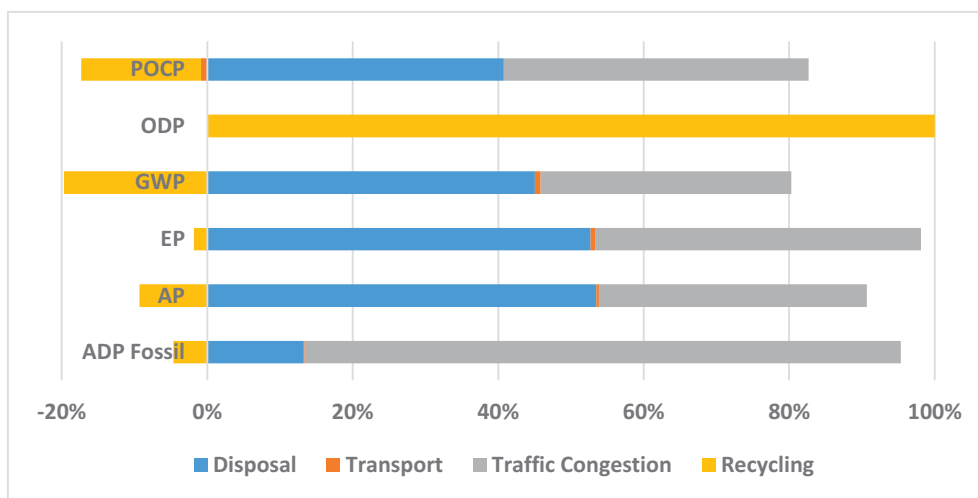
Kategorie	Jednotka	D1	D2	Δ(D1,D2)	D3	Δ(D1,D3)
ADP Fossil	MJ	5,27E+06	7,36E+06	+39,6%	6,40E+06	+21,4%
AP	Kg SO ₂ eq	3,08E+02	4,23E+02	+37,5%	3,70E+02	+20,2%
EP	Kg PO ₄ eq	5,15E+01	6,94E+01	+34,9%	6,12E+01	+18,9%
GWP	Kg CO ₂ eq	8,63E+04	1,09E+05	+26,2%	9,84E+04	+14,1%
ODP	Kg R11 eq	1,89E-03	1,89E-03	+0,0%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

Pro referenční případ D1 není třeba údržba PKO, tedy i emise budou nulové. V případě D2 pro nosné ocelové konstrukce jsou během životnosti mostu třeba dvě obnovy vrstev korozní ochrany organickým povlakem (33 a 66 rok provozu). Ve srovnání s případem D1 je rozdíl 30 %. Varianta D3 vyžaduje jednu obnovu PKO v roce 66, což k referenčnímu D1 dopady navyšuje o 16 %. Varianta D3 snižuje dopady vůči D2 o 10,1 %.

2.3.4 Konec životnosti

- *Environmentální analýza referenčního případu D1 a D3*

Varianty D1 a D3 jsou po skončení životnosti stejné. Emise jsou shrnuty na obrázku 20, Záporné hodnoty jsou důsledkem recyklace.

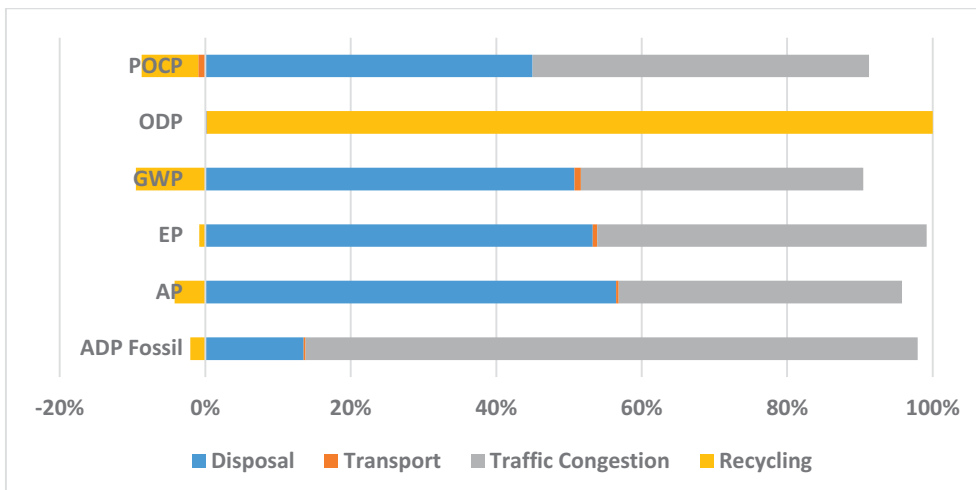


Obrázek 20: Analýza na konci životnosti, varianta D1

Likvidace má velký dopad do všech kategorií, mimo fosilních paliv ADP. Druhým významným faktorem je vliv dopravních omezení. Recyklace přispívá pozitivně do všech dopadových kategorií mimo ODP, kde má malý dopad o velikosti 10^{-3} .

- *Environmentální analýza varianty D2*

Jak je patrné z obrázku 21, uložení odpadu přispívá do většiny dopadových kategorií s výjimkou fosilních paliv ADP. Druhým významným faktorem je vliv dopravních omezení. Recyklace přispívá pozitivně do všech dopadových kategorií mimo ODP.

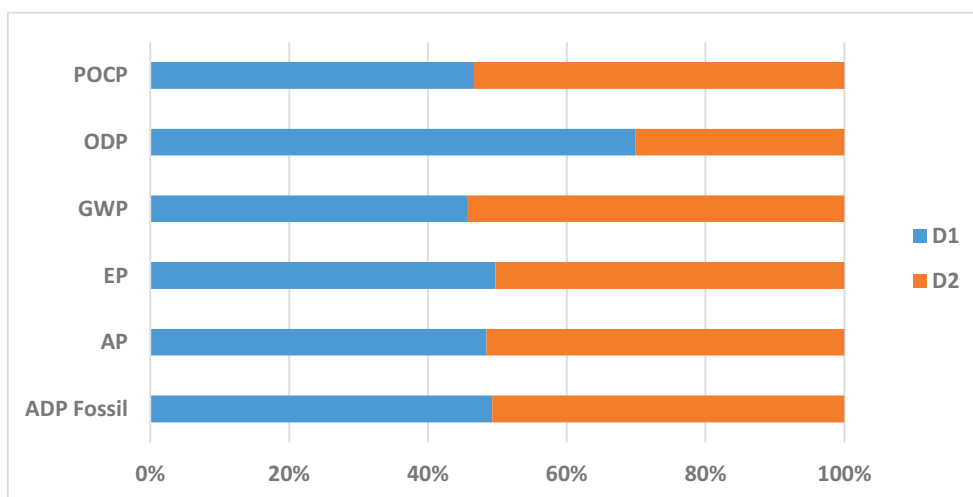


Obrázek 21: Analýza na konci životnosti, varianta D2

Celkové emise pro variantu D2 jsou uvedeny v tabulce 21. Tabulka shrnuje odchylky výsledků této varianty od varianty D1, ta je dále zobrazena na obrázku 22.

Tabulka 21: Změna při ukončení životnosti vzhledem ke studii D1

Kategorie dopadu	Jednotka	D1	D2	Změna vzhledem k D1
ADP Fossil	MJ	2,44E+07	2,51E+07	+2,9%
AP	Kg SO2 eq	2,49E+03	2,65E+03	+6,5%
EP	Kg PO4 eq	4,06E+02	4,11E+02	+1,1%
GWP	Kg CO2 eq	3,68E+05	4,37E+05	+18,6%
ODP	Kg R11 eq	3,81E-03	1,64E-03	-57,0%
POCP	Kg C2H4	2,52E+02	2,88E+02	+14,4%



Obrázek 22: Relativní příspěvky D1 a D2 na konci životnosti

Varianta D2 má zvýšené dopady na konci životnosti v porovnání s variantami D1 a D3 ve všech kategoriích s výjimkou ODP. Výsledek odpovídá hodnotám pro žárově zinkované konstrukce na konci životnosti ve srovnání s nezinkovanými podle údajů EPD viz 1.4.1.

2.3.5 Výsledky analýzy životního cyklu životního prostředí

- *Celkové výsledky životního cyklu pro případ D1*

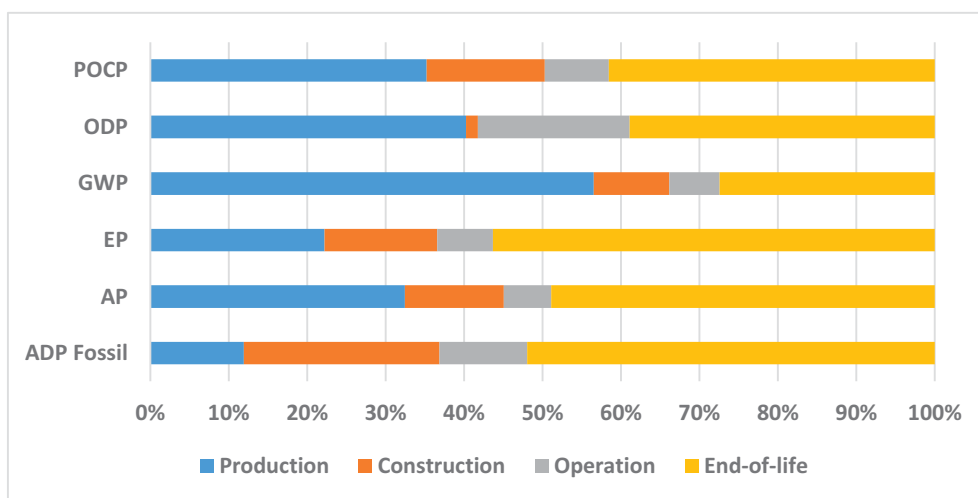
V předchozích částech byly prezentovány dílčí výsledky. Dále jsou v tabulce 22 výsledky jednotlivých variant porovnány podle dopadů pro práce ve dne a scénář běžné údržby.

Tabulka 22: Celkové výsledky pro celý životní cyklus

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Výroba	Konstrukce	Provoz	Konec životnosti
ADP Fossil	MJ	4,70E+07	5,60E+06	1,17E+07	5,27E+06	2,44E+07
AP	Kg SO ₂ eq	5,09E+03	1,65E+03	6,43E+02	3,08E+02	2,49E+03
EP	Kg PO ₄ eq	7,22E+02	1,60E+02	1,03E+02	5,15E+01	4,06E+02
GWP	Kg CO ₂ eq	1,34E+06	7,60E+05	1,30E+05	8,63E+04	3,68E+05
ODP	Kg R11 eq	9,79E-03	3,94E-03	1,48E-04	1,89E-03	3,81E-03
POCP	Kg C ₂ H ₄	6,06E+02	2,14E+02	9,11E+01	4,96E+01	2,52E+02

Abychom lépe porozuměli přínosu každé etapy k agregovanému výsledku, jsou tyto výsledky také uvedeny na obrázku 23.

Nejvíce přispívají ve všech kategoriích dopadů materiálová produkce (33,1%) a konec životnosti (44,2%). Provozní etapa má nejmenší dopad ve výši 9,7%, zatímco etapa výstavby přispívá k celkovému dopadu na životní prostředí o 13%.



Obrázek 23: Celkové výsledky pro celý životní cyklus [D1]

- *Porovnání celkových životních dopadů na životní prostředí*

Výsledky získané ze studií D2 a D3 jsou shrnuty v tabulce 23 pro práci ve dne. Jsou vidět dopady pro variantu D1.

Tabulka 23: Srovnání vlivu na životní prostředí varianty D1 s variantami D2 a D3

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

Na srovnání s variantou D1 jsou vidět přínosy pro životní prostředí. Pro případ D2 a D3 jsou dopady vyšší o 3,1 % a 1,3 %.

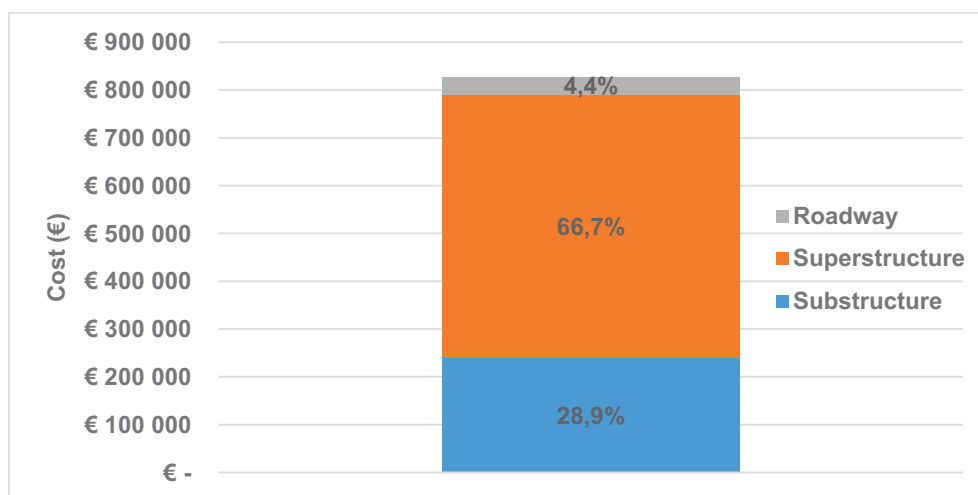
2.4 Analýza nákladů na životní cyklus

2.4.1 Počáteční stavební náklady

Kromě nákladů na ochranu proti korozi jsou počáteční náklady v této kapitole stejné, viz tabulka 10. Počáteční náklady, včetně nákladů na dopravu, jsou uvedeny v tabulce 24. Poměr nákladů je doložen na obrázku 24. Poměr pro varianty D2 a D3 je přibližně stejný.

Tabulka 24: Porovnání počátečních nákladů na D2 a D3 s náklady na D1

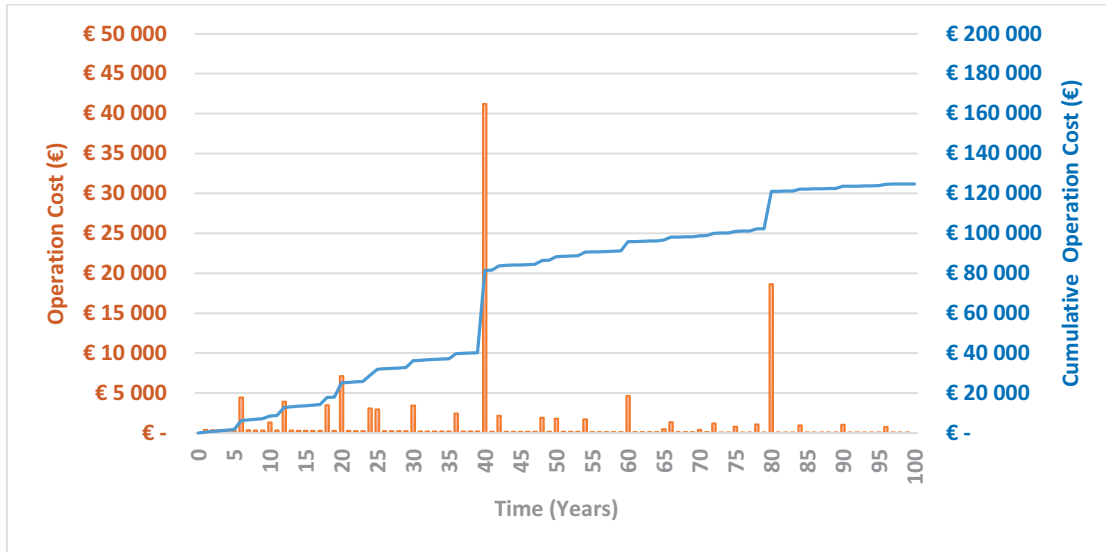
	D1	D2	$\Delta(D1,D2)$	D3	$\Delta(D1,D3)$
Initial Cost (€)	847071,09	835759,1	-1,3%	846175,1	-0,1%
Cost per area (€/m ²)	1593,2	1571,9		1591,5	



Obrázek 24: Počáteční cena varianty D1

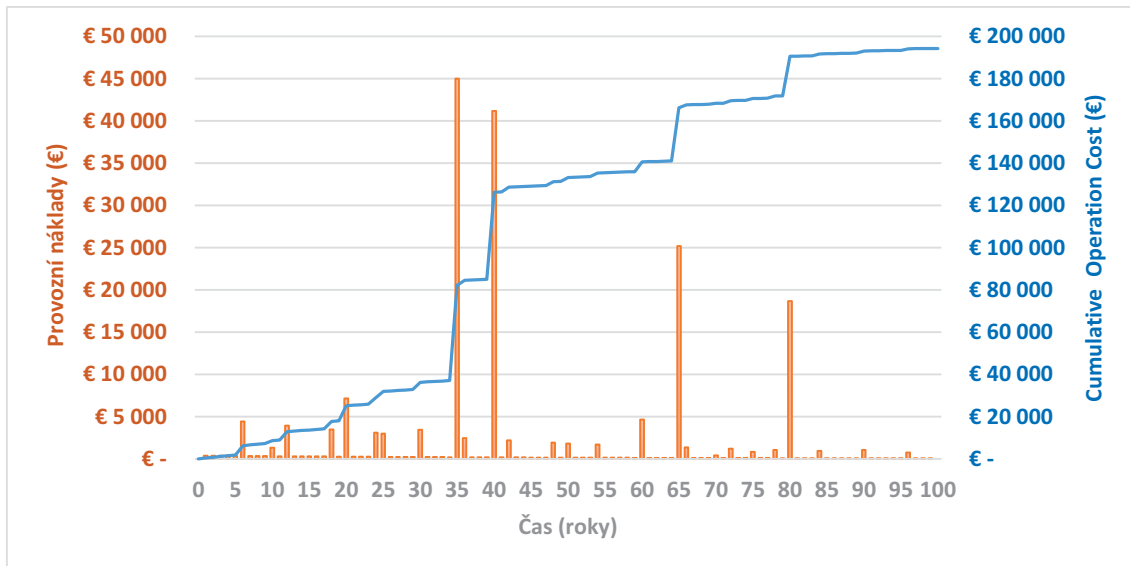
2.4.2 Provozní náklady

Provozní náklady jsou uvedeny na obrázcích 25 až 28. Počítá se s v současných hodnotách s diskontní sazbou 2%.

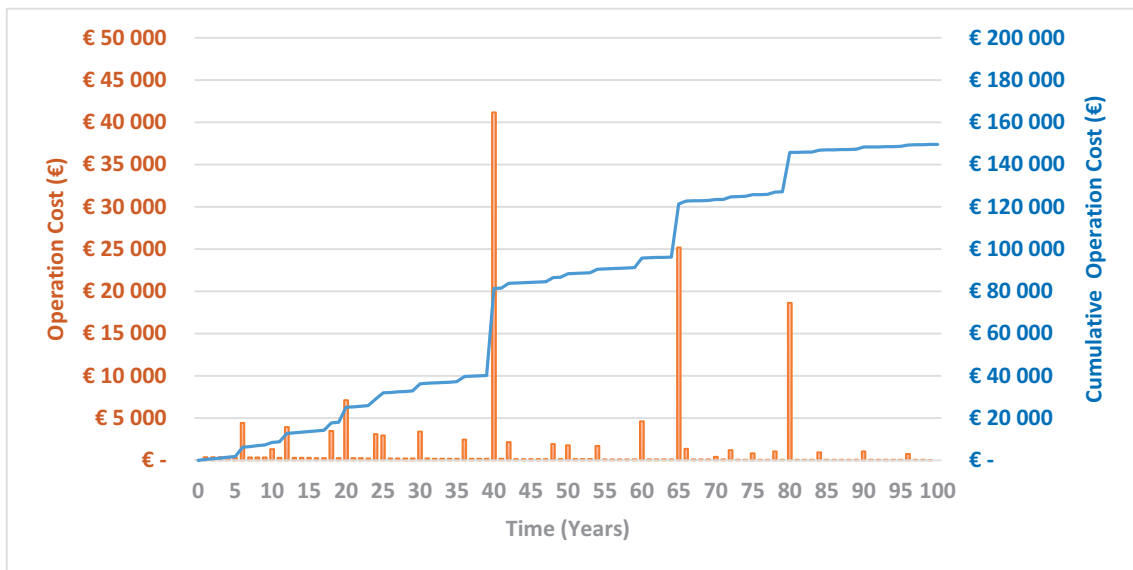


Obrázek 25: Provozní náklady na variantu D1

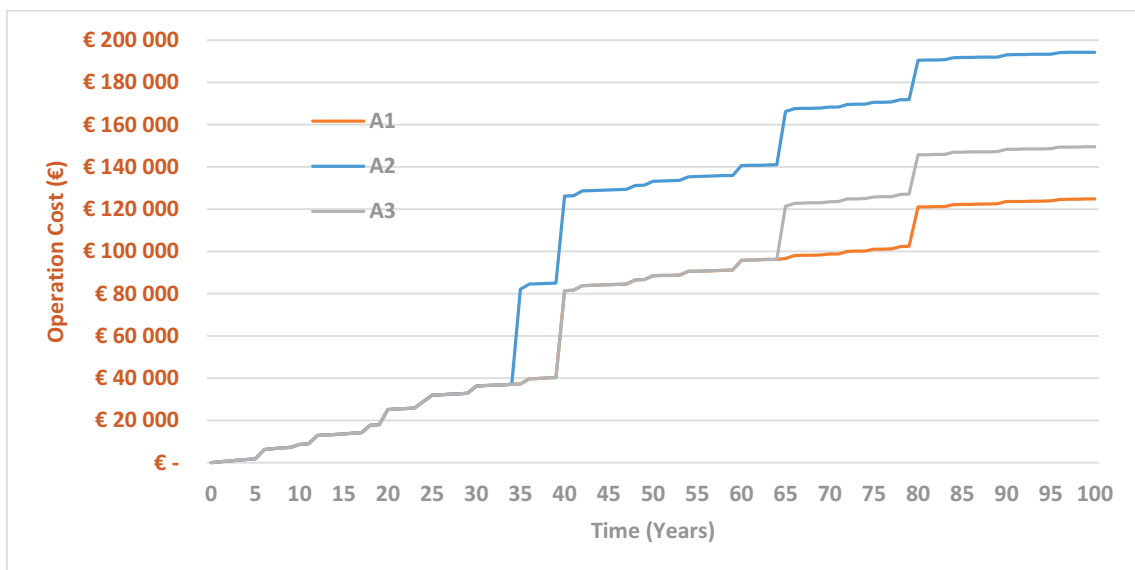
Pro 100 let se v příkladech předpokládá, že mosty budou udržovány podle plánu v tabulce A1 přílohy, pro scénář standardní údržby. Varianta D1 využívá zároveň zinkované nosníky, které nebudou potřebovat údržbu po celou dobu životnosti mostu. Ve variantě D2 se na druhé straně provádí dvě kompletní výměny antikorozičních ochranných vrstev v 33 a 66 roce života mostu. Systém duplexního povlaku používaný ve variantě D3 uvažuje jednorázovou údržbu protikoroziční vrstvy v roce 66.



Obrázek 26: Provozní náklady na D2 během jeho životnosti



Obrázek 27: Provozní náklady na D3 během jeho životnosti



Obrázek 28: Srovnání provozních nákladů mezi D1, D2 a D3

Varianta D1 z žárově zinkovaných nosníků snižuje ve srovnání s ostatními dvěma variantami provozní náklady. Dále pak duplexní nátěr ve variantě D3 je lepší než varianta D2

2.4.3 Náklady na konci životnosti

- *Analýza všech případových studií (D1, D2 a D3)*

Konec životnosti je stejný pro všechny tři mosty, protože jediný rozdíl je ochraně proti korozi. Přehled nákladů na konec životnosti mostů ve variantách D1, D2 a D3 je uveden v tabulce 25.

Tabulka 25: Náklady na konec životnosti pro D1, D2 a D3

Materiál	Váha (t)	Náklady na likvidaci nebo hodnotu šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	226,382	-2417,01	50	46,87
Beton	3096,24	4273,83	50	641,07
Zemina	13640	94138,48	10	564,83
Izolace	55,62	383,87	20	4,61
Celkem		98,21		0,00
Mezisoučet (€)				97734,77
Cena za demolici (€)				7339,04
Celkem (€)				105073,81

(*) Vzhledem k nákladům na zrecyklaci betonu ve výši 10 EUR/t, při hodnotě 100 EUR/t a při přepravě ve výši 0,03 EUR/t/km.

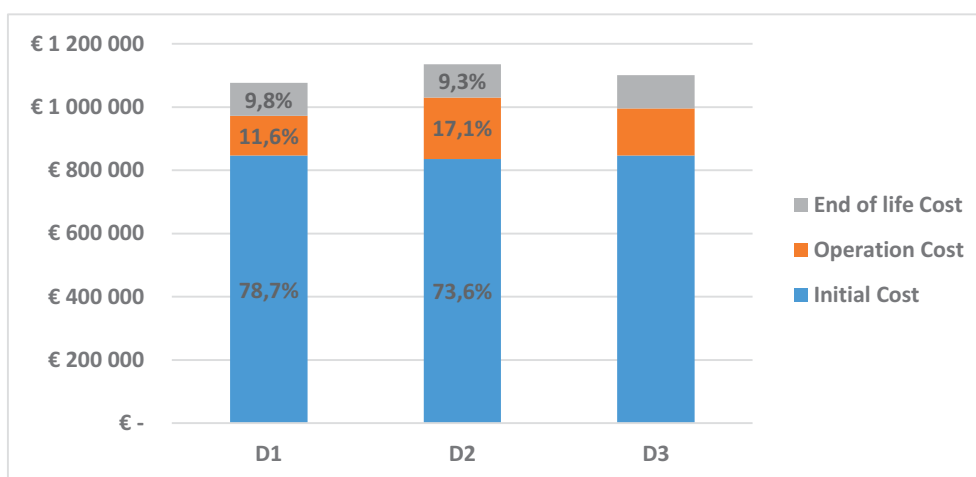
(**) Výše vypočtené množství oceli zahrnuje jak ocelovou výztuž, tak konstrukční ocelové profily / plechy a spoje. Poznámka: Náklady jsou uvedeny v současné hodnotě stanovené podle rovnice 2 s diskontní sazbou 2 %.

2.4.4 Celkové náklady na životní cyklus

Přehled nákladů z předchozích kapitol umožní stanovení celkových čistých současných nákladů (LCC) pro diskontní sazby 2,0 %. Vypočtené hodnoty jsou shrnuty v tabulce 26 a ilustrovány na obrázku 29.

Tabulka 26: Celkové náklady na životní cyklus pro varianty D1, D2 a D3

Cena	D1	D2	$\Delta(D1,D2)$	D3	$\Delta(D1,D3)$
Počáteční (€)	847071,09	835759,1	-1,3%	846175,1	-0,1%
Provozní (€)	124765,74	194302,4	+55,7%	149499,9	+19,8%
Konec životnosti (€)	105073,81	105073,8	0%	105073,8	0%
Celkem bez nákladů uživatele (€)	1076910,64	1135135	+5,4%	1100749	+2,2%



Obrázek 29: Celkové náklady na životní cyklus pro varianty D1, D2 a D3

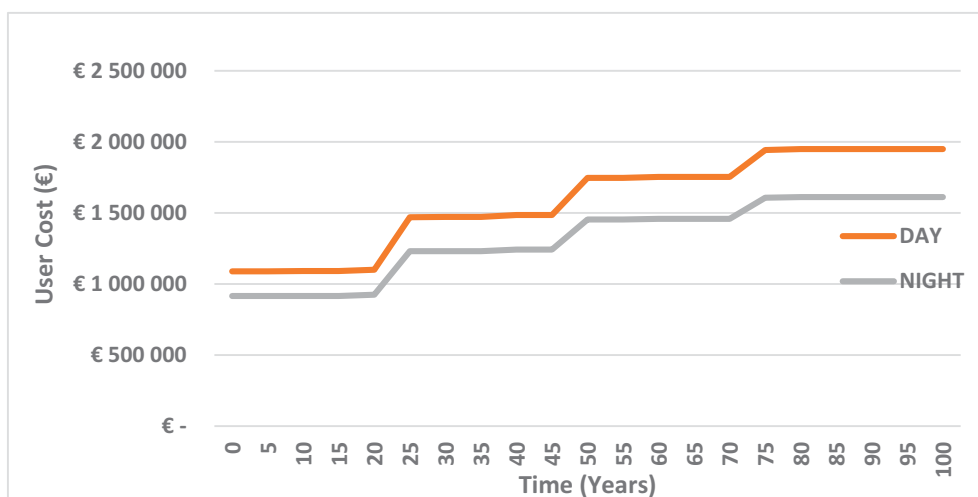
Počáteční náklady na výrobu a výstavbu jsou pro tři alternativy protikorozní ochrany podobné. Mírně příznivější je obyčejný nátěr oceli. Náklady na konec životnosti jsou stejné pro všechny tři varianty. První, tj. 300 mm žárově pozinkovaná ocel, však vykazovala výrazné snížení nákladů v provozní fázi. Druhá alternativa, která vyžadovala dvě úplné renovace vrstvy antikorozi ochrany organickým povlakem, vedla k vyšším provozním nákladům. Třetí alternativa, při níž byla přijata technologie duplexní PKO, je méně nákladná než druhá, ale je stále nákladnější než první alternativa. Závěrem lze říci, že žárově

zinkování ponorem se ukazuje jako nejlepší alternativa z hlediska celkových nákladů na životní cyklus.

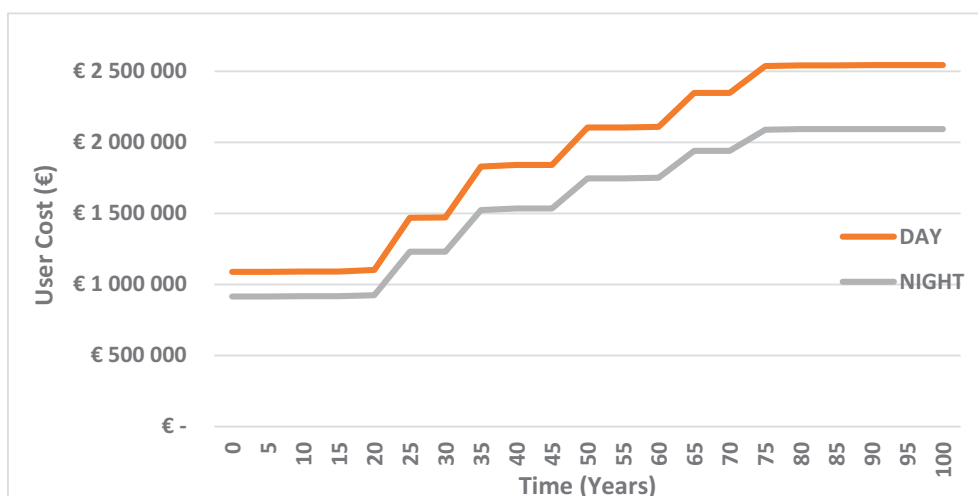
2.5 Sociální analýza

Pro výpočet uživatelských nákladů byly sledovány dva scénáře údržby: (i) Práce ve dne, většina aktivity probíhá během dne (od 6:00 do 22:00 hod.) a most má uzavřený pruh pro hlavní údržbu (výměna povrchu vozovky / izolace); (ii) Práce v noci, scénář je obdobný práci ve dne s tím rozdílem, že většina činností údržby probíhá v noci (od 22:00 do 18:00).

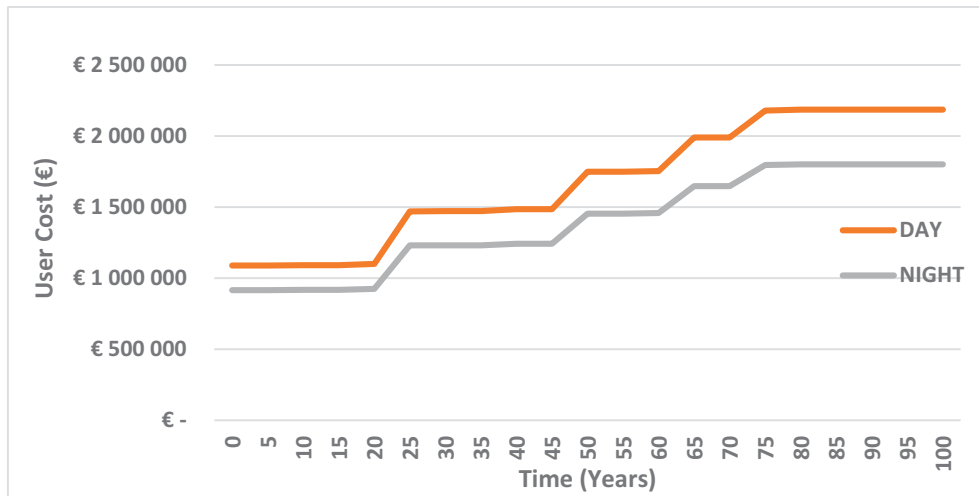
Obrázky 30 až 32 popisují uživatelské náklady variant D1, D2 a D3 pro práci ve dne a v noci. Pokud se pracuje v noci je méně provozu než během dne a uživatelé jsou spokojenější. Totéž platí pro varianty D2 a D3. Pro žárově zinkovaný most je třeba 101 dní údržby, zatímco organický povrch vyžaduje 119 dní. Varianta s duplexním povrchem trvá 110 dní údržby po celou dobu životnosti mostu. Obrázek 33 ukazuje, že první alternativa je nejlepší.



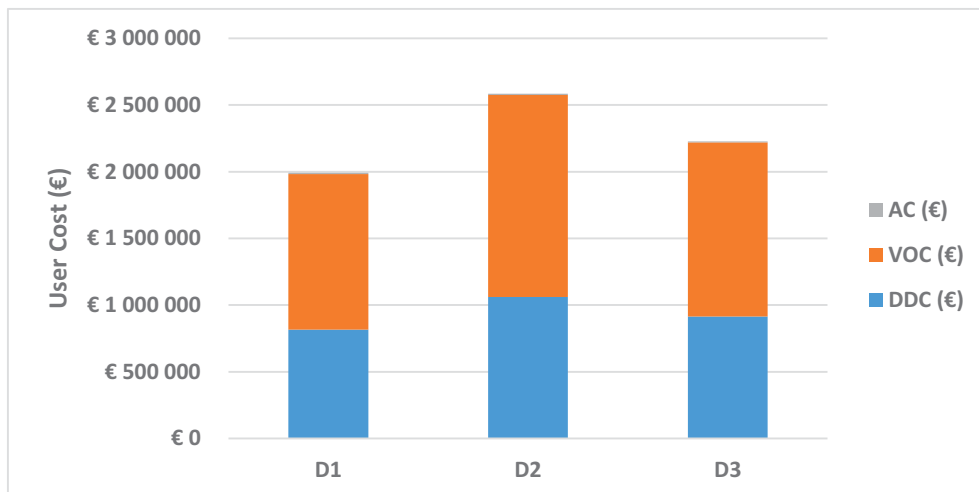
Obrázek 30: Uživatelské náklady pro variantu D1 se scénáři den a noc



Obrázek 31: Uživatelské náklady na variantu D2 se scénáři den a noc



Obrázek 32: Uživatelské náklady na variantu D3 se scénáři den a noc



Obrázek 33: Uživatelské náklady na varianty D1, D2 a D3 se scénáři den a noc

Uživatelské náklady pro variantu D1 jsou nižší o 29,8 % a o 11,9 % než u variant D2 a D3, viz tabulka 27

Tabulka 27: Uživatelské náklady na varianty D1, D2 a D3

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

2.6 Shrnutí výsledků variant D

Z environmentální analýzy životního cyklu plyne, že stadia výroby materiálu a konec životnosti převažují ve všech kategoriích. Tradiční nátěry vedou k vyšším dopadům na životní prostředí a k opakovaní údržby na korozní ochranu ocelových nosníků. Práce v noční směně snižují náklady nižší dopravou v noci.

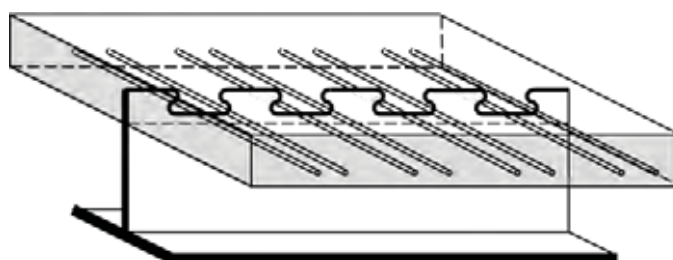
Počáteční náklady, tj. náklady na výrobu a výstavbu, mají všechny tři alternativy protikorozní ochrany podobné náklady. Nejnižší jsou u klasických nátěrů. Náklady na konci životnosti jsou stejné pro všechny tři alternativy. První alternativa, žárové zinkování 300 η m výrazně snižuje náklady při provozu. Po celou dobu životnosti není třeba ochranu obnovovat. Ochrana klasickým nátěrem vyžaduje dvě úplné obnovy PKO a vede k vyšším provozním nákladům. Duplexní úprava je nákladnější než klasický nátěr, ale levnější než žárové zinkování, které představuje z hlediska nákladů na celý životní cyklus nejlepší alternativu.

Sociální aspekty analýzy životního cyklu ukazují, že dopady na uživatele lze snížit prací v noci. Uživatelské náklady pro variantu D1 jsou o 29,8 % a o 11,9 % nižší než u variant D2 a D3. Uživatelské náklady tvoří více než 65 % z celkových nákladů na životní cyklus.

3 ŘEŠENÉ PŘÍKLADY - VARIANTA E – NOSNÍK PRECOBEAM

3.1 Obecný popis

PRECOBEAM (prefabrikovaný spřažený nosník) je konstrukční varianta vyvinutá v roce 2000. Umožňuje ekonomické řešení s válcovanými nosníky a velkou prefabrikací. Válcovaný I nosník je podélně rozříznut ve dva T průřezy řezem, který spřahuje T průřez s deskou bez použití spřahovacích prostředků.

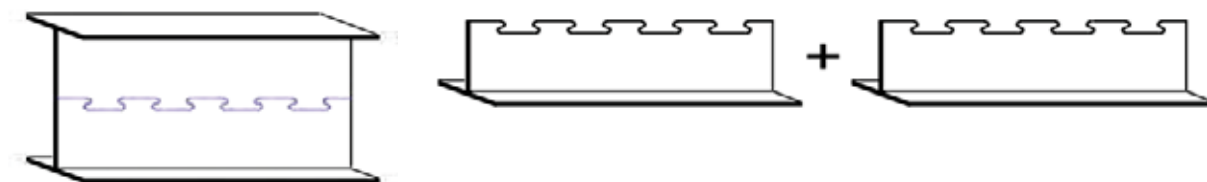


Obrázek 34: Alternativa spřažení byla navržena společností SSF Ingenieure, Mnichov

Metoda je flexibilní a nabízí spřažení průřezů podle konstrukčních požadavků. Systém Precobeam, který využívá kontinuálních spřahovací prvky u prefabrikovaných mostních nosníků, přináší konkurenceschopné a udržitelnou řešení s

- vysokou odolností pro náraz vozidel, zejména u mostů se dvěma nosníky,
- snížením povrchu korozivní ochrany,
- redukcí svařování,
- nižší nároky na údržbu a snadnou kontrolu.

Po řezání je nanesena ochrana proti korozi. V dalším kroku je v dílně nebetonována horní pásnice, čímž vznikne prefabrikovaný mostový prvek. Prefabrikované mostní prvky se transportují na staveniště, umístí na opěry a osadí se výztuž desky.



Obrázek 35: Schéma výroby spřažení pro Precobeam



Obrázek 36: Návrh a výroba spřažení Precobeam v dokončovací dílně společnosti ArcelorMittal

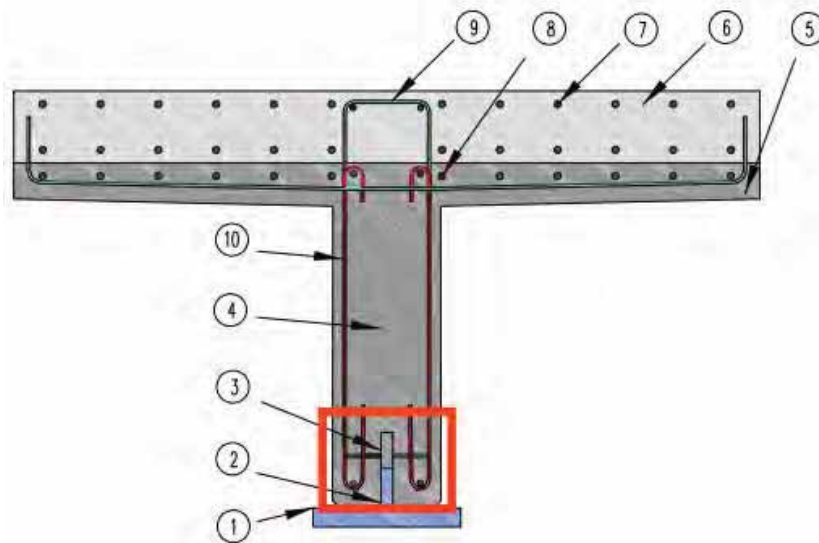
Spřahovací prostředky se umístí v horní nebo v dolní přírubě. Mají tvar clothoide (MCL) a puzzle, viz obrázek 37. Používají se oceli S235 až S460.



Obrázek 37: Tvar clothoide (MCL) a puzzle (PZ)

Nosník Precobeam se skládá z následujících prvků, viz obrázek 38:

- (1) Pásnice
- (2) Stojina
- (3) Spřahovací prvek
- (4) Prefabrikovaná stojina
- (5) Prefabrikovaná deska tloušťky 10-12 cm
- (6) Deska betonovaná in situ
- (7) Podélná výztuž in situ
- (8) Prefabrikovaná podélná výztuž
- (9) Příčná smyková výztuž
- (10) Kotvení výztuže



Obrázek 38: Popis hlavních částí nosníku Precobeam na jeho řezu

Výroba nosníku Precobeam sestává z operací

1. Řezání válcovaného nosníku kyslíkem
2. Povrchová úprava nosníku v mostárně
3. Montáž výztuže
4. Umístění ocelového nosníku do formy a betonáž prefabrikátu
5. Odbednění a přeprava spřaženého nosníku.
6. Prefabrikované nosníky mohou být přepravovány na staveniště.
7. Umístění nosníků na opěrách
8. Betonáž bez bednění

3.1.1 Výhody nosníků PRECOBEAM

Nosníky Precobeam kombinují výhody nosníků betonovaných in situ jako robustnost a štíhlost s nosníky VFT. Díky vysokému stupni automatizace při výrobě spřažení a díky k vysokému stupni prefabrikace se zkracuje doba výstavby. Horní monolitická část umožňuje sestavení ocelobetonových mostů s prostými nebo spojitými nosníky na rozpětí do 50 m o výšce $1/(15-30)$ rozpětí. Nosníky lze využít na nové mosty i na rekonstrukce při nahrazování stávajících mostů.

Systém Precobeam je materiálově úsporný. Konstrukční uspořádání s nosníky bez horního pásu umožní výhodné využití s tažené i tlačené části průřezu.

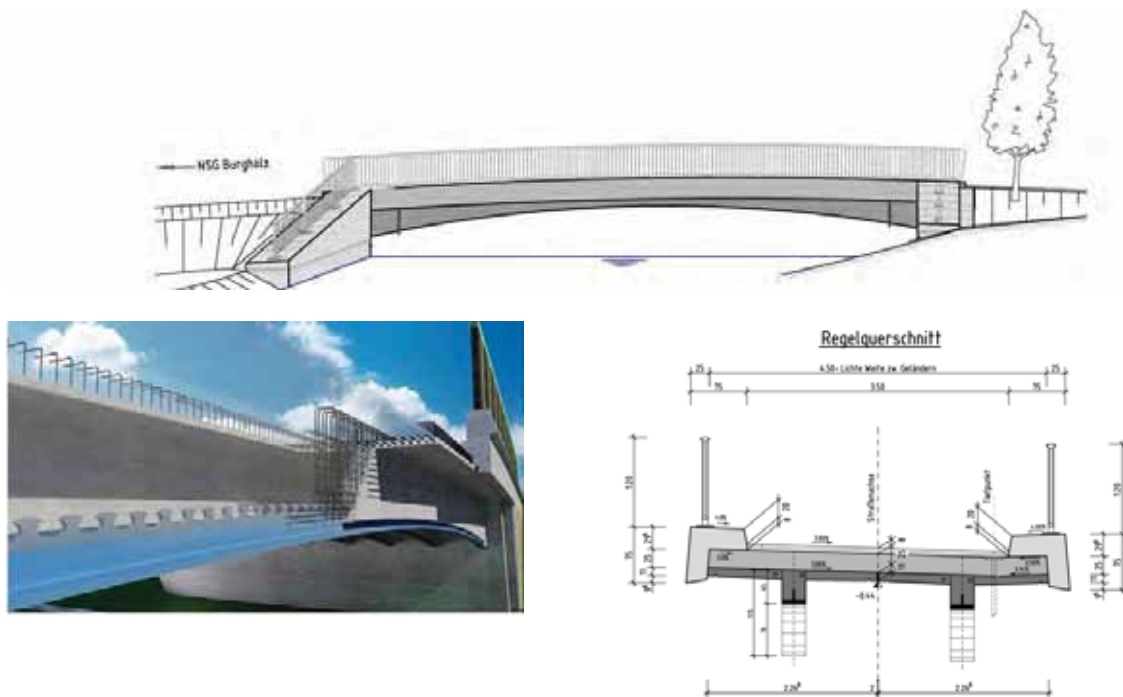
Díky rychlému a snadnému návrhu mostu lze minimalizovat náklady na výrobu a konstrukci nosníků Precobeam. Vysokou úroveň prefabrikace lze při montáži snížit uzavírky na minimum. Použití běžných válcovaných nosníků zvyšuje dostupnost a zkracuje dodací lhůty. Válcované průřezy omezují svařování v dílně. Pro výrobu bednění se využijí předpjatých

betonových prefabrikátů, které nevyžadují investice do bednění. Vzhledem k malé montážní hmotnosti nosníků lze použít obvyklé jeřáby.

Vedle výrobních nákladů má trvanlivost konstrukcí významný vliv na celkové náklady na životní cyklus. Trvanlivost lze zajistit robustní konstrukcí a s vysokými požadavky na kvalitu a kontrolu výroby. Systém Precobeam splňuje požadavky na trvanlivost zejména díky

- malým povrchům vystaveným korozi,
- robustností průřezu,
- vysokou kvalitou výroby zajištěnou velkým stupněm prefabrikace
- otevřenou snadno kontrolovatelnou konstrukcí.

3.1.2 Příklady mostů s nosníky PRECOBEAM



Obrázek 39: První žárově zinkovaný most PRECOBEAM
Elster most Halle-Osendorf (D) (SSF Ingenieure a ArcelorMittal)



Obrázek 40: Montáž mostu ve Vigaun, Rakousko

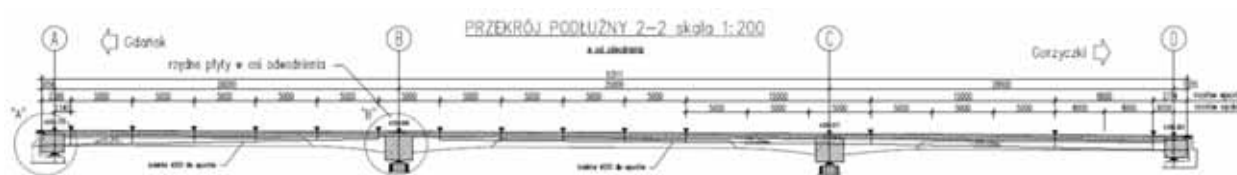


Obrázek 41: Využití ocelových plechů s proměnnou výškou na nosníky Precobeam,

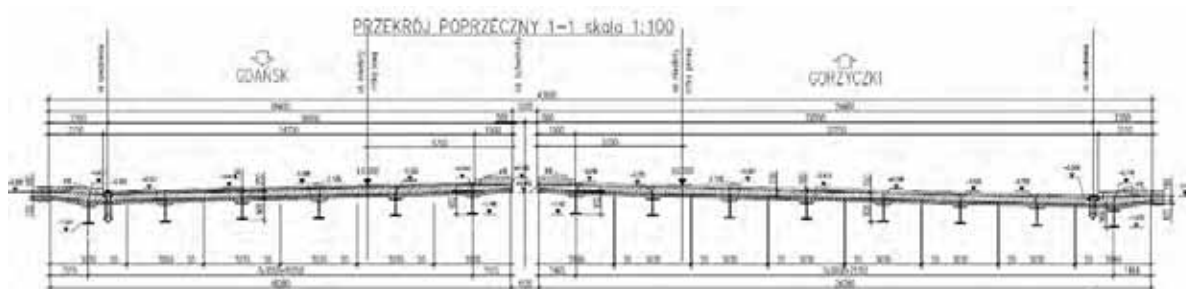
3.1.3 Rozsah případové studie

Varianta E1 – Most s nosníky PRECOBEAM

Varianta E1 popisuje most PRECOBEAM, který v Polsku spojuje města Gdaňsk a Gorzyczki. Silniční most se třemi poli (28 + 35 + 28 m) má délku 92,4 m. Průřez mostu do Gdaňska se liší od průřezu do Gorzyczki, viz obrázek 42 a obrázek 43. Část do Gdaňska má šířku 18,28 m a sestává ze šesti nosníků. Část do Gorzyczki má šířku 24,28 m a sestává z osmi nosníků.

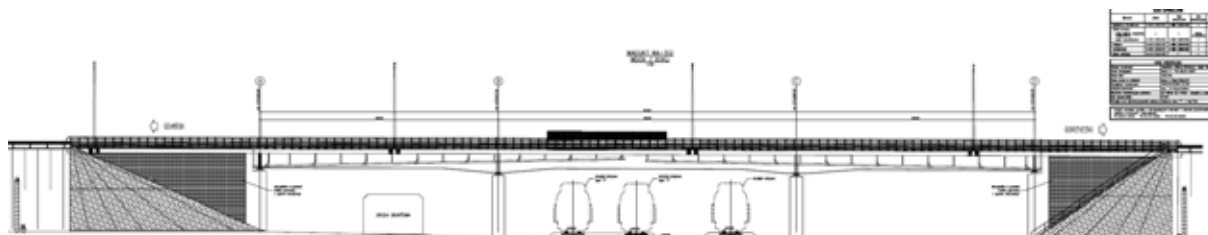


Obrázek 42: Most Precobeam na dálnici D1 objekt WA352 řešený variantou E1, podélný řez



Obrázek 43: Most Precobeam na dálnici D1 objekt WA352 řešený variantou E1, řezy

Most Precobeam na dálnici D1, objekt WA-352 ,přebírá část dopravy z vnitrostátních a místních komunikací. Přesouvá těžkou dopravy ze zastavěných oblastí, zkracuje doba cesty, přináší úspora paliva, zvyšuje jízdní komfort, snižuje rizika nehod, emisí výfukových plynů a hluku na stávajících silnicích a urychluje rozvoj sousedních oblastí.



Obrázek 44 Most Precobeam na dálnici D1 objekt WA352 varianta E1, pohled

Varianta E2 – Ocelobetonový spřažený most

Varianta E2 byla připravena pro zdůraznění výhod systému Precobeam. Řešení využívá prefabrikovaných spřažených prvků, tj. desky s částečně prefabrikovanými ocelobetonovými nosníky a betonovými příčnicími. Celková délka a šířka mostů Gdansk a Gorzyczki jsou stejné jako ve variantě E1. Hlavní nosníky jsou z HL 1000 za tepla válcované z oceli HISTAR 460.



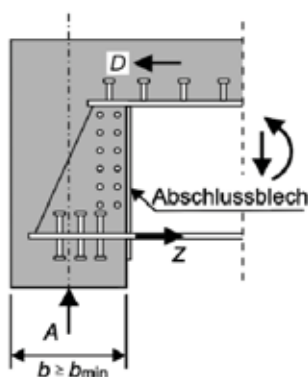
Obrázek 45: Prefabrikovaný ocelobetonový nosník, varianta E2

Obecně

Řešení s více nosníky a příčnými spojitými betonovými nosníky umožňuje snížit počet ložisek, což snižuje náklady na údržbu. Konstrukce byla navržena pro zatížení podle EN1991-2 pro kombinacemi zatížení též podle polských předpisů PN-85 / S-10030. Jednalo se o zatížení vozidla 958 kN, zatížení 4,0 kN/m² a zatížení chodci 2,5 kN / m². Bylo uvažováno zatížení teplotou a smršťováním a dotvarováním betonu. Neuvažovalo se se rozjezdem a brzděním vozidel a zatížením větrem. Pro návrh na únavu se předpokládala 100letá životnost mostu. Rovněž bylo zohledněno sedání podpor o 10 mm. Byl analyzován obdélníkový tvar mostu bez zkosení.

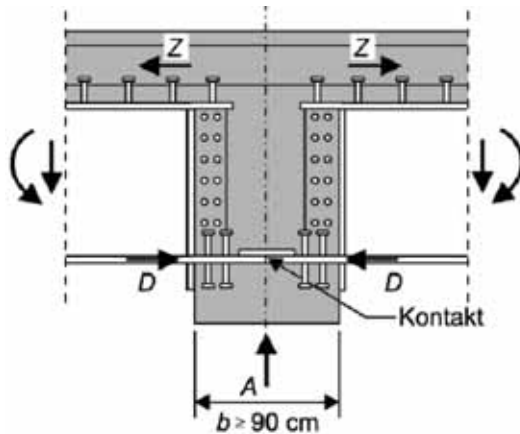
Etapa výstavby

Ocelobetonovou konstrukci tvoří prefabrikované betonové pásnice tloušťky 120 mm, které jsou in situ nadbetonovány 250 mm betonem třídy C35/45. Betonové příčné nosníky jsou betonovány současně s deskou. Při montáži je zajistit příčné stabilizaci nosníků, aby se zabránilo klopení. Koncové příčné nosníky na opěrách jsou spřaženy s nosníky, viz obrázek 46.

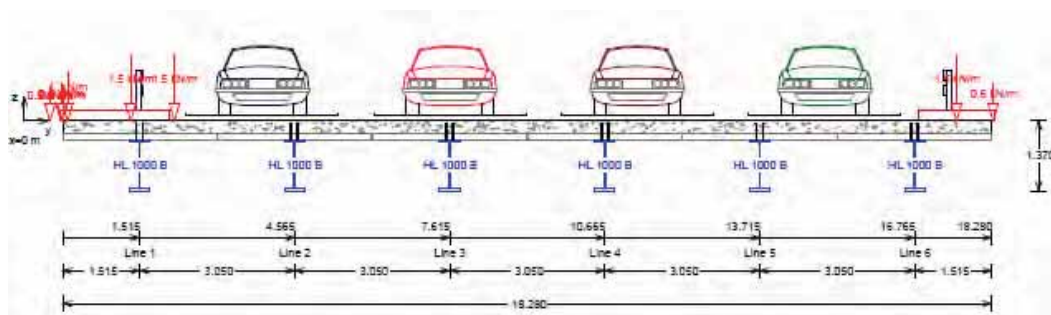


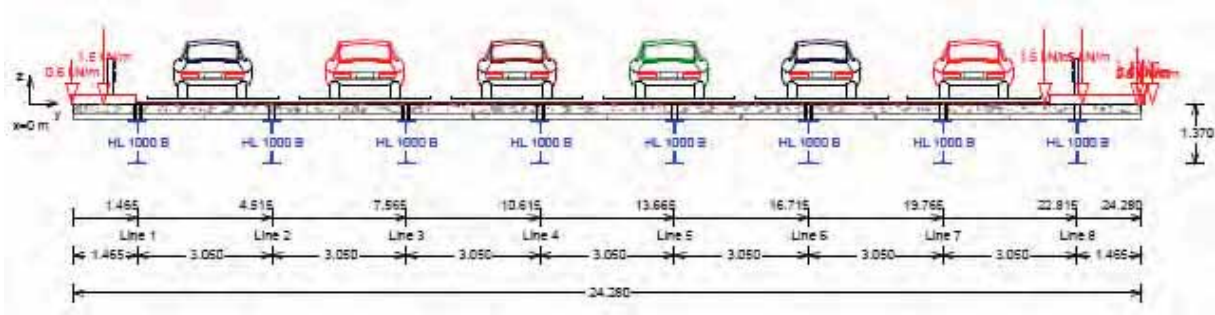
Obrázek 46: Koncové příčné nosníky

Spojitosť hlavních nosníků je u dolní pásnice řešena čelními deskami se spřahovacími trny spojitou výztuží, viz obrázek 47. Kladné momenty nad podporami pro kombinace při mezním stavu použitelnosti jsou přenášeny příločkami s trny. Výztuhy tvaru T s čelními deskami umožňují montáž příčníků, viz obrázek 48.

**Obrázek 47: Mezilehlý příčný nosník****Obrázek 48: Výztuhy tvaru T a čelní desky**

Příčné řezy Gdaňského a Gorzyczkiho mostu jsou zobrazeny na obrázcích 49 a 50. Gdaňský most se šesti nosníky je široký 18,28 m a Gorzyczki most s osmi nosníky 24,28 m.

**Obrázek 49: Příčný řez Gdaňského mostu**



Obrázek 50: Příčný řez Gorzyczińskiho mostu

Hlavní objemy materiálu pro varianty E jsou shrnuty v tabulce 28.

Tabulka 28: Objemy pro varianty E1 a E2

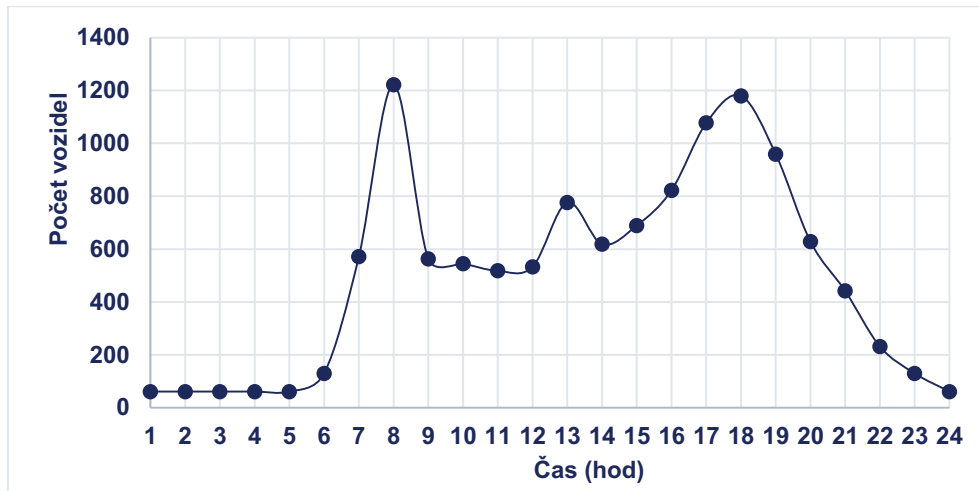
Popis	Jednotka	E1	E2
Ocelové nosníky	[kg]	413 337	548 918
Konstrukční ocel S460	[kg]	394 028	-
Konstrukční ocel S355	[kg]	19 309	45 168
Konstrukční ocel Histar460	[kg]	-	503 750
Spřahovací trny	[kg]	550	2 128
Příložky	[kg]	-	44 143
Výztuž pro Precobeam BST500S	[kg]	253 556	-
Výztuž S500	[kg]	313 416	450 000
Výztuž příčnicku	[kg]	83 204	
Výztuž betonové desky	[kg]	230 212	
Beton pro Precobeam C40 / 50	[m ³]	682	-
Beton příčnicku	[m ³]	571	466
Betonová deska	[m ³]	982	1455

(*) hodnoty označené tučně jsou součty hodnot prezentovaných kurzívou.

3.2 Analýza dopravy

Předpokládá se, že na dálnici je průměrný denní provoz (ADT) v prvním roce studie 12 000 vozidel/den. Dále se předpokládá, že podíl lehkých a těžkých vozidel je 88 % a 12 %. Pro dálnici se předpokládá rozložení dopravy podle na obrázku 51.

Růst provozu v čase vychází z rovnice (3), viz bod 5.3 části A díl I [2], kde se uvažuje s nárůstem 0,5 %.

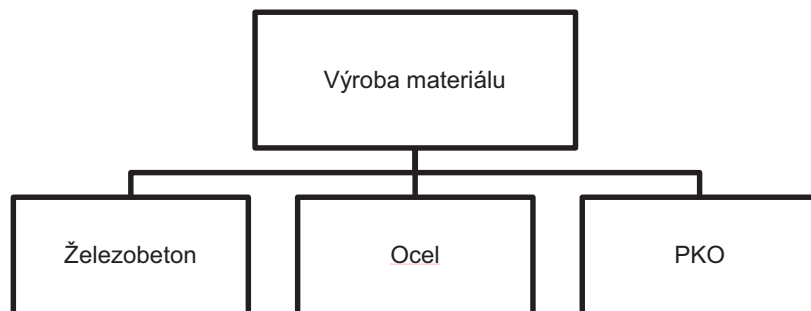


Obrázek 51: Rozložení dopravy pro varianty E1 a E2

3.3 Environmentální analýza životního cyklu

3.3.1 Fáze výroby materiálu

Uvažuje se výroba všech materiálů pro stavbu mostu podle obrázku 52. Data byla shromážděna ze zdrojů v tabulce 5.



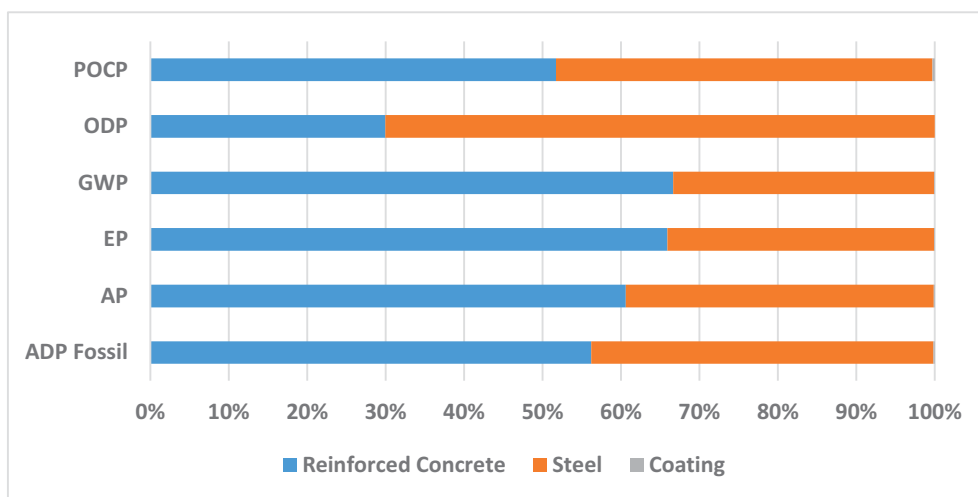
Obrázek 52: Fáze výroby materiálu

- *Environmentální analýza varianty E1*

Výsledky pro fázi výstavby jsou uvedeny v tabulce 29. Výroba ocelových konstrukcí a betonu jsou hlavními procesy, které přispívají ke globálním dopadům ve fázi výroby materiálu. Stejně výsledky jsou zobrazeny na obrázku 53.

Tabulka 29: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu podle kategorie dopadu [E1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Beton	Ocel	Povrchová úprava
ADP Fossil	MJ	1,87E+07	1,05E+07	8,16E+06	2,55E+04
AP	Kg SO2 eq	5,31E+03	3,22E+03	2,08E+03	5,32E+00
EP	Kg PO4 eq	4,77E+02	3,14E+02	1,62E+02	2,58E-01
GWP	Kg CO2 eq	2,17E+06	1,45E+06	7,23E+05	1,58E+03
ODP	Kg R11 eq	2,33E-02	6,99E-03	1,63E-02	2,95E-09
POCP	Kg C2H4	7,63E+02	3,95E+02	3,66E+02	2,07E+00



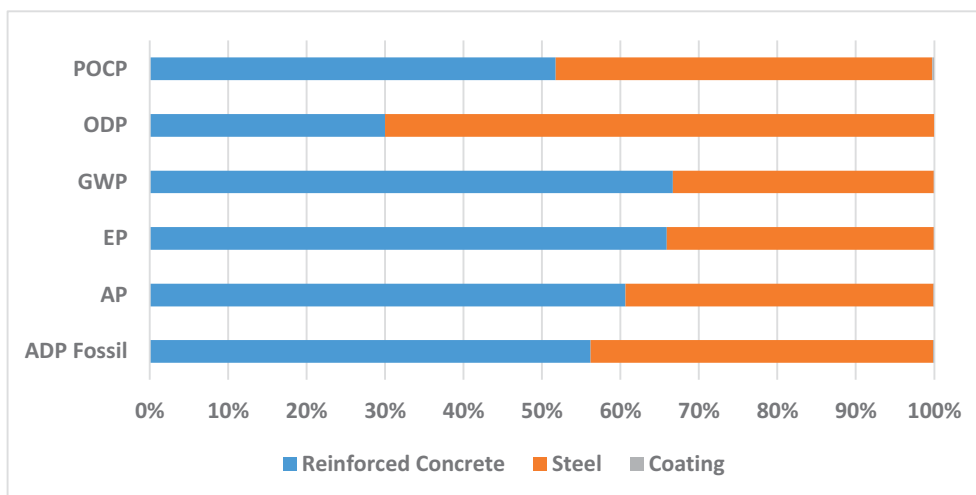
Obrázek 53: Analýza příspěvků procesů ve fázi výroby materiálu [E1]

- *Environmentální analýza varianty E2*

Výsledky získané pro variantu E2 jsou uvedeny v tabulce 30 a obrázku 54. Ukazují změnu výsledků ve srovnání s variantou E1.

Tabulka 30: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu pro variantu E2

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Železobeton	Ocel	Nátěr
ADP Fossil	MJ	2,07E+07	8,41E+06	1,21E+07	1,24E+05
AP	Kg SO2 eq	5,72E+03	2,59E+03	3,11E+03	2,60E+01
EP	Kg PO4 eq	4,96E+02	2,55E+02	2,39E+02	1,26E+00
GWP	Kg CO2 eq	2,26E+06	1,17E+06	1,08E+06	7,73E+03
ODP	Kg R11 eq	2,73E-02	5,55E-03	2,18E-02	1,44E-08
POCP	Kg C2H4	8,77E+02	3,13E+02	5,54E+02	1,01E+01



Obrázek 54: Analýza příspěvků procesů ve fázi výroby materiálu pro etapu E2

Tabulka 31: Environmentální dopady varianty E2 ve fázi výroby materiálu vzhledem k E1

Kategorie dopadu	Jednotka	Varianta E1	Varianta E2	Změna vzhledem k E1
ADP Fossil	MJ	1,87E+07	2,07E+07	+10,6%
AP	Kg SO2 eq	5,31E+03	5,72E+03	+7,9%
EP	Kg PO4 eq	4,77E+02	4,96E+02	+4,1%
GWP	Kg CO2 eq	2,17E+06	2,26E+06	+3,9%
ODP	Kg R11 eq	2,33E-02	2,73E-02	+17,0%
POCP	Kg C2H4	7,63E+02	8,77E+02	+15,0%

Ve fázi výroby materiálu je větší dopad na životní prostředí pro variantu E2.

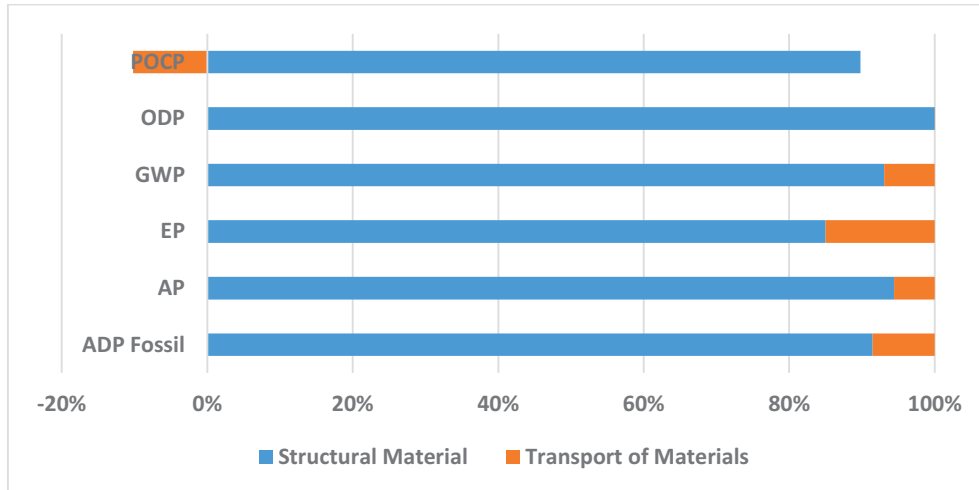
3.3.2 Etapa výstavby

- *Environmentální analýza varianty E1*

Výsledky etapy výstavby pro variantu E1 jsou uvedeny v tabulce 32 a ilustrovány na obrázku 55. Montáž a doprava konstrukce představuje hlavní přínos na environmentální dopady.

Tabulka 32: Dopad na životní prostředí ve fázi výstavby pro variantu E1

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Materiál na konstrukci	Doprava materiálu
ADP Fossil	MJ	9,36E+05	8,57E+05	7,99E+04
AP	Kg SO2 eq	2,32E+02	2,19E+02	1,29E+01
EP	Kg PO4 eq	2,05E+01	1,74E+01	3,07E+00
GWP	Kg CO2 eq	8,33E+04	7,75E+04	5,79E+03
ODP	Kg R11 eq	1,17E-03	1,17E-03	1,94E-09
POCP	Kg C2H4	3,18E+01	3,58E+01	-4,08E+00



Poznámka: Důvodem záporné hodnoty v POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají vliv na ekologickou kategorii POCP [3]. Viz oddíl 1.4.6.

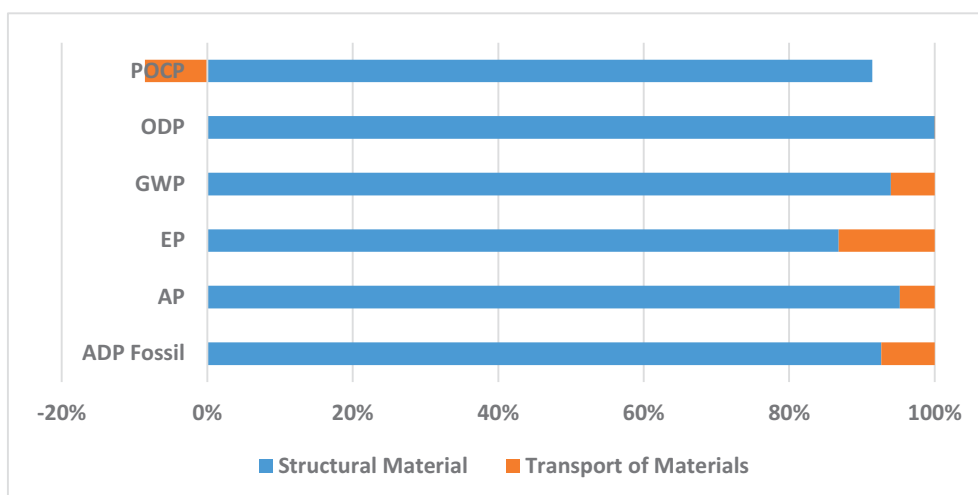
Obrázek 55: Analýza příspěvků během etapy výstavby pro variantu E1

- *Environmentální analýza varianty E2*

Výsledky získané pro variantu E2 jsou uvedeny v tabulce 33 a na obrázku 56. Tabulka 34 uvádí odchylky výsledků ve srovnání s variantou E1

Tabulka 33: Dopad na životní prostředí ve fázi výstavby podle jednotlivých kategorií dopadů pro variantu E2

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Materiál na konstrukci	Doprava materiálu
ADP Fossil	MJ	1,04E+06	9,64E+05	7,65E+04
AP	Kg SO2 eq	2,59E+02	2,46E+02	1,24E+01
EP	Kg PO4 eq	2,23E+01	1,94E+01	2,94E+00
GWP	Kg CO2 eq	9,25E+04	8,69E+04	5,55E+03
ODP	Kg R11 eq	1,37E-03	1,37E-03	1,86E-09
POCP	Kg C2H4	3,77E+01	4,16E+01	-3,91E+00



Poznámka: Důvodem záporné hodnoty v POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají vliv na ekologickou kategorii POCP [3], viz oddíl 1.4.6.

Obrázek 56: Analýza příspěvků během etapy výstavby pro variantu E2

Tabulka 34: Environmentální dopady ve fázi výstavby varianty E2 ve srovnání s variantou E1

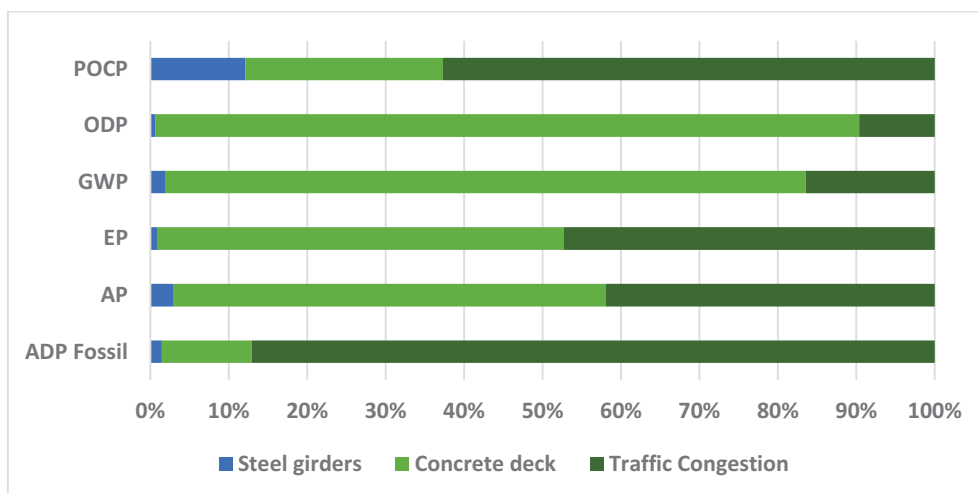
Kategorie dopadu	Jednotka	Varianta E1	Varianta E2	Změna vzhledem k E1
ADP Fossil	MJ	9,36E+05	1,04E+06	+11,1%
AP	Kg SO2 eq	2,32E+02	2,59E+02	+11,7%
EP	Kg PO4 eq	2,05E+01	2,23E+01	+9,0%
GWP	Kg CO2 eq	8,33E+04	9,25E+04	+11,0%
ODP	Kg R11 eq	1,17E-03	1,37E-03	+17,0%
POCP	Kg C2H4	3,18E+01	3,77E+01	+18,8%

Je patrné, že příspěvek ze strukturálních materiálů představuje více než 80% celkových dopadů. Varianty E2 má v tomto stádiu relativně vyšší dopad než varianta E1.

3.3.3 Etapa provozu

- *Environmentální analýza varianty E1*

Výsledky pro etapu provozu pro variantu E1 jsou uvedeny na obrázku 57 pro denní práci a standardní údržbový scénář.



Obrázek 57: Analýza příspěvků během etapa provozu, práce ve dne, varianta E1.

Environmentální dopady pro práci v noci jsou porovnány s výsledky pro práci ve dne v tabulce 35.

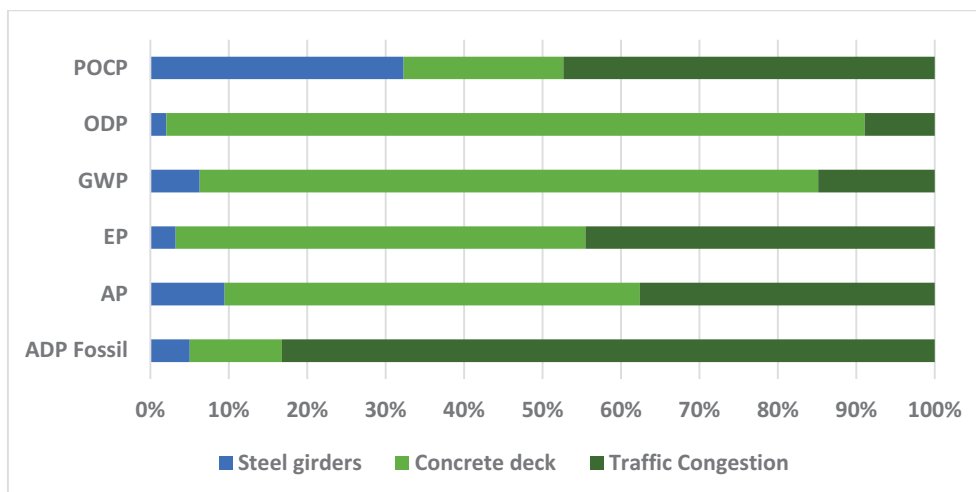
Tabulka 35: Environmentální dopady srovnání E1 mezi denní a noční prací

Kategorie dopadu	Jednotka	Varianta E1 práce ve dne	Varianta E1 práce v noci	Změna
ADP Fossil	MJ	4,45E+06	4,38E+06	-1,6%
AP	Kg SO ₂ eq.	4,62E+02	4,58E+02	-0,8%
EP	Kg PO ₄ eq.	6,94E+01	6,88E+01	-0,9%
GWP	Kg CO ₂ eq.	2,08E+05	2,07E+05	-0,3%
ODP	Kg R11 eq.	1,23E-06	1,23E-06	-0,2%
POCP	Kg C ₂ H ₄	4,44E+01	4,39E+01	-1,2%

U obou scénářů je hlavní dopad pro všechny kategorie v důsledku údržby betonové desky a dopravních zácp. Dopad dopravní zácpy však zde neukazuje výrazný význam jeho snížení při práci v noci. Mírně snížené hodnoty pod 2 % byly vypočteny ve všech kategoriích dopadu, důvodem je uvažování menšího počtu konstrukčních prvků. Vozovka, ložiska, dilatační závěry a další prvky nebyly pro tuto variantu uvažovány.

- *Environmentální analýza varianty E2*

Výsledky pro variantu E2 pro práci ve dne jsou uvedeny na obrázku 58 a v tabulce 36. Tabulka uvádí odchylky výsledků ve vztahu k variantě E1.



Obrázek 58: Analýza příspěvků ve fázi provozu, práce ve dne, varianta E1

Tabulka 36: Environmentální dopady varianty E2 ve srovnání s E1 ve fázi provozu, práce ve dne

Kategorie dopadu	Jednotka	Studie E1 den	Studie E1 noct	Změna vzhledem k E1 den
ADP Fossil	MJ	4,45E+06	6,44E+06	+44,6%
AP	Kg SO2 eq	4,62E+02	7,12E+02	+54,2%
EP	Kg PO4 eq	6,94E+01	1,02E+02	+46,8%
GWP	Kg CO2 eq	2,08E+05	3,18E+05	+53,3%
ODP	Kg R11 eq	1,23E-06	1,84E-06	+49,3%
POCP	Kg C2H4	4,44E+01	8,14E+01	+83,2%

Výsledky pro variantu E2 pro práci v noci jsou uvedeny v tabulce 37.

Tabulka 37: Environmentální dopady varianty E2 ve srovnání s E1 ve fázi provozu, práce v noci

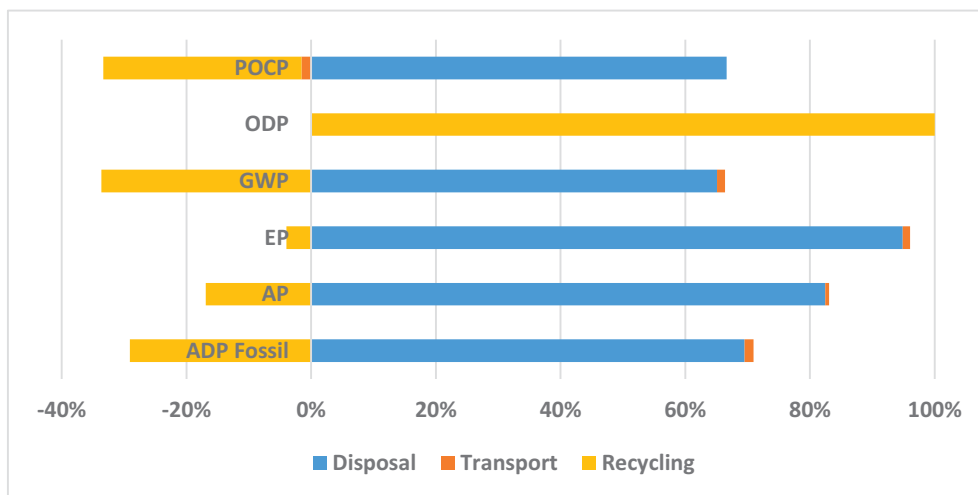
Kategorie dopadu	Jednotka	Varianta E1 práce ve dne	Varianta E1 Práce v noci	Změna vzhledem k E1 den
ADP Fossil	MJ	4,38E+06	6,34E+06	+44,7%
AP	Kg SO2 eq	4,58E+02	7,07E+02	+54,3%
EP	Kg PO4 eq	6,88E+01	1,01E+02	+46,9%
GWP	Kg CO2 eq	2,07E+05	3,17E+05	+53,3%
ODP	Kg R11 eq	1,23E-06	1,84E-06	+49,4%
POCP	Kg C2H4	4,39E+01	8,07E+01	+83,7%

Pro práci ve dne i v noci ukazuje varianta E1 menší dopad na životní prostředí ve všech kategoriích dopadu. Rozdíl je důsledkem rozdílu plochy povrchu oceli vystavené korozi. PRECOBEAM má nižší plochu, protože většina oceli je zabudována do betonu, kromě dolní pásnice.

3.3.4 Konec životnosti

- *Environmentální analýza referenční varianty E1*

Celkové emise na kategorie dopadu jsou uvedeny v tabulce 38. Obrázek 59 udává přínos procesů na jednu kategorii. Záporné hodnoty představují snížení dopadu recyklací.

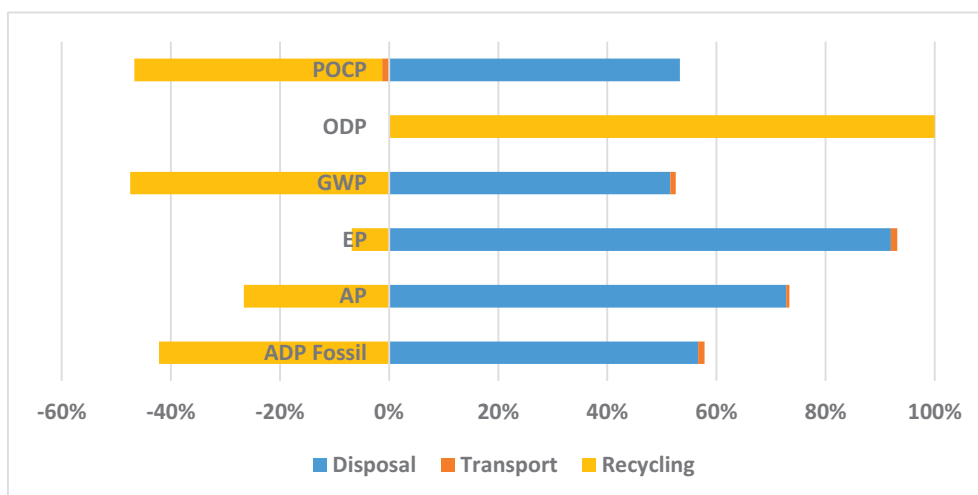


Obrázek 59: Analýza dopadu na životní prostředí v době konce životnosti, varianta E1

Likvidace má největší dopad na životní prostředí ve všech kategoriích. Recyklace přispívá ke kvalitě životního prostředí, kromě ODP.

- *Environmentální analýza varianty E2*

Na obrázku 60 je vidět, že demolice má vliv ve všech kategoriích dopadu, zatímco doprava vykazuje dopad nejmenší. Recyklace přispívá ke snížení dopadů do životního prostředí ve všech kategoriích kromě ODP.



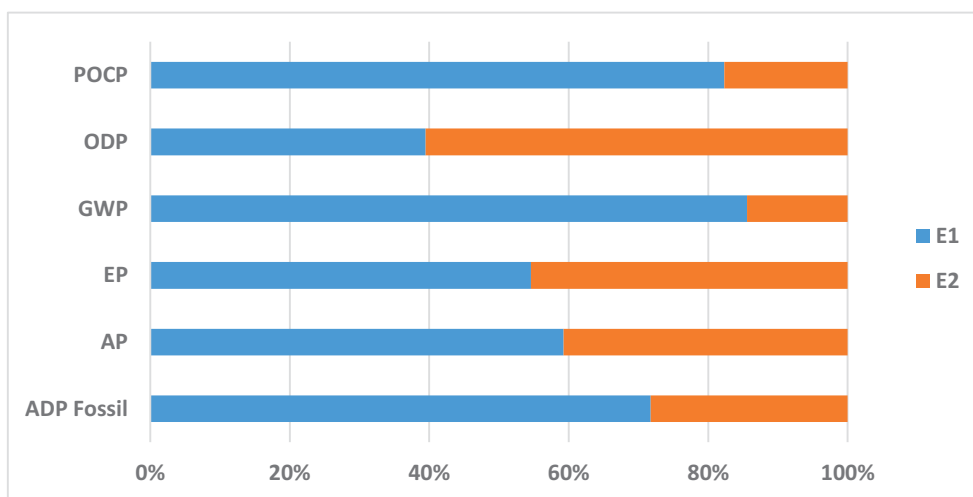
Obrázek 60: Analýza příspěvků procesů v době ukončení životnosti - Příklad E2

Celkové emise na každou kategorii dopadů pro variantu E2 jsou uvedeny v tabulce 38. Tabulka dále uvádí odchylky výsledků této varianty k referenční variantě E1. Výsledky jsou znázorněny graficky na obrázku 61.

Tabulka 38: Změna výsledků ve fázi ukončení životnosti ve vztahu k variantě E1

Kategorie dopadu	Jednotka	Studie E1 práce ve dne	Studie E1 práce v noci	Změna k E1
ADP Fossil	MJ	3,65E+06	1,44E+06	-60,6%
AP	Kg SO2 eq	2,24E+03	1,54E+03	-31,2%
EP	Kg PO4 eq	3,69E+02	3,07E+02	-16,9%
GWP	Kg CO2 eq	2,35E+05	3,98E+04	-83,1%
ODP	Kg R11 eq	7,68E-03	1,18E-02	+53,2%
POCP	Kg C2H4	1,34E+02	2,88E+01	-78,5%

Lze konstatovat, že v tomto stadiu referenční příklad vedl k vyšším dopadům. E1 má vyšší objem betonu, který se stává zátěží pro životní prostředí po demolici a menší objem oceli, což by vedlo k nižší možnosti recyklace, která by mohla být v této fázi zohledněna, než v E2. Výsledky ODP lze vysvětlit následovně. Recyklační proces (včetně dopravy) je přínosem pro životní prostředí ve všech kategoriích dopadu s výjimkou potenciálu pro vyčerpání ozonu, kde samotný proces recyklace způsobuje nárůst emisí. Při menším množství oceli k recyklaci v E1 dochází k menšímu množství recyklace, což má za následek nižší emise spojené s ODP. Mějte však na paměti, že velikost těchto emisí je velmi malá (řádově 10^{-2} nebo nižší).



Obrázek 61: Analýza příspěvků každého mostu během etapa ukončení jeho životnosti

3.3.5 Výsledky analýzy životního cyklu životního prostředí

- *Shrnutí výsledků celoživotního cyklu pro variantu E1*

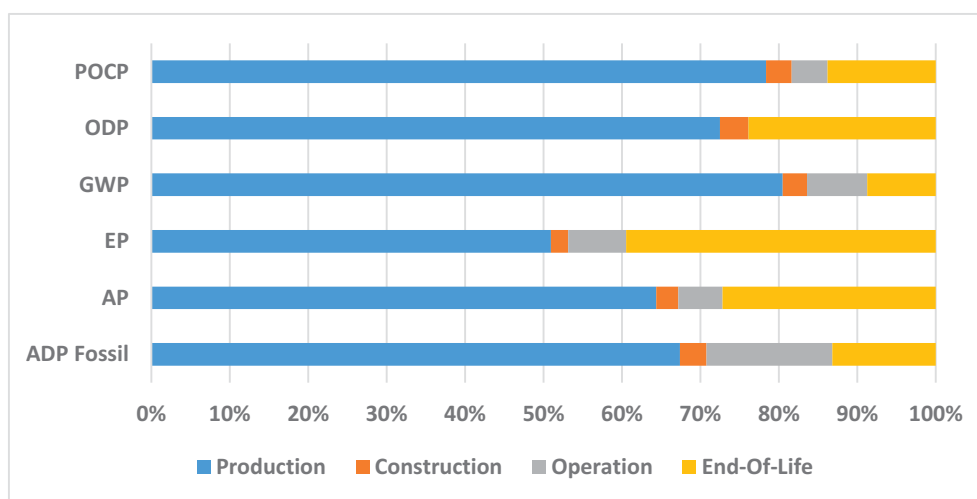
V předchozích částech byly prezentovány dílčí výsledky za jednotlivé fáze. V tomto pododdílu jsou výsledky jednotlivých stupňů shrnuty ve vztahu ke každé kategorii dopadů a souhrnné výsledky jsou uvedeny v tabulce 39 s ohledem na scénář denní práce a standardní údržbu.

Tabulka 39: Výsledky životního cyklu za etapu životního cyklu, scénář denní práce

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Výroba	Konstrukce	Provoz	Konec životnosti
ADP Fossil	MJ	2,77E+07	1,87E+07	9,36E+05	4,45E+06	3,65E+06
AP	Kg SO2 eq	8,24E+03	5,31E+03	2,32E+02	4,62E+02	2,24E+03
EP	Kg PO4 eq	9,36E+02	4,77E+02	2,05E+01	6,94E+01	3,69E+02
GWP	Kg CO2 eq	2,70E+06	2,17E+06	8,33E+04	2,08E+05	2,35E+05
ODP	Kg R11 eq	3,22E-02	2,33E-02	1,17E-03	1,23E-06	7,68E-03
POCP	Kg C2H4	9,73E+02	7,63E+02	3,18E+01	4,44E+01	1,34E+02

Abychom lépe porozuměli přínosu každé etapy k agregovanému výsledku, tyto výsledky jsou rovněž ilustrovány na obrázku 62.

Etapa výroby materiálu je ta, která nejvíce přispívá ke všem kategoriím dopadů. Fáze konce života má druhý významný přínos pro kategorie dopadů. Provozní fáze také významně přispívá, zatímco etapa výstavby má relativně malý příspěvek pro všechny kategorie dopadu.



Obrázek 62: Příspevek každé etapy ke kategorii dopadů, scénář denní práce

- *Agregované výsledky životního cyklu pro E2*

Výsledky získané pro variantu E2 jsou uvedeny v tabulce 40, přičemž ve všech variantách platí scénář denní práce. Tabulka 41 uvádí změnu výsledků této varianty ve vztahu k referenční variantě E1.

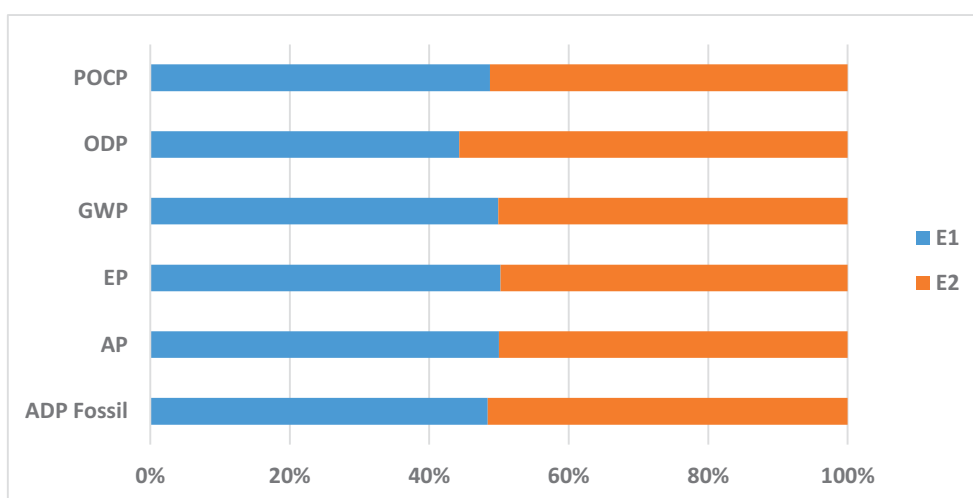
Tabulka 40: Výsledky životního cyklu za etapu životního cyklu, scénář denní práce

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Výroba	Konstrukce	Provoz	Konec životnosti
ADP Fossil	MJ	2,96E+07	2,07E+07	1,04E+06	6,44E+06	1,44E+06
AP	Kg SO2 eq	8,24E+03	5,72E+03	2,59E+02	7,12E+02	1,54E+03
EP	Kg PO4 eq	9,27E+02	4,96E+02	2,23E+01	1,02E+02	3,07E+02
GWP	Kg CO2 eq	2,71E+06	2,26E+06	9,25E+04	3,18E+05	3,98E+04
ODP	Kg R11 eq	4,04E-02	2,73E-02	1,37E-03	1,84E-06	1,18E-02
POCP	Kg C2H4	1,03E+03	8,77E+02	3,77E+01	8,14E+01	2,88E+01

Tabulka 41: Změna výsledků vzhledem k variantě E1, scénář denní práce

Kategorie dopadu	Jednotka	Studie E1	Studie E2	Změna vzhledem k E1
ADP Fossil	MJ	2,77E+07	2,96E+07	+6,7%
AP	Kg SO ₂ eq	8,24E+03	8,24E+03	-0,0%
EP	Kg PO ₄ eq	9,36E+02	9,27E+02	-0,9%
GWP	Kg CO ₂ eq	2,70E+06	2,71E+06	+0,3%
ODP	Kg R11 eq	3,22E-02	4,04E-02	+25,7%
POCP	Kg C ₂ H ₄	9,73E+02	1,03E+03	+5,4%

Pro lepší porozumění variant jsou výsledky znázorněny na obrázku 63. Výsledky ODP lze vysvětlit následovně.



Obrázek 63: Příspěvek každé varianty ke scénáři kategorie dopadů denní práce

Z ilustrací vyplývá, že obě varianty mají srovnatelný dopad ve všech kategoriích. Referenční případ je nepatrně příznivější v ODP. Recyklační proces, včetně dopravy, je přínosem pro životní prostředí ve všech kategoriích dopadu, s výjimkou potenciálu pro vyčerpání ozonu, kdy samotný proces recyklace způsobuje nárůst emisí. Při menším množství recyklovatelné oceli v E1 dochází k menšímu množství recyklace, což má za následek nižší emise spojené s ODP. Velikost těchto emisí je malá (řádově 10⁻²).

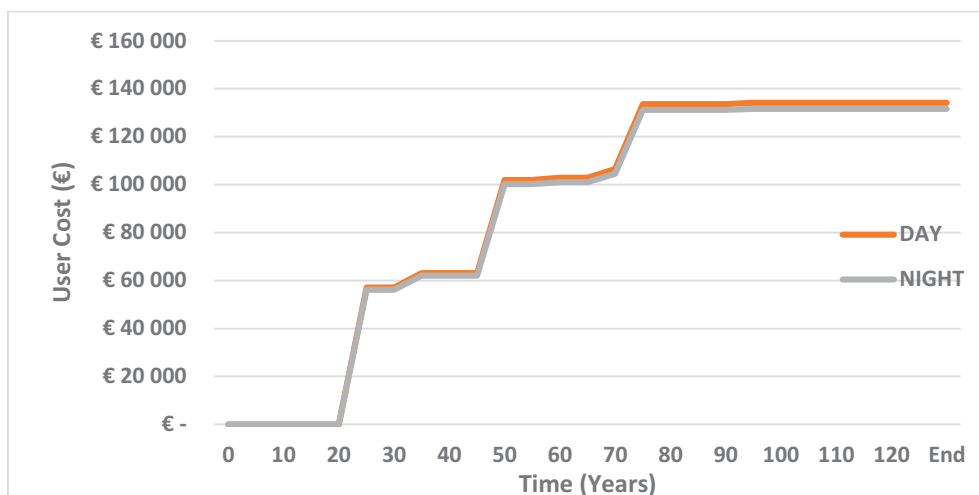
3.4 Analýza nákladů na životní cyklus

Vzhledem k nedostatku údajů o nákladech nebyla pro tuto variantu provedena analýza nákladů na životní cyklus.

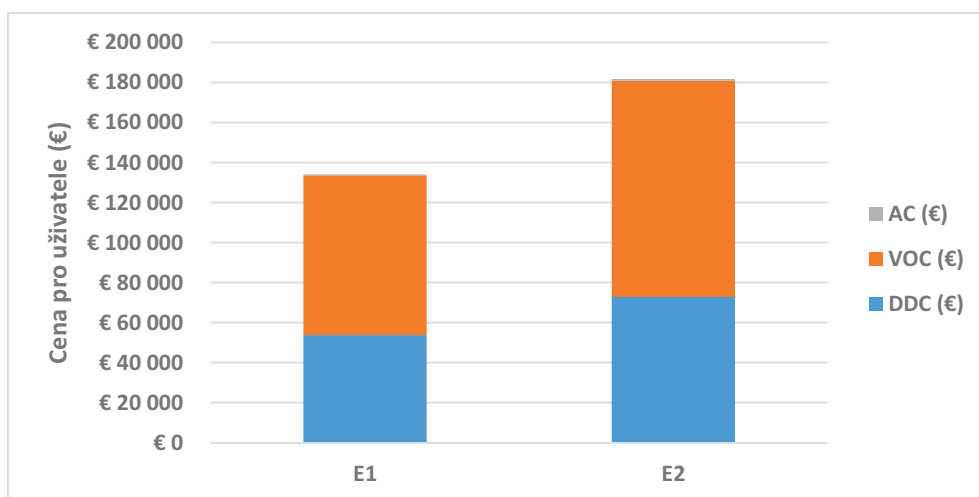
3.5 Sociální analýza životního cyklu

Pro výpočet uživatelských nákladů byly studovány dva scénáře údržby: (i) práce ve dne, kdy se většina akcí provádí během dne (od 6:00 do 22:00 hod.) Na mostě je uzavřen pruh pro hlavní údržbu (výměna vozovky / izolace); (ii) práce v noci, odpovídá práci ve dne s tím rozdílem, že většina činností údržby probíhá v noci (od 22:00 do 18:00).

Obrázek 64 uvádí podrobnosti o uživatelských nákladech pro variantu E1 s denním a nočním scénářem. Je třeba poznamenat, že omezení a nepohodlí uživatelů byly sníženy, pokud se práce provádí v noci, protože je méně provozu než během dne.



Obrázek 64: Uživatelské náklady na variantu E1 s scénáři denní a noční práce



Obrázek 65: Uživatelské náklady pro varianty E1 a E2 se standardním scénářem a plánem denní práce

Údržbové akce ve varianty E1 trvají 205 dní po celou dobu životnosti mostu, varianty E2 283 dní. Rozdíl vzniká především díky vyššímu povrchu oceli, který vyžaduje ochranu proti korozi v E2. Změna se odráží v uživatelských nákladech, které lze pozorovat na obrázku 65. Ukázalo se, že uživatelské náklady pro variantu E2 jsou vyšší než pro E1.

3.6 Diskuse výsledků pro variantu E

Studie se zaměřila na nosnou konstrukci a mostovku. Inovativní způsob konstrukce Precobeam byl porovnán s běžným řešením spřaženého mostu. Ve všech kategoriích environmentální analýzy životního cyklu dominovaly výroba materiálu a konec životnosti. Výsledkem LCA byly obdobné dopady na životní prostředí pro obě varianty. V ODP je nepatrně příznivější tradiční řešení ocelobetonového mostu. Náklady na životní cyklus nebyly pro tuto variantu hodnoceny.

Sociální aspekty LCA dokazují, že noční práce je pro náklady uživatelů příznivější. Náklady uživatelů byly v případě Precobeam výrazně nižší než v případě tradičního spřaženého mostu.

4 ZÁVĚR

V projektu SBRI⁺ partneři z evropských univerzit, výzkumných organizací, správy komunikací, projekčních kanceláří a výrobců oceli spojili znalosti a zkušenosti o navrhování, výrobě, provozu, opravách a demolici ocelobetonových mostů. Mosty nebyly hodnoceny pouze z hlediska a nákladů na výrobu a montáž konstrukce, ale po celou dobu jejich životnosti. Během životního cyklu byly zkoumány degradační procesy jako únava, koroze a karbonace. Byly hodnoceny nutnosti prohlídek a údržby. Požadavky na funkčnost byly kombinovány s ekologickými a ekonomickými hledisky. Hodnocení životního cyklu bylo zpracováno holistickým přístupem s uvažováním LCA, LCC a LCS.

Hlavním cílem tohoto dokumentu je analýza inovativních mostů, které nebyly v projektu SBRI řešeny [18] a analýza stávajících ocelobetonových mostů v Evropě na základě dat z jejich provozu, prohlídek a údržby. Bylo analyzováno několik inovativních mostů, jako dálniční integrovaný nadjezd s žárově zinkovanými nosníky a s nosníky PRECOBEAM s inovativním smykovým spojem.

Pro jednotlivé typy lze shrnout tyto poznatky:

Varianta D - Inovativní integrovaný most přes dálnici

Analýzovaný most je první most s žárově zinkovanými nosníky, který byl postaven přes dálnici v Německu v polovině roku 2014. Studie umožnila popsat metodiku návrhu a parametry provozu mostu s celoživotní ochranou proti korozi. Jsou porovnány ochrany proti korozi organickým nátěrem, žárovým zinkováním a duplexním systémem. Uvažuje se s hodnotami pro celou dobu života, od výroby materiálu po demolici.

Je řešen most, který odpovídá variantě A1 z dílu I [11]. Jedná se o dálniční most o dvou dopravních pruzích o rozpětí 45,25 m a šířce 11,75 m. Pro ochranu proti korozi byly po celý životní cyklus mostu zpracovány tři varianty:

Varianta D1 - Žárové zinkování (tloušťka 300 μm) bez potřeby oprav během celého životního cyklu,

Varianta D2 - Ochrana organickým nátěrem s celkovou výměnou PKO v 33. a 66. roce,

Varianta D3 - Žárové zinkování (tloušťka 200 μm) a organická nátěr v 66. roce života mostu.

Celkově lze konstatovat, že fáze výroby materiálu a konce života dominuje ve všech kategoriích. Při použití tradiční PKO se dopady na životní prostředí zvyšují v důsledku její periodické obnovy. Dále se ukazuje, že provádění údržbových prací je z hlediska výsledků velmi přínosné.

Z hlediska počátečních nákladů jsou výsledky všech tří variant velmi podobné, s poněkud nižšími náklady tradiční PKO. Na konci života jsou opět náklady srovnatelné.

Nicméně, první varianta s 300 μm žářem zinkovanými nosníky ukazuje významné snížení nákladů ve fázi provozu, vzhledem k minimalizaci údržby PKO.

Další varianta, která vyžaduje dvě obnovy PKO, vykazuje vyšší provozní náklady.

Třetí varianta s duplexní PKO je levnější než druhá, nicméně stále nákladnější než první varianta. Lze tedy shrnout, že zinkování ponorem je s ohledem na LCC nejlepší variantou.

Varianta E – Inovativní spřažený most PRECOBEAM

Precobeam (prefabricated composite beam) je nové řešení pro spřažené konstrukce s velkou mírou prefabrikace. Je založeno na rozříznutí válcovaných ocelových nosníků dvě T části řezem, který tvoří spřahující prvek.

Byl analyzován most z Precobeam nosníků na silnici WA-352, varianta E1.

Most byl porovnán s tradičním řešením ve variantě E2, které využívá prefabrikovaných spřažených prvků, tj. desky s částečně prefabrikovanými ocelobetonovými nosníky a betonovými příčnicí. Celková délka a šířka mostů Gdansk a Gorzyczki jsou stejné jako pro variantu E1. Hlavní nosníky jsou z HL 1000 za tepla válcované z oceli HISTAR 460.

Příklady ve variantách E se zaměřují pouze na nosnou konstrukci a mostovku.

Lze konstatovat, že fáze výroby materiálu a konce života dominuje ve všech kategoriích. LCA ukazuje obdobné výsledky dopadu na životní prostředí s mírně nižšími dopady v případě konvenčního řešení. Náklady životního cyklu zde nebyly analyzovány.

LCA ukazuje, že díky sociálním dopadům, noční práce snižuje významně náklady uživatelů. V případě Precobeam nosníku byly nižší než v případě tradičního mostu.

REFERENCE

- [1] ThinkStep, *GaBi*” [Computer Program], Leinfelden-Echterdingen, Germany, 2015.
- [2] Feuerverzinkte Baustähle: Offene Walzprofile und Grobbleche, IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., Düsseldorf, Deutschland, 2013.
- [3] SBRI+ Design Manual 1 - General Information and Worked Examples, Research Fund for Coal and Steel (RFCS) of the European Community, 2017.
- [4] J. Guinée, M. Gorée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S. Suh and H. Udo de Haes, Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2002.
- [5] 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.
- [6] H. Gervásio, Sustainable design and integral life-cycle analysis of bridges. PhD Thesis, University of Coimbra, 2010.
- [7] FOSTA P843 - NaBrü, Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 2014.
- [8] FOSTA P835, Feuerverzinken im Stahl- und Verbundbrückenbau, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V. , Düsseldorf, 2014.
- [9] SCHWEIZERISCHE FACHSTELLE FEUERVERZINKEN, Stahlbrücken, 2013. [Online]. Available: <http://www.verzinkereien.info/sff/templates/index.php?pid=stahlbruecken>. [Accessed 14 Oktober 2013].
- [10] MERKBLATT 405, Korrosionsschutz von Stahlkonstruktionen durch Beschichtungssysteme, Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf, 2005.
- [11] ČSN EN ISO 12944-2, Nátěrové hmoty - Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 2: Klasifikace vnějšího prostředí, ČNI, Praha 1998.
- [12] BAST, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-Ing. Teil 4 Stahlbau, Stahlverbundbau. Abschnitt 3 Korrosionsschutz von Stahlbauten, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Dez. 2012.
- [13] ČSN EN ISO 1461, Žárové povlaky zinku nanášené ponorem na železných a ocelových výrobcích - Specifikace a zkušební metody, ČNI, Praha, 2009.
- [14] INSTITUT FEUERVERZINKEN, 50 Jahr und mehr - Umweltmundesamt liefert Daten zur Bestimmung der Schutzdauer einer Feuerverzinkung, 2013a. [Online]. Available: www.feuverzinken.com. [Zugriff am 14. Oktober 2013].
- [15] ČSN EN ISO 12944-5, Nátěrové hmoty - Protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 5: Ochranné nátěrové systémy, ČNI, Praha, 2008.
- [16] INSTITUT FEUERVERZINKEN, Korrosionsschutz durch Duplex-Systeme (Feuerverzinken + Beschichten) mit Verbände-Richtlinie Duplex-Systeme, 2013b. [Online]. Available: www.feuverzinken.com. [Zugriff am 14 Oktober 2013].
- [17] ThinkStep, *GaBi Envision*” [Computer Program], Leinfelden-Echterdingen, Germany., 2015.
- [18] P. Seshadri and R. Harrison, Workzone mobile source emission prediction, Center for transportation research, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1993.

- [19] EUR 26322, Sustainable steel-composite bridges in built environment (SBRI), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.
- [20] ISO 14040 - Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [21] ISO 14044 Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [22] IPCC, Fourth Assessment Report – Climate Change 2007, Geneva, Switzerland.: IPCC., 2007.
- [23] CML, Operational Guide to the ISO standards, Jeroen B. Guinée (Ed.), in *Handbook on life cycle assessment*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [24] B. Y. Alexander M., A framework for use of durability indexes in performance-based design and specifications for reinforced concrete structures, *Materials and Structures*, vol. 41, pp. 921-936, 2008.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Geldermann J., Spengler T. and Rentz O., Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry, *Fuzzy sets and systems*, vol. 115, pp. 45-65, 2000.
- [30] Brans J., Vincke P. and Mareschal B., How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research*, vol. 24, no. 2, p. 228–238, 1986.
- [31] 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..
- [32] J. Vincke and P. Brans, A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM., *Management Science*, vol. 31, p. 641–656, 1985.
- [33] J. P. Brans, L'ingénierie de la décision Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In R. Nadeau and M. Landry. editors. L'aide à la décision: Nature. Instruments et Perspectives d'Avenir, pp. 183-213, 1982.
- [34] H. Salokangas, ETSI PROJECT (STAGE II), Bridge Life Cycle Optimisation., Espoo, Finland.: Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering, TKK-R-BE3., 2009.
- [35] R. J. Guinée and Heijungs, A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product life-cycle assessment, *Environmental toxicology and chemistry*, vol. 14, no. 5, pp. 917-925., 1995.
- [36] M. Huijbregts, Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis, The Netherlands: University of Amsterdam, 2001.

PŘÍLOHA A

ÚDRŽBA A OMEZENÍ DOPRAVY

Tabulka A1: Běžná údržba

Damage	Maintenance Actions	Years																				
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100		
Steels																						
Steel girder - used up	demolition / replacement																					
Corrosion (small points/small areas)	partial surface corrosion protection (1)			x																		
Corrosion (complete renewal)	complete renewal corrosion protection(1)																					
Concrete																						
concrete slab - used up	demolition / replacement																					
Corrosion of the reinforcement deck plate	partial renewal				x																	
Concrete edge beam	partial renewal																					
Concrete edge beam	total replacement																					
Concrete edge beam repairs	partial renewal				x																	
Expansion joints																						
broken modules (considering a modular joint)	total replacement																					
broken concrete header (repair)	total/partial replacement				x																	
tightening of bolts	total/partial replacement				x																	
Cleaning					x																	
Bearings																						
Elastomeric bearing - used up	total replacement																					
Elastomeric bearing (repair)	partial replacement				x																	
Calotte bearing - used up	total replacement																					
Calotte bearing - maintenance	total/partial replacement																					
Corrosion of metallic elements (Sa2/St3)	painting of metallic elements																					
Road surface																						
cracks, ruts, excavation	total replacement																					
cracks, ruts, excavation	minor repairs																					
Water proofing layer																						
cracks, ruts, excavation	total replacement																					
Railings																						
used up	total replacement of railings																					
painting	painting of metallic elements																					
Gutters																						
replacement dewatering	total replacement																					
Safety barrier																						
used up	total replacement of safety barrier																					
safety barriers - minor repairs	total/partial replacement																					

(1): classification according to the duration of protection EN ISO 12944-2 (L= 2-5 years; M=5-15 years; H>15 years)

Tabulka A2: Dopravní omezení pro varianty D

Damage	Maintenance Actions	Traffic Restrictions	
		Over the bridge	Under the bridge
Steels			
Steel girder - used up	demolition / replacement	Road Closed	-
Corrosion (small points/small areas)	partial surface corrosion protection	No restrictions	No restrictions
Corrosion (complete renewal)	complete renewal corrosion protection	No restrictions	1 lane closed per day
Concrete			
concrete slab - used up	demolition / replacement	Road Closed	1 lane closed per day
Corrosion of the reinforcement deck plate	partial renewal	1 lane closed per day	1 lane closed per day
Concrete edge beam	total surface treatment	Speed reduction	1 lane closed per day
Concrete edge beam	partial renewal of surface treatment	Speed reduction	1 lane closed per day
Concrete edge beam	total replacement	Speed reduction	1 lane closed per day
Concrete edge beam repairs	partial renewal	Speed reduction	1 lane closed per day
Expansion joints			
broken modules (considering a modular joint)	total replacement	1 lane closed per day	No restrictions
broken concrete header (repair)	total/partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions
tightening of bolts/ partial module replacement	total/partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions
Cleaning		1 lane closed per day	No restrictions
Bearings			
Elastomeric bearing - used up	total replacement	Speed reduction	No restrictions
Elastomeric bearing (repair)	partial replacement	Speed reduction	No restrictions
Calote bearing - used up	total replacement	Speed reduction	No restrictions
Calote bearing - maintenance	total/partial replacement	Speed reduction	No restrictions
Corrosion of metallic elements (Sa2/St3)	painting of metallic elements	Speed reduction	No restrictions
Road surface			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	No restrictions
cracks, ruts, excavation	total survival road surface layer *	1 lane closed per day	No restrictions
cracks, ruts, excavation	minor repairs	1 lane closed per day	No restrictions
Water proofing layer			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	No restrictions
Railings			
used up	total replacement of railings	No restrictions / speed reduction	No restrictions
painting	painting of metallic elements	No restrictions / speed reduction	No restrictions
damage caused by corrosion	partial replacement	No restrictions / speed reduction	No restrictions
Gutters			
replacement dewatering	total replacement	No restrictions / speed reduction	No restrictions
Safety barrier			
used up	total replacement of safety barrier	1 lane closed per day	No restrictions
safety barriers - minor repairs due to corrosion	total/partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions
damage caused by accident (steel)	partial replacement	1 lane closed per day	No restrictions

* scarce layer of asphalt containing a large amount of betumen that is placed on top of the existing damaged surface layer (and waterproofing layer)

Tabulka A3: Dopravní omezení pro varianty E

Damage	Maintenance Actions	Traffic Restrictions	
		Over the bridge	Under the bridge
Steels			
Steel girder - used up	demolition / replacement	Road Closed	-
Corrosion (small points/small areas)	partial surface corrosion protection	No restrictions	-
Corrosion (complete renewal)	complete renewal corrosion protection	No restrictions	-
Concrete			
concrete slab - used up	demolition / replacement	Road Closed	-
Corrosion of the reinforcement deck plate	partial renewal	1 lane closed per day	-
Concrete edge beam	total surface treatment	Speed reduction	-
Concrete edge beam	partial renewal of surface treatment	Speed reduction	-
Concrete edge beam	total replacement	Speed reduction	-
Concrete edge beam repairs	partial renewal	Speed reduction	-
Expansion joints			
broken modules (considering a modular joint)	total replacement	1 lane closed per day	-
broken concrete header (repair)	total/partial replacement	1 lane closed per day	-
tightening of bolts/ partial module replacement	total/partial replacement	1 lane closed per day	-
Cleaning		1 lane closed per day	-
Bearings			
Elastomeric bearing - used up	total replacement	Speed reduction	-
Elastomeric bearing (repair)	partial replacement	Speed reduction	-
Calote bearing - used up	total replacement	Speed reduction	-
Calote bearing - maintenance	total/partial replacement	Speed reduction	-
Corrosion of metallic elements (Sa2/St3)	painting of metallic elements	Speed reduction	-
Road surface			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	-
cracks, ruts, excavation	total survival road surface layer *	1 lane closed per day	-
cracks, ruts, excavation	minor repairs	1 lane closed per day	-
Water proofing layer			
cracks, ruts, excavation	total replacement	1 lane closed per day	-
Railings			
used up	total replacement of railings	No restrictions / speed reduction	-
painting	painting of metallic elements	No restrictions / speed reduction	-
damage caused by corrosion	partial replacement	No restrictions / speed reduction	-
Gutters			
replacement dewatering	total replacement	No restrictions / speed reduction	-
Safety barrier			
used up	total replacement of safety barrier	1 lane closed per day	-
safety barriers - minor repairs due to corrosion	total/partial replacement	1 lane closed per day	-
damage caused by accident (steel)	partial replacement	1 lane closed per day	-

* scarce layer of asphalt containing a large amount of bitumen that is placed on top of the existing damaged surface layer (and waterproofing layer)

