

# **Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů I Obecné otázky a příklady**

Constança Rigueiro, Petr Jehlička, Pavel Ryjáček a František Wald

Monografie přináší metodiku návrhu celého životního cyklu mostu. Řešení, které bylo připraveno v projektu SBRI, umožňuje uživatelům racionální rozhodování založené na místních možnostech a variantách návrhu. Poskytuje podklady pro jednání s úřady, orgány státní správy a investorskými organizacemi.

Publikace je rozdělena do dvou hlavních částí: Část A Obecné otázky a Část B Příklady. V části A jsou vyloženy základní informace včetně souvislostí. Pro vysvětlení udržitelného návrhu mostu s ohledem na jeho životní cyklus jsou v části B ukázány konkrétní realizované příklady. Vypracované příklady pokrývají celý životní cyklus mostů od stavby, provozu a údržby až po demolici mostu na konci životnosti.



## **Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů I**

### **Obecné otázky a příklady**

Constanța Rigueiro, Petr Jehlička, Pavel Ryjáček a František Wald

Praha

Česká technika - nakladatelství ČVUT

Copyright ©

První vydání, 2018

ISBN 978-80-01-06437-5

ISBN (elektronicky) 978-80-01-06439-9

# Posouzení životního cyklu ocelobetonových mostů I

## Obecné otázky a příklady

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  
BrisaEngenharia 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 I**

### **Obecné otázky a příklady**

Constança Rigueiro, Petr Jehlička, Pavel Ryjáček, 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 978-80-01-06437-5

ISBN (elektronicky) 978-80-01-06439-9

# PŘEDMLUVA

Vydání připravila Constança Rigueiro z Univerzity v Coimbre 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.

Organizace, které se podílely na projektu:

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

Na projektu spolupracovali:

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

# Obsah

SHRNUTÍ .....	1
ČÁST A OBECNÉ OTÁZKY .....	2
1 ÚVOD.....	2
1.1 Obecně.....	2
1.2 Popis nástroje SBRI-Tool.....	2
1.3 Cíle a rozsah projektu .....	3
2 UDRŽITELNOST NA ZÁKLADĚ POSOUZENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU MOSTŮ .....	3
2.1 Obecná definice .....	3
2.2 Holistický přístup .....	5
2.3 Výkonnost během životního cyklu.....	5
2.3.1 Únava.....	6
2.3.2 Koroze.....	6
2.3.3 Karbonatace.....	7
2.4 Kontrolní strategie a strategie údržby .....	7
2.4.1 Standardní scénář.....	8
2.4.2 Nedostatek finančních prostředků .....	9
2.4.3 Prodloužená životnost .....	10
3 VLIV ŽIVOTNÍHO CYKLU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ (LCA).....	11
3.1 Obecně.....	11
3.2 Cíle a zaměření LCA.....	11
3.3 Metodika pro posouzení dopadu.....	12
3.4 Indikátory vlivu na životní prostředí.....	13
3.4.1 Potenciál globálního oteplování (GWP).....	13
3.4.2 Potenciál porušení ozonové vrstvy (ODP).....	13
3.4.3 Potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP).....	14
3.4.4 Potenciál acidifikace prostředí (AP).....	14
3.4.5 Potenciál eutrofizace prostředí (EP).....	14
3.4.6 Potenciál porušení abiotické složky prostředí (ADP).....	14
4 NÁKLADY NA ŽIVOTNÍ CYKLUS (LCC) .....	15
4.1 Obecně.....	15
4.1.1 Fáze výstavby .....	16
4.1.2 Fáze provozu .....	19
4.1.3 Fáze konce životnosti .....	19
4.2 Ekonomická evaluační metoda pro LCC.....	19
5 SOCIÁLNÍ ANALÝZA ŽIVOTNÍHO CYKLU (LCS) .....	21
5.1 Povinné ukazatele .....	22
5.1.1 Náklady na zpoždění řidiče.....	22
5.1.2 Náklady na provoz vozidla .....	22
5.1.3 Náklady na nehodovost .....	22
5.2 Volitelné ukazatele .....	22
5.2.1 Hluk .....	23
5.2.2 Estetika .....	23
5.3 Náklady uživatelů .....	23
6 VÍCEKRITERIÁLNÍ ANALÝZA.....	24
6.1 PROMETHEE.....	25

7	SBRI-TOOL – SOFTWAREOVÝ NÁSTROJ .....	25
	ČÁST B PŘÍKLADY .....	27
1	PŘÍKLADY – TYPY MOSTŮ .....	27
1.1	Popis typů mostů pro LCA .....	27
1.2	Scénáře a předpoklady pro posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí .....	27
1.2.1	Fáze výroby materiálu .....	27
1.2.2	Fáze výstavby .....	28
1.2.3	Fáze provozu .....	29
1.2.4	Fáze konce života .....	29
1.2.5	Environmentální kategorie ADP <sub>Elements</sub> .....	31
1.2.6	Environmentální kategorie POCP (Doprava nákladním vozem) .....	31
1.2.7	Předpoklady pro scénáře kontrol a údržby .....	31
1.3	Předpoklady pro posouzení nákladů na ukončení života .....	31
2	PŘÍPADOVÉ STUDIE – MOST TYPU A .....	32
2.1	Popis případových studií .....	32
2.1.1	Popis konstrukčního systému mostu, geometrie a dalších parametrů .....	32
2.1.2	Uvažované parametry návrhu .....	34
2.2	Analýza dopravy .....	35
2.3	Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí .....	36
2.3.1	Fáze výroby materiálu .....	36
2.3.2	Fáze výstavby .....	40
2.3.3	Fáze provozu .....	45
2.3.4	Fáze konec života .....	49
2.3.5	Výsledky posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí .....	53
2.3.6	Alternativní scénáře údržby .....	55
2.4	Posouzení nákladů na životní cyklus .....	58
2.4.1	Počáteční náklady .....	58
2.4.2	Provozní náklady .....	60
2.4.3	Náklady na ukončení života .....	62
2.4.4	Celkové náklady na životní cyklus .....	64
2.4.5	Alternativní scénáře údržby .....	65
2.5	Sociální analýza životního cyklu .....	67
2.5.1	Alternativní scénáře údržby .....	69
2.6	Závěry z výsledků případové studie A .....	70
3	PŘÍPADOVÉ STUDIE – MOST TYPU B .....	72
3.1	Popis případové studie B1 .....	72
3.1.1	Popis konstrukčního systému mostu, geometrie a dalších parametrů .....	72
3.1.1	Uvažované parametry návrhu .....	73
3.2	Analýza dopravy .....	74
3.3	Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí .....	74
3.3.1	Fáze výroby materiálu .....	74
3.3.2	Fáze výstavby .....	75
3.3.3	Fáze provozu .....	76
3.3.4	Fáze konec života .....	78
3.3.5	Výsledky posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí .....	78
3.3.6	Alternativní scénáře údržby .....	79
3.4	Posouzení nákladů na životní cyklus .....	80
3.4.1	Počáteční náklady .....	80
3.4.2	Provozní náklady .....	81

3.4.3	Náklady na ukončení života .....	82
3.4.4	Celkové náklady na životní cyklus .....	82
3.4.5	Alternativní scénáře údržby .....	82
3.5	Sociální analýza životního cyklu .....	83
3.5.1	Alternativní scénáře údržby .....	84
3.6	Závěry z výsledků případové studie B .....	85
4	<b>PŘÍPADOVÉ STUDIE – MOST TYPU C1</b> .....	86
4.1	Případ C1 - Vícepolové dálniční mosty .....	86
4.1.1	Popis případových studií .....	86
4.1.2	Analýza dopravy .....	89
4.1.3	Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí .....	90
4.1.4	Posouzení nákladů na životní cyklus .....	102
4.1.5	Sociální analýza životního cyklu .....	108
4.1.6	Závěry z výsledků případové studie C1 .....	110
4.2	Případ C2 – Jednopolové dálniční mosty .....	111
4.2.1	Popis případových studií .....	111
4.2.2	Dopravní analýza .....	114
4.2.3	Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí .....	114
4.2.4	Posouzení nákladů na životní cyklus .....	125
4.2.5	Sociální analýza životního cyklu .....	130
4.2.6	Závěry z výsledků případové studie C2 .....	132
5	<b>SHRNUTÍ A ZÁVĚRY</b> .....	133
	<b>PŘÍLOHA A:</b> .....	139
	Tabulka A1: Standardní scénář údržby .....	139
	Tabulka A2: Scénář nedostatek finančních prostředků .....	140
	Tabulka A3: Scénář prodloužená životnost .....	141
	Tabulka A4: Dopravní omezení pro případ B a C .....	142
	Tabulka A5: Dopravní omezení pro případ A .....	143
	Tabulka A6: Typ provozu, pracnost a jednotková cena údržby .....	144



## Shrnutí

Mosty mají velký význam pro evropskou infrastrukturu. Vzhledem k jejich významu je poptávka po udržitelných, vysoce pokročilých, nákladově vhodných, ekologických a dlouhotrvajících konstrukcích. Během projektu SBRI - Sustainable Steel-Composite Bridges in Built Environment byly analyzovány ocelové a ocelobetonové spřažené silniční mosty pomocí holistického přístupu, který kombinuje analýzu životního cyklu (LCA), analýzu nákladů na životní cyklus (LCC) a výtěžnost životního cyklu (LCP) čímž podporuje ocelové konstrukce na trhu mostních staveb.

Monografie přináší metodiku návrhu s uvažováním celého životního cyklu mostu. Řešení, která bylo připraveno v projektu SBRI, umožňuje uživatelům racionální rozhodování založené na místních možnostech a variantách návrhu. V rozhodovacím procesu poskytuje podklady pro jednání s úřady, orgány státní správy a investorskými organizacemi.

Publikace je rozdělena do dvou hlavních částí: Část A Obecné otázky a Část B Příklady. V části A jsou uvedeny základní informace včetně souvislostí. Pro vysvětlení udržitelného návrhu mostu s ohledem na celý životní cyklus mostu jsou v části B ukázány konkrétní aplikace. Vypracované příklady pokrývají celý životní cyklus mostů od stavby od provozu a údržby až po demolici mostu na konci životnosti.

# ČÁST A OBECNÉ OTÁZKY

## 1 ÚVOD

### 1.1 Obecně

Ve výzkumném projektu SBRI byla analyzována běžná uspořádání silničních mostů. Holistický přístup byl aplikován na ocelobetonové mosty kombinací analýzy environmentálních, ekonomických a funkčních dopadů s cílem přenesení myšlenky udržitelného návrhu do praxe. Projekt SBRI + se zaměřil na valorizaci a rozšíření metody připravené v rámci SBRI pro pokročilé aplikace s cílem zvýšit povědomí o novém způsobu udržitelného myšlení zejména mezi správci mostů, investory a projektanty.

Pro udržitelný rozvoj je zásadní uvážení celého životního cyklu konstrukce. Návrh mostu překračuje tradiční požadavky na bezpečnost návrhu a pouze počáteční náklady na stavbu, ale zahrnuje všechny fáze životního cyklu mostu, od získání surovin až po demolici a odstranění [1]. Proto je třeba hodnotit chování mostu během života, zpřesnit rozsah a četnost údržby, oprav a rekonstrukcí. V návrhu se uvažují aspekty, jako je vliv na životní prostředí, a ekonomické a společenské vlivy.

Posouzení celého životního cyklu je časově náročné. Otázkou je dostatek věrohodných dat. Přínosy, které přináší navrhování s ohledem na udržitelnost, jsou často vnímány pouze z dlouhodobého hlediska, což ztěžuje využití řešení. Doposud připravené metodiky pro posouzení životního cyklu jsou vhodné pro analýzu jednoduchých výrobků. Použití takového přístupu pro posudek komplexních systémů, jako je stavební konstrukce, vyvolává specifické otázky, které je třeba řešit, aby bylo možné využít [1]. Z důvodů byly v rámci výzkumného projektu SBRI shromážděny údaje týkající se posouzení nákladů na životní cyklus (LCC), posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí (LCA) a posouzení výkonnosti životního cyklu (LCP) pro všechny etapy životního cyklu mostů. Databáze tvoří základ pro podrobné vyšetřování LCC, LCA a LCP. Důraz je kladen na výtěžnost životního cyklu v souvislosti s různými degradačními procesy spřažených mostů. Vzhledem k tomu, že mosty jsou navrhovány s životností více než 100 let, je zvláštní pozornost věnována prohlídkám a údržbě.

### 1.2 Popis nástroje SBRI-Tool

Cílem nástroje je posouzení a porovnání udržitelnosti výstavby různých typů mostů v počáteční fázi návrhu s cílem implementace holistické metodiky posouzení životního cyklu konstrukce. Cílem je volba nejlepší varianty posouzením výhod a nevýhod každé alternativy ve fázi výstavby, provozu a ukončení života mostu nejen srovnání pouze počátečních nákladů výstavby.

Udržitelnost se hodnotí podle poslední evropské normy CEN TC350 a normy ISO 14040 [2] a 14044 [3]. Celková posouzení životního cyklu zahrnuje tři hlavní dílčí analýzy: Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí (LCA), Posouzení nákladů na životní cyklus (Life Cycle Cost Analysis - LCC) a Sociální analýzu životního cyklu (LCS) v různých fázích života mostu.

Ocelobetonové spřažené mosty jsou nyní navrhovány v mnoha různých podmínkách a variantách. Pro zjednodušení výběru mezi alternativami je v nástroji návrh projektu řazen do

tří reprezentativních skupin: Typ A – Dálniční nadjezdy, Typ B - Velké dálniční mosty a Typ C - Malé a střední dálniční mosty.

Nástroj obsahuje tři základní moduly. První umožňuje výpočet posouzení životního cyklu jednoho mostu se zadanými parametry a vlastnostmi. Druhý umožňuje uživatelům provádět vícekritériální analýzu při volbě různých parametrů v rámci návrhu jednoho typu mostu. Srovnání celkového posouzení životního cyklu různých typů mostů lze provést pomocí třetího modulu.

### 1.3 Cíle a rozsah projektu

Na evropském trhu s mosty dominují betonové mosty. Ocelové a ocelobetonové mosty představují alternativu pouze, pokud se uvažují další kritéria, např. estetika, doba výstavby nebo snížení celkové hmotnosti. Příčinou stavu je, že výběrové řízení, je prováděno pouze na základě minimálních nákladů na výstavbu. Vzhledem k rostoucímu objemu provozu a zvyšování celkové hmotnosti vozidel se přístup již není udržitelný, zejména vzhledem k tomu, že mosty představují obecně dlouho sloužící konstrukce, jejichž životnost je plánována na více než 100 let.

Proto byl vyvinut nový komplexní přístup kombinující posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí (LCA), posouzení nákladů na životní cyklus (LCC) a posouzení výkonnosti během životního cyklu (LCP). U ocelových a ocelobetonových mostů byly analyzovány inovativní řešení, které poskytují alternativy k betonovým mostům. V celém projektu se řeší tři reálné typy mostů a množství jejich variant, které představují standardní situace návrhu ocelových a ocelobetonových spřažených silničních mostů rozdělených podle délky rozpětí a jejich funkce. Případové studie si kladou za cíl seznámit uživatele s aplikací metodiky a umožnit srovnání jednotlivých variant.

## 2 UDRŽITELNOST NA ZÁKLADĚ POSOUZENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU MOSTŮ

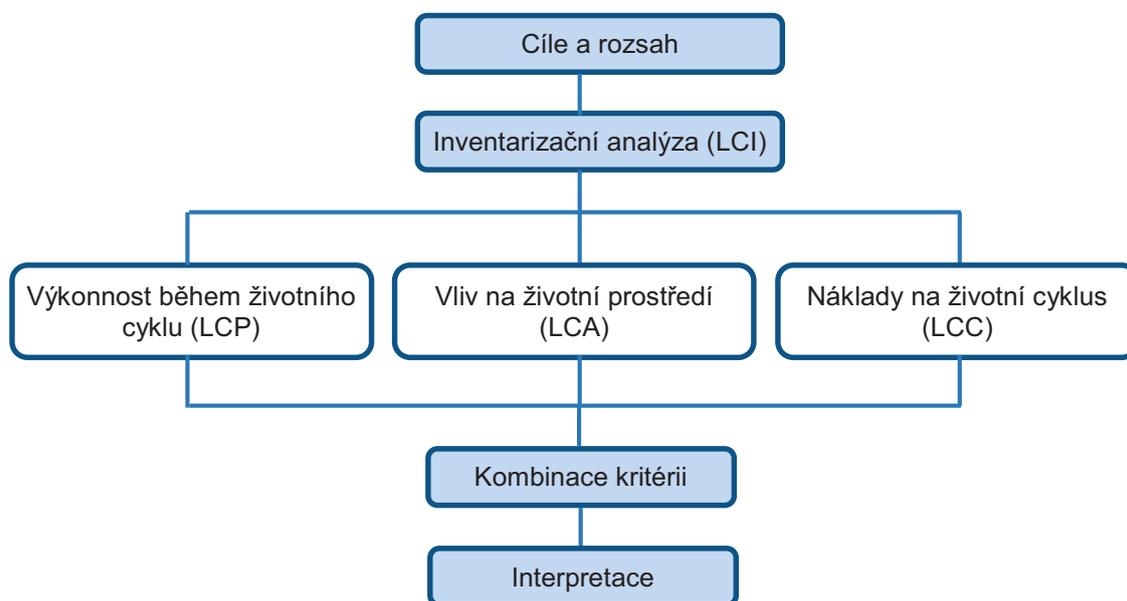
### 2.1 Obecná definice

Tradiční návrh mostu je založen na znalosti a zkušenosti projektantů, které podporují texty norem a předpisů. Požaduje se bezpečnost návrhu konstrukce a dokládají se informace o únosnosti, použitelnosti a trvanlivosti. V Evropě se předpokládá, že je splněna bezpečnost návrhu konstrukce podle požadavků Eurokódů. Předpokládá se, že nedojde k selhání mostu během 100 let.

Z hlediska udržitelnosti se bere v úvahu nejen fáze výstavby, ale i celý životní cyklus, tj. 100 let. Konstrukce čelí různým degradačním procesům, které začínají po uvedení mostu do provozu. Mezi ty patří únava, koroze ocelových nosníků a karbonatace betonu. Degradaci se brání vhodná volba detailů. Konstrukční funkce detailů a tedy i konstrukce je ovlivněna údržbou a opravou závad, které se zjišťují prohlídkami. K udržení dobrého stavu mostu je třeba průběžná údržba a opravy.

Zásah do konstrukce mostu, znamená environmentální a ekonomické dopady, se kterými je třeba uvažovat při posouzení životního cyklu. Environmentální a ekonomické posouzení

životního cyklu mostů přímo závisí na stavu konstrukce po celou dobu jeho života, který se řeší integrací výtěžnosti životního cyklu mostu, jak je znázorněno na obrázku 1.



Obrázek 1: Průběh vícekritériální analýzy životního cyklu

Dopady se posuzují odděleně pro každé kritérium. Kombinace kritérií, závisí na cíli analýzy. Je-li cílem identifikovat možnosti zlepšení procesů, které přispívají k významným dopadům, výkonnost konstrukce a environmentální a ekonomická výkonnost mohou být interpretovány jednotlivě. Je-li cílem řešení otázek spojených s návrhem, lze zvážit výsledky jednotlivých kategorií pomocí vícekritériální návrhové analýzy. Je třeba zdůraznit, že analýza životního cyklu není rozhodovacím kritériem. Poskytne ale cenné informace pro přijetí konečného rozhodnutí [1].

Výkonnost během životního cyklu ocelobetonových mostů je posuzována od získání surovin, přes následnou výstavbu, provozování mostu (včetně údržby atd.), až po demolici na konci životnosti. Posuzování výkonnosti během životního cyklu ocelobetonových mostů pomocí holistického návrhového přístupu, který je popsán níže, byla analyzována v projektu SBRI za účasti jednotlivých partnerů, které tvořili vědečtí pracovníci, správci mostů, projekční organizace a výrobci oceli.

V projektu byl vytvořen souhrnný přístup k životnímu cyklu konstrukce pro hodnocení dálničních mostů. Cílem přístupu je posouzení životního cyklu mostu v kontextu udržitelného rozvoje a výstavby, dále vyvážit ekologické a ekonomické aspekty.

V současné době neexistuje standardizovaná metodika, která by poskytla návod na souhrnné posouzení celého životního cyklu stavebního systému [1]. Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí má v současnosti nejvíce zavedený standardizovaný postup, i když stále neexistuje všeobecně přijatelná metodologie. Další v pořadí, uvažuje-li se pokročilost vyvinuté metodiky, je posouzení nákladů na životní cyklus. Vývoj obecného postupu pro souhrnné posouzení celého životního cyklu byl založen na standardizovaném postupu pro posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí (LCA) podle série norem ISO 14040 [2] se zahrnutím ekonomických kritérií.

Obecný postup zahrnuje čtyři hlavní kroky normy ISO 14040 [2], tj. cíl a zaměření; soupis vlastností; posouzení dopadu; a interpretace výsledků. Každý krok posouzení byl upraven, aby se umožnilo zahrnutí ekonomických aspektů do celkového posouzení životního cyklu.

## 2.2 Holistický přístup

Celkové posouzení životního cyklu, které se zaměřuje na udržitelnost výstavby mostních konstrukcí, je rozděleno do tří hlavních kategorií, viz obrázek 2. Environmentální kvalita konstrukce zohledňuje analýza emisí v rámci posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí (LCA). Ekonomická kvalita konstrukce je zahrnuta pomocí nákladů, které se vyskytují během celého životního cyklu (LCC) a jsou definovány ve druhé kategorii. Sociální a funkční kvalita konstrukce je zahrnuta v třetí hlavní kategorii, kterou je sociální analýza životního cyklu (LCS). Při použití holistického přístupu k celému životnímu cyklu mostů je po celou dobu životnosti zohledněn vliv uvedených parametrů na konstrukci i na společnost.



Obrázek 2: Holistický přístup k analýze životního cyklu.

Popis konstrukce během životního cyklu (LCP) je podmínkou pro určení jakékoliv inspekční akce během provozu potřebné k zajištění funkce konstrukce. Na počátečním návrhu a stavu konstrukce jsou závislé kontrolní a opravné zásahy potřebné během života konstrukce a stav mostu na konci životnosti. Účinky degradačních a obnovovacích akcí mohou vést k dodatečným emisím (LCA), nákladům (LCC) a omezené sociální a funkční kvalitě konstrukce (LCS).

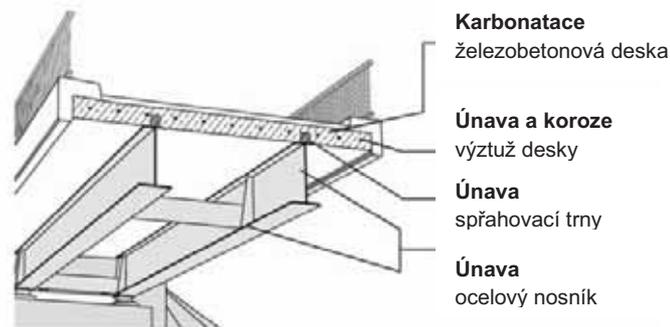
Použití holistického přístupu pro celý životní cyklus je základem pro přechod od návrhu mostů, který je založen na počátečních stavebních nákladech, k udržitelnému návrhu s přihlédnutím k výhodám ocelobetonových mostů, jako je doba výstavby, trvanlivost a efektivní využití materiálu.

## 2.3 Výkonnost během životního cyklu

Hodnocení výkonnosti během životního cyklu začíná stavbou mostu a získáním materiálu. Provozní fáze začíná, když most přejde do provozu a etapa končí, když most dosáhne konce funkčnosti - konce životnosti. Životní cyklus se týká jak: a) různých degradačních procesů, mezi něž patří karbonatace (iniciace koroze betonové výztuže), koroze ocelových nosníků, únava, tak b) odpovídajících intervalů a metod kontroly a údržby.

Výkonnost během životního cyklu každého mostu je závislá hlavně na výkonu důležitých detailů. Pro holistickou analýzu jsou proto nezbytné dobré znalosti chování detailů během celé

životnosti mostu. Degradace se dělí dle několika procesů. Pro mosty to jsou únavy, koroze a karbonatace, viz obrázek 3.



Obrázek 3: Degradální procesy

Kontrola a údržba se plánují na základě podrobného popisu životního cyklu detailů mostu. To umožňuje snížení nákladů na životní cyklus a emise. Intervaly prohlídek mostů lze optimalizovat aplikací včasným zjištěním poruch vhodnými metodami nedestruktivního testování. Znalost a schopnost popsat životní cyklus degradačních procesů detailů mostu umožňuje optimalizovat udržitelnost konstrukce.

### 2.3.1 Únava

Mosty jsou vystaveny zatížení dopravou po celou dobu své životnosti. Zatížení dopravou je rozhodující. Kvůli rostoucímu objemu provozu, je třeba počítat se zvyšujícím se zatížením do konce životního cyklu mostu. Únavové chování u mostních konstrukcí nelze zanedbat. Je jedním z hlavních degradačních procesů.

Detaily konstrukce mostu mohou být ovlivněny únavovým poškozením a způsobit poruchy mostů. Klasifikace podle závažnosti indukovaného poškození vede k identifikaci nejdůležitějších detailů během životního cyklu. Příklady z literatury ukazují, že kritická místa jsou nejen v ocelové konstrukci, ale i v detailech ocelobetonové konstrukce. Jako typický detail v ocelové konstrukci byla zvolena příčná výztuha. Příčné výztuhy se využívají jak u ocelových mostů, tak u ocelobetonových mostů. V obou případech mohou vyvolávat únavové trhliny. Výzkumy prokázaly, že ošetření svaru po přivaření výztuhy zvyšuje únavovou životnost.

Účinným spřažením ocelobetonových mostů jsou vodorovné trny v kombinaci s vynechanou ocelovou přírubou, např. pro prefabrikované ocelobetonové mostní nosníky, nebo u obloukových mostů spojení betonové desky s vnějším hlavním nosníkem. Do celkového posouzení byly zahrnuty výsledky z dosavadních modelů degradace detailů rozšířené o výsledky experimentů partnerů projektu.

### 2.3.2 Koroze

Společnou výzvou ocelobetonových mostů je koroze ve styku mezi ocelovým nosníkem a betonovou deskou. Korozní skvrny se mohou objevit na rozhraní mezi ocelovým nosníkem a betonovou deskou, nebo pokud je v místě styku použit těsnicí tmel, i na povrchu. Korozní skvrny jsou způsobeny korozí na povrchu oceli za těsnicím materiálem nebo korozí vázacího drátu. V tomto případě nemají skvrny přímý vliv na stav ocelového nosníku. Po zjištění koroze je zapotřebí provést důkladnou opravu, aby se zastavil korozní proces a zabránilo se dalším

závažným problémům. Pro opravu koroze ve spoji mezi ocelovým nosníkem a betonovou deskou lze použít nátěry povrchu nebo elastické těsnicí tmely.

### 2.3.3 Karbonatace

Proces karbonatace degraduje železobetonovou konstrukci ocelobetonových mostů. Dlouhodobá trvanlivost železobetonových konstrukcí hlavní otázka jejich udržitelnosti s ohledem na obrovské náklady k udržení infrastruktury v provozuschopném stavu. Koroze ocelové výztuže je způsobena průnikem chloridů anebo atmosférickou karbonatace. Tradičně se řeší pravidly, která stanovují požadavky na parametry směsi, tloušťku betonové krycí vrstvy, mezení šířky trhlin, atd. Kvůli složitosti a rozmanitosti používaných poživ pravidla již nejsou vhodná a omezují projektanty. V současné době lze parametry použité směsi zlepšit přísadami jako superplastifikátory, provzdušňovače, atd., a použití cementu smíchaného s doplňkovými příměsi, jako je popílek, struska, oxid křemičitý atd.

V současné době se doporučuje přístup založený na výkonnosti konstrukce [4] [5], ve kterém jsou pravidla spojená s vlastnostmi, kterých je třeba dosáhnout z hlediska trvanlivosti, tj. poréznost, propustnost apod. Korozi zabetonované ocelové výztuže, která vznikla v důsledku atmosférické karbonatace, je věnována značná pozornost, protože nevratně ovlivňuje provozuschopnost konstrukcí. Většina betonových konstrukcí je vystavena působení oxidu uhličitého, který difunduje do betonové krycí vrstvy, rozpouští se v kapilární a pórové vlhkosti a reaguje s hydratačními sloučeninami. To snižuje hodnotu pH a dále prohlubuje korozi ocelové výztuže [6]. Koroze je výrazná u cementových materiálů s nízkým obsahem portlanditu. Portlandit je hlavním dodavatelem alkalické pufrací kapacity. Proto je běžný beton střední až vysoké pórovitosti vyrobený z pojiva s velkým množstvím doplňkových cementových materiálů citlivější na karbonataci. Kvantifikace karbonatace betonů je rozhodující, protože jejich používání se v příštích desetiletích výrazně sníží, aby se zmírnily emise CO<sub>2</sub>.

Nejjednodušším a nejúčinnějším způsobem, jak zvýšit životnost ŽB konstrukcí, je prodloužit dobu iniciace koroze, která je definována jako doba potřebná k tomu, aby se první vrstva ocelové výztuže oddělila od betonu. Aby bylo možné předpovědět tuto dobu, používají se numerické modely. Většinou se používá deterministický přístup, který je pro předpovědi na nad padesát let nespolehlivý vzhledem k tomu, že většina vstupních dat modelu vykazuje velkou variabilitu.

## 2.4 Kontrolní strategie a strategie údržby

Pravidelné kontroly během provozu mostu umožňují průběžné sledování jeho stavu a vyhodnocení případné potřeby údržby a opravy. Definice a cíl jednotlivých typů kontrol jsou:

Běžná prohlídka - vizuální pozorování k detekci malých poškození, které lze okamžitě opravit. Tým je tvořen jedním nebo dvěma členy personálu údržby se specifickým výcvikem.

Hlavní prohlídka - podrobná vizuální prohlídka se speciálními způsoby přístupu. Cílem je vyhodnocení vývoje stavu mostu s definicí možných opravných nebo nápravných akcí.

Mimořádná prohlídka - podrobná prohlídka, je-li zapotřebí konkrétní plán opravy pro úplnou nebo částečnou rekonstrukci mostu. Využívají se zkoušky a laboratorní testy k vyhodnocení stavu poškození a k doporučení opravy případného poškození.

Předpokládaná frekvence pro každý typ kontroly pro standardní scénář je uvedena v tabulce 1.

**Tabulka 1: Standardní scénář – frekvence a průměrný počet prohlídek**

Typ prohlídky	Frekvence prohlídek	Průměrný počet prohlídek během 100 let
Běžná	Ročně	100
Hlavní	Po šesti letech	17
Zvláštní	Dvakrát za 100 let	2

Pro údržbu během fáze provozu byla pro různé evropské země připravena strategie údržby [7]. Údržbové činnosti lze rozdělit do kategorií podle její intenzity. Ve výzkumu byly zvažovány tři typy údržbových scénářů:

Standardní scénář - pro běžný most se 100letou životností, v rámci kterého bude dostatek peněz pro provedení všech nezbytných prohlídek a údržbářských a opravárenských prací;

Nedostatek finančních prostředků - v průběhu životního cyklu mostu, není dostatek peněz na to, aby se podstoupily potřebné údržbové a opravné práce, stav mostu se bude výrazně zhoršovat a bude zavedeno omezení provozu po stém roce života. V následujících letech bude muset být kontrolní činnost zvýšena pro zjištění aktuálního stavu mostu a bude zvýšena činnost údržby, aby byla navýšena životnost některých částí konstrukce;

Prodloužená životnost – přibližně kolem 80 roku provozu mostu, je rozhodnuto o prodloužení životnosti mostu o 30 let (celkem 130 let a ne více). Po 80. roce jsou revizní a údržbové akce upraveny tak, aby mohlo být dosaženo prodloužení životnosti.

Scénáře jsou popsány v následujících kapitolách.

#### **2.4.1 Standardní scénář**

Ve standardním scénáři jsou typy a frekvence kontrol, které jsou uvedeny níže, nezbytné pro zjištění stavu mostní konstrukce a zajištění průměrné životnosti prvků mostu. Četnost údržbových a opravných prací je nezbytná pro udržení dobrého stavu mostu. Pokud jde o údržbu a opravu, ve standardním scénáři se předpokládá, že údržba probíhá před koncem průměrné životnosti prvků mostu. Při dosažení průměrné životnosti jsou konstrukční prvky nahrazeny.

Pro provozní fázi se předpokládá, že průměrná životnost každého konstrukčního nebo nekonstrukčního prvku mostu je stejná pro standardní scénář, scénář nedostatek finančních prostředků i pro scénář prodloužená životnost, viz tabulka 2. Frekvence údržby a opravy se určuje z průměrné životnosti prvků.

**Tabulka 2: Průměrná životnost předpokládaná pro prvky mostu (standardní scénář, scénář nedostatek finančních prostředků a scénář prodloužená životnost)**

Prvek	Průměrná životnost (roky)
Betonová konstrukce	100
Betonová římsa	40
Svodidla	40
Ocelová konstrukce	100
Protikoroziční ochrana oceli	35
Dilatační závěry	40
Vozovkové souvrství	20
Hydroizolace	40
Klempířské prvky	25
Elastomerová ložiska	35
Zábradlí	40

**Tabulka 3: Standardní scénář - průměrná frekvence údržby a oprav**

Prvek	Údržba	Standardní frekvence údržby (roky)
Betonová konstrukce	Opravy malé části	25
Betonová římsa	Malé opravy	25
Svodidla	Částečná výměna	25
Protikoroziční ochrana oceli	Obnovení nátěru	25
Dilatační závěry	Částečná výměna	10
Vozovkové souvrství	Malé opravy	10
Hydroizolace	Bez údržby *	0
Klempířské prvky	Bez údržby *	0
Elastomerová ložiska	Očištění, nátěr, lubrikace	20
Zábradlí	Obnovení nátěru	20

(\*) – Bezúdržbové prvky. Celková výměna probíhá po dosažení životnosti prvku.

V příloze A v tabulce A1 jsou shrnuty údaje, které byly předpokládány pro definici standardního scénáře.

#### 2.4.2 Nedostatek finančních prostředků

Ve scénáři se předpokládá, že v počátečních fázích provozu mostu budou kontroly méně časté kvůli nedostatku peněz. Jak se přibližuje odhadovaný konec životnosti, kontroly budou častější kvůli vyhodnocení stavu mostu a zajištění bezpečnosti konstrukce.

Opravné práce jsou zpožděny a naplánovány ke konci životnosti, zavádějí se nové činnosti údržby pro prodloužení životnosti některých mostních prvků, aby se posunuly nebo odstranily další údržbové zásahy.

Pokud jde o předpoklady životnosti prvků a frekvenci údržby a oprav, průměrná životnost prvků mostu je u všech scénářů stejná, ale předpokládaná frekvence údržby a oprav je uvedena v tabulce 4.

**Tabulka 4: Scénář nedostatku finančních prostředků - průměrná frekvence údržby a oprav**

Prvek	Údržba	Standardní frekvence údržby (roky)
Betonová konstrukce	Opravy malé části	50
Betonová římsa	Malé opravy	50
Svodidla	Částečná výměna	20
Protikorozi ochrana oceli	Obnovení nátěru	25
Dilatační závěry	Částečná výměna	10
Vozovkové souvrství	Malé opravy	10
Hydroizolace	Bez údržby *	0
Klempířské prvky	Bez údržby *	0
Elastomerová ložiska	Očištění, nátěr, lubrikace	20
Zábradlí	Obnovení nátěru	20

(\*) – Bezúdržbové prvky. Celková výměna probíhá po dosažení životnosti prvku.

V příloze A - tabulce A2 jsou shrnuty údaje, které byly předpokládány pro definici scénáře nedostatek finančních prostředků.

### 2.4.3 Prodloužená životnost

Ve scénáři bylo rozhodnuto udržovat most po dobu dalších 30 let (130 let životnosti a ne více), rozhodnutí padlo kolem osmdesátého roku provozu. Frekvence kontroly a údržby jsou podobné standardnímu scénáři až do osmdesátého roku s výjimkou následujících prvků: betonová konstrukce, římsy a jejich obruby, svodidla a ložiska. Po roce jsou akce kontroly a údržby upraveny tak, aby dosáhly prodloužení životnosti. Údržbové akce u některých prvků budou častější mezi rokem 115 a 130. Rovněž se předpokládá, že v ocelové konstrukci nedojde k problémům s únavou, a není předpokládáno žádné zesílení konstrukce.

Průměrná životnost prvků mostu je stejná jako u standardního scénáře a scénáře nedostatečných finančních prostředků a předpokládaná četnost údržby je uvedena v tabulce 5.

**Tabulka 5: Prodloužená životnost - průměrná frekvence údržby**

Prvek	Údržba	Standardní frekvence údržby (roky)
Betonová konstrukce	Opravy malé části	25
Betonová římsa	Malé opravy	40
Svodidla	Částečná výměna	20
Protikorozi ochrana oceli	Obnovení nátěru	25
Dilatační závěry	Částečná výměna	10
Vozovkové souvrství	Malé opravy	10
Hydroizolace	Bez údržby *	0
Klempířské prvky	Bez údržby *	0
Elastomerová ložiska	Očištění, nátěr, lubrikace	25
Zábradlí	Obnovení nátěru	20

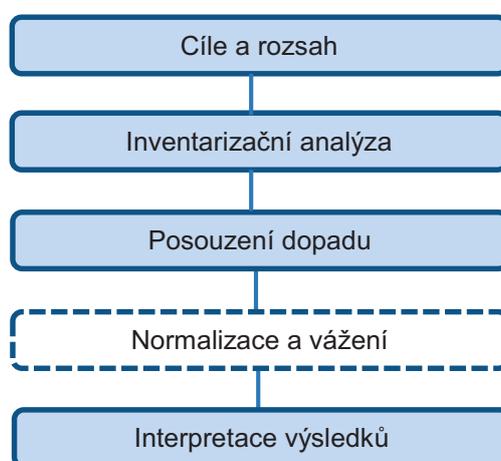
(\*) – Bezúdržbové prvky. Celková výměna probíhá po dosažení životnosti prvku.

V příloze A - tabulce A3 jsou shrnuty údaje, které byly předpokládány pro definici scénáře prodloužená životnost.

### 3 VLIV ŽIVOTNÍHO CYKLU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ (LCA)

#### 3.1 Obecně

Přístup k posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí (Lifecycle Environmental Analysis - LCA) použitý v projektu je v souladu s normami ISO 14040 [2] a ISO 14044 [3]. Normy specifikují rámec použití, zásady a základní požadavky pro tvorbu a podávání zpráv o hodnocení životního cyklu. Podle nich musí hodnocení životního cyklu zahrnovat i) definici cíle a rozsahu hodnocení, ii) analýzu stavu zásob, iii) posouzení dopadů, iv) normalizaci a vážení a v) interpretaci výsledků. Krok normalizace a vážení je podle norem ISO považován za nepovinný a v rámci posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí nebude obsažen. Úplný vývojový diagram pro analýzu vlivu životního cyklu na životní prostředí je podrobně popsán na Obrázek 4.



Obrázek 4: Schéma postupu při posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

Pro udržitelný rozvoj je zásadní uvážení celého životního cyklu konstrukce. V kontextu překračuje návrh mostu tradiční požadavky na bezpečnost návrhu a počáteční náklady na stavbu. Životním cyklem mostu se rozumí celý proces od získání surovin až po vyřazení mostu z provozu [1]. Předpokládá se predikce chování mostu během života, odhad vlivu údržby a oprav mostů apod. Kromě pro návrh mostu netradičních aspektů, jako je vliv na životní prostředí, a ekonomické a společenské vlivy, je třeba uvažovat s tradičními aspekty jako je bezpečnost návrhu a počáteční cena konstrukce.

Posouzení životního cyklu je obvykle časově náročné. Dalším problémem je často nedostatek dat. Přínosy, které přináší navrhování s ohledem na udržitelnost, se často projevují až po dlouhé době, což ztěžuje prosazení řešení.

V neposlední řadě, jsou dosud vyvinuté metodiky vhodné pro posouzení jednoduchých produktů. Aplikace metodik pro komplexní systém jako je mostní konstrukce s sebou přináší další specifické problémy, které je před použitím nutné vyřešit [1].

#### 3.2 Cíle a zaměření LCA

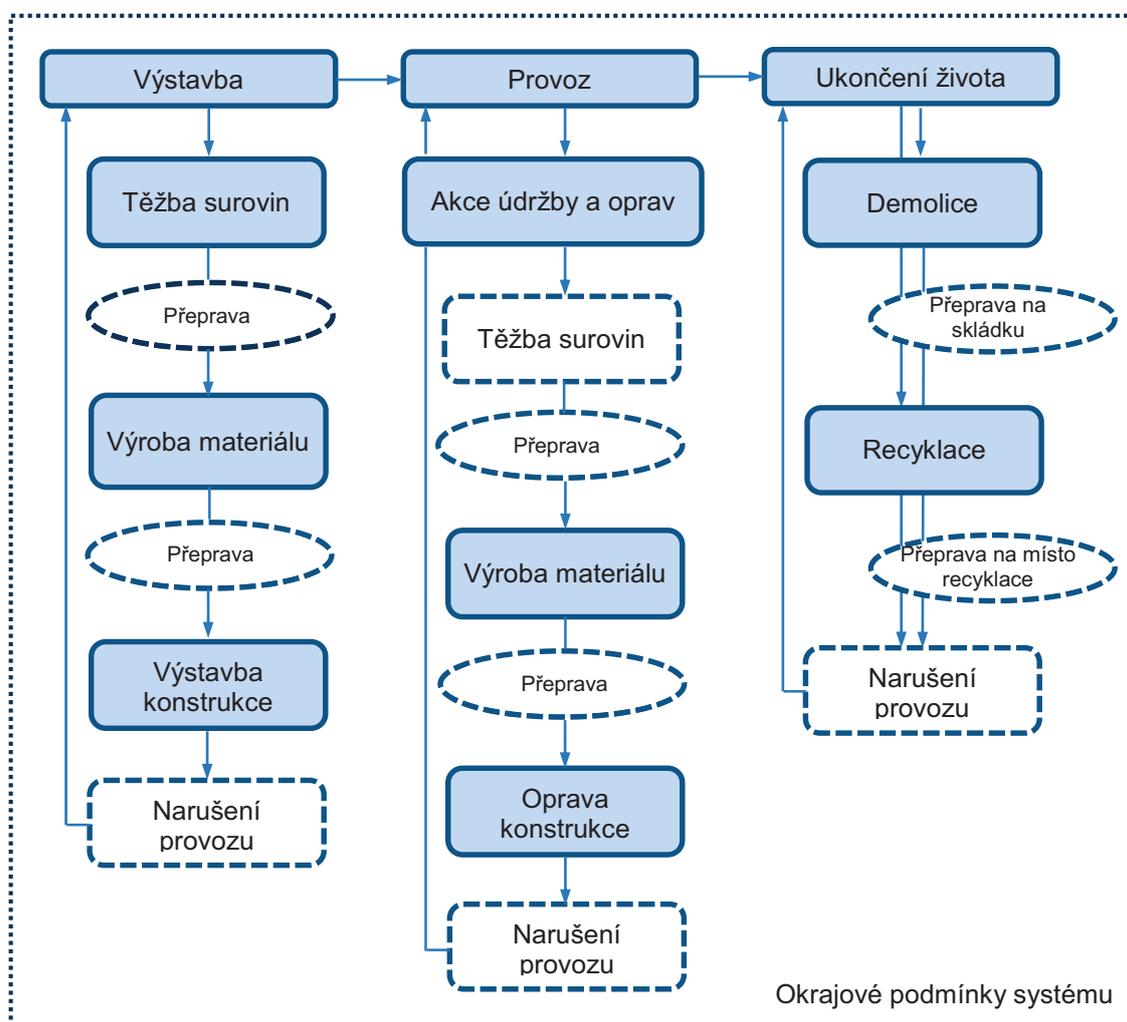
Cílem LCA je zhodnotit environmentální vlastnosti ocelobetonových dálničních mostů v průběhu jejich životního cyklu. Předpokládaná délka analýzy je 100 let. Posouzení životního

cyklu podtrhne hlavní výhody a nevýhody druhu konstrukce a poskytne doporučení pro zlepšení návrhu.

Okrajové podmínky analýzy určují, který jednotkový proces musí být zahrnut do LCA [2]. Okrajové podmínky jsou definovány několika faktory. Jedná se o aplikace studie, zvolené předpoklady, mezní kritéria, datová a nákladová omezení a cílového příjemce.

Okrajové podmínky přijaté v projektu jsou uvedeny na obrázku 5. Jsou zahrnuty všechny etapy celého životního cyklu mostů, od těžby surovin až po ukončení života konstrukce. Dále je v rámci okrajových podmínek zahrnuta přeprava materiálů a zařízení.

Během stavby ocelobetonových dálničních mostů (za předpokladu, že dálnice je v provozu) nebo pokud je most opravován, se tvoří dopravní zácpy důsledkem omezení provozu v oblasti stavebních prací. Toto zpoždění související se stavebními pracemi má za následek zvýšenou spotřebu paliva a související emise. Účinky dopravních omezení jsou do LCA zahrnuty.



Obrázek 5: Okrajové podmínky LCA

### 3.3 Metodika pro posouzení dopadu

Fáze posuzování dopadů LCA vyhodnocuje význam možných dopadů na životní prostředí s využitím výsledků analýzy stavu zásob během životního cyklu. Obecně proces zahrnuje přiřazení údajů o stavu zásob k údajům o dopadu na životní a probíhá ve dvou částech (i)

zahrnutí povinných prvků, jako je výběr environmentálních ukazatelů a jejich klasifikace; a (ii) zahrnutí volitelných prvků, jako je normalizace prvků, stanovení jejich pořadí, jejich seskupení a vážení.

Klasifikace dopadu znamená předchozí výběr vhodných kategorií dopadu podle cíle studie a zařazení výsledků do vybraných kategorií dopadů. Pak se použijí charakterizační faktory, které představují relativní přínos výsledku ( $m_i$ ) do kategorie dopadu podle jednotlivých indikátorů, jak je vyjádřeno v následující rovnici:

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

Indikátory/potenciály dopadu na životní prostředí, které byly přijaty pro posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí, jsou uvedeny v Tabulka 6.

**Tabulka 6: Indikátory dopadů na životní prostředí pro LCA**

Indikátor		Jednotka	Časové období
Potenciál globálního oteplování	GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	100 let
Potenciál acidifikace prostředí	AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	∞
Potenciál eutrofizace prostředí	EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	∞
Potenciál tvorby přízemního ozonu	POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.	-
Potenciál porušení ozonové vrstvy	ODP	Kg CFC eq.	∞
Potenciál porušení abiotické složky prostředí	ADP	Kg Sb eq.	-

### 3.4 Indikátory vlivu na životní prostředí

#### 3.4.1 Potenciál globálního oteplování (GWP)

Indikátor globálního oteplování měří vliv emisí způsobených lidskou činností na radiční působení atmosféry. GWP je definovaný jako poměr časově integrovaného radičního působení k okamžitému uvolnění 1 kg stopové látky ku 1 kg referenčního plynu [8]. Pro definici GWP je referenčním plynem oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>).

#### 3.4.2 Potenciál porušení ozonové vrstvy (ODP)

Indikátor porušení ozonové vrstvy je odvozen z několika vlastností plynu, mezi něž patří stabilita pro dosažení stratosféry a množství bromu nebo chloru, které plyn obsahuje. Vlastnosti jsou srovnávány s trichlorfluorometanem CFC-11 (ačkoli CFC-11 je nyní v průmyslově vyspělých zemích zakázán Montrealským protokolem, stále se vyrábí v mnoha rozvojových zemích). Vlastnosti každého plynu se porovnávají s vlastnostmi CFC-11 a převedou se na ekvivalent CFC-11. Následně se jednotlivé ekvivalenty shromáždí pro celkové vyhodnocení indikátoru porušení ozonové vrstvy, což představuje celkové množství uvolněných plynů, které poškozují ozonovou vrstvu.

### 3.4.3 Potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP)

Fotooxidanty se vytváří v troposféře za působení ultrafialového záření fotochemickou oxidací těkavých organických sloučenin (VOC) a oxidu uhelnatého (CO) za přítomnosti oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ) [9]. Chemická reakce je nelineární, což znamená, že někdy je reakce řízena koncentrací  $\text{NO}_x$ , a jindy je řízena koncentrací VOC. Pro celkové vyhodnocení se uvažují různé ukazatele vykazující nízké, průměrné a vysoké koncentrace NO. Potenciál tvorby přízemního ozonu uvažuje různé emisní scénáře pro těkavé organické sloučeniny (VOC). Proto je potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP) dán poměrem mezi změnou koncentrace ozonu v důsledku změny emisí těkavých organických sloučenin (VOC) a změnou koncentrace ozonu v důsledku změny emisí etylenu ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) [9].

### 3.4.4 Potenciál acidifikace prostředí (AP)

Acidifikace prostředí je kategorií dopadů, ve které hraje důležitou roli místní citlivost. Faktory charakterizace prostředí v práci jsou založeny na modelu RAINS-LCA, který bere jako zásadní vliv ukládání [10]. Na základě modelu vytvořil Huijbregts [10] charakterizační faktory pro 44 regionů v Evropě a průměrné charakterizační faktory pro Evropu pomocí váženého součtu regionálních faktorů pro každou acidifikační emisi. Ukazatel je vyjádřen jako ekvivalent kilogramu  $\text{SO}_2$ .

### 3.4.5 Potenciál eutrofizace prostředí (EP)

Indikátor eutrofizace prostředí je dán souhrnem potenciálního příspěvku emisí dusíku (N), fosforu (P) a uhlíku (C), (vyjádřeným jako chemická spotřeba kyslíku, COD) na tvorbu biomasy [9]. Potenciál eutrofizace konkrétní látky odráží i potenciální příspěvek k tvorbě biomasy. Ukazatel je vyjádřen jako ekvivalent kilogramu  $\text{PO}_4$ .

### 3.4.6 Potenciál porušení abiotické složky prostředí (ADP)

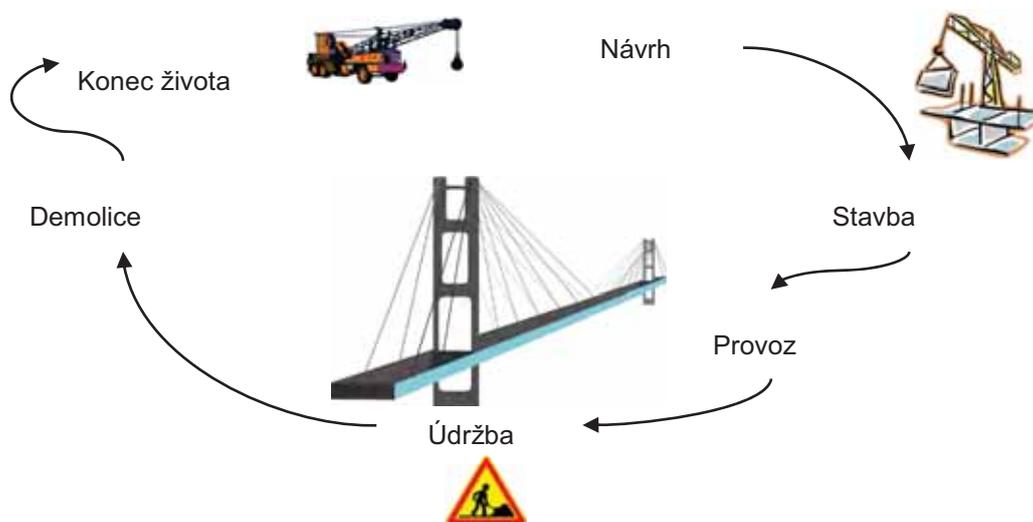
Indikátoru porušení abiotické složky prostředí vyhodnocuje environmentální problém související s klesající dostupností přírodních zdrojů. Přírodními zdroji se rozumí nerosty a materiály a látky nacházející se v zemi, moři, atmosféře a biotické složce přírody, které ještě nebyly průmyslově zpracovány [11].

Model [11] přijatý v práci k identifikaci porušení abiotické složky prostředí předpokládá, že konečnost rezerv společně s mírou těžby jsou nejlepším způsobem, jak reprezentovat závažnost vyčerpání zdrojů. Jedná se o globální model založený na maximálních zásobách světových zdrojů surovin a jejich každoročním vyčerpávání.

## 4 NÁKLADY NA ŽIVOTNÍ CYKLUS (LCC)

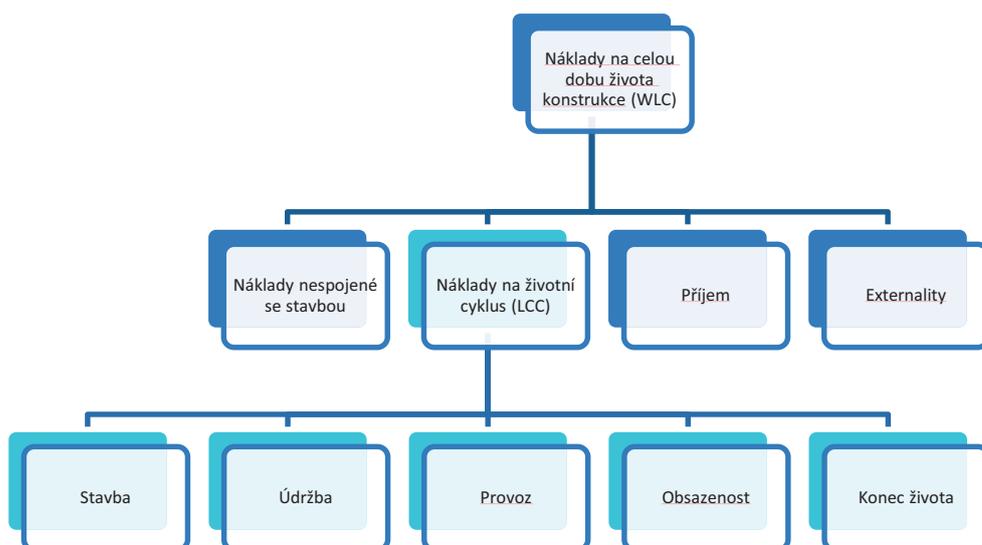
### 4.1 Obecně

Posouzení nákladů na životní cyklus (LCC) je ekonomická metoda hodnocení, ve kterém se uvažují všechny příslušné náklady ve stanoveném časovém období, s uvážením časové hodnoty peněz. Celkové náklady na životní cyklus zahrnují nejen náklady na výstavbu, ale i další náklady, jako je návrh, údržba, demolice, a další uživatelské náklady, které mohou představovat významnou část celkových nákladů na životní cyklus mostů, jak je znázorněno na Obrázek 6.



Obrázek 6: Stádia životního cyklu od návrhu až po konec života konstrukce

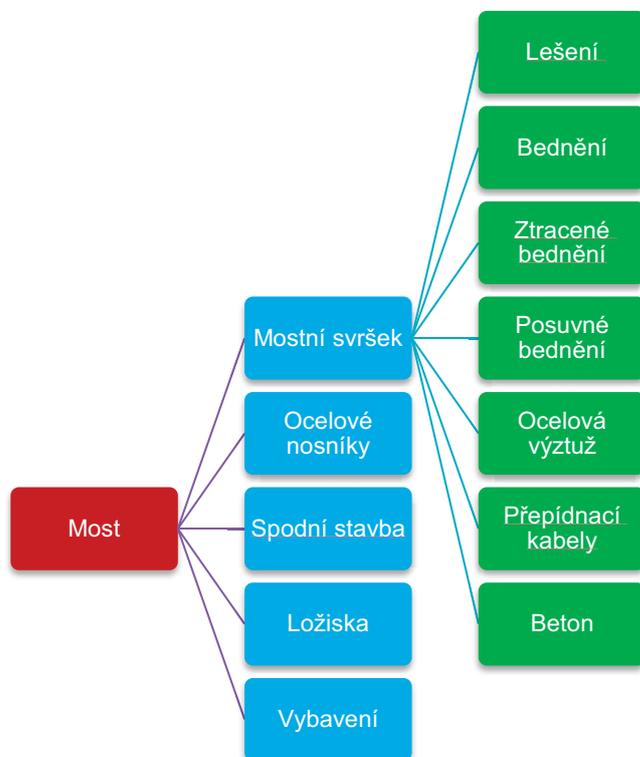
Metodika ISO 15686-5 [6] definuje posouzení nákladů na životní cyklus jako techniku, která umožňuje systematické ekonomické vyhodnocení nákladů životního cyklu v průběhu analýzy. Obrázek 7 definuje pojmy náklady na celou dobu života (Whole life cost - WLC) a náklady na životní cyklus (Life cycle cost - LCC). V případě uvážení nákladů a celou dobu života mohou předpokládané náklady nebo přínosy zahrnovat finanční a obchodní náklady, výnosy z prodeje pozemků a náklady na užívání. Důležitou motivací k použití posouzení nákladů na životní cyklus (LCC) je snaha vyrovnat možné zvýšení počátečních nákladů snížením nákladů na provoz a údržbu [7].



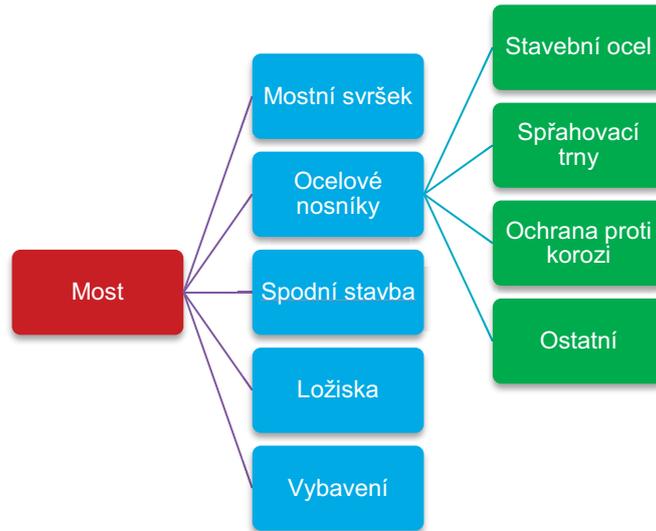
Obrázek 7: Koncept nákladů na celou dobu života a nákladů na životní cyklus [6]

#### 4.1.1 Fáze výstavby

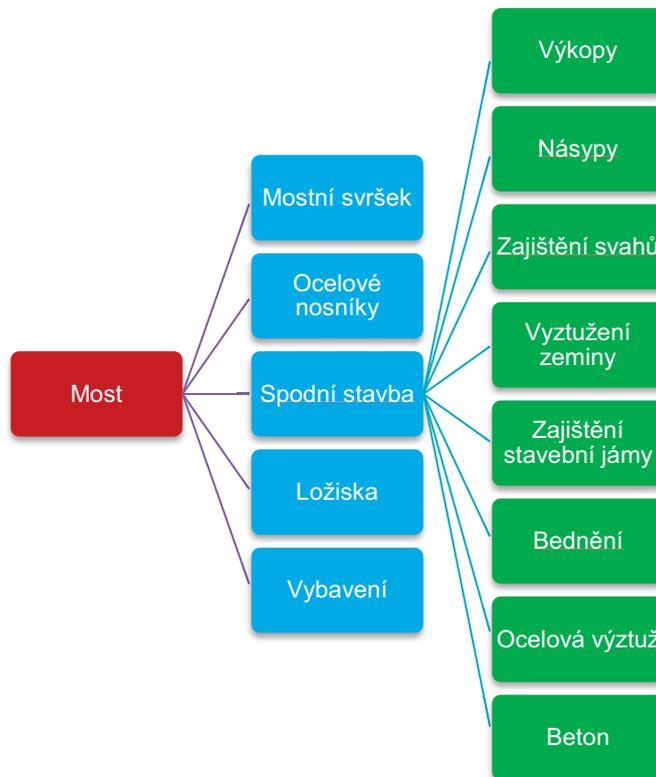
Výdaje související s výstavbou ocelobetonových konstrukcí zahrnují zejména náklady na (i) založení, (ii) spodní stavbu, tj. opěry, základy a ložiska, (iii) nosnou konstrukci s ocelovým nosníkem (pro ocelobetonový most), betonový mostní svršek a mostní vybavení (dilatační závěry, vozovkové souvrství, hydroizolační vrstvu, odvodnění, zábradlí a svodidla). Stojí za zmínku, že náklady by měly zahrnovat veškeré materiály a pracovní náklady potřebné pro každou součást, jak je uvedeno na Obrázek 8 až Obrázek 12.



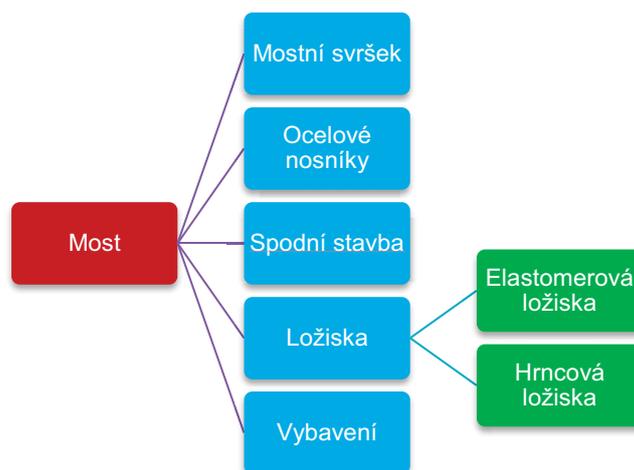
Obrázek 8: Prvky mostního svršku



Obrázek 9: Prvky ocelového nosníku



Obrázek 10: Prvky základů.



Obrázek 11: Prvky podpěr



Obrázek 12: Detaily vybavení mostu

Různá konstrukční řešení ocelobetonových mostů jsou spojena s odlišnými náklady na konstrukci podle druhu použitých materiálů a rozdílů v použitých postupech montáže. Publikace [12] uvádí, že pro hospodárny návrh je zásadní výběr vhodné třídy oceli a betonu. Použití oceli ve spřažených konstrukcích představuje velký potenciál pro úsporu, v případě využití efektivních stavebních technologií. Většina stavebních materiálů spotřebovává energii pro výrobu a přepravu. Aspekt je zohledněn v publikaci [13] vynásobením všech materiálových

nákladů na stavbu a na opravy určitým faktorem, který bere v potaz spotřebu energie pro výrobu a přepravu. Použití obnovitelných materiálů je zohledněno tím, že se uvažují náklady nebo zisky spojené s recyklací nebo opakovaným použitím.

#### 4.1.2 Fáze provozu

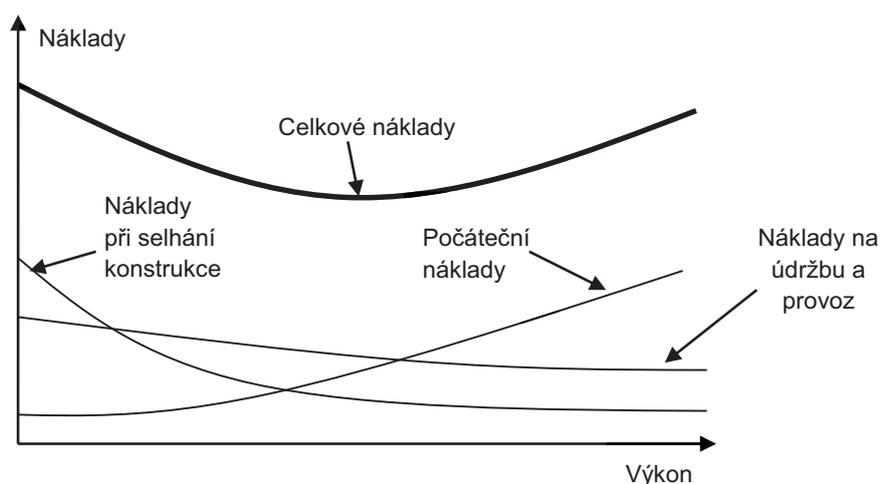
Na všech mostech musí být prováděna kontroly a údržba. Kontroly jsou nezbytné zejména pro stanovení intervenčních strategií. Časové intervaly mezi těmito akcemi závisí na druhu mostu, zkušenostech v různých zemích, dostupných ekonomických zdrojích, průměrné denní hustotě provozu, použití rozmrazovací soli atd. Strategie prohlídek (intenzita a frekvence) je v každé zemi odlišná na základě klimatických podmínek a strategických priorit jednotlivých zemí (Woodward 1997). Tři základní typy kontrol byly popsány v části 2.4.

Během provozní fáze mostu se bere v úvahu údržba, přičemž cílem je, aby výkonnost mostu (spojená s provozuschopností a bezpečností) zůstala vždy nad minimální hranicí, která odpovídá ukončení života konstrukce, v případě, že není provedena žádná další oprava.

#### 4.1.3 Fáze konce životnosti

Na konci životnosti se předpokládá, že most je odstraněn a že materiály jsou tříděny na stejném místě před odesláním do konečného místa určení. U ocelobetonových mostů se předpokládá, že ocelová konstrukce bude znovu použita. Zbývající části, což jsou obecně betonové a asfaltové materiály, jsou demolovány a přepravovány do míst pro likvidaci odpadu. V kontextu by náklady na konci životnosti měly zohledňovat náklady na demontáž mostu (práce, vybavení, DIO), náklady na dopravu a náklady na ukládání či likvidaci materiálů nebo na příjmy z jejich recyklace.

Při zohlednění všech nákladů v rozhodovacím procesu a při zajištění požadované výkonnosti mostu jsou řešení, která mohou být dražší než ostatní ve fázi výstavby, nakonec efektivnější při posuzování celkové životnosti stavby (obrázek 13).



Obrázek 13: Schematické znázornění nákladů na životní cyklus

## 4.2 Ekonomická evaluační metoda pro LCC

Pochopení časové hodnoty peněz a skutečnosti, že náklady odrážející se v posouzení LCC vznikají v různých časových okamžicích, vyvolává nutnost převést všechny hodnoty nákladů

na hodnotu ve společném okamžiku. Pro určení hodnoty existuje několik metod, z nichž některé jsou:

- **metoda návratnosti, která určuje čas potřebný k návratu počáteční investice,**
- **ekvivalentní roční náklady, které vyjadřují roční náklady na vlastnictví a provozování aktiva po celou dobu životnosti,**
- **vnitřní míra návratnosti, což je diskontní sazba, u které se čistá současná hodnota nákladů (záporné peněžní toky) rovná čisté současné hodnotě zisků (kladných peněžních toků)**
- **přístup zohledňující čistou současnou hodnotu, který přímo uplatňuje diskontní sazbu na předpokládaný peněžní tok každého roku.**

Přístup zohledňující čistou současnou hodnotu, zmíněný výše, je jednou z nejpoužívanějších metod pro porovnání minulých a budoucích peněžních toků se současnými. Aby náklady byly časově ekvivalentní, přístup je diskontuje na společný časový okamžik, přičemž diskontní sazba peněz odráží náklady na zmeškané příležitosti investora v čase. Čistou současnou hodnotu lze vypočítat následovně:

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

*NPV* jsou náklady na životní cyklus v současné hodnotě

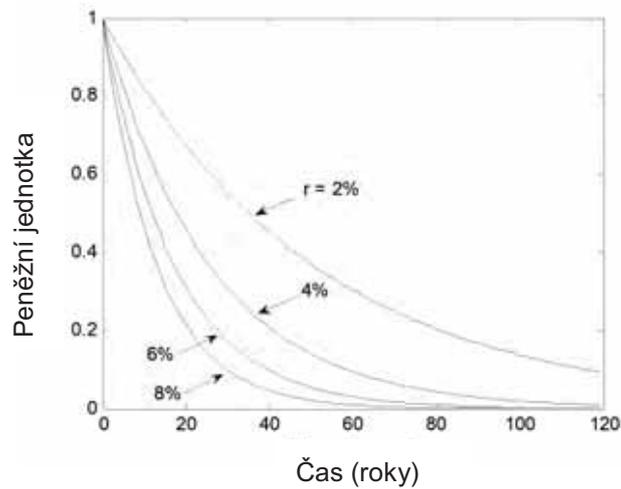
*k* uvažovaný rok

*C<sub>k</sub>* suma všech peněžních toků v roce *K*

*r* diskontní sazba

*N* počet činností, které je nutné uvážit po dobu životnosti

Roční profil jedné měnové jednotky je znázorněn na Obrázek 14. Při vysokých diskontních sazbách je pozorován prudký pokles diskontních nákladů. Rovněž se ukazuje, že volba *r* = 6 nebo 8% vede k téměř nulové peněžní hodnotě po uplynutí šedesáti let.



Obrázek 14: Profil jedné jednotky pro různé hodnoty  $r$

Hodnota použité roční diskontní sazby je zásadní, protože aktuální hodnota peněz (NPV) je na parametr velmi citlivá. Čím je diskontní sazba vyšší, tím více je potřeba věnovat pozornost blízké budoucnosti. Výběr vysoké diskontní sazby podporuje strategie řízení s nízkými počátečními náklady a nákladným ukončením života. Proto je výběr diskontní sazby velmi citlivým tématem a musí být v souladu s uvažovaným časovým horizontem. Diskontní sazba pro LCC v projektu SBRI je stanovena na 2% pro životnost 100 let.

## 5 SOCIÁLNÍ ANALÝZA ŽIVOTNÍHO CYKLU (LCS)

Hodnocení sociálních kritérií plně respektuje okrajové podmínky integrální analýzy (viz obrázek 5). Sociální kritéria umožňují vyčíslit dopady mostní konstrukce na přímé uživatele a obyvatele žijícím v m okolí. Uživatelé mostu jsou všichni lidé cestující po mostě i pod ním.

Pro posouzení sociální analýzy životního cyklu jsou uváženy dva typy ukazatelů: povinné, které se doporučují zahrnout do posouzení životního cyklu vždy; a volitelně, které mohou být zahrnuty nebo ne, v závislosti na účelu posouzení.

### 5.1 Povinné ukazatele

Povinné ukazatele mají za cíl vyčíslit dopady vyplývající z jakékoli stavební činnosti na uživatele mostu. V případě jsou zvažovány tři typy ukazatelů: náklady na zpoždění řidiče, náklady na provoz vozidla a náklady na nehodovost. Ve skupině se zahrne i dopad objížděk na uživatele mostu. Pokud musí být z jakéhokoli důvodu provoz na mostě nebo pod ním uzavřen, a odkloněn na objízdnu trasu, lze vliv času a délky objízdny trasy započítat do třech výše uvedených ukazatelů. V posouzení LCS prezentovaném v kapitole jsou proto brány v úvahu pouze tři základní ukazatele.

#### 5.1.1 Náklady na zpoždění řidiče

Náklady na čas strávený řidičem při cestování v pracovní zóně jsou označeny jako náklady na zpoždění řidiče (Driver's Delay Cost - DDC). Náklady jsou určeny rozdílem mezi náklady na čas strávený řidičem při jízdě za normálních okolností a ztrátou času při jízdě sníženou rychlostí v důsledku stavebních prací na stejné délce trasy.

#### 5.1.2 Náklady na provoz vozidla

Vozidlo, které projíždí pracovní zónou, je zpožděno. Zpoždění související s výstavbou způsobují dodatečné náklady pro vlastníka vozidla. Dodatečné náklady se označují jako provozní náklady na vozidla (Vehicle Operating Costs - VOC). Náklady jsou dány rozdílem mezi náklady na provoz vozidla za normálních okolností a provozem vozidla při jízdě sníženou rychlostí v důsledku stavebních prací na stejné délce trasy.

#### 5.1.3 Náklady na nehodovost

Náklady na nehodovost představují dodatečné náklady způsobené dopravními nehodami v pracovní zóně. Jsou vypočteny jako rozdíl mezi náklady na nehodovost v délce trasy bez pracovní činnosti a náklady na nehodovost na stejné délce trasy v případě pracovní činnosti.

### 5.2 Volitelné ukazatele

Další dva ukazatele uvažuje návrhový přístup jako volitelné, protože jejich význam závisí na posuzované situaci. Dva ukazatele se považují za volitelné, protože se výrazně liší od ostatních ukazatelů. Prvním rozdílem mezi těmito dvěma ukazateli a ostatními je to, že ačkoli je lze kvantifikovat v průběhu celého životního cyklu mostu, nemá smysl přidávat jejich účinky

během časového období. Druhý rozdíl spočívá v tom, že dva volitelné ukazatele mají silně subjektivní povahu, což musí být zohledněno při jejich kvantifikaci.

Prvním ukazatelem je hluk, který je důležitý, pokud se stavba nachází v blízkosti obydlené oblasti a pokud se odhaduje, že práce bude probíhat i v noci. Druhým ukazatelem je estetika. Ukazatel je důležitý, pokud má most mít vedle své normální funkce funkci estetickou. Ačkoliv je estetika mostu považována za běžnou součást koncepčního návrhu, v konkrétních případech, jako jsou speciální typy mostů, mosty budované v městských prostředích apod., je estetická hodnota mostu zásadním kritériem. Oba ukazatele mají společné znaky, nejsou obvykle hodnoceny na základě přístupu založeného na životním cyklu a jsou značně subjektivní, proto je jejich kvantifikace a interpretace velmi složitá.

### 5.2.1 Hluk

Hluk se definuje jako nežádoucí zvuk, což znamená, že má nepříznivý vliv na lidské bytosti a jejich životní prostředí. Problémy s hlukem postihují velké množství lidí a jsou často vnímány jako jeden z hlavních environmentálních problémů. Ovlivní jak fyziologickým, tak psychologickým způsobem, zasahovat do základních lidských činností, jako je spánek, odpočinek, studium či komunikace. Zdrojem hluku je mnoho lidských činností, ale největší dopad má hluk způsobený dopravou, tj. silniční, železniční a letecký hluk.

### 5.2.2 Estetika

Hodnocení estetických vlastností je vnímáno jako vysoce subjektivní otázka. Estetika se definuje jako (i) soubor zásad týkajících se povahy krásy (zejména v umění) a (ii) obor filozofie, který se zabývá otázkami krásy a uměleckého vkusu. Různí lidé vnímají krásu odlišně a to, co je příjemné a přijatelné pro někoho, je nepříjemné a nepřijatelné pro jiného. Z toho vyplývá, že hodnocení estetiky je vysoce subjektivní a často kontroverzní záležitostí.

## 5.3 Náklady uživatelů

Na rozdíl od nákladů vlastníka, které jsou přímo měřitelné, jsou náklady uživatelů nepřímé a měřitelné jen obtížně. V případě dálničních mostů jsou to náklady vzniklé uživatelům v důsledku údržby dálnice, která způsobuje dopravní omezení nebo zácpy. Náklady nejsou přímo měřitelné, ale vedou ke zpoždění, pomocí kterého lze je kvantifikovat. Náklady na zpoždění se předvídají na základě předpokládaného zpoždění a nákladů na provoz vozidla, které zahrnují dodatečné náklady na palivo a dodatečné náklady na údržbu vozidla. Náklady jsou stručně popsány níže:

- Náklady na zpoždění vyplývající z nárůstu doby jízdy v pracovní zóně v důsledku snížení rychlosti, a zpoždění nebo nárůstu délky trasy v důsledku objížďky. Náklady jsou ovlivněny mnoha faktory, jako je současná a budoucí hustota provozu, kapacita mostu, časové rozvržení dopravních omezení, trvání a frekvence dopravního omezení, a jednotkovou cenou na zpoždění.
- Provozní náklady vozidla v důsledku snížení úrovně dopravní obslužnosti způsobené údržbou dálnic. Přerušování běžné dopravy způsobuje snížení rychlosti, zvýšení spotřeby paliva a oleje, zvýšení opotřebení pneumatik a nutnost zvýšené údržby vozidla. Významné jsou dodatečné náklady na pohonné hmoty způsobené skutečností, že jejich spotřeba je výrazně vyšší v hustém pomalém provozu. Kromě toho se zvyšují náklady na údržbu vozidel, neboť provoz vozidla v takovém provozu

vyžaduje častější výměnu opotřebovaných dílů. Dále má přerušení provozu vyvolané pracemi na silnici negativní dopad na bezpečnost silničního provozu a následně zvyšuje nehodovost v části komunikace ovlivněné pracemi.

Současná nebo budoucí průměrná hodnota denního provozu (ADT vyjádřená počtem vozidel za den), vycházející z daného roku výstavby, by měla být získána sledováním provozu. Kvůli faktorům, jako je růst obyvatelstva a hospodářská prosperita, se objem dopravy na mostě se každým rokem zvyšuje a lze jej odhadnout pomocí následujícího vztahu:

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

$ADT_t$  je průměrná hodnota denního provozu použitá pro posouzení v čase  $t$

$r_{tg}$  očekávaný nárůst objemu dopravy

$year_t$  rok, ke kterému je ADT vypočteno

$year_0$  rok, ve kterém je ADT změřeno.

## 6 VÍCEKRITERIÁLNÍ ANALÝZA

Jakmile jsou pro most definovány různé varianty řešení, konečným krokem návrhu je jejich srovnání. Návrhový přístup pro posouzení životního cyklu v rámci projektu byl zaměřen na integraci různých kritérií v kontextu udržitelnosti. Aby bylo dosaženo cíle navrhovaného přístupu, jsou upřednostňovány metody založené na předběžném výběru před agregačními metodami (nebo jednostrannými metodami), které zahrnují slabší kompromis [14].

Byla použita metoda Preference Ranking Organization Methodology of Enrichment Evaluation (PROMETHEE), vyvinutá Bransem [15] a dále rozšířená Vinckem a Bransem [16]. PROMETHEE patří do skupiny vyhodnocovacích metod, ačkoliv nejde o nejkompaktnější přístup. PROMETHEE je poměrně jednoduchá metoda hodnocení ve srovnání s jinými metodami pro vícekriteriální analýzu [17], [18]. Jedno z rozšíření PROMETHEE (PROMETHEE II) umožňuje úplné zařazení všech alternativ, zatímco jiné přístupy poskytují pouze dílčí hodnocení, která mohou být neporovnatelná. PROMETHEE má široké uplatnění v rozhodovacích situacích, ať už jde o řízení v oblasti životního prostředí nebo o podnikové a finanční řízení, lékařské aplikace apod. Komplexní přehled metodik a aplikací PROMETHEE je uveden v [19].

## 6.1 PROMETHEE

Aby bylo možné použít PROMETHEE, je nutné poskytnout dodatečné informace o vztahu mezi jednotlivými kritérii a v rámci každého kritéria, jak je popsáno v následujících odstavcích. Zohledněny byly tři hlavní kritéria: environmentální, ekonomické a uživatelské náklady. Environmentální kritéria, která byla v analýze zohledněna, jsou: porušování abiotické složky prostředí, acidifikace prostředí, eutrofizace prostředí, globálního oteplování, porušení ozonové vrstvy, toxicita pro člověka, ekotoxicita a tvorba přízemního ozonu. Ekonomická kritéria zahrnují náklady na výstavbu, náklady na údržbu a provoz a náklady na ukončení života konstrukce. U uživatelských nákladů jsou kritériem náklady na zpoždění, náklady na provoz vozidla a náklady na nehodovost. Vztahy mezi kritérii jsou dány přiřazením váhy k jednotlivým kritériím ( $w_j = 1, 2, \dots, k$ ), což představuje relativní význam různých kritérií. Čím vyšší je váhový faktor, tím důležitější je kritérium. Je na uživateli, aby definoval sadu váhových faktorů, které mají být přiřazeny ke každému kritériu. Informace o každém kritériu, a volba preferencí, je založena na párových srovnáních. Je uvážena odchylka mezi hodnocením dvou alternativ na konkrétním kritériu. U malých odchylek rozhodující osoba přidělí malou preferenci nejlepší alternativě nebo případně žádnou preferenci, pokud je odchylka zanedbatelná. Čím větší je odchylka, tím větší je preference.

V rámci analýzy jsou zvažovány různé scénáře pro vážení různých kritérií:

- **Scénář 1**  
Stejný význam pro tři hlavní kritéria: environmentální, ekonomické a uživatelské náklady (1/1/1).
- **Scénář 2**  
Kritérium životního prostředí je významnější ve vztahu k ekonomickým a uživatelským nákladům (2/1/1).
- **Scénář 3**  
Ekonomické kritérium je významnější ve vztahu k životnímu prostředí a uživatelským nákladům (1/2/1).
- **Scénář 4**  
Uživatelské náklady mají vyšší význam než environmentální a ekonomická kritéria (1/1/2).

## 7 SBRI-TOOL – SOFTWAREVÝ NÁSTROJ

V rámci projektu byl v operačním systému iOS vyvinut pokročilý a uživatelsky přívětivý softwarový nástroj. Nástroj má nové rozhraní, které usnadňuje zadávání vstupních dat. Software a texty jsou k dispozici ke stažení zdarma na různých webových stránkách (např. [Sections.arcelormittal.com](http://Sections.arcelormittal.com), [www.infosteel.com](http://www.infosteel.com), [www.constructalia.com](http://www.constructalia.com), [www.steelconstruct.com](http://www.steelconstruct.com), <https://isise.net/smct/site/>).

Software poskytne uživateli tři předdefinované scénáře údržby podle životnosti jednotlivých prvků mostu. Pro různé materiály budou k dispozici scénáře konce života konstrukce, umožňující snadnější vyhodnocení.

Vypracované příklady popsané v následujících částech monografie jsou v nástroji uvedeny jako příklady použití. To umožní snadnější pochopení nástroje na základě podrobného popisu příkladů monografií I. I tak bude v nástroji obsažena zjednodušená uživatelská část, která bude popisovat funkce programu a provede uživatele celým posudkem životního cyklu. Pro podrobný popis softwarových funkcí a možností viz uživatelský manuál softwaru.



Obrázek 15: SBRI\* Rozhraní aplikace

## ČÁST B: PŘÍKLADY

Část B se zaměřuje na vypracované příklady, které pokrývají celý životní cyklus mostů, od stavby po fázi provozu a údržby až po demolici na konci života konstrukce. Vypracované příklady jsou rozděleny do tří různých typů: mosty typu A, což jsou dálniční nadjezdy s jedním až dvěma poli, typ B, což je dálniční most s velkým rozpětím i délkou a typ C reprezentující dálniční mosty s malým až středním rozpětím a délkou. Závěry z LCA pro každou případovou studii jsou specifické a není možné je jednoduše generalizovat.

### 1 PŘÍKLADY – TYPY MOSTŮ

#### 1.1 Popis typů mostů pro LCA

Vypracované příklady se zaměřují na dálniční mosty s různým rozpětím a různými typy průřezů (spřažené ocelobetonové řešení a pro srovnání prefabrikované betonové nosníky). Příklady mostů jsou popsány v Tabulce 7.

Tabulka 7: Typy mostů - Případové studie

Typ mostu	Počet příkladů	Případová studie	Materiál a typologie Popisy
Případ A	3	A1	Ocelobetonový integrovaný
		A2	Předpjatý betonový dvoupolový
		A3	Ocelobetonový dvoupolový
Případ B	1	B1	Ocelobetonový třípolový
Případ C	4	C1.1	Ocelobetonový vícepolový
		C1.2	Betonový vícepolový
		C2.1	Ocelobetonový jednopolový
		C2.2	Betonový jednopolový

Pro typ B je posouzen pouze jeden třípolový ocelobetonový most, toto řešení není srovnáváno s jiným mostem.

#### 1.2 Scénáře a předpoklady pro posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

##### 1.2.1 Fáze výroby materiálu

Fáze zohledňuje výrobu všech materiálů potřebných pro vybudování mostu podle obrázku 16. Zdroje dat jsou uvedeny v tabulce 8.



Obrázek 16: Fáze výroby materiálu

Tabulka 8: Zdroje dat pro materiály a dopravu

Materiál/Proces	Zdroj
Beton (různé třídy)	GaBi[20]
Konstrukční ocel	GaBi/World Steel[20]
Ocelová výztuž	GaBi[20]
Povrchová úprava a nátěry	GaBi[20]
Asfalt	GaBi[20]
Hydroizolace	GaBi[20]

### 1.2.2 Fáze výstavby

Fáze výstavby pokrývá všechny procesy potřebné ke stavbě a procesy které ji ovlivňují. Proto se uvažuje doprava materiálu na staveniště, jak je ukázáno na obrázku 17.



(\*) Dopravní zácpy pod mostem jsou brány v úvahu pouze u nadjezdů, které umožňují provoz na dálnici pod nimi během stavby

Obrázek 17: Fáze výstavby

Kvůli nedostatku údajů nebylo při analýze zohledněno použití a doprava stavebního vybavení. Navíc, protože jsou všechny mosty nové, nebyl v fázi uvažován žádný provoz na mostě.

- **Transport materiálu**

Stavební materiály musí být přepraveny na staveniště. Cestovní vzdálenosti odhadované pro každý případ jsou uvedeny v tabulce 9. Spotřeba nafty je vypočtena na základě cestovní vzdálenosti uvedené v tabulce.

Tabulka 9: Přeprava materiálu na stavbu

Aktivita	Vzdálenost (km)
Přeprava ocelových konstrukcí	50
Přeprava ocelové výztuže	50
Přeprava čerstvého betonu	10
Přeprava prefabrikovaného betonu	10
Přeprava asfaltu	20
Přeprava hydroizolační vrstvy	20

- **Doprava na mostě**

Jak již bylo uvedeno, protože všechny mosty jsou nové, nebyl v fázi uvažován žádný provoz na mostě.

### 1.2.3 Fáze provozu

Předpokládá se, že během životnosti mostu nedojde k žádnému většímu poškození nebo porušení mostu, s přihlédnutím ke scénářům plánů údržby a oprav, které jsou definovaných v části A - odstavci 2.4 monografie. Proto byly v případové studii zvažovány tři různé scénáře údržby, a to: standardní scénář, scénář nedostatek finančních prostředků a scénář prodloužená životnost. Kromě toho byly uváženy dva pracovní scénáře, denní směna a noční směna. Podrobné plány scénářů jsou uvedeny v příloze A. Plány údržby vycházejí z předpokládané životnosti různých prvků mostů.

- **Transport materiálu**

Pokaždé, když most prochází údržbou nebo je na něm prováděna oprava, musí být materiály přemístěny na místo, kde je most postaven. Cestovní vzdálenosti uvedené v fázi jsou stejné jako ve stadiu výstavby, pokud není uvedeno jinak.

- **Doprava na mostě**

Pro výpočet spotřeby paliva a emisí vozidel pro každou činnost se zvažují různé scénáře. Ve všech případech bude průjezdný vždy (alespoň) jeden jízdní pruh v každém směru. Když je třeba uzavřít jízdní pruh, jsou zvažovány dva různé scénáře: práce během dne (od 6:00 do 22:00) a během noci (od 22:00 do 18:00).

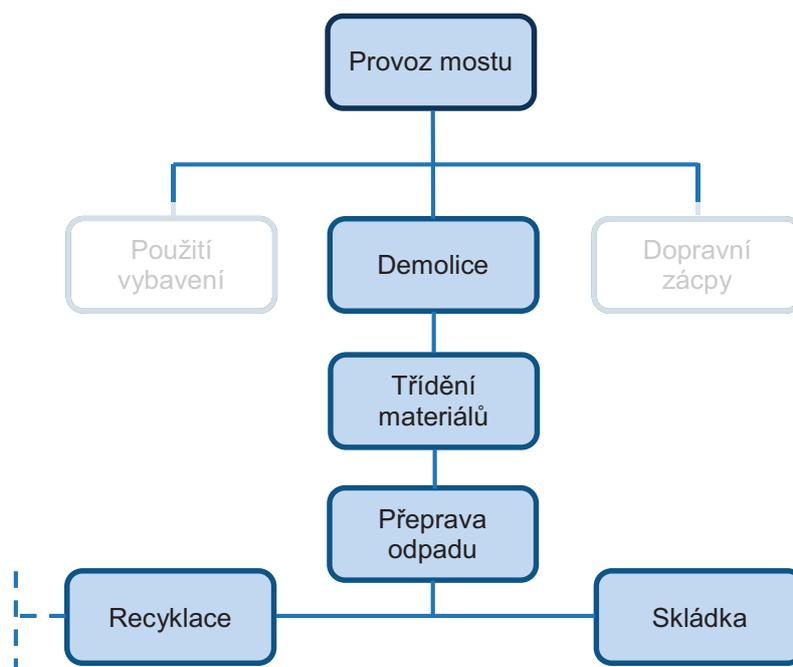
Schémata údržby uvedené v příloze A obsahují informace o omezení provozu na mostu a pod ním v průběhu let, ve kterých probíhá údržba a oprava.

### 1.2.4 Fáze konce života

V závěru života se předpokládá, že most je odstraněn a že materiály jsou tříděny na stejném místě před odesláním do konečného místa určení. Transport materiálu mezi mostem a místem, kde je materiál tříděn, proto není potřebný. U ocelobetonových mostů se předpokládá, že ocelová konstrukce bude znovu použita. Zbývající části, což jsou obecně betonové a asfaltové materiály, jsou demolovány a přepravovány do míst pro likvidaci odpadu. Náklady na konci životnosti zohledňují náklady na demontáž mostů (práce, vybavení, výstražné značky silničního provozu), náklady na dopravu a náklady na ukládání či likvidaci materiálů nebo příjmy z jejich recyklace.

Předpokládá se, že bude recyklováno 90 % ocelové konstrukce. Šrot přetaví a vznikne nová ocel s malou nebo žádnou změnou materiálových vlastností. Pokud jde o ocelovou výztuž, předpokládá se stejný postup recyklace jako u konstrukční oceli, ale recyklováno bude 70% ocelové výztuže. Obrázek 18 ilustruje jednotlivé procesy, které jsou zahrnuty v fázi.

Kvůli nedostatku relevantních dat, není v posouzení zahrnut vliv využitých stavebních zařízení. Dále se neuvažuje s vlivem dopravní zácpy. Předpokládá se, že během fáze konce života bude provoz přesměrován na objízdne trasy.



Obrázek 18: Procesy zahrnuté ve fázi konce života mostu

- **Transport materiálu**

V závěru života se předpokládá, že most je odstraněn a materiál tříděn na původním místě. Po třídění, se materiál naloží na nákladní automobily a přepraveny do konečného místa určení, podle postupů popsaných v kapitole. Odhadované jízdní vzdálenosti mezi místem třídění a konečným uložením jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10: Transport materiálu ve fázi konce života mostu

Aktivita	Vzdálenost (km)
Recyklace oceli	50
Recyklace ocelové výztuže	50
Skládka inertních materiálů	50
Skládka asfaltu a bitumenu	20

- **Doprava na mostě**

Během demolice mostu se předpokládá, že doprava po mostě bude odkloněna na objízdne trasy, nebo že provoz je již touto alternativní trasou veden. Proto nejsou v fázi zohledněny žádné dodatečné emise a spotřeba paliva.

### 1.2.5 Environmentální kategorie $ADP_{Elements}$

Environmentální kategorie přijaté v metodice (viz odstavec 3.4 části A) jsou vypočteny podle metodiky CML [21]. Ve vztahu k environmentálním kategoriím  $ADP_{elements}$ , jsou faktory charakterizace (CF), které se používají v metodě výpočtu, založeny na míře extrakce a konečné rezervě každého prvku. U mnoha materiálů používaných ve stavebnictví CF nelze definovat kvůli nedostatku údajů o materiálových vlastnostech a konečných rezervách [22]. Proto by měl být ukazatel používán uvážlivě a s vědomím, že má svá omezení. Navíc, pokud jsou mezi sebou srovnávány různé stavební materiály, neměl by se faktor charakterizace používat vůbec. Kvůli výše uvedenému nejsou environmentální dopady ukazatele v následující analýze uváděny.

### 1.2.6 Environmentální kategorie POCP (Doprava nákladním vozem)

Podle metodiky CML [21] se pro výpočet environmentální kategorie POCP nákladních automobilů emise  $NO_x$  dělí na dvě samostatné emise  $NO_2$  a  $NO$ . Důvodem záporných hodnot jsou emise oxidu dusnatého ( $NO$ ), které mají příznivý vliv na ekologickou kategorii POCP, protože pomáhají snižovat vysoké koncentrace přízemního ozonu, které mohou být škodlivé pro lidi, zvířata a plodiny.

### 1.2.7 Předpoklady pro scénáře kontrol a údržby

V textu jsou zohledněny tři scénáře údržby (standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost). Další dělení bylo provedeno na základě denní doby, kdy byla údržba prováděna ve fázi provozu. Dopady na životní prostředí způsobené dopravním přetížením byly kvantifikovány s ohledem na dva alternativní scénáře: (i) denní směna, kdy probíhají údržbové práce během dne (od 6:00 do 22:00 hodin); a (ii) noční směna, kdy se údržba uskutečňuje v noci (od 22:00 do 6:00).

## 1.3 Předpoklady pro posouzení nákladů na ukončení života

Náklady na ukončení života konstrukce zahrnují náklady na pracovní sílu, náklady na stavební vybavení, náklady na dopravní značení, náklady na dopravu materiálů a náklady na ukládání materiálů nebo příjmy z jejich recyklace.

Uvažovaná jednotková cena demolice je 100 €/m<sup>2</sup> [1]. Cena zahrnuje náklady na práci, náklady na stavební vybavení a pohonné hmoty, náklady na přidružené materiály, náklady na třídění materiálů, náklady na všechna nezbytná opatření k zajištění bezpečnosti pracovního prostoru a náklady na konečné čištění staveniště.

Stavební odpad je odeslán k recyklaci nebo uložen na skládce. Náklady na dopravu vyžadují odhad vzdálenosti od místa demolice k místu likvidace nebo recyklace, odhad účinnosti nákladních automobilů a ceny paliva. V případě odpadů odeslaných na skládku účtuje provozovatel skládky poplatek za uložení stavebního odpadu. Náklady na uložení stavebního odpadu se liší podle druhu materiálu a stupně kontaminace.

V případě oceli se předpokládá cena 100 €/t (cena závisí na aktuální ceně oceli, podle informací od amerického recyklačního institutu lze uvažovat s cenou 120 \$ za tunu oceli). Hodnota má v posouzení záporné znaménko, protože jde o zisk a nikoliv o náklady.

## 2 PŘÍPADOVÉ STUDIE – MOST TYPU A

### 2.1 Popis případových studií

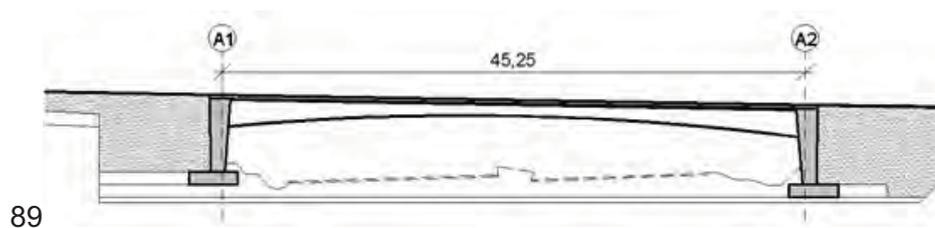
#### 2.1.1 Popis konstrukčního systému mostu, geometrie a dalších parametrů

V případové studii jsou zahrnuty tři typy dálničních nadjezdů se dvěma jízdními pruhy: integrovaný ocelobetonový most (A1), tradiční předpjatý betonový dvoupolový most (A2) a tradičním ocelobetonový most (A3) o dvou polích. [23] Jedná se o již existující mosty a jejich délka a šířka je srovnatelná, ale ne identická. Pro porovnání tří alternativ byly rozměry mostů A2 a A3 poměrově upraveny na rozměry mostu A1: rozpětí 45,25 m a šířka 11,75 m.

**Případ A1** je integrovaný most o rozpětí 45,25 m o jednom poli, což znamená, že má pouze integrované opěry bez středních podpor. Mostovka se skládá ze čtyř spřažených nosníků obr. 19, které jsou vyrobeny z válcované oceli třídy S355 J2 s proměnnou výškou v rozmezí od 0,93 m ve středu rozpětí až po 2,18 m v podporách. Trámy jsou oddělené, v příčném směru ve vzdálenosti 2,94 m. Horní pásnice je šířka 400 mm a dolní 700 mm. Železobetonová deska mostovky je z monolitického betonu třídy (C35/45) a skládá se z monolitické desky tl. 0,23 m betonované do prefabrikovaných ŽB desek o tloušťce 0,01 až 0,12 m.

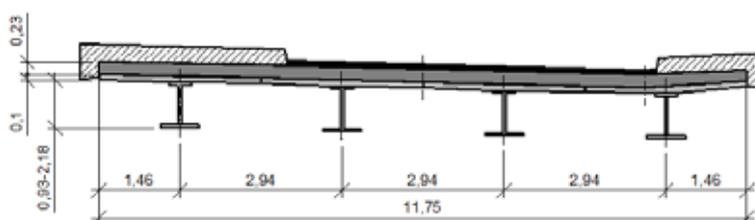


a1)



89

a2)

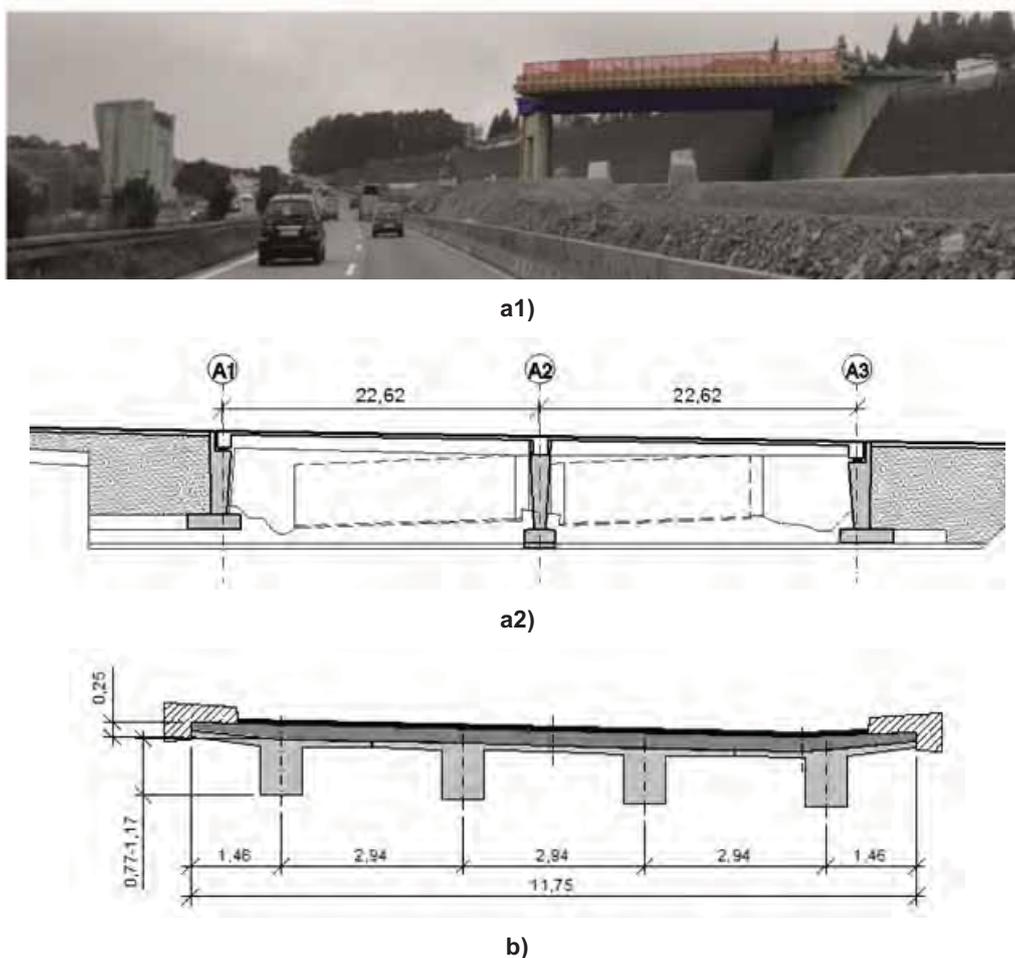


b)

Obrázek 19: Případ A1: Integrovaný ocelobetonový most: a1); a2) Podélný pohled; b) Příčný řez nosníky s proměnnou výškou.

Mosty v případových studiích překračují dvouproudou dálnici. Každá strana vozovky má kapacitu pro 4 jízdní pruhy o šířce 3,15 m. Obě strany vozovky mají šířku 20,05 a obsahuje hlavní jízdní pruhy o šířce 15 m, zpevněnou krajnici podél vnitřního jízdního pruhu o šířce 4,05 m a zpevněnou krajnici podél vnějšího jízdního pruhu o šířce 1 m.  $2 \times (1 + 4 \times 3,75 + 4,05) = 40,1$  m.

**Případ A2** je předpjatý železobetonový most, obrázek 20, původní rozměry mostu byly dvě pole o rozpětí 25,20 m a 26,70 m a šířka mostovky 7,9 m. Po poměrové úpravě, byl součet rozpětí změněn z 51,90 m na 45,25 m. Šíře mostovky byla zvětšena na 11,75 m. Mostovka se skládá z obdélníkových monolitických trámů (C45 / 55) o šířce 0,68 m a výšce 0,77 m. Na nosnících je monolitická železobetonová deska o tloušťce 250 mm (C35 / 45).



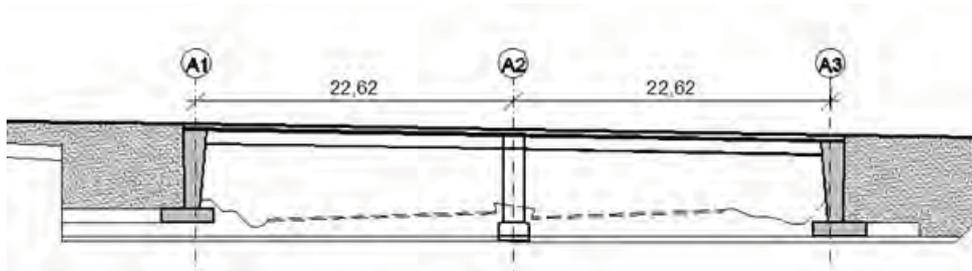
Obrázek 20: Případ A2: Předpjatý monolitický betonový nosník. a1) a2) Podélný pohled; b) Příčný řez s nosníky s proměnnou výškou.

**Případ A3** je ocelobetonový most se čtyřmi nosníky (obrázek 21). Most je symetrický o dvou polích rozpětí 22,62 m (tzn. Součet rozpětí je 45,25 m). Celková šířka mostovky je 11,75 m. Nosníky ocelové profily HL 1000 A S355 J2. Železobetonová mostovka (C35 / 45) se skládá z monolitické desky tloušťky 0,25 m uložené na prefabrikované desky (C45 / 55) o tloušťce 0,12 m.

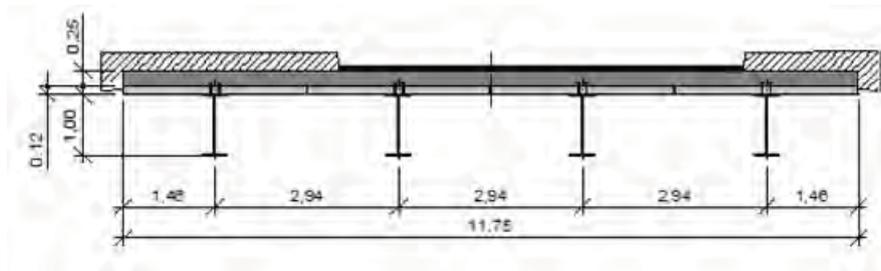
Ložiska jsou u typů A2 a A3 umístěna pod každým hlavním nosníkem. Integrovaný most A1 nemá žádné ložiska.



a1)



a2)



b)

Obrázek 21: Příklad A3: Ocelobetonový most. a1); a2) Podélný pohled; b) Příčný řez.

### 2.1.2 Uvažované parametry návrhu

Tabulka 11 obsahuje výkaz hlavních materiálů pro tři typy mostů, které jsou předmětem posouzení [23].

Tabulka 11: Výkaz materiálu pro případy A1, A2 a A3 pro provedení posouzení LCA a LCC

Popis	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Případ A3	Jednotka	Jednotková cena (Německo 2008)
<b>Spodní stavba</b>						
Výkopy	[m <sup>3</sup> ]	4500	4800	4800	[€/m <sup>3</sup> ]	5.88
Násypy	[m <sup>3</sup> ]	2320	2520	2520	[€/m <sup>3</sup> ]	7.60
Základový beton C25/30	[m <sup>3</sup> ]	254	223,81	-	[€/m <sup>3</sup> ]	77.67
Opěry a podpěry beton C30/37	[m <sup>3</sup> ]	746,20	681,97	969,6	[€/m <sup>3</sup> ]	84.47
Výztuž B500	[kg]	90600	90690	64326,6	[€/kg]	0.99
<b>Horní stavba</b>						
Konstrukční ocel S355 J2	[kg]	81800	-	-	[€/kg]	2.49
Konstrukční ocel S355 J2 pro HL1000A	[kg]	-	-	58084,3	[€/kg]	2.49
Povrchová ochrana oceli	[m <sup>2</sup> ]	896	-	575,58	[€/m <sup>2</sup> ]	14.27
Prefabrikovaný beton C30/37	[m <sup>3</sup> ]	58	-	52,26	[€/m <sup>3</sup> ]	588.73
Beton C35/45	[m <sup>3</sup> ]	144,20	571,20	130,66	[€/m <sup>3</sup> ]	84.47
Beton C45/55	[m <sup>3</sup> ]	-	172,82	-	[€/m <sup>3</sup> ]	588.73
Výztuž B500	[kg]	44600	63038	44266,6	[€/kg]	0.99
Spojovací prostředky	[kg]	1382	-	748,7	[€/kg]	2.31
Elastomerová ložiska	[ks]	-	12	12	[€/u]	812
Ložisko vodící	[ks]	-	2	2	[€/u]	750
<b>Vozovka</b>						
Asfaltová vozovka	[m <sup>2</sup> ]	309	309	309	[€/m <sup>2</sup> ]	6
Hydroizolace vozovky	[m <sup>2</sup> ]	309	309	309	[€/m <sup>2</sup> ]	11.40
Svodidla	[kg]	7429,20	7429,2	7429,20	[€/kg]	1.2

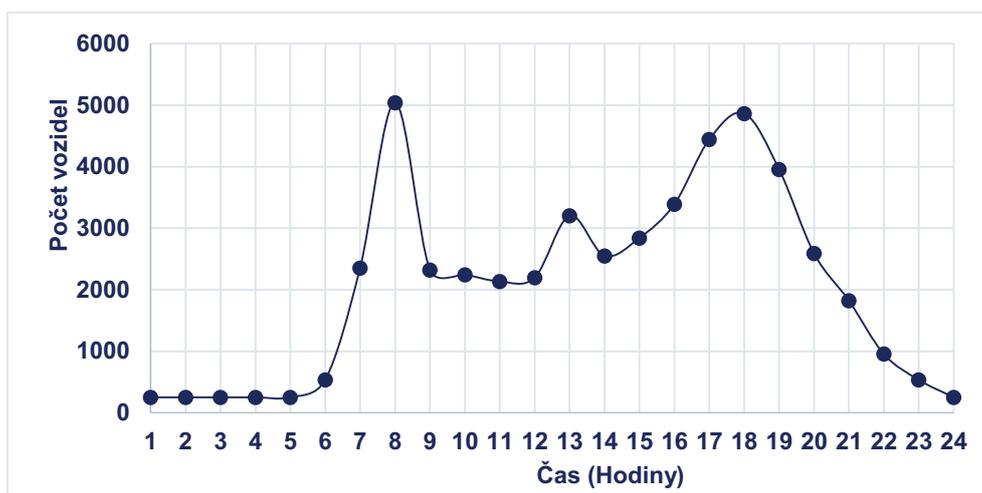
## 2.2 Analýza dopravy

Pro účely případové studie jsou všechny mosty uvažovány jako nové a přemostňují dálnici. Během fáze výstavby tedy není uvažována doprava po mostě, a proto nejsou během fáze zohledněny žádné emise. Později ve fázi konce života se usoudilo, že provoz bude přeměrován na objízdné trasy, proto není uvažována žádná doprava po mostě. Vozovka na mostě se skládá z jednoho jízdního pruhu pro každý směr a svodidel podél celého mostu.

Během výstavby je ovlivněn provoz pod mostem kvůli nutnosti omezit dovolenou rychlost a zúžit vozovku. Dopravní zácpy, vznikající 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.

- **Doprava pod mostem**

Na dálnici je průměrný denní provoz (ADT) ve výchozím roce studie 49485 vozidel za den. Dále se předpokládá, že procentní podíl lehkých a těžkých vozidel je 88% a 12% z ADT. Pro dálnici se předpokládá hodinová distribuce dopravy, znázorněná na obrázku 22.



Obrázek 22: Hodinové rozdělení provozu pro případy A1, A2 a A3.

Růst provozu v průběhu let se vypočítá podle rovnice (3), (viz odstavec 5.3 části A), kde je uvažována míra růstu 0,5 %. Růst provozu za období 100 let je uveden v tabulce 12.

Tabulka 12: Odhadovaný průměrný denní provoz (ADT) pod mostem

	První rok	První rok + 50 let	První rok + 100 let
ADT (Vozidel/den)	49485	63500	81485

- **Doprava na mostě**

Předpokládá se, že na mostě bude v prvním roce průměrná denní dopravu (ADT) 5000 vozidel/den a že provoz bude lineárně růst po dobu 100 let, jak je uvedeno v tabulce 13.

Tabulka 13: Odhadovaný průměrný denní provoz (ADT) na mostě

	První rok	První rok + 50 let	První rok + 100 let
ADT (Vozidel/den)	5000	7500	10000

## 2.3 Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

### 2.3.1 Fáze výroby materiálu

Fáze zohledňuje výrobu všech materiálů potřebných k vybudování mostu podle obrázku 23.



Obrázek 23: Fáze výroby materiálu

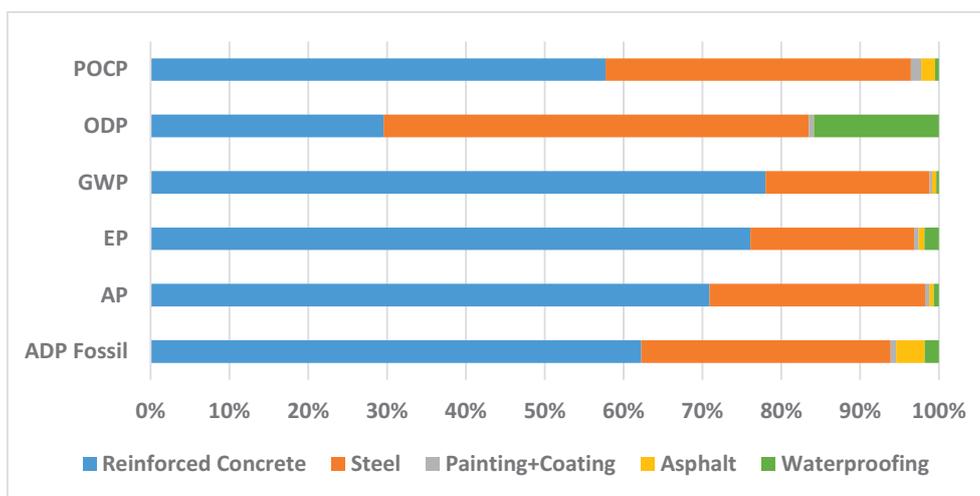
(\*) Všechny materiály použité v případové studii [A] jsou uvedeny zde. Konstrukční ocel a protikoroziční ochrana nejsou součástí případové studie A2, neboť se jedná o betonový most.

- **Posouzení vlivu referenční případové studie A1 na životní prostředí**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výroby materiálu jsou shrnuty v tabulce 14. Výsledkem je, že hlavními procesy přispívajícími k celkovým dopadům ve fázi výroby materiálu jsou výroba konstrukční oceli a železobetonu. Výsledky jsou zobrazeny i v grafu na obrázku 24.

**Tabulka 14: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [A1]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Železobeton	Konstrukční ocel	PKO	Asfalt	Hydroizolace
ADP Fossil	MJ	5,22E+06	3,25E+06	1,65E+06	3,48E+04	1,90E+05	9,41E+04
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,54E+03	1,10E+03	4,22E+02	7,97E+00	8,84E+00	9,84E+00
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,58E+02	1,20E+02	3,28E+01	9,21E-01	1,11E+00	2,91E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,04E+05	5,50E+05	1,47E+05	2,14E+03	3,79E+03	2,27E+03
ODP	Kg R11 eq.	5,98E-03	1,77E-03	3,23E-03	3,90E-05	3,18E-09	9,46E-04
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,92E+02	1,11E+02	7,45E+01	2,51E+00	3,35E+00	9,17E-01



Poznámka: Výsledky z posouzení dopadů nátěrů a povrchových úprav zahrnují i dopady na životní prostředí způsobené nátěry aplikovanými na nenosné prvky, jako jsou ochranná zábradlí.

**Obrázek 24: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [A1]**

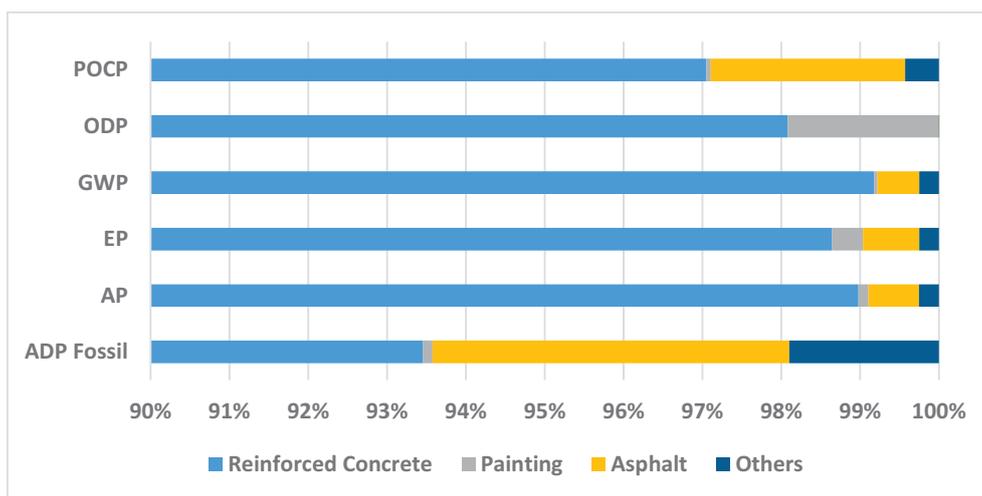
- **Posouzení vlivu případové studie A2 na životní prostředí**

Výsledky pro případovou studii A2 jsou uvedeny v grafu na obrázku 25 a v tabulce 15. Tabulka 16 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií A1.

**Tabulka 15: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [A2]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Železobeton	Povrchová úprava	Asfalt	Ostatní
ADP Fossil	MJ	4,19E+06	3,91E+06	4,99E+03	1,90E+05	7,94E+04
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,38E+03	1,37E+03	1,73E+00	8,84E+00	3,47E+00
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,56E+02	1,53E+02	6,18E-01	1,11E+00	3,83E-01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,14E+05	7,08E+05	2,85E+02	3,79E+03	1,78E+03
ODP	Kg R11 eq.	2,04E-03	2,00E-03	3,90E-05	3,18E-09	5,11E-09
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,36E+02	1,32E+02	8,05E-02	3,35E+00	5,81E-01

Poznámka: Výsledky shrnuty pod ostatními pocházejí z krycích / těsnících / ochranných vrstev hlavně gussasfalt nebo asfaltový tmel.



(\*)Výsledky z posouzení dopadů nátěrů pocházejí z nátěrových hmot použitých na zádržná zařízení (zábradlí), nikoli na nosné ocelové prvky.

Obrázek 25: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [A2]

Tabulka 16: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu pro případ A2 vzhledem k A1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	5,22E+06	4,19E+06	-19,8%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,54E+03	1,38E+03	-10,7%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,58E+02	1,56E+02	-1,5%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,04E+05	7,14E+05	+1,4%
ODP	Kg R11 eq.	5,98E-03	2,04E-03	-66,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,92E+02	1,36E+02	-29,2%

Hlavním zdrojem emisí je pro případ A2 železobeton (> 90%). Ve srovnání s A1 byl v případě A2 ve fázi výroby materiálu snížen dopad v každé kategorii.

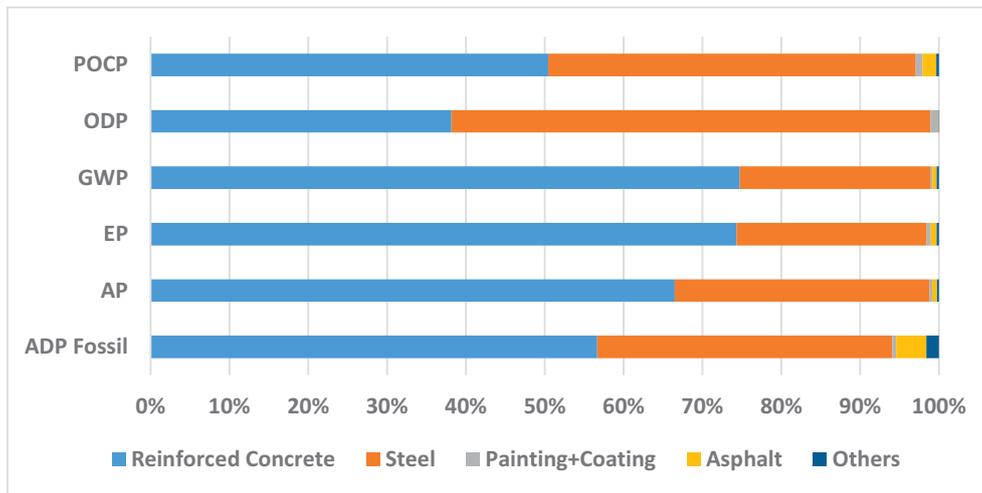
- **Posouzení vlivu případové studie A3 na životní prostředí**

Výsledky pro případovou studii A3 jsou uvedeny v grafu na obrázku 26 a v tabulce 17. Tabulka 18 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií A1.

Tabulka 17: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [A3]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Železobeton	Konstrukční ocel	Povrchová úprava	Asfalt	Ostatní
ADP Fossil	MJ	4,97E+06	2,82E+06	1,86E+06	2,42E+04	1,90E+05	7,94E+04
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,49E+03	9,90E+02	4,80E+02	5,74E+00	8,84E+00	3,47E+00
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,50E+02	1,11E+02	3,60E+01	8,13E-01	1,11E+00	3,83E-01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	6,89E+05	5,15E+05	1,67E+05	1,48E+03	3,79E+03	1,78E+03
ODP	Kg R11 eq.	3,77E-03	1,44E-03	2,29E-03	3,90E-05	3,18E-09	5,11E-09
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,91E+02	9,66E+01	8,93E+01	1,64E+00	3,35E+00	5,81E-01

Poznámka: Výsledky obsažené pod pojmem ostatní pocházejí z krycích, těsnících, ochranných vrstev jedná se především o asfaltový tmel.



Obrázek 26: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [A3]

Tabulka 18: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu pro případ A3 vzhledem k A1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A3	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	5,22E+06	4,97E+06	-4,8%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,54E+03	1,49E+03	-3,6%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,58E+02	1,50E+02	-5,3%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,04E+05	6,89E+05	-2,1%
ODP	Kg R11 eq.	5,98E-03	3,77E-03	-37,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,92E+02	1,91E+02	-0,4%

Je zřejmé, že výroba železobetonu a konstrukční oceli jsou hlavními procesy, které přispívají ke globálním dopadům ve fázi výroby materiálu. Ve srovnání s A1 byly v případě A3 ve fázi výroby materiálu sníženy dopady ve většině kategorií.

### 2.3.2 Fáze výstavby

Fáze výstavby zohledňuje všechny procesy potřebné pro stavbu mostu a dále procesy stavbou ovlivněné. Proto, jak je zobrazeno na obrázku 27, zahrnuje i přepravu materiálu na stavbu (uvažované vzdálenosti jsou uvedeny v tabulce 10).



Obrázek 27: Fáze výstavby

Kvůli nedostatku údajů, nebylo při analýze zohledněno použití a doprava stavebního vybavení. V pododdíle je posouzen pouze vliv dopravní zácpy způsobené stavební činností. Pro účely případové studie jsou všechny mosty uvažovány jako nové. Během fáze výstavby tedy není uvažována doprava po mostě, a proto nejsou během fáze zohledněny žádné emise.

Během výstavby je ovlivněn provoz pod mostem kvůli nutnosti omezit dovolenou rychlost a zúžit vozovku. Dopravní zácpy, vznikající 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 [24]. The Queue and User Cost Evaluation of Work Zones model” posuzuje dopravní toky prostřednictvím zón pro práci na silnici a umožňuje odhadnout tradiční náklady pro uživatele silnic a na znečištění ovzduší v případě uzavření různých jízdních pruhů. Dopady z důvodu navýšení množství spotřebovaného paliva, a navěšení množství výroby, jsou kvantifikovány na základě údajů z GaBi [20]. U obou případů je kvantifikace dopadů dána rozdílem mezi dopady od vozidel, které projíždí pracovní zónou, a dopady od vozidel, které projíždějí stejnou oblastí, bez jakéhokoli zpoždění v důsledku pracovní činnosti.

- **Doprava na a pod mostem**

Jak již bylo uvedeno, všechny mosty v případové studii jsou posuzovány jako nové. Proto není ve fázi výstavby uvažována žádná doprava na mostě, a proto nejsou ve fázi uvažovány žádné emise. Provoz na dálnici pod mostem je ovšem ovlivněn buď nutností omezením rychlosti provozu (jak je uvedeno výše) nebo zúžením vozovky. Průměrná denní hustota dopravy na dálnici během fáze výstavby dálničního nadjezdu je uvažována hodnotou 49 485 vozidel za den, jak je uvedeno v odstavci 2.2. Délka výstavby každého mostu s přihlédnutím k paralelním stavebním činnostem je uvedena v tabulce 19 s počtem dnů, po které bude stavba tvořit překážku provozu pod mostem.

**Tabulka 19: Překážka provozu pod mostem pro případy A**

	<b>Případ A1 Integrovaný most</b>	<b>Případ A2 Monolitický železobetonový most</b>	<b>Případ A3 Ocelobetonový most</b>
Doba výstavby (dny)	154	273	196
Dny po které stavba tvoří překážku provozu pod mostem	154 (1 pruh uzavřen v každém směru)	119 (1 pruh uzavřen v každém směru)	154 (1 pruh uzavřen v každém směru)
		42 (2 pruhy uzavřeny v každém směru)	42 (2 pruhy uzavřeny v každém směru)
		112 (Jeden směr jízdy uzavřen)	

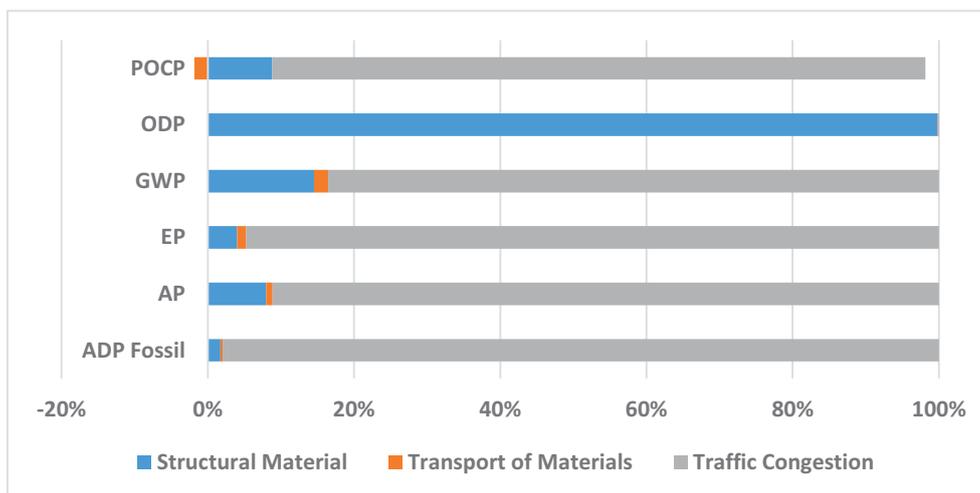
Poznámka: Z důvodu omezení v aktuální verzi nástroje SBRI + Tool jsou všechny posouzení životního cyklu provedeny s uvážením, že je uzavřen pouze jeden jízdní pruh v každém směru [tři jízdní pruhy mohou být průjezdné v každém směru] po dobu A1 = 154 dní, A2 = 273 dní a A3 = 196 dní.

- **Posouzení vlivu referenční případové studie A1 na životní prostředí**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výstavby pro referenční případovou studii A1 jsou shrnuty v tabulce 20 a jsou zobrazeny v grafu na obrázku 28. Dopravní zácpy a operace související s výrobou stavebních materiálů na stavbě přispívají k dopadům na životní prostředí největší mírou. Z výsledků vyplývá, že příspěvek z dopravního přetížení tvoří více než 80 % celkových dopadů s výjimkou kategorie dopadu ODP. Dopad v kategorii ODP pochází převážně z in-situ produkce materiálů a je malý (v řádu  $10^{-4}$  Kg R11 ekv.).

Tabulka 20: Dopady fáze výstavby na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [A1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Materiál	Transport materiálu	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	2,02E+05	3,37E+04	1,15E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,37E+02	5,10E+01	5,46E+00	5,81E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,03E+02	4,14E+00	1,30E+00	9,78E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,27E+05	1,84E+04	2,45E+03	1,06E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,50E-04	2,50E-04	8,20E-10	3,66E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,99E+01	8,22E+00	-1,72E+00	8,34E+01



Poznámka: Negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

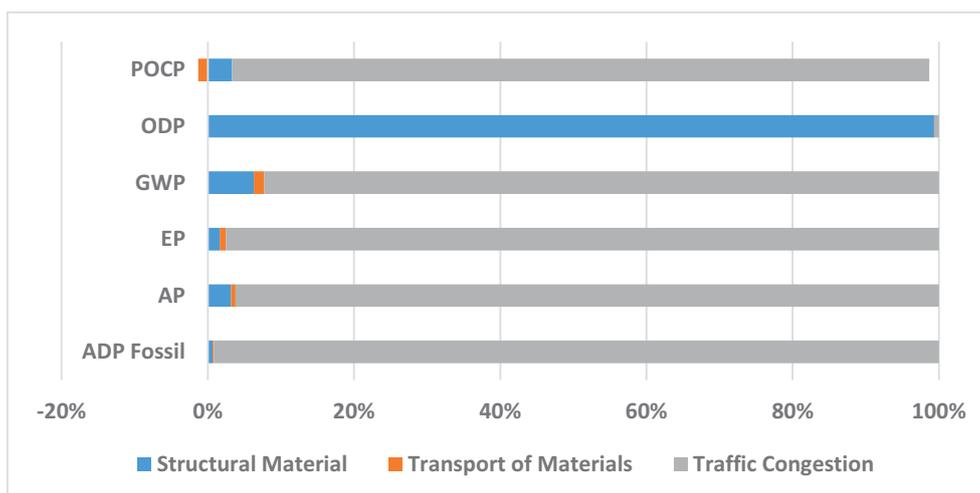
Obrázek 28: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [A1]

- **Posouzení vlivu případové studie A2 na životní prostředí**

Výsledky pro případovou studii A2 jsou uvedeny v tabulce 21a v grafu na obrázku 29. Tabulka 22 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií A1.

Tabulka 21: Dopady fáze výstavby na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [A2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Materiál	Transport materiálu	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	2,05E+07	1,38E+05	3,95E+04	2,03E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,07E+03	3,41E+01	6,40E+00	1,03E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,78E+02	2,88E+00	1,52E+00	1,73E+02
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,03E+05	1,28E+04	2,87E+03	1,88E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,00E-04	9,98E-05	9,60E-10	6,48E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,51E+02	5,10E+00	-2,02E+00	1,48E+02



Poznámka: Negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

Obrázek 29: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [A2]

Tabulka 22: Dopady na životní prostředí ve fázi výstavby pro případ A2 vzhledem k A1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	2,05E+07	+75,2%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,37E+02	1,07E+03	+67,9%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,03E+02	1,78E+02	+72,2%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,27E+05	2,03E+05	+60,4%
ODP	Kg R11 eq.	2,50E-04	1,00E-04	-59,9%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,99E+01	1,51E+02	+67,9%

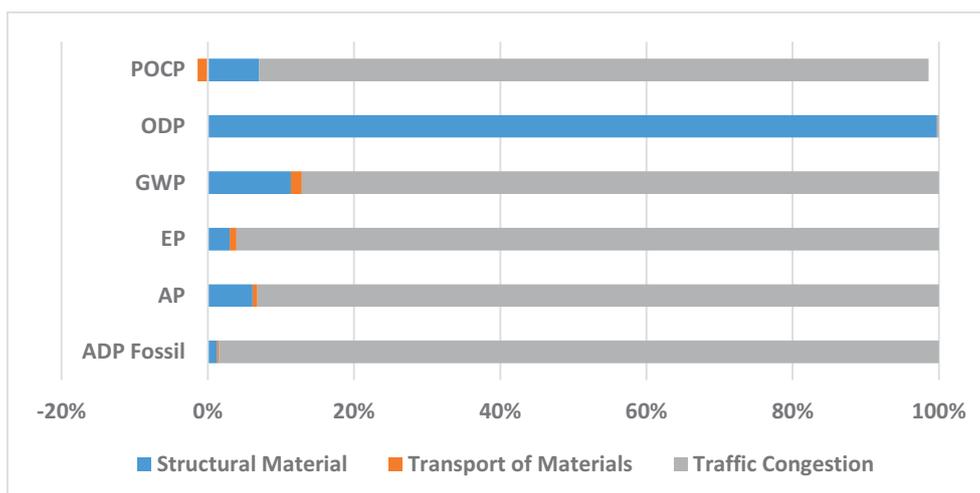
Příspěvek z dopravního přetížení představuje více než 90 % celkových dopadů s výjimkou kategorie dopadu ODP. Případ A2 měl v fázi za následek výrazně vyšší dopad (> 60 %) než případ A1 s výjimkou ODP, kde je pro případ A2 vypočteno téměř 60% snížení dopadu. Všimněte si, že absolutní hodnoty emisí jsou pro ODP velmi malé, i když se jedná o velkou procentuální změnu.

- **Posouzení vlivu případové studie A3 na životní prostředí**

Výsledky pro případovou studii A3 jsou uvedeny v tabulce 23a v grafu na obrázku 30. Tabulka 24 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií A1.

Tabulka 23: Dopady fáze výstavby na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [A3]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Materiál	Transport materiálu	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	1,48E+07	1,92E+05	3,20E+04	1,46E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	7,93E+02	4,86E+01	5,18E+00	7,39E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,30E+02	3,88E+00	1,23E+00	1,25E+02
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,55E+05	1,76E+04	2,32E+03	1,35E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,87E-04	1,87E-04	7,77E-10	4,65E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,13E+02	8,14E+00	-1,63E+00	1,06E+02



Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

**Obrázek 30: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [A3]**

**Tabulka 24: Dopady na životní prostředí ve fázi výstavby pro případ A2 vzhledem k A1**

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A3	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	1,17E+07	1,48E+07	+26,6%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,37E+02	7,93E+02	+24,4%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,03E+02	1,30E+02	+25,5%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,27E+05	1,55E+05	+22,0%
ODP	Kg R11 eq.	2,50E-04	1,87E-04	-25,2%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,99E+01	1,13E+02	+25,3%

Příspěvek z dopravního přetížení přispívá k celkovým dopadům více než 90 % s výjimkou kategorie dopadu ODP. V fázi měl případ A3 ve všech kategoriích s výjimkou ODP vyšší dopady ve srovnání s případem A1. Všimněte si, že absolutní hodnoty emisí jsou pro ODP velmi malé, i když se jedná o velkou procentuální změnu. Dále je třeba zmínit, že kategorie ODP je téměř výlučně ovládána vlivy pocházejícími z výroby materiálu na stavbě, na rozdíl od ostatních kategorií, kde hraje největší roli dopravní zácpa.

V fázi stojí za zmínku, že dopravní zácpa je hlavním faktorem dopadu na životní prostředí. Dopady způsobené dopravním přetížením byly vypočteny s omezením dopravy na jeden jízdní pruh v každém směru provozu z důvodu omezení v aktuální verzi nástroje SBRI + Tool. Skutečný scénář, ale odpovídá tomu, že je provoz uzavřen ve 2 nebo více jízdních pružích pro případy A2 a A3. (viz tabulka 19) Dopady dopravní zácpy by byly zjevně vyšší, než bylo vypočítáno výše, pokud by byly pro případy A2 a A3 zohledněny skutečné dopravní omezení.

### 2.3.3 Fáze provozu

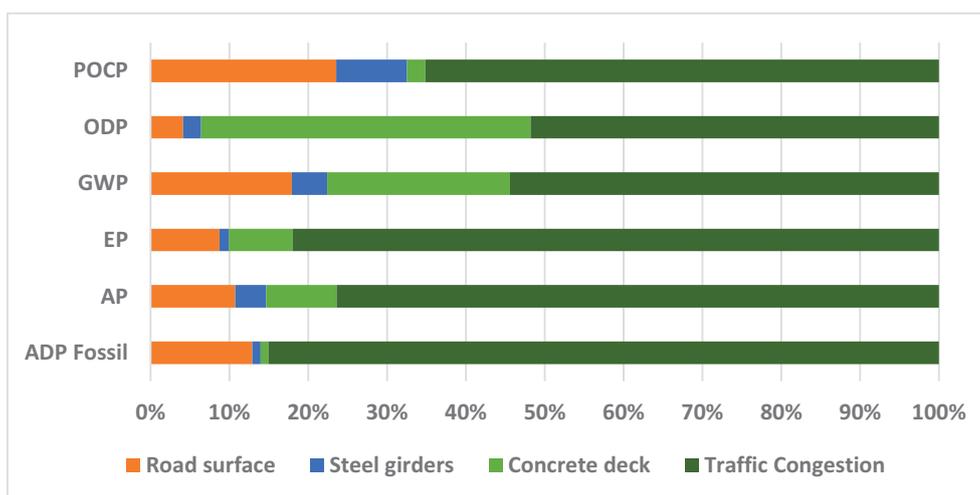
Schéma údržby v tabulce A5 přílohy A udává omezení provozu pod mostem a na něm v průběhu let, ve kterých se provádějí údržbové práce. Tabulka je platná pro případové studie A1, A2 a A3.

- **Posouzení vlivu referenční případové studie A1 na životní prostředí**

Výsledky pro referenční případovou studii A1 ve fázi provozu jsou uvedeny v tabulce 25 a v grafu na obrázku 31 pro práci během denní směny a standardní scénář údržby.

Tabulka 25: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A1 (denní směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	9,53E+05	7,76E+04	7,50E+04	6,28E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,17E+02	4,49E+01	1,62E+01	3,74E+01	3,19E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,54E+01	5,73E+00	7,87E-01	5,28E+00	5,36E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,07E+05	1,93E+04	4,82E+03	2,49E+04	5,84E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	1,60E-08	8,99E-09	1,63E-07	2,02E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,02E+01	1,65E+01	6,31E+00	1,64E+00	4,57E+01

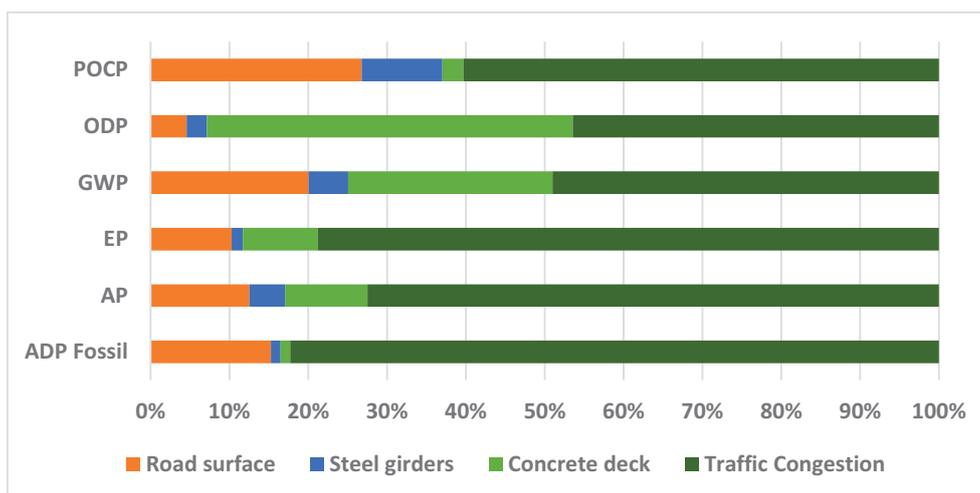


Obrázek 31: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (A1, denní směna)

Pro scénář, kdy práce probíhají během noční směny, jsou výsledky ve fázi provozu pro referenční případovou studii A1 uvedeny v tabulce 26 a v grafu na obrázku 32. Všimněte si, že změna se odehrává pouze v případě dopravní zácpy.

Tabulka 26: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A1 (noční směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	6,24E+06	9,53E+05	7,76E+04	7,50E+04	5,13E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,58E+02	4,49E+01	1,62E+01	3,74E+01	2,59E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,55E+01	5,73E+00	7,87E-01	5,28E+00	4,37E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	9,60E+04	1,93E+04	4,82E+03	2,49E+04	4,71E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,50E-07	1,60E-08	8,99E-09	1,63E-07	1,63E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,18E+01	1,65E+01	6,31E+00	1,64E+00	3,73E+01



Obrázek 32: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (A1, noční směna)

Z obou scénářů je patrné, že hlavní příspěvek pro všechny kategorie dopadů pochází z dopravní zácpy, údržby betonové mostovky, údržby povrchu vozovky a údržby ocelových nosníků. Příspěvek od dopravní zácpy je v případě práce během noci nižší než v případě práce během dne.

- **Posouzení vlivu případové studie A2 na životní prostředí**

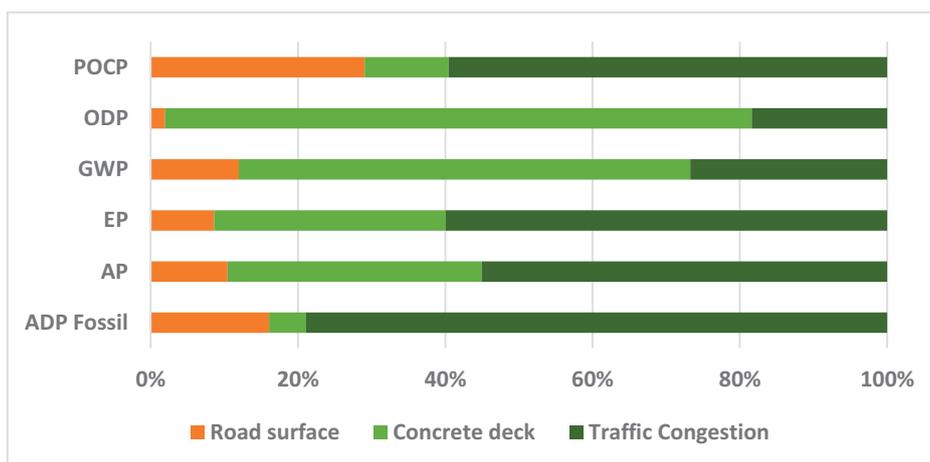
Výsledky pro případovou studii A2 ve fázi provozu jsou uvedeny v grafu na obrázku 33 a v tabulce 27 pro práci během denní směny. Tabulka 28 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií A1.

Tabulka 27: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A2 (denní směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka
ADP Fossil	MJ	5,92E+06	9,53E+05	2,97E+05	4,67E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,29E+02	4,49E+01	1,48E+02	2,36E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,65E+01	5,73E+00	2,09E+01	3,98E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,61E+05	1,93E+04	9,85E+04	4,30E+04
ODP	Kg R11 eq.	8,09E-07	1,60E-08	6,44E-07	1,49E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5,70E+01	1,65E+01	6,51E+00	3,39E+01

Tabulka 28: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A2 vzhledem k A1 (denní směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	5,92E+06	-19,8%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,17E+02	4,29E+02	+2,9%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,54E+01	6,65E+01	+1,6%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,07E+05	1,61E+05	+49,7%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	8,09E-07	+107,8%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,02E+01	5,70E+01	-18,9%

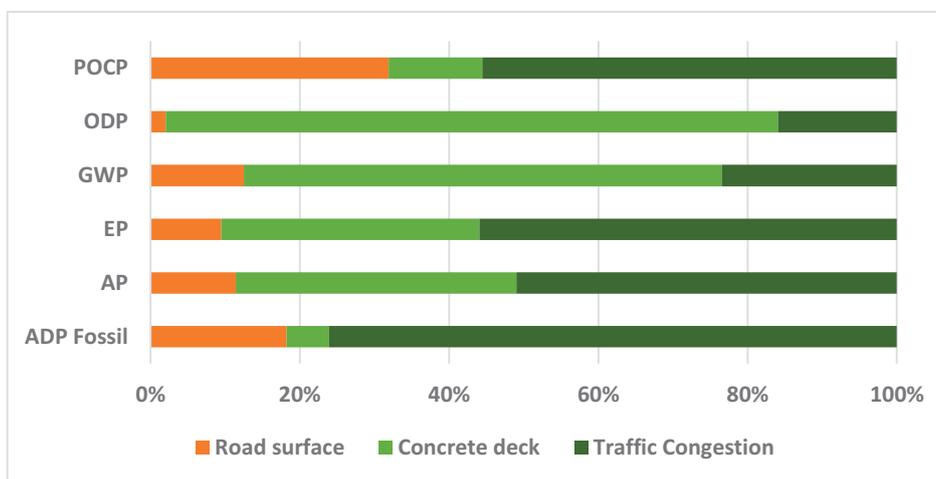


Obrázek 33: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (A2, denní směna)

Výsledky pro případovou studii A2 ve fázi provozu, pokud se uvažuje s prací během noční směny, jsou uvedeny v tabulce 29 a rozdíly mezi výsledky při srovnání s referenční variantou A1 jsou uvedeny v tabulce 30.

Tabulka 29: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A2 (noční směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Betonová mostovka	Betonová mostovka
ADP Fossil	MJ	5,23E+06	9,53E+05	2,97E+05	3,98E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,93E+02	4,49E+01	1,48E+02	2,01E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,05E+01	5,73E+00	2,09E+01	3,38E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,54E+05	1,93E+04	9,85E+04	3,61E+04
ODP	Kg R11 eq.	7,85E-07	1,60E-08	6,44E-07	1,25E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5,19E+01	1,65E+01	6,51E+00	2,88E+01



Obrázek 34: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (A2, noční směna)

Tabulka 30: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A2 vzhledem k A1 (noční směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	6,24E+06	5,23E+06	-16,2%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,58E+02	3,93E+02	+9,9%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,55E+01	6,05E+01	+8,9%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	9,60E+04	1,54E+05	+60,3%
ODP	Kg R11 eq.	3,50E-07	7,85E-07	+124,1%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,18E+01	5,19E+01	-16,0%

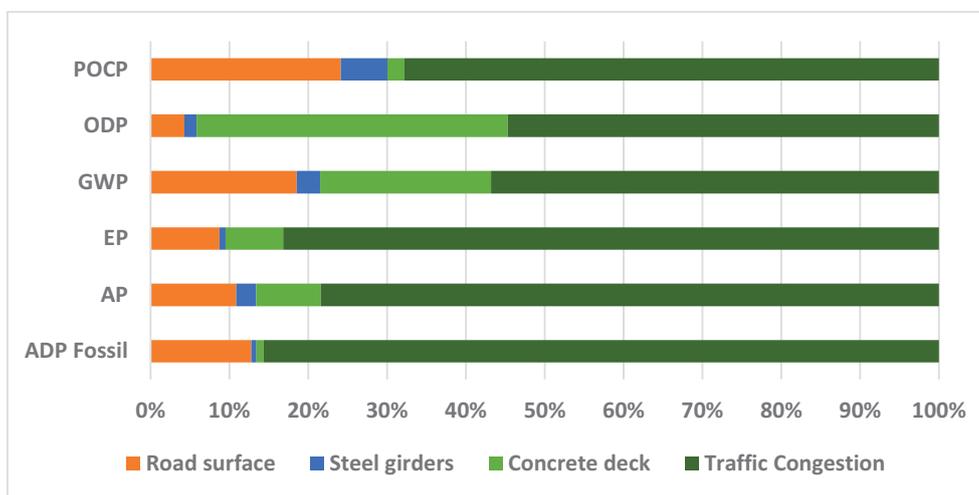
Jak se dá očekávat, v případě práce během noci dochází k celkovému snížení dopadu na životní prostředí.

- **Posouzení vlivu případové studie A3 na životní prostředí**

Výsledky pro případovou studii A3 ve fázi provozu jsou uvedeny v grafu na obrázku 35 a v tabulce 31. Tabulka 32 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií A1 za předpokladu, že u obou případů probíhají práce během denní směny.

**Tabulka 31: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A3 (denní směna)**

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	7,46E+06	9,53E+05	4,98E+04	6,80E+04	6,39E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,13E+02	4,49E+01	1,04E+01	3,39E+01	3,24E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,55E+01	5,73E+00	5,06E-01	4,78E+00	5,45E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,04E+05	1,93E+04	3,10E+03	2,25E+04	5,90E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,73E-07	1,60E-08	5,78E-09	1,47E-07	2,04E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,85E+01	1,65E+01	4,06E+00	1,49E+00	4,65E+01



**Obrázek 35: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (A3, denní směna)**

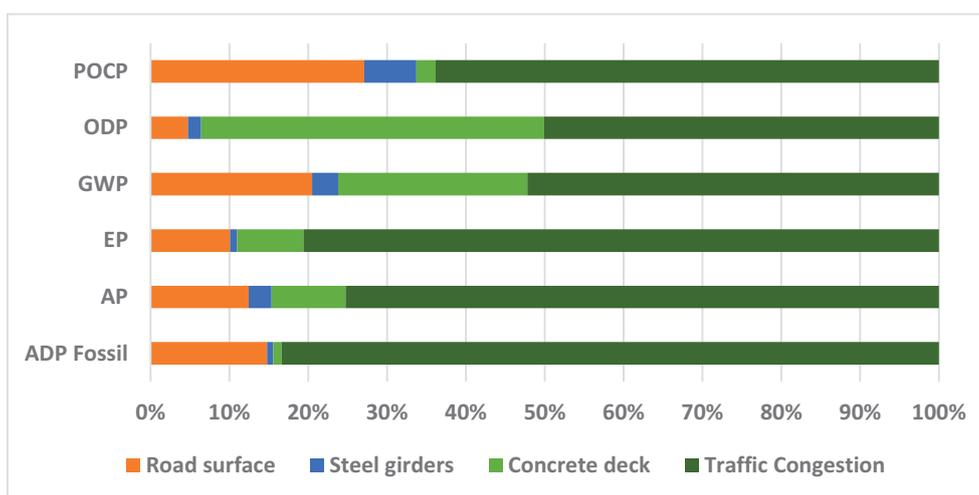
**Tabulka 32: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A3 vzhledem k A1 (denní směna)**

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A3	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	7,46E+06	+1,0%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,17E+02	4,13E+02	-1,1%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,54E+01	6,55E+01	+0,1%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,07E+05	1,04E+05	-3,2%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	3,73E-07	-4,1%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,02E+01	6,85E+01	-2,4%

Výsledky pro případovou studii A3 ve fázi provozu, pokud se uvažuje s prací během noční směny, jsou uvedeny v tabulce 33 a rozdíly mezi výsledky při srovnání s referenční variantou A1 jsou uvedeny v tabulce 34.

Tabulka 33: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A3 (noční směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	6,45E+06	9,53E+05	4,98E+04	6,80E+04	5,38E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,61E+02	4,49E+01	1,04E+01	3,39E+01	2,71E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,68E+01	5,73E+00	5,06E-01	4,78E+00	4,58E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	9,39E+04	1,93E+04	3,10E+03	2,25E+04	4,90E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,39E-07	1,60E-08	5,78E-09	1,47E-07	1,70E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,11E+01	1,65E+01	4,06E+00	1,49E+00	3,90E+01



Obrázek 36: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (A3, noční směna)

Tabulka 34: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ A3 vzhledem k A1 (noční směna)

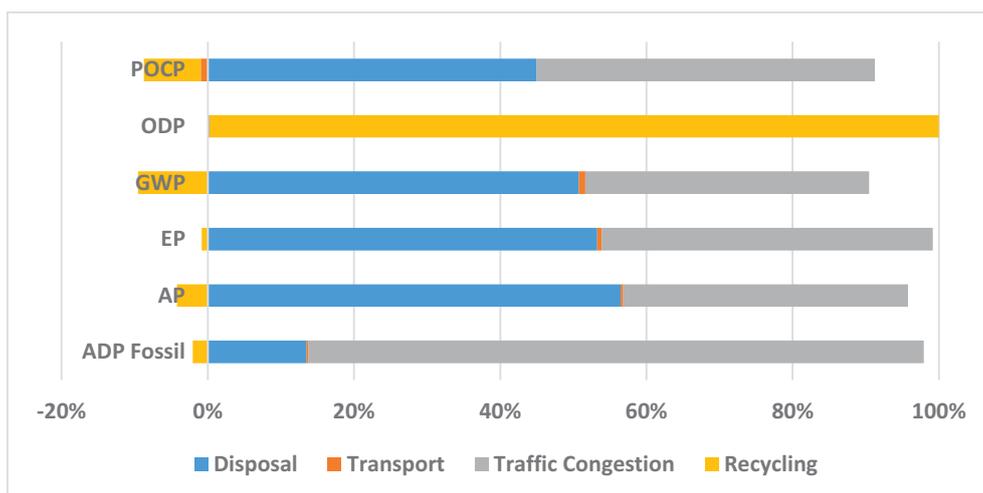
Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A3	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	6,24E+06	6,45E+06	+3,4%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,58E+02	3,61E+02	+0,7%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,55E+01	5,68E+01	+2,3%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	9,60E+04	9,39E+04	-2,2%
ODP	Kg R11 eq.	3,50E-07	3,39E-07	-3,3%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,18E+01	6,11E+01	-1,1%

V případě A3 došlo k mírnému zvýšení dopadů v některých kategoriích, a mírnému snížení dopadů v kategoriích ostatních. Celkově lze říci, že dopady na životní prostředí v případech A1 i A3 jsou srovnatelné.

### 2.3.4 Fáze konec života

- Posouzení vlivu referenční případové studie A1 na životní prostředí

Celkové emise pro každou kategorii dopadu v fázi životního cyklu jsou uvedeny v grafu na obrázku 37, který uvádí příspěvek každého procesu pro jednotlivé kategorie dopadu. Záporné hodnoty na obrázku 37 představují přínosy vyplývající z recyklace materiálu.



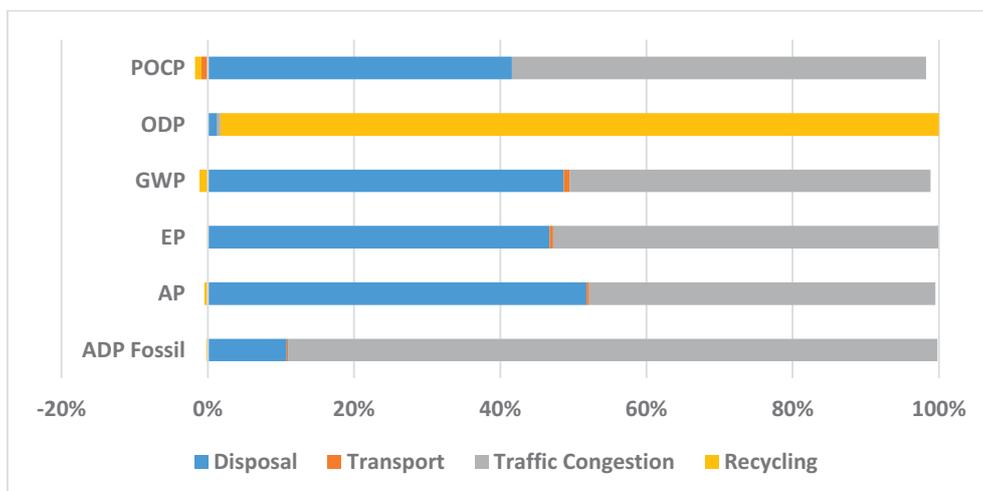
Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

**Obrázek 37: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [A1]**

Největší dopad ve všech kategoriích má likvidace betonových a asfaltových materiálů s výjimkou kategorie ADP Fossil, kde dominuje druhý nejvýznamnější přispěvatel, dopravní zácpa. Přeprava materiálů má nejmenší dopad ze všech kategorií. Na druhé straně, recyklace přináší výhody pro životní prostředí ve všech kategoriích dopadu, s výjimkou potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP), kde i proces recyklace způsobuje emise, které ozónovou vrstvu mohou porušovat.

- **Posouzení vlivu případové studie A2 na životní prostředí**

Jak je patrné z obrázku 38, největší dopad má likvidace materiálu ve všech kategoriích, s výjimkou kategorie ADP Fossil. Druhým nejvýznamnějším přispěvatelem je dopravní zácpa. Přeprava materiálů má nejmenší dopad ve srovnání s ostatními kategoriemi. Recyklace je výhodná při posouzení životního prostředí, působí prospěšně ve všech kategoriích dopadu, kromě ODP, kde i proces recyklace způsobuje emise, které ozónovou vrstvu mohou porušovat.



Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají příznivý vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

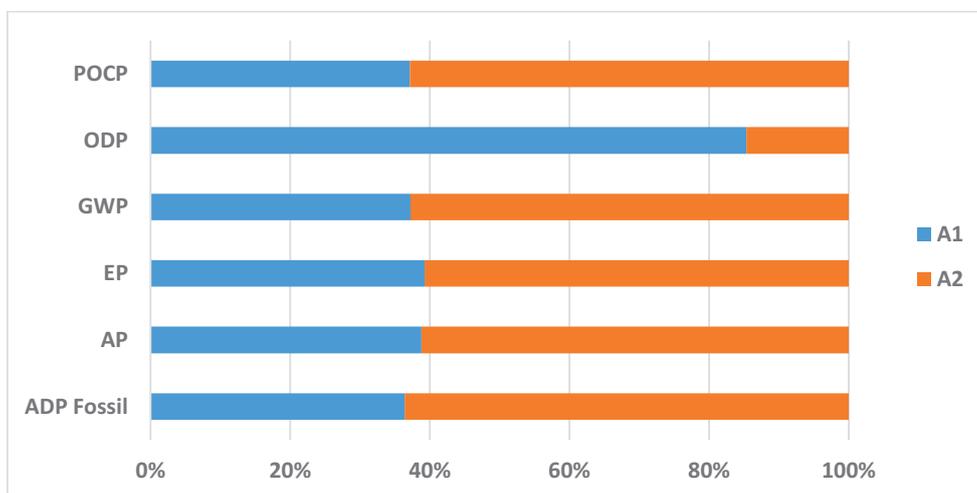
**Obrázek 38: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [A2]**

Celkové emise na jednu kategorii dopadů fáze pro variantní případovou studii A2 jsou uvedeny v Tabulce 35. Tabulka uvádí variaci výsledků případové studie ve srovnání s referenční případovou studií A1. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 39.

**Tabulka 35: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života pro případ A2 vzhledem k A1**

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	2,51E+07	4,39E+07	+74,5%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	2,65E+03	4,18E+03	+57,7%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	4,11E+02	6,36E+02	+54,8%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	4,37E+05	7,36E+05	+68,4%
ODP	Kg R11 eq.	1,64E-03	2,80E-04	-82,9%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,88E+02	4,88E+02	+69,3%

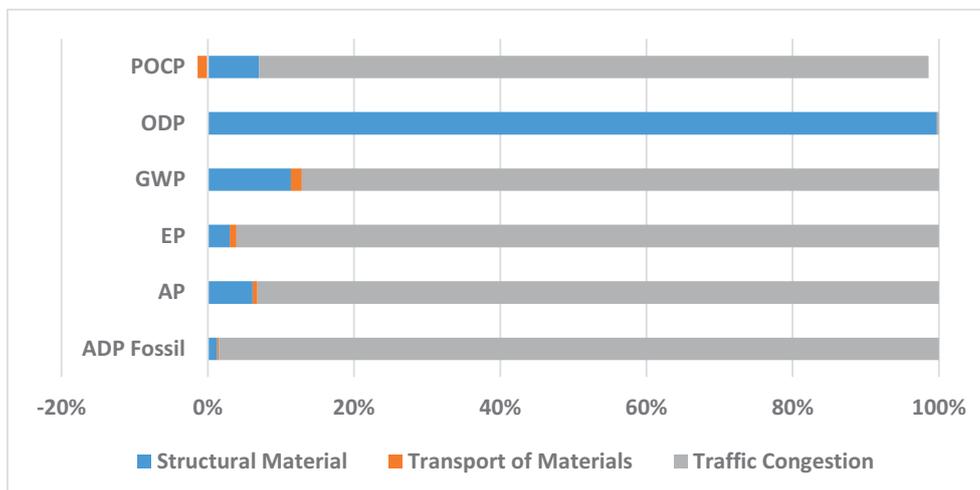
Podle výsledků lze dospět k závěru, že v fázi vede referenční příklad A1 k nižším hodnotám dopadů. To je dáno výhodami plynoucími z použití lépe recyklovatelných materiálů.



**Obrázek 39: Poměr mezi dopadem případu A1 a A2 do jednotlivých kategorií**

- **Posouzení vlivu případové studie A3 na životní prostředí**

Jak je patrné z obrázku 40, největší dopad má likvidace materiálu ve všech kategoriích, s výjimkou kategorie ADP Fossil. Druhým nejvýznamnějším přispěvatelem je dopravní zácpa. Přeprava materiálů má nejmenší dopad ve srovnání s ostatními kategoriemi. Recyklace je výhodná při posouzení životního prostředí, působí prospěšně ve všech kategoriích dopadu, kromě ODP.



Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají příznivý vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

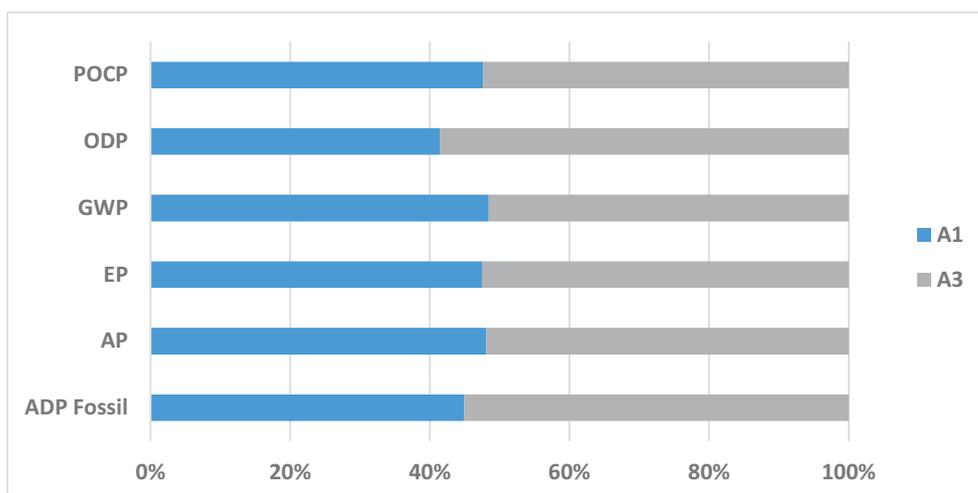
**Obrázek 40: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [A3]**

Celkové emise na jednu kategorii dopadů fáze pro variantní případovou studii A2 jsou uvedeny v tabulce 36. Tabulka uvádí změnu výsledků ve srovnání s referenční případovou studií A1. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 41.

**Tabulka 36: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života pro případ A3 vzhledem k A1**

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A3	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	2,51E+07	3,08E+07	+22,6%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	2,65E+03	2,86E+03	+7,9%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	4,11E+02	4,55E+02	+10,7%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	4,37E+05	4,65E+05	+6,4%
ODP	Kg R11 eq.	1,64E-03	2,31E-03	+41,2%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,88E+02	3,16E+02	+9,9%

Podle výsledků lze dospět k závěru, že referenční příklad A1 vede k nižším hodnotám dopadu ve všech kategoriích.



Obrázek 41: Poměr mezi dopadem případu A1 a A3 do jednotlivých kategorií

### 2.3.5 Výsledky posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

- **Shrnutí výsledků životního cyklu pro případovou studii A1**

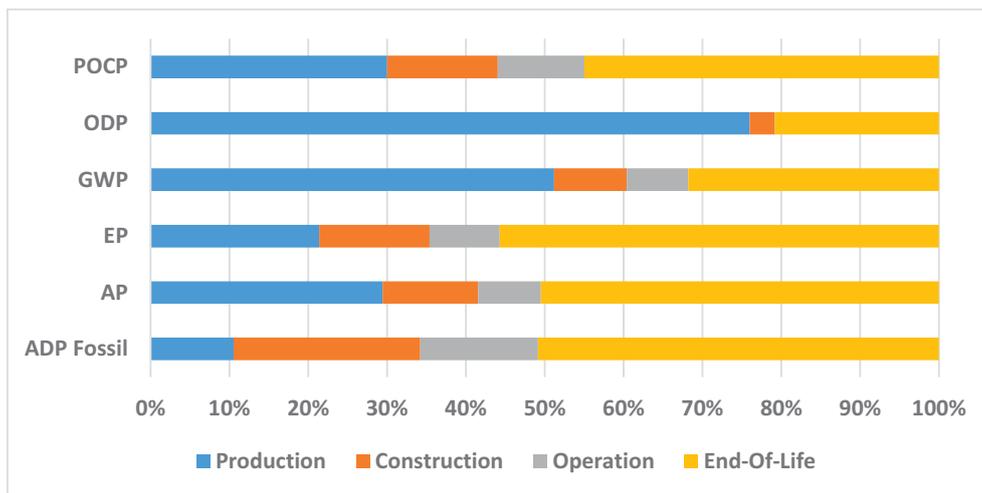
V předchozích částech byly prezentovány dílčí výsledky pro každou fázi. V tpododdílu jsou výsledky jednotlivých fází shrnuty ve vztahu k jednotlivým kategoriím dopadu. Výsledky pro standardní scénář údržby a práci během denní směny jsou uvedeny v tabulce 37.

Tabulka 37: Shrnutí vlivu životního cyklu na životní prostředí podle kategorií dopadu [A1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Výroba materiálu	Výstavba	Provoz	Konec života
ADP Fossil	MJ	4,95E+07	5,22E+06	1,17E+07	7,38E+06	2,51E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	5,25E+03	1,54E+03	6,37E+02	4,17E+02	2,65E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,37E+02	1,58E+02	1,03E+02	6,54E+01	4,11E+02
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,38E+06	7,04E+05	1,27E+05	1,07E+05	4,37E+05
ODP	Kg R11 eq.	7,87E-03	5,98E-03	2,50E-04	3,89E-07	1,64E-03
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,40E+02	1,92E+02	8,99E+01	7,02E+01	2,88E+02

Pro lepší porozumění příspěvku z každé fáze jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 42.

Fáze výroby materiálu a konce životnosti přispívají do celkového vlivu na životní prostředí nejvíce ve všech kategoriích dopadů. Fáze výstavby významně přispívá do většiny kategorií dopadu, zatímco fáze provozu má pro většinu kategorií poměrně malý význam.



Obrázek 42: Příspevek každé fáze životního cyklu podle kategorie dopadů [A1]

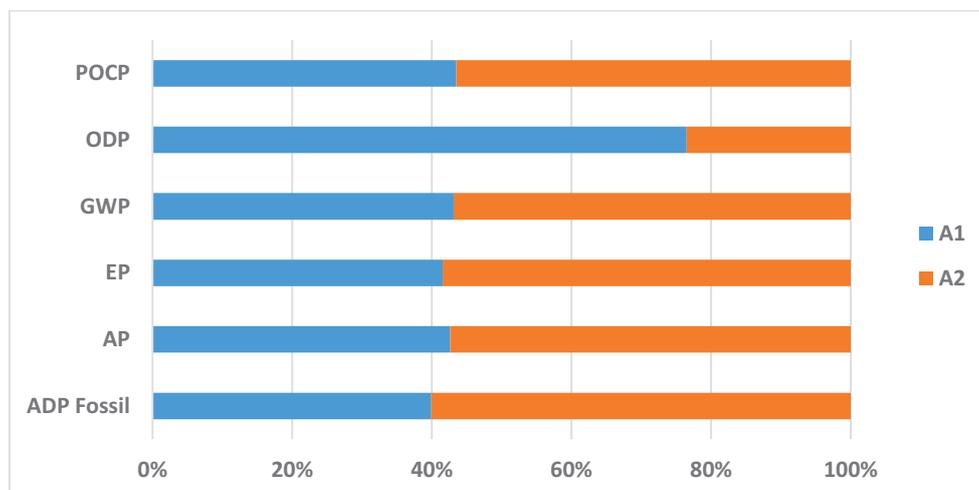
- **Shrnutí výsledků životního cyklu pro případovou studii A2**

Souhrnné výsledky případové studie A2 jsou podrobně uvedeny v tabulce 38, ve všech případech je uvažován standardní scénář údržby a práce během denní směny. Tabulka uvádí srovnání případové studie s referenční případovou studií A1.

Tabulka 38: Souhrnné výsledky dopadu do životního prostředí pro případ A2 ve srovnání s A1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	4,95E+07	7,45E+07	+50,6%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	5,25E+03	7,06E+03	+34,5%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,37E+02	1,04E+03	+40,5%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,38E+06	1,81E+06	+31,9%
ODP	Kg R11 eq.	7,87E-03	2,42E-03	-69,3%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,40E+02	8,32E+02	+29,9%

Pro lepší porovnání celkového vlivu obou případových studií jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 43.



Obrázek 43: Relativní příspěvek případu A1 a A2 podle jednotlivých kategorií dopadu

Referenční případ A1 má příznivé výsledky ve všech kategoriích dopadu kromě potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP), kde z důvodu emisí během recyklace dosahuje horších výsledků (v řádu  $10^{-3}$ ).

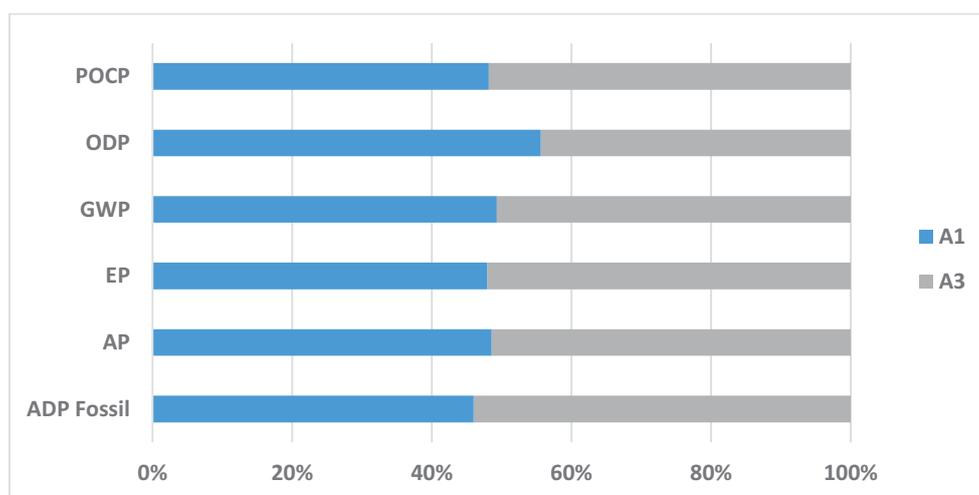
- **Shrnutí výsledků životního cyklu pro případovou studii A3**

Souhrnné výsledky případové studie A3 jsou podrobně uvedeny v tabulce 39, ve všech případech je uvažována práce během denní směny. Tabulka srovnává případovou studii s referenční studií A1.

**Tabulka 39: Souhrnné výsledky dopadu do životního prostředí pro případ A3 ve srovnání s A1**

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ A1	Případ A2	Změna vzhledem k A1
ADP Fossil	MJ	4,95E+07	5,81E+07	+17,5%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	5,25E+03	5,56E+03	+5,8%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,37E+02	7,99E+02	+8,4%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,38E+06	1,41E+06	+2,7%
ODP	Kg R11 eq.	7,87E-03	6,27E-03	-20,3%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,40E+02	6,89E+02	+7,6%

Pro porovnání celkového vlivu obou případových studií jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 44.



**Obrázek 44: Relativní příspěvek případu A1 a A3 podle jednotlivých kategorií dopadu**

Referenční příklad A1 má poměrně příznivé výsledky ve všech kategoriích dopadu kromě potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP). Dva mosty vedou ke srovnatelným výsledkům z hlediska GWP s rozdílem 2,7 %.

Kvůli omezením v aktuální verzi nástroje SBRI + Tool jsou všechna posouzení životního cyklu prováděna s ohledem na uzavření pouze jednoho jízdního pruhu pro provoz v každém směru [tři pruhu průjezdné pro provoz v každém směru] po dobu pro A1 = 154 dní, A2 = 273 dnů a A3 = 196 dní. V případě, že dojde k uzavření více jízdních pruhů, výrazně se zvýší emise z důvodu tvorby dopravní zácpy, což povede k vyššímu rozdílu mezi případovými studii.

### 2.3.6 Alternativní scénáře údržby

- **Posouzení referenční případové studie A1**

Dále jsou posouzeny dva další alternativní scénáře údržby. První z nich je nazýván nedostatek finančních prostředků. Ve scénáři se mění frekvence údržby, aby se zohlednila situace s rozpočtovými omezeními. Ve scénáři prodloužená životnost je životnost prodloužena na 130 let.

Oba alternativní scénáře ovlivňují pouze fázi provozu. Výsledky uvedené v části se proto týkají pouze fáze provozu. Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí pro fázi provozu, v případě práce probíhající během dne denní směna, jsou uvedeny v tabulce 40 pro standardní a alternativní scénáře údržby.

**Tabulka 40: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě různých scénářů údržby [A1]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	7,38E+06	3,79E+06	-48,7%	1,53E+07	+107,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,17E+02	2,10E+02	-49,7%	8,60E+02	+106,1%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,54E+01	3,26E+01	-50,1%	1,37E+02	+109,5%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,07E+05	5,19E+04	-51,6%	2,13E+05	+98,1%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-07	1,71E-07	-56,0%	8,03E-07	+106,4%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,02E+01	3,73E+01	-46,9%	1,36E+02	+94,0%

Vzhledem k tomu, že scénáře údržby se vztahují ke dvěma různým časovým rozpětím, jsou výsledky pro posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě práce během dne denní směna přepočteny na jeden rok. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 41. Pro scénář nedostatek finančních prostředků je uvažované časové rozpětí 100let, pro scénář prodloužená životnost je uvažované časové rozpětí 130 let.

**Tabulka 41: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu za jeden rok v případě různých scénářů údržby [A1]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	7,38E+04	3,79E+04	-48,7%	1,18E+05	+59,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,17E+00	2,10E+00	-49,7%	6,61E+00	+58,5%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,54E-01	3,26E-01	-50,1%	1,05E+00	+61,2%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,07E+03	5,19E+02	-51,6%	1,64E+03	+52,4%
ODP	Kg R11 eq.	3,89E-09	1,71E-09	-56,0%	6,18E-09	+58,8%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,02E-01	3,73E-01	-46,9%	1,05E+00	+49,2%

Z výsledků je zřejmé, že scénář nedostatek finančních prostředků vede ve všech kategoriích ke snížení dopadu do životního prostředí průměrně o 50,5 %, protože je ve scénáři údržby provedeno méně údržbové práce. Snaha prodloužit životnost mostu ve scénáři prodloužená životnost vede průměrně k 56,6% nárůstu dopadu do životního prostředí ve všech kategoriích.

- **Posouzení případové studie A2**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí pro fázi provozu, v případě práce probíhající během dne denní směna jsou uvedeny v tabulce 42 pro standardní a alternativní scénáře údržby.

**Tabulka 42: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě různých scénářů údržby [A2]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	5,92E+06	3,05E+06	-48,5%	1,27E+07	+114,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,29E+02	1,97E+02	-54,2%	9,06E+02	+111,0%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,65E+01	3,08E+01	-53,7%	1,42E+02	+113,4%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,61E+05	6,57E+04	-59,1%	3,25E+05	+101,9%
ODP	Kg R11 eq.	8,09E-07	3,00E-07	-62,9%	1,66E-06	+104,8%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5,70E+01	2,90E+01	-49,2%	1,15E+02	+101,9%

Vzhledem k tomu, že scénáře údržby se vztahují ke dvěma různým časovým rozpětím, jsou výsledky pro posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě práce během dne denní směna přepočteny na jeden rok. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 43. Pro scénář nedostatek finančních prostředků je uvažované časové rozpětí 100let, pro scénář prodloužená životnost je uvažované časové rozpětí 130 let.

**Tabulka 43: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu za jeden rok v případě různých scénářů údržby [A2]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	5,92E+04	3,05E+04	-48,5%	9,78E+04	+65,1%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,29E+00	1,97E+00	-54,2%	6,97E+00	+62,3%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,65E-01	3,08E-01	-53,7%	1,09E+00	+64,2%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,61E+03	6,57E+02	-59,1%	2,50E+03	+55,3%
ODP	Kg R11 eq.	8,09E-09	3,00E-09	-62,9%	1,27E-08	+57,5%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5,70E-01	2,90E-01	-49,2%	8,85E-01	+55,3%

Scénář nedostatek finančních prostředků vede ve všech kategoriích ke snížení dopadu do životního prostředí. Naproti tomu snaha prodloužit životnost mostu ve scénáři prodloužená životnost vede k nárůstu dopadu do životního prostředí ve všech kategoriích.

- **Posouzení případové studie A3**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí pro fázi provozu, v případě práce probíhající během dne denní směna jsou uvedeny v tabulce 44 pro standardní a alternativní scénáře údržby.

Tabulka 44: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě různých scénářů údržby [A3]

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	7,46E+06	4,18E+06	-44,0%	1,52E+07	+103,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,13E+02	2,25E+02	-45,5%	8,39E+02	+103,2%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,55E+01	3,57E+01	-45,5%	1,35E+02	+105,8%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,04E+05	5,34E+04	-48,6%	2,04E+05	+96,4%
ODP	Kg R11 eq.	3,73E-07	1,76E-07	-52,8%	7,64E-07	+104,7%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,85E+01	3,86E+01	-43,6%	1,32E+02	+92,4%

Vzhledem k tomu, že scénáře údržby se vztahují ke dvěma různým časovým rozpětím, jsou výsledky pro posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě práce během dne denní směna přepočteny na jeden rok. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 45. Pro scénář nedostatek finančních prostředků je uvažované časové rozpětí 100let, pro scénář prodloužená životnost je uvažované časové rozpětí 130 let.

Tabulka 45: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu za jeden rok v případě různých scénářů údržby [A3]

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	7,46E+04	4,18E+04	-44,0%	1,17E+05	+56,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,13E+00	2,25E+00	-45,5%	6,45E+00	+56,3%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,55E-01	3,57E-01	-45,5%	1,04E+00	+58,3%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,04E+03	5,34E+02	-48,6%	1,57E+03	+51,1%
ODP	Kg R11 eq.	3,73E-09	1,76E-09	-52,8%	5,87E-09	+57,5%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,85E-01	3,86E-01	-43,6%	1,01E+00	+48,0%

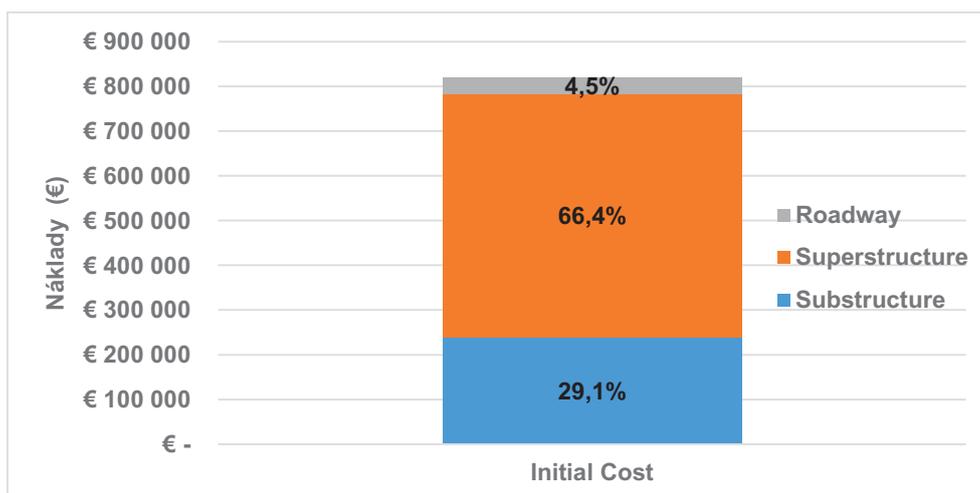
Scénář nedostatek finančních prostředků vede ve všech kategoriích ke snížení dopadu do životního prostředí. Naproti tomu snaha prodloužit životnost mostu ve scénáři prodloužená životnost vede k nárůstu dopadu do životního prostředí ve všech kategoriích.

## 2.4 Posouzení nákladů na životní cyklus

### 2.4.1 Počáteční náklady

- Posouzení referenční případové studie A1

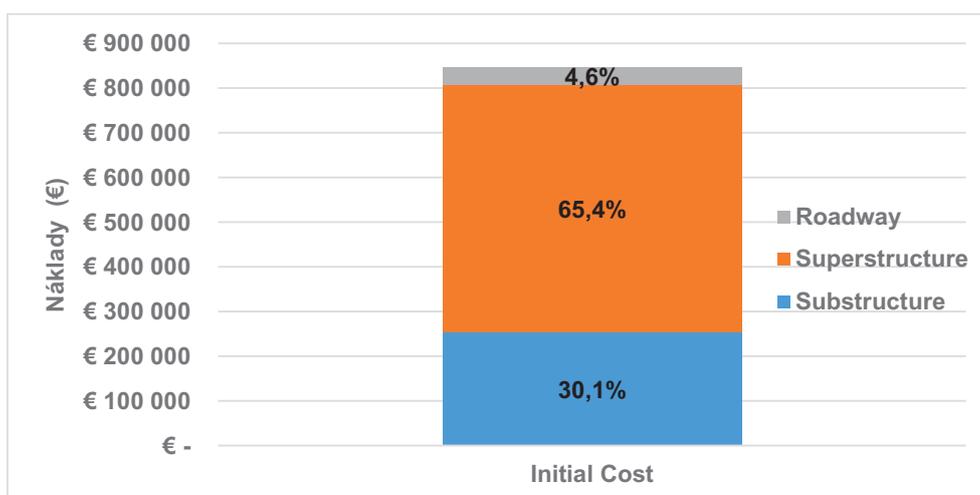
Počáteční náklady na stavbu, včetně nákladů na přepravu materiálu, činí 826 145,01 €, což odpovídá přibližně 1 553,82 €/m<sup>2</sup>. Graf na obrázku 45 znázorňuje podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou vypočteny na základě výkazu materiálů a jednotkové ceny uvedené v tabulce 11.



Obrázek 45: Počáteční náklady A1

- **Posouzení případové studie A1**

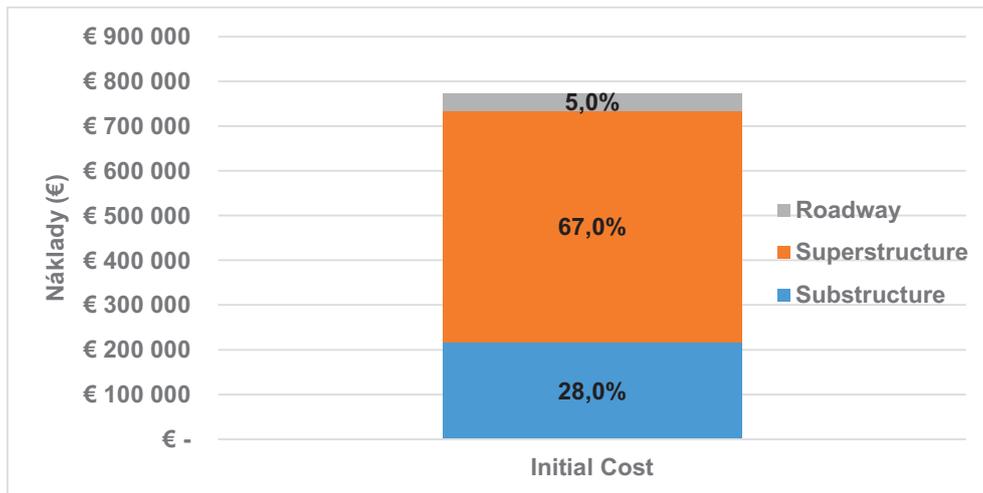
Počáteční náklady a podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou uvedené v grafu na obrázku 46, jsou vypočteny na základě výkazu materiálu a jednotkové ceny z tabulky 11. Pro případovou studii A2 vycházejí počáteční náklady, včetně nákladů na přepravu materiálu 850 713,82 €, což odpovídá přibližně 1 600,1 €/m<sup>2</sup>.



Obrázek 46: Počáteční náklady A2

- **Posouzení případové studie A3**

Počáteční náklady a podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou uvedené v grafu na obrázku 47, jsou vypočteny na základě výkazu materiálu a jednotkové ceny z tabulky 11. Pro případovou studii A3 vycházejí počáteční náklady, včetně nákladů na přepravu materiálu 779 264,42 €, což odpovídá přibližně 1 465,64 €/m<sup>2</sup>.



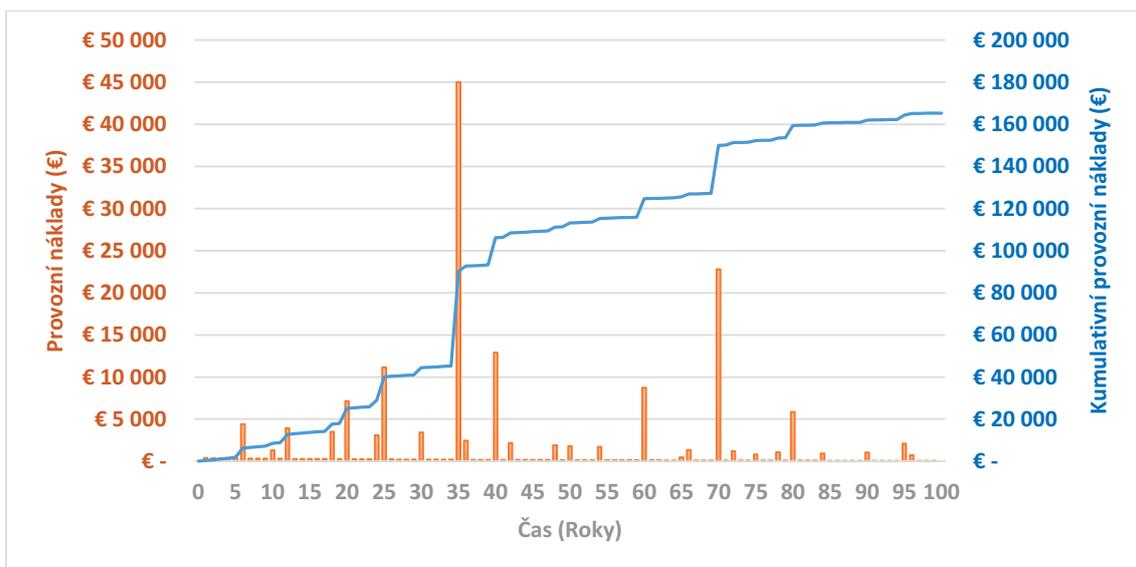
Obrázek 47: Počáteční náklady A3

### 2.4.2 Provozní náklady

Během časového období 100 let se předpokládá, že posuzované mosty budou udržovány a opravovány podle plánu uvedeného v příloze - tabulka A1, definice standardního scénáře údržby.

- **Posouzení referenční případové studie A1**

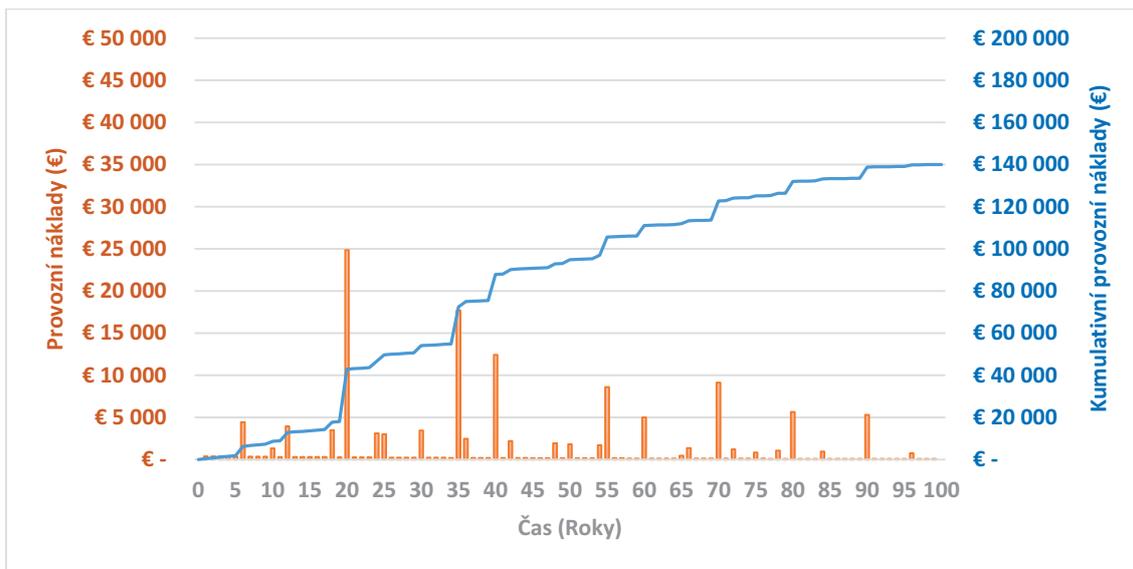
Náklady spojené s kontrolními a údržbovými pracemi prováděnými na mostě A1 po celou dobu života jsou vypočteny na základě jednotkových nákladů a frekvencí uvedených v tabulce A1 v příloze a byly stanoveny na 165 236,13 €. Náklady jsou znázorněny v grafu na obrázku 48 spolu s čistými současnými hodnotami akumulovaných nákladů s uvažovanou diskontní sazbou ve výši 2%. Z grafu lze vyčíst, že provozní náklady jsou v roce 35 a 70 výrazně vyšší. Vrcholy jsou spojené s obnovou protikorozní ochrany.



Obrázek 48: Provozní náklady A1 během života mostu

- **Posouzení případové studie A2**

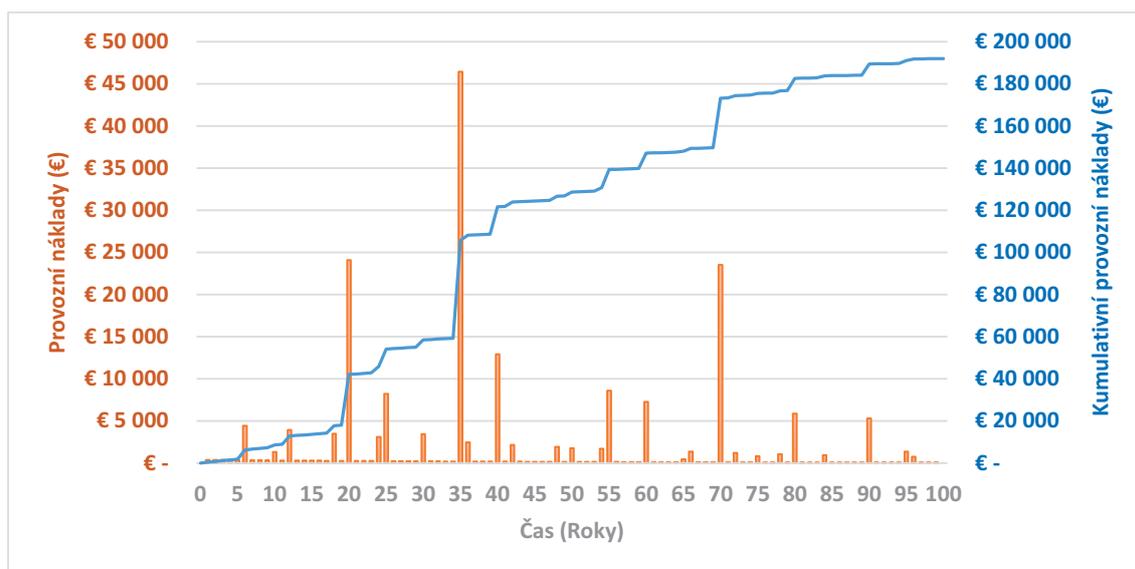
Náklady spojené s kontrolními a údržbovými pracemi prováděnými na mostě A2 po celou dobu života jsou vypočteny na základě jednotkových nákladů a frekvencí uvedených v tabulce A1 v příloze a byly stanoveny na 140 019,44 €. Náklady jsou znázorněny v grafu na obrázku 49 spolu s čistými současnými hodnotami akumulovaných nákladů s uvažovanou diskontní sazbou ve výši 2%. Z grafu lze vyčíst, že provozní náklady jsou v roce 20, 35 a 40 výrazně vyšší. Vrcholy jsou důsledkem nákladů spojených s výměnou povrchu vozovky a opravou [roky 20 a 40] anebo s výměnou ložisek [rok 35].



Obrázek 49: Provozní náklady A2 během života mostu

- **Posouzení případové studie A3**

Náklady spojené s kontrolními a údržbovými pracemi prováděnými na mostě A3 po celou dobu života jsou vypočteny na základě jednotkových nákladů a frekvencí uvedených v tabulce A1 v příloze a byly stanoveny na 191 962,47 €. Náklady jsou znázorněny v grafu na obrázku 50 spolu s čistými současnými hodnotami akumulovaných nákladů s uvažovanou diskontní sazbou ve výši 2%. Z grafu lze vyčíst, že provozní náklady jsou v roce 20, 35, 40 a 70 výrazně vyšší. Vrcholy jsou důsledkem nákladů spojených s výměnou povrchu vozovky a opravou [roky 20 a 40], s výměnou ložisek [rok 35] anebo s obnovou protikorozní ochrany [roky 35 a 70].



Obrázek 50: Provozní náklady A3 během života mostu

V případě A1 trvá údržba během celého životního cyklu 112 dní, zatímco v případě A2 respektive A3 trvá 191 respektive 206 dnů. Příklad A1 dosáhl sníženého počtu dní potřebných pro údržbu, protože je navržen bez ložisek. Z výsledků je nicméně zřejmé, že železobetonová varianta A2 měla za následek snížení provozních nákladů ve srovnání s ostatními dvěma případy. To je způsobeno vysokými náklady na zachování protikorozních ochranných vrstev. Přesto se případ A1 ukázal jako příznivý z hlediska provozních nákladů ve srovnání s případem A3.

### 2.4.3 Náklady na ukončení života

Náklady na ukončení života konstrukce zahrnují náklady na pracovní sílu, náklady na vybavení, náklady na dopravní značení, náklady na dopravu materiálu a náklady na ukládání či likvidaci materiálů nebo příjmy z jejich recyklace.

Uvažovaná jednotková cena demolice je 100 €/m<sup>2</sup> [1]. Cena zahrnuje náklady na práci, náklady na stavební vybavení a pohonné hmoty, na přidružené materiály, na třídění materiálů, na všechna nezbytná opatření k zajištění bezpečnosti pracovního prostoru a na konečné čištění staveniště.

Stavební odpad je odeslán k recyklaci nebo uložen na skládce. Náklady na dopravu vyžadují odhad vzdálenosti od místa demolice k místu likvidace nebo recyklace, odhad účinnosti nákladních automobilů a ceny paliva. V případě odpadů odeslaných na skládku účtuje provozovatel skládky poplatek za uložení stavebního odpadu. Náklady na uložení stavebního odpadu se liší podle druhu materiálu a stupně kontaminace.

V případě oceli, se předpokládá cena 100 €/t. Cena závisí na aktuální ceně oceli, podle informací od amerického recyklačního institutu lze uvažovat s cenou 120 \$ za tunu oceli. Hodnota má záporné znaménko, protože jde o zisk a nikoliv o náklady. Shrnutí nákladů na ukončení života případů A1, A2 a A3 je uvedeno v tabulce 46, 47 a 48. Příklad A1 má o 9,5 % nižší náklady na ukončení života než případ A2 a o 7,2 % menší náklady než případ A3.

Tabulka 46: Náklady na ukončení života A1

Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	226,382	-2417,01	50	46,87
Beton	3096,24	4273,83	50	641,07
Zemní práce	13640	94138,48	10	564,83
Bitumen	55,62	383,87	20	4,61
Jiné		98,21		0,00
Součet (€)				97734,77
Demoliční náklady (€)				7339,04
<b>Celkem (€)</b>				<b>105073,81</b>

Tabulka 47: Náklady na ukončení života A2

Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	161,7284	-1562,67	50	33,49
Beton	4163,808	5747,43	50	862,11
Zemní práce	14640	101040,13	10	606,24
Bitumen	55,62	383,87	20	4,61
	-	114,09	-	-
Součet (€)				107229,29
Demoliční náklady (€)				7339,04
<b>Celkem (€)</b>				<b>114568,33</b>

Tabulka 48: Náklady na ukončení života A3

Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	199,6669	-2158,58	50	41,34
Beton	3005,4	4148,44	50	622,27
Zemní práce	14640	101040,13	10	606,24
Bitumen	55,62	383,87	20	4,61
	-	114,09	-	-
Součet (€)				104802,40
Demoliční náklady (€)				7339,04
<b>Celkem (€)</b>				<b>112141,45</b>

(\*) Uvažovaná cena uložení betonového odpadu 10 €/t, cena tuny šrotu 100 €/t a cena přepravy 0,03 €/t/km.

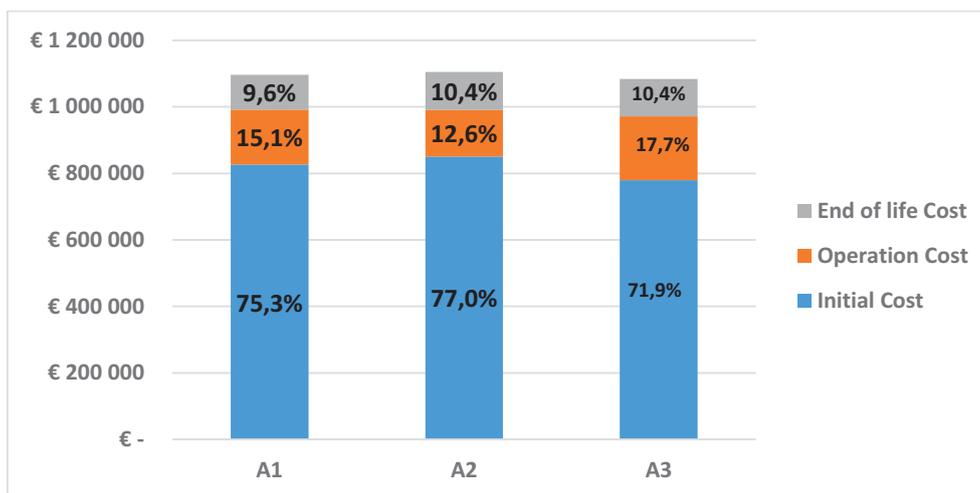
(\*\*) Výše vypočtené množství oceli zahrnuje jak ocelovou výztuž, tak nosníky, plechy a přípoje z konstrukční oceli.  
Poznámka: Náklady jsou uvedeny v současné hodnotě vypočtené podle rovnice 2 s diskontní sazbou 2%.

#### 2.4.4 Celkové náklady na životní cyklus

Sečtením nákladů pro případovou studii A1 z předchozích částí se získá hodnota 1 096 454,96 €, což je čistá současná hodnota nákladů na životní cyklus (LCC) při uvážení 2% diskontní sazby. To představuje celkové náklady přibližně 2062,22 €/m<sup>2</sup>. Dále lze vypočítat celkovou současnou hodnotu nákladů na životní cyklus (LCC) pro případ A2, tj. 1 104 940,0 € a případ A3, tj. 1 083 368,0 € se stejnou 2% diskontní sazbou. To představuje celkové náklady přibližně 2078,2 €/m<sup>2</sup> pro A2 a 2037,6 €/m<sup>2</sup> pro A3. Náklady na mosty pro každou fázi zvlášť jsou shrnuty v tabulce 49 a zobrazeny v grafu na obrázku 51.

Tabulka 49: Srovnání nákladů na životní cyklus mezi A1, A2 a A3

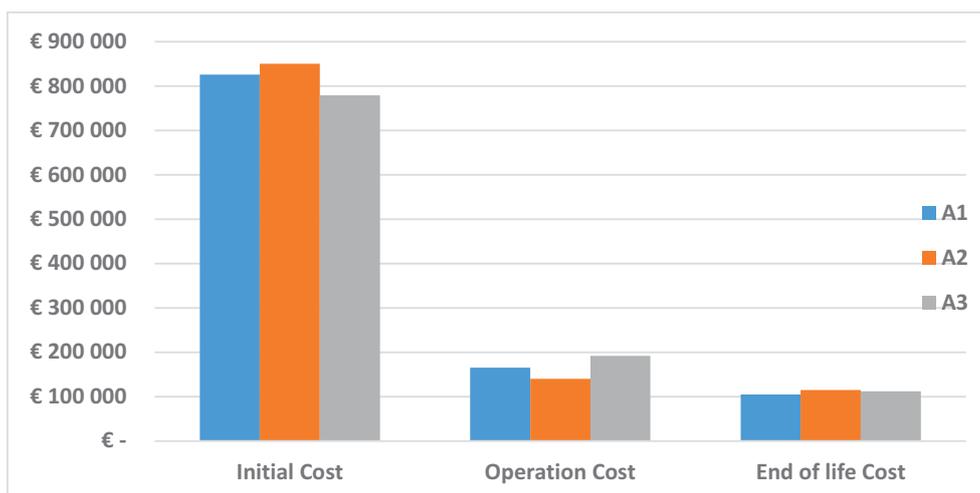
	Případ A1(€)	Případ A2(€)	Změna vzhledem k A1	Případ A3(€)	Změna vzhledem k A1
Počáteční náklady	826145,01	850713,8	+3,0%	779264,4	-5,7%
Provozní náklady	165236,13	139657,7	-15,5%	191962,5	+16,2%
Náklady na ukončení života	105073,81	114568,3	+9,0%	112141,4	+6,7%
Celkové náklady	1096454,96	1104940	+0,8%	1083368	-1,2%



Obrázek 51: Celkové náklady na životní cyklus A1, A2 a A3

Graf na obrázku 52 porovnává celkové náklady na životní cyklus (LCC) pro různé všechny studie A1, A2 a A3. Z konkrétního srovnání je zřejmé, že ocelobetonové řešení (A3) je lepší než železobetonové (A2), i integrované řešení A1 pokud jsou zohledněny pouze počáteční náklady. Dále je zřejmé, že integrované ocelobetonové řešení mostu je nejlepší volbou, pokud se minimalizují náklady na ukončení života konstrukce. Železobetonové řešení vedlo k nejvyšším počátečním nákladům a nákladům na ukončení života. Z celkových nákladů, lze konstatovat, že běžné ocelobetonové řešení mostu (A3) je levnější o 1,2 % ve srovnání s integrovaným ocelobetonovým mostem (A1), a železobetonový most (A2) je o 0,8 % dražší než integrovaný ocelobetonový most (A1).

Náklady na ukončení života jsou mnohem nižší než náklady na provoz nebo náklady na výstavbu vzhledem k tomu, že náklady vznikají v roce 100 a jsou diskontovány roční diskontní sazbou stanovenou na 2%.



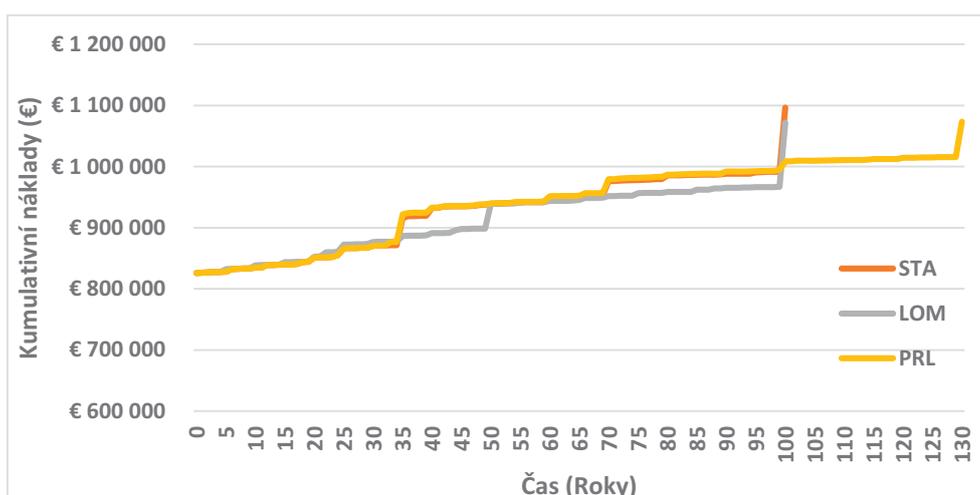
Obrázek 52: Celkové náklady na životní cyklus pro každou případovou studii

#### 2.4.5 Alternativní scénáře údržby

Kromě standardního scénáře byly posouzeny dva alternativní scénáře údržby, a to scénáře nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost. Ve scénáři nedostatek finančních prostředků musí být frekvence údržby snížena, aby se zohlednila situace s rozpočtovými omezeními. Druhý scénář, prodloužená životnost, počítá s rozhodnutím o udržování mostu v provozu po delší dobu, než bylo plánováno (130 let namísto 100), toto rozhodnutí padlo v 80. roce provozu. Strategie údržby je na konci životnosti upravena, aby byla zajištěna požadovaná výkonnost mostu do 130. roku provozu.

- **Posouzení referenční případové studie A1**

Graf na obrázku 53 zobrazuje celkové náklady na životní cyklus pro případovou studii A1 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



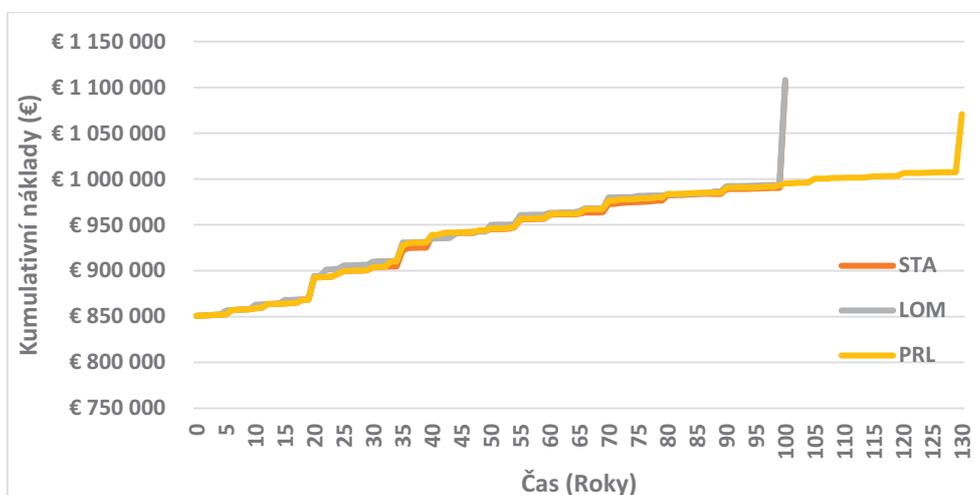
Obrázek 53: Náklady na životní cyklus případu A1 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

Míra růstu nákladů na životní cyklus je po 80 letech nižší než na začátku života konstrukce, protože náklady jsou diskontovány pevnou roční diskontní sazbou ve výši 2 %. Hodnota nákladů na životní cyklus (LCC), vychází pro scénář nedostatek finančních prostředků a

prodloužená životnost o 2,2 %, respektive 4 % nižší ve srovnání se standardním scénářem údržby. Důvodem snížení nákladů na životní cyklus ve scénáři prodloužená životnost jsou náklady na konci životnosti s vysokou diskontovanou hodnotou v roce 130. Čistá současná hodnota nákladů na ukončení života konstrukce ve scénáři s prodlouženou životností (v roce 130) vychází 55% oproti standardnímu scénáři (v roce 100).

- **Posouzení případové studie A2**

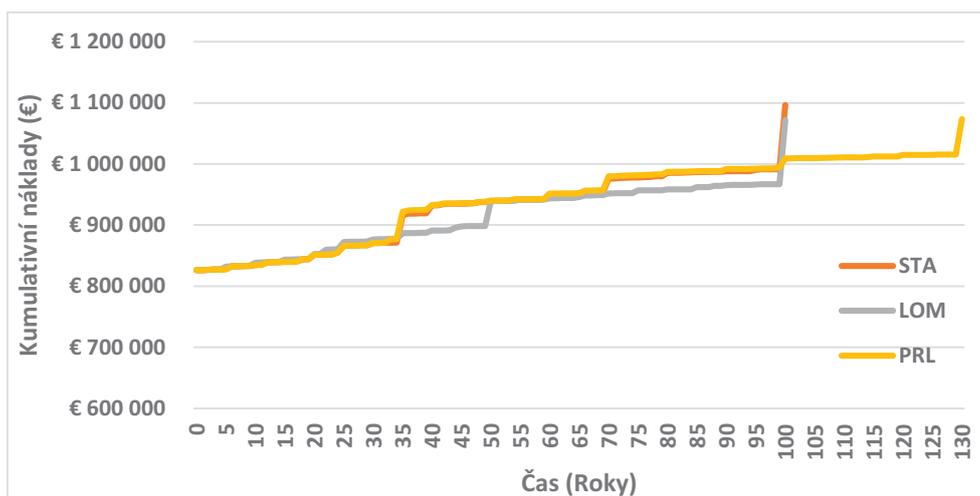
Graf na obrázku 54 zobrazuje celkové náklady na životní cyklus pro případovou studii A2 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost. U předpjatého betonového mostu byla zaznamenána mírně nižší hodnota LCC pro scénář prodloužená životnost , ačkoli má most delší životnost. Důvodem snížení nákladů na životní cyklus scénáře jsou vysoce diskontované náklady na ukončení života v roce 130. Čistá současná hodnota nákladů na ukončení života konstrukce ve scénáři s prodlouženou životností (v roce 130) vychází 55% oproti standardnímu scénáři (v roce 100).



Obrázek 54: Náklady na životní cyklus případu A2 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

- **Posouzení případové studie A3**

Graf na obrázku 55 zobrazuje celkové náklady na životní cyklus pro případovou studii A3 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost. I v případě byla zaznamenána mírně nižší hodnota LCC pro scénář prodloužená životnost , ačkoli má most delší životnost. Důvodem snížení nákladů na životní cyklus scénáře jsou vysoce diskontované náklady na ukončení života v roce 130. Čistá současná hodnota nákladů na ukončení života konstrukce ve scénáři s prodlouženou životností (v roce 130) vychází 55% oproti standardnímu scénáři (v roce 100).

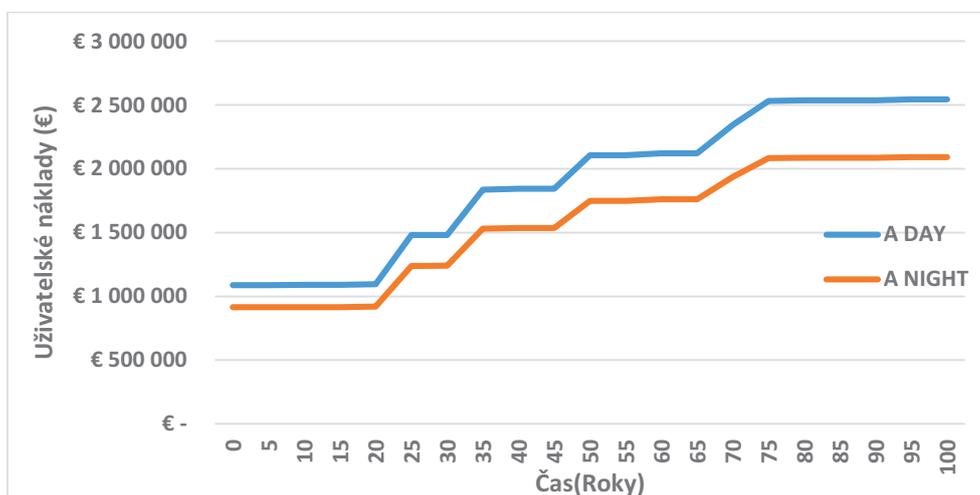


Obrázek 55: Nákłady na životní cyklus případu A3 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

## 2.5 Sociální analýza životního cyklu

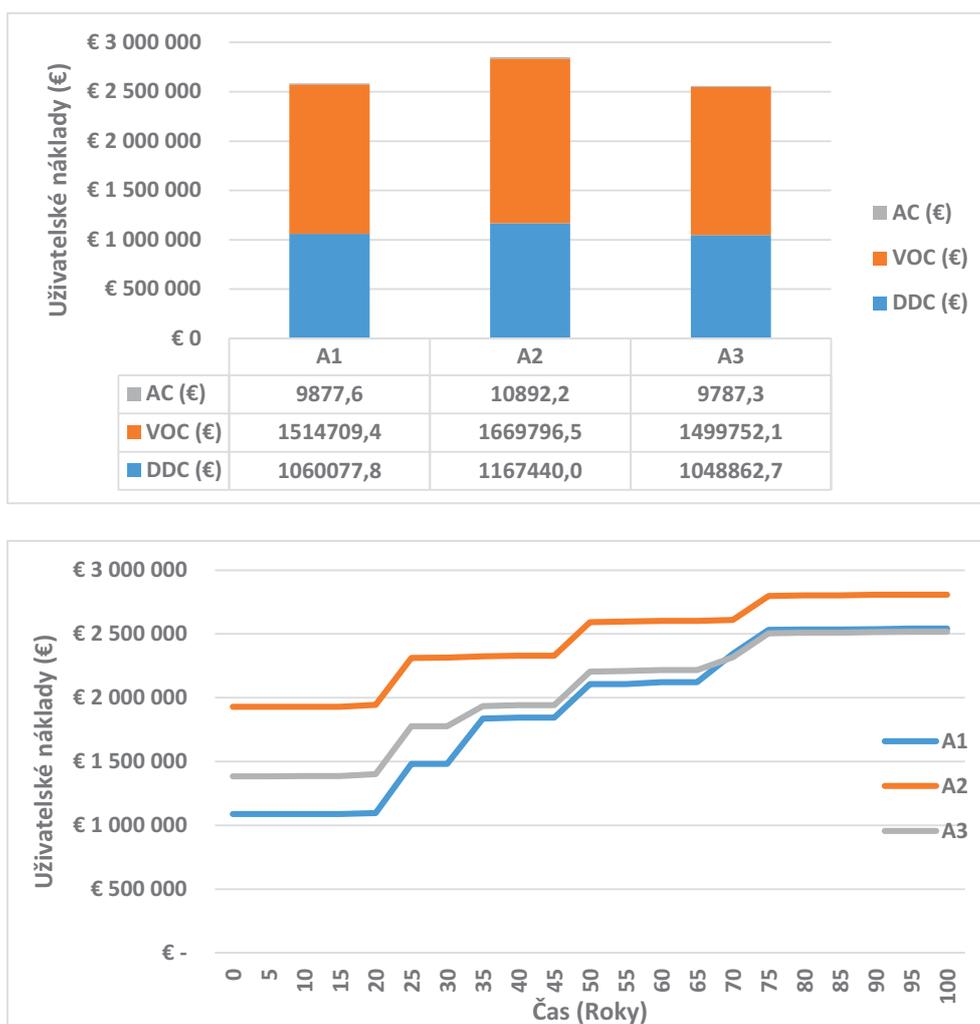
Pro výpočet uživatelských nákladů byly posouzeny dva scénáře údržby: (i) scénář den, kdy se většina prací provádí během dne (od 6:00 do 22:00) a na mostě je uzavřen jeden jízdní pruh kvůli hlavní údržbářským pracím (výměna povrchu vozovky nebo hydroizolace); (ii) scénář noc, který je obdobný jako scénář den s tím rozdílem, že většina údržbářských prací probíhá během noci (od 22:00 do 6:00).

Graf na obrázku 56 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii A1 se scénářem den a noc. Negativní vlivy údržby pro uživatele jsou sníženy, pokud se práce provádí v noci, protože je provoz slabší než během dne.



Obrázek 56: Uživatelské náklady pro případovou studii A1 se scénáři den a noc.

A1 a A3 mají srovnatelné uživatelské náklady s rozdílem 1 %. Dále je z grafu na obrázku 57 patrné, že uživatelské náklady spojené s případem A1 byly nižší než u případu A2 o 10,2 %. Rozdíl lze vysvětlit tím, že pro údržbu v případech A2 a A3 je potřeba více dnů, kvůli údržbě použitých ložisek [které u případu A1 nejsou] a další práci nutné pro údržbu střední podpěry u případů A2 a A3.



Obrázek 57: Uživatelské náklady pro případové studie A1, A2 a A3 se standardním scénářem údržby a prací během dne.

Celkové porovnání uživatelských nákladů tří případů je uvedeno v tabulce 50. Z grafů a čísel je jasné, že uživatelské náklady představují velkou část nákladů na životní cyklus dálničních nadjezdů, zvláště pokud je dálnice v době práce na nadjezdu v provozu. Integrovaný most (A1) je o 10,2% levnější než betonový ekvivalent (A2) a o 1,0% dražší než běžný ocelobetonový most (A3) s podpěrou ve středu rozpětí.

Tabulka 50: Srovnání uživatelských nákladů mezi případy A1, A2 a A3

	Případová studie A1(€)	Případová studie A2(€)	Rozdíl proti A1	Případová studie A3(€)	Rozdíl proti A1
Uživatelské náklady	2584664,83	2848129	+10,2%	2558402	-1,0%

Ještě jednou upozorňujeme, že kvůli omezením v aktuální verzi nástroje SBRI + Tool, jsou všechny posouzení životního cyklu provedeny s uvážením, že je uzavřen pouze 1 jízdní pruh v každém směru [tři jízdní pruhy mohou být průjezdné v každém směru] po dobu A1 = 154 dní, A2 = 273 dní a A3 = 196 dní. Skutečný scénář, ale odpovídá tomu, že je provoz uzavřen ve 2 nebo více jízdních pruzích pro případy A2 a A3. Dopady dopravní zácpy na uživatelské náklady

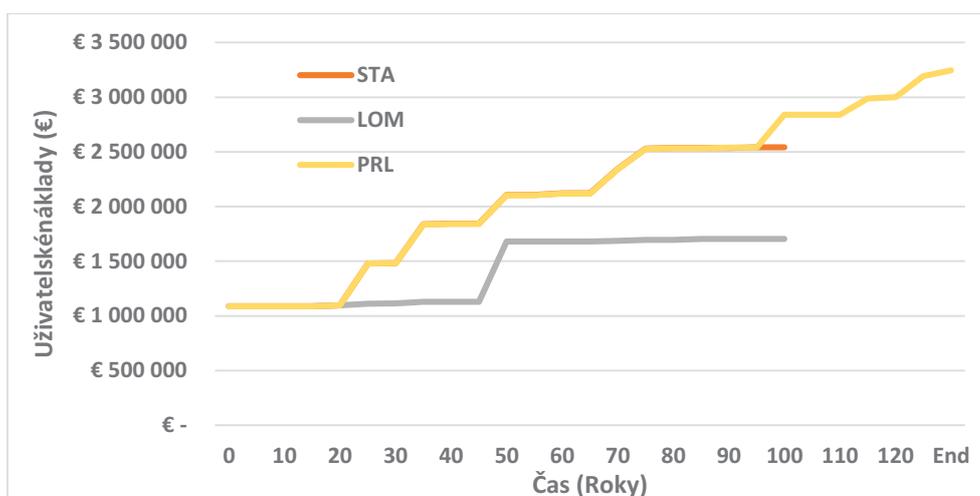
by vedli k větším rozdílům mezi případovými studiemi a integrovaný most by vycházel jako jednoznačně nejlepší volba, protože tvoří nejmenší překážku plynulému provozu.

### 2.5.1 Alternativní scénáře údržby

Stejně jako v případě LCA a LCC, pro uživatelské náklady byly posuzovány i alternativní scénáře údržby: nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost a porovnány se standardním scénářem údržby.

- **Posouzení referenční případové studie A1**

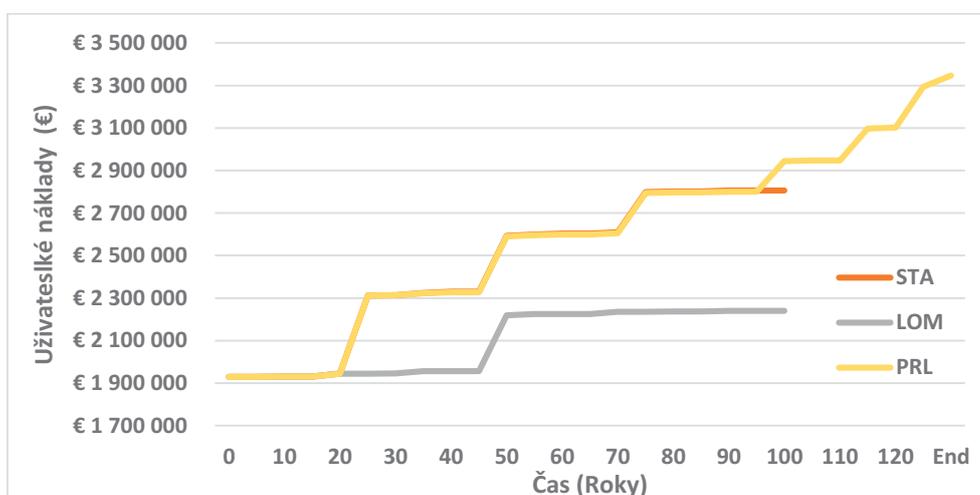
Graf na obrázku 53 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii A1 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



Obrázek 58: Uživatelské náklady případu A1 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

- **Posouzení případové studie A2**

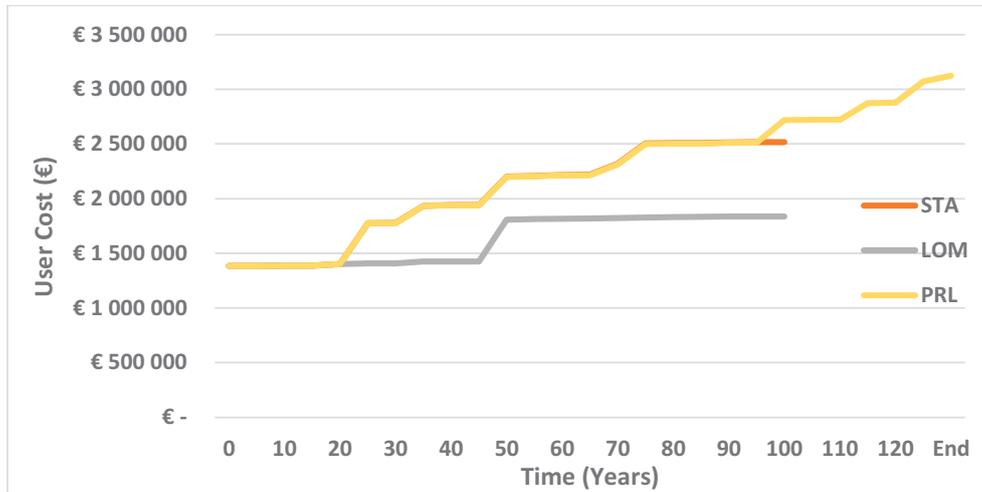
Graf na obrázku 59 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii A2 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



Obrázek 59: Uživatelské náklady případu A2 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

- **Posouzení případové studie A3**

Graf na obrázku 60 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii A3 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



**Obrázek 60: Uživatelské náklady případu A2 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost**

Ve všech třech případech A1, A2 a A3 měl scénář nedostatek finančních prostředků nižší uživatelské náklady než standardní scénář, zatímco scénář prodloužená životnost vedl k vyšším uživatelským nákladům. Aby bylo možné prodloužit životnost mostu, je totiž nutné navýšit frekvenci údržby, což vede k dopravním omezením a vyšším uživatelským nákladům.

## 2.6 Závěry z výsledků případové studie A

Z výsledků posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí je jasné, že fáze výroby materiálu a fáze provozu zdaleka dominují všem kategoriím dopadů. Výroba stavebních materiálů a dopravní zácpy způsobené pracovní činností jsou hlavními příčinami ekologické zátěže při posouzení celého životního cyklu. Ve fázi provozu jsou dopady způsobeny zejména dopravními zácpami. Usuzuje se, že nejvíce lze zlepšit výsledky prováděním údržbových prací v noci. Práce během noční směny snižují dopady na životní prostředí v důsledku skutečnosti, že hustota provozu je během noci menší.

Z hlediska nákladů na životní cyklus je z případových studií patrné, že integrovaný a běžný ocelobetonový most vykazují výhodné vlastnosti. Počáteční cena byla u monolitického betonového mostu (A2) vyšší ve srovnání s ostatními dvěma ocelobetonovými variantami, jmenovitě integrovaným (A1) a běžným ocelobetonovým mostem (A3). Náklady na provoz a ukončení života, jsou ale v případě A1 nižší, vzhledem k absenci ložisek a odpovídajících operací údržby. Provozní náklady jsou z podstaty integrovaného mostu nižší. Není nutná údržba ložisek, protože most žádná nemá. Posouzení různých scénářů údržby pro případové studie ukazuje, že scénář nedostatek finančních prostředků vede k nižším nákladům na životní cyklus (LCC). Je zajímavé, že scénář prodloužená životnost vede ke snížení hodnoty LCC (pokud se neuvažují náklady společnosti). Důvodem snížení nákladů na životní cyklus u scénáře prodloužené životnosti jsou vysoce diskontované náklady na ukončení života konstrukce v roce 130. Čistá současná hodnota nákladů na ukončení života konstrukce

ve scénáři s prodlouženou životností (v roce 130) vychází 55% oproti standardnímu scénáři (v roce 100).

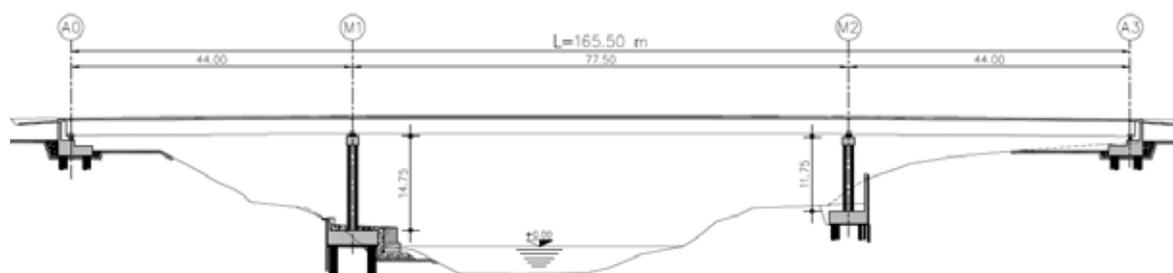
Společenské aspekty sociální analýzy životního cyklu (LCA) ukazují, že práce během noční směny je příznivá pro snížení uživatelských nákladů. Uživatelské náklady spojené s monolitickým řešením případu A2 byly o 10,2 % vyšší než u integrovaného ocelobetonového mostu případu A1. Integrovaný a běžný ocelobetonový most vyvolávají srovnatelné uživatelské náklady, přičemž náklady od druhého v pořadí jsou o 1 % nižší. Porovnání různých scénářů ukazuje, že scénář nedostatek finančních prostředků vyvolává nižší uživatelské náklady než standardní scénář, zatímco scénář prodloužená životnost vyvolává vyšší uživatelské náklady. Nemělo by ale zapadnout, že nižší náklady na údržbu znamenají vyšší degradaci mostu, což nakonec vede k rozhodnutí most zcela nahradit, a v konečném důsledku náklady podstatně vyšší.

### 3 PŘÍPADOVÉ STUDIE – MOST TYPU B

#### 3.1 Popis případové studie B1

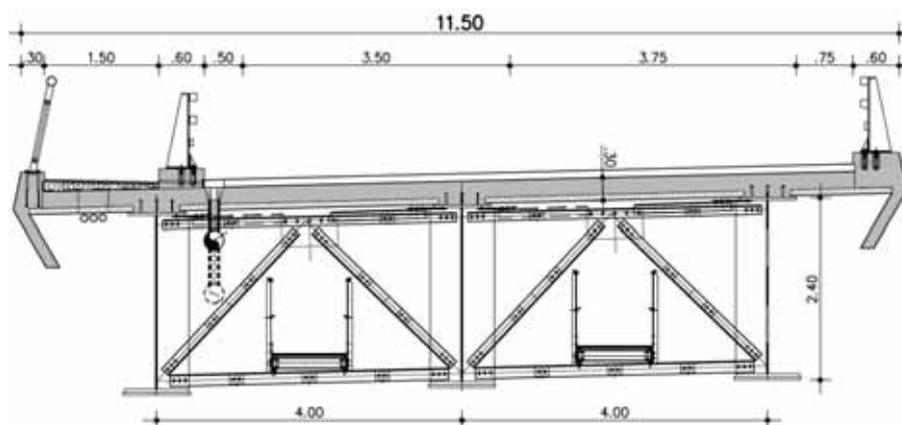
##### 3.1.1 Popis konstrukčního systému mostu, geometrie a dalších parametrů

**Případ B1** je dálniční most o třech polích s rozpětím  $44,00+77,50+44,00=165,60$  m a šířkou mostovky 11,50 m, viz obrázek 61. Spřažená ocelobetonová mostovka se skládá ze 3 svařovaných ocelových nosníků tvaru I (S355N), které jsou vysoké 2,40 m s osovou vzdáleností 4,00 m, NK byla montována podélným výsunem. Nosná konstrukce je podepřena a seizmicky izolována pomocí kotvených (ale vyměnitelných) elastomerových ložisek. Každý železobetonový mostní pilíř (C30/37) se skládá ze dvou kruhových sloupů  $\Phi 160$  cm s osovou roztečí 5,40 m, které jsou spojeny příčným úložným prahem obdélníkového průřezu. Spodní stavba, pilíře a žb opěry jsou hlubinně založeny skupinami osmi pilot.



Obrázek 61: Případ B1 Podélný pohled

Příčný řez vozovkou se skládá ze dvou jízdních pruhů šířky 3,75 m a 3,50 m, dvou krajnic 0,75 m a 0,50 m a chodníku o šířce 1,50 m. Vozovka je ohraničena svodidly a chodník zábradlím (respektive svodidly).



Obrázek 62: Případ B1 Typický příčný řez

Spřažená ocelobetonová NK se skládá ze 3 svařovaných ocelových nosníků tvaru I (S355N), které jsou vysoké 2,40 m s osovou vzdáleností 4,00 m. Šířka horní pásnice se pohybuje od 750 mm do 880 mm a šířka dolní pásnice je 880 mm. Deska mostovky (C30/37) se skládá z 0,20 m silné monolitické vrstvy a prefabrikovaných desek o tloušťce 0,10 m. Tři ocelové nosníky jsou příčně spojeny každých 8,80 m ztužidlem tvaru K, které je tvořeno ocelovými úhelníky. V místě ztužení jsou hlavní nosníky vybaveny příčnou výtuhou.

Nosná konstrukce je podepřena a seizmicky izolována pomocí elastomerových ložisek. Ložiska jsou umístěna pod každým hlavním nosníkem. Na opěrách jsou použity ložiska 2x3 NDRB 400x500x241mm ( $t_{el} = 121\text{mm}$ ) a na pilířích 2x3 NDRB 700x800x235mm ( $t_{el} = 120\text{mm}$ ).

Železobetonové (C25/30) opěry mají šířku 12,60 m a jejich celková výška je 5,90 m. Hlubinné založení každé opěry se skládá z hlavy pilot o tloušťce 1,50 m a délce 5,40 m a 8 pilot o  $\Phi 120\text{ cm}$  o délce 38 m. Každý železobetonový pilíř (C30/37) se skládá ze dvou kruhových sloupů  $\Phi 160\text{ cm}$  se roztečí 5,40 m, které jsou spojeny příčným úložným prahem obdélníkového průřezu o výšce 1,30 m a šířce 1,80 m. Hlubinný základ každého pilíře tvoří hlava pilot o rozměrech 7,80x12,60x1,50 m a 8 pilot o  $\Phi 120\text{ cm}$  délky 38 m. V následujících odstavcích je pro most provedeno posouzení LCA, LCC a LCS. Příklad má pouze ukázat posuzování LCA u mostů s velkým rozpětím, ale výsledky posouzení nejsou s ničím srovnávány.

### 3.1.1 Uvažované parametry návrhu

Tabulka 51 obsahuje výkaz hlavních materiálů pro případ B.

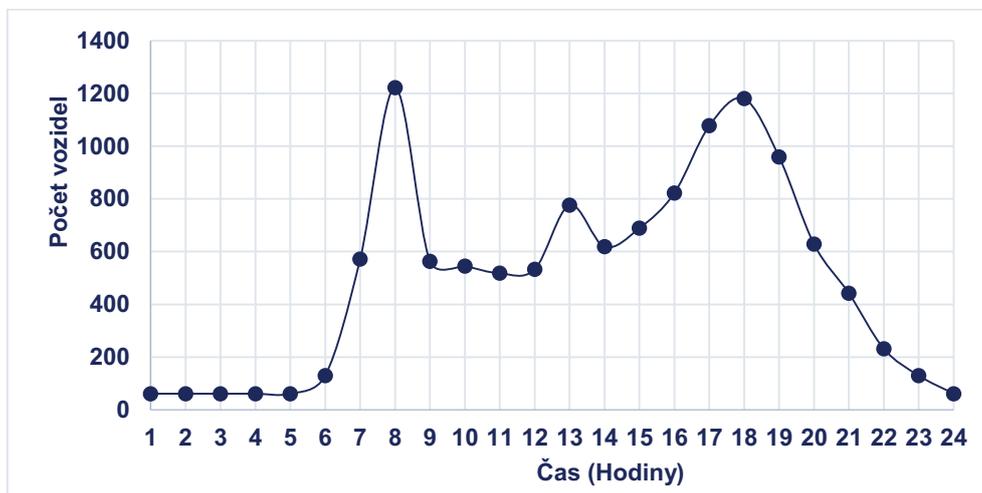
Tabulka 51: Výkaz materiálu pro případ B pro provedení posouzení LCA a LCC

Popis	Jednotka	Případ B	Jednotka	Jednotková cena* (Řecko 2015)
<b>Spodní stavba</b>				
Výkopy	[m <sup>3</sup> ]	1900	[€/m <sup>3</sup> ]	1,50
Násypy	[m <sup>3</sup> ]	510	[€/m <sup>3</sup> ]	5,00
Opěry, beton C25/30	[m <sup>3</sup> ]	405	[€/m <sup>3</sup> ]	95,00
Opěry, výztuž B500C	[kg]	38600	[€/kg]	0,80
Pilíře, beton C30/37	[m <sup>3</sup> ]	505	[€/m <sup>3</sup> ]	150,00
Pilíře, výztuž B500C	[kg]	87300	[€/kg]	0,80
Piloty, beton C20/25	[m <sup>3</sup> ]	1345	[€/m <sup>3</sup> ]	130,00
Piloty, výztuž B500C	[kg]	215960	[€/kg]	0,80
<b>Horní stavba</b>				
Konstrukční ocel S355N	[kg]	725000	[€/kg]	2,50
Ochrana proti korozi	[m <sup>2</sup> ]	7600	[€/m <sup>2</sup> ]	9,00
Beton mostovky C30/37	[m <sup>3</sup> ]	685	[€/m <sup>3</sup> ]	110,00
Výztuž mostovky B500C	[kg]	117100	[€/kg]	0,80
Ložiska	[ks]	12		
	[lt]	1080	[€/lt]	45,00
<b>Vozovka</b>				
Asfaltový povrch vozovky (2x5cm)	[m <sup>2</sup> ]	2x1675	[€/m <sup>2</sup> ]	6,00
Hydroizolace vozovky	[m <sup>2</sup> ]	2090	[€/m <sup>2</sup> ]	11,40
Odvodňovací proužek	[kg]	3297	[€/kg]	4,90
Odvodnění PVC $\Phi 200$	[m]	200	[€/m]	8,60
Dilatační závěry T200	[m]	23	[€/m]	2900,00
Svodidla	[kg]	21775	[€/kg]	1,70
Zábradlí	[kg]	4190	[€/kg]	1,90

(\*) Uvedené jednotkové ceny se týkají přímých nákladů na výstavbu. Za účelem zohlednění dalších obecných nákladů a zisků dodavatele byly náklady zvýšeny o 30 %. Všimněte si, že hodnoty jsou pro most v jednom směru provozu. Stejný most existuje ve druhém směru provozu. Z důvodu byly efekty LCA, LCC a LCS ve výpočtech, které následují, vynásobeny dvěma.

### 3.2 Analýza dopravy

Ve výchozím roce je ve výpočtech uvažován průměrný denní provoz (ADT) 12000 vozidel/den. Dále se předpokládá, že procentní podíl lehkých a těžkých vozidel je 88% a 12% z ADT. Pro dálnici se předpokládá hodinová distribuce dopravy znázorněná na obrázku 63. Předpokládá se, že růst provozu v průběhu let se vypočítá podle rovnice (3), (viz odstavec 5.3 části A), kde je uvažována míra růstu 0,5 %.

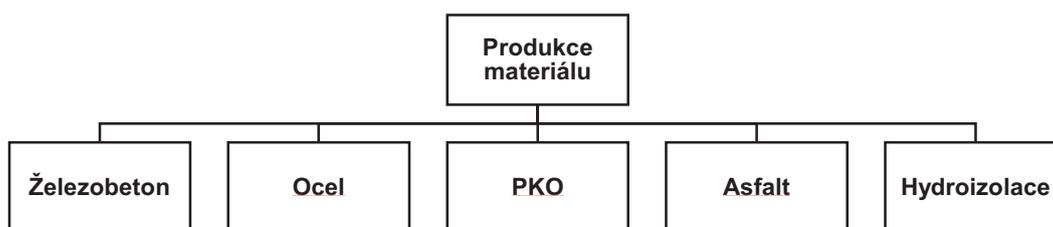


Obrázek 63: Hodinové rozdělení provozu pro případ B1

### 3.3 Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

#### 3.3.1 Fáze výroby materiálu

Fáze zohledňuje výrobu všech materiálů potřebných k vybudování mostu podle obrázku 64.



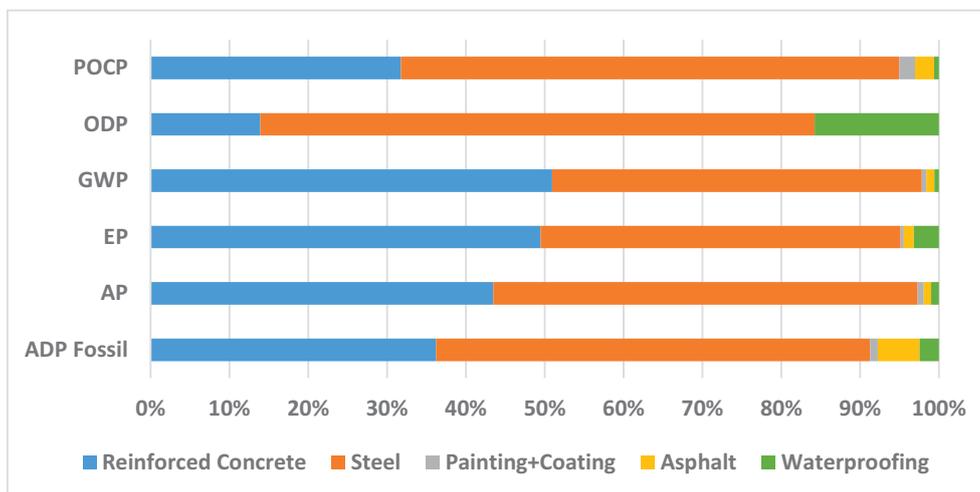
Obrázek 64: Fáze výroby materiálu

- **Posouzení vlivu na životní prostředí**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výroby materiálu jsou shrnuty v tabulce 52. Výsledkem je, že hlavními procesy přispívajícími k celkovým dopadům ve fázi výroby materiálu jsou výroba konstrukční oceli a železobetonu. Výsledky jsou zobrazeny i v grafu na obrázku 65.

Tabulka 52: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [B1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Železobeton	Konstrukční ocel	Povrchová úprava	Asfalt	Hydroizolace
ADP Fossil	MJ	5,19E+07	1,88E+07	2,86E+07	5,06E+05	2,74E+06	1,27E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,36E+04	5,90E+03	7,30E+03	1,06E+02	1,28E+02	1,33E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,24E+03	6,16E+02	5,68E+02	5,14E+00	1,61E+01	3,93E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	5,40E+06	2,75E+06	2,53E+06	3,15E+04	5,48E+04	3,07E+04
ODP	Kg R11 eq.	8,14E-02	1,13E-02	5,73E-02	5,87E-08	4,60E-08	1,28E-02
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,03E+03	6,45E+02	1,28E+03	4,12E+01	4,85E+01	1,24E+01



Obrázek 65: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [B1]

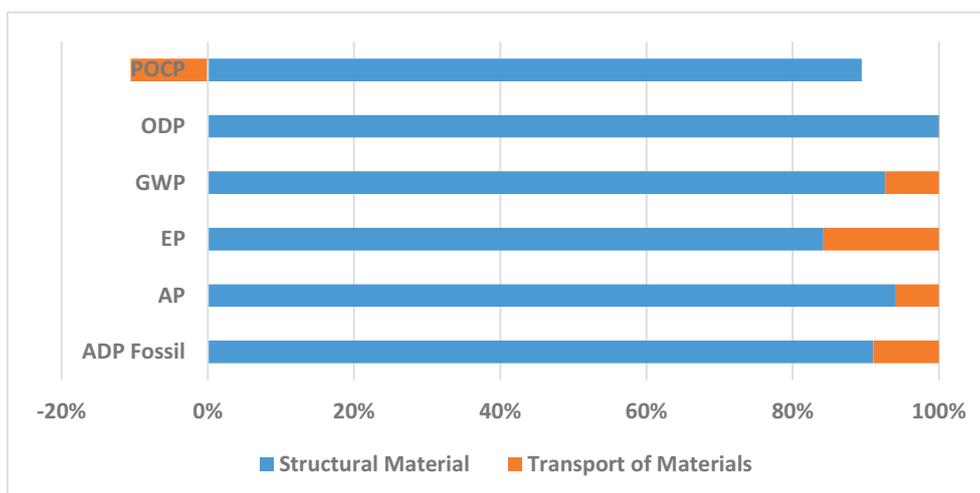
### 3.3.2 Fáze výstavby

- Posouzení vlivu na životní prostředí

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výstavby případové studie B1 jsou shrnuty v tabulce 53 a zobrazeny v grafu na obrázku 66. Operace související s výrobou stavebních materiálů na stavbě přispívají k dopadům na životní prostředí největší mírou.

Tabulka 53: Dopady fáze výstavby na životní prostředí podle jednotlivých kategorií dopadu [B1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Materiál	Transport materiálu
ADP Fossil	MJ	2,39E+06	2,18E+06	2,14E+05
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	5,88E+02	5,53E+02	3,47E+01
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,22E+01	4,39E+01	8,24E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,11E+05	1,96E+05	1,55E+04
ODP	Kg R11 eq.	3,43E-03	3,43E-03	5,21E-09
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,18E+01	9,27E+01	-1,09E+01



Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

Obrázek 66: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [B1]

### 3.3.3 Fáze provozu

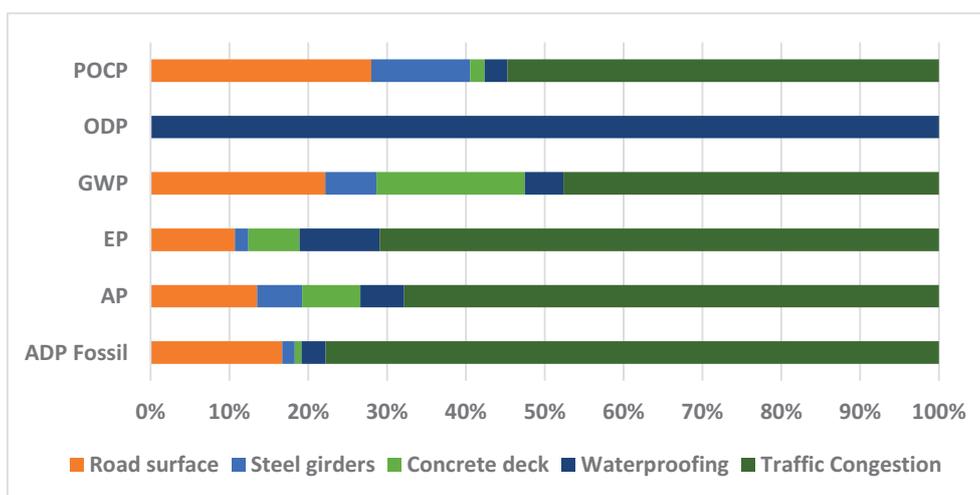
Schéma údržby uvedené v tabulce A4 přílohy A udává omezení provozu na mostě, v průběhu let, ve kterých probíhají údržbové práce.

- **Posouzení vlivu na životní prostředí**

Výsledky pro případovou studii B1 ve fázi provozu jsou uvedeny v tabulce 54 a v grafu na obrázku 67 pro práci během denní směny.

Tabulka 54: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ B1 (denní směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka	Hydroizolace	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	8,25E+07	1,38E+07	1,32E+06	7,13E+05	2,55E+06	6,42E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,81E+03	6,49E+02	2,75E+02	3,55E+02	2,66E+02	3,26E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,73E+02	8,28E+01	1,34E+01	5,01E+01	7,86E+01	5,48E+02
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,26E+06	2,78E+05	8,18E+04	2,36E+05	6,15E+04	5,98E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	2,31E-07	1,53E-07	1,54E-06	2,56E-02	2,06E-06
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,54E+02	2,39E+02	1,07E+02	1,56E+01	2,48E+01	4,68E+02

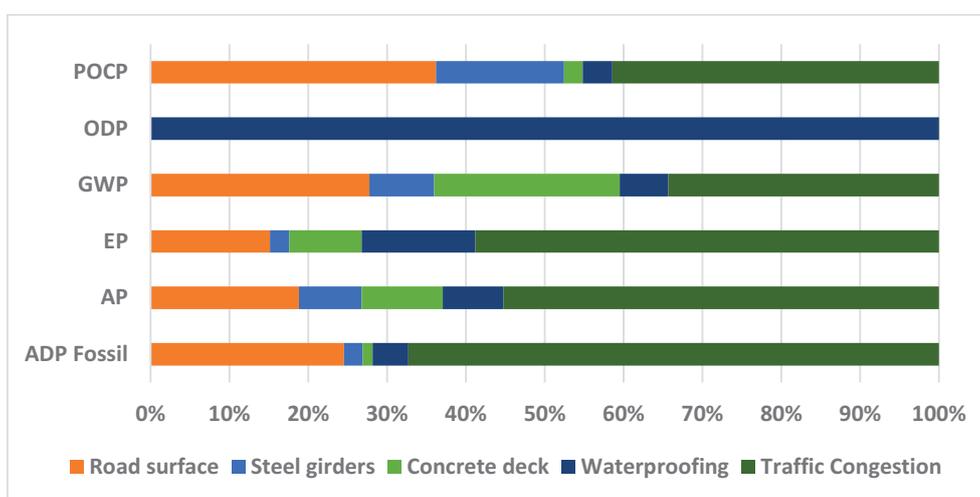


Obrázek 67: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (B1, denní směna)

Výsledky pro případovou studii B1 ve fázi provozu jsou uvedeny v tabulce 55 a v grafu na obrázku 68 pro práci během noční směny.

Tabulka 55: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ B1 (noční směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka	Hydroizolace	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	5,61E+07	1,38E+07	1,32E+06	7,13E+05	2,55E+06	3,77E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,45E+03	6,49E+02	2,75E+02	3,55E+02	2,66E+02	1,90E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,46E+02	8,28E+01	1,34E+01	5,01E+01	7,86E+01	3,21E+02
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,00E+06	2,78E+05	8,18E+04	2,36E+05	6,15E+04	3,44E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	2,31E-07	1,53E-07	1,54E-06	2,56E-02	1,19E-06
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6,60E+02	2,39E+02	1,07E+02	1,56E+01	2,48E+01	2,74E+02



Obrázek 68: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (B1, noční směna)

Z tabulky 56 je patrné, že hlavní příspěvek do všech kategorií dopadu pochází od vozovky, ocelových nosníků, hydroizolační vrstvy a dopravní zácpy pro práci během denní i noční směny, přestože pro noční scénář je příspěvek od dopravní zácpy mírně nižší než v případě práce během denní směny. V některých kategoriích dopadu došlo ke snížením až o 32 %.

Tabulka 56: Srovnání dopadů na životní prostředí mezi prací během denní a noční směny ve fázi provozu [B1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ B1 den	Případ B1 noc	Změna vzhledem k B1
ADP Fossil	MJ	8,25E+07	5,61E+07	-32,0%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,81E+03	3,45E+03	-28,2%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,73E+02	5,46E+02	-29,4%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,26E+06	1,00E+06	-20,2%
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	2,56E-02	-0,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,54E+02	6,60E+02	-22,7%

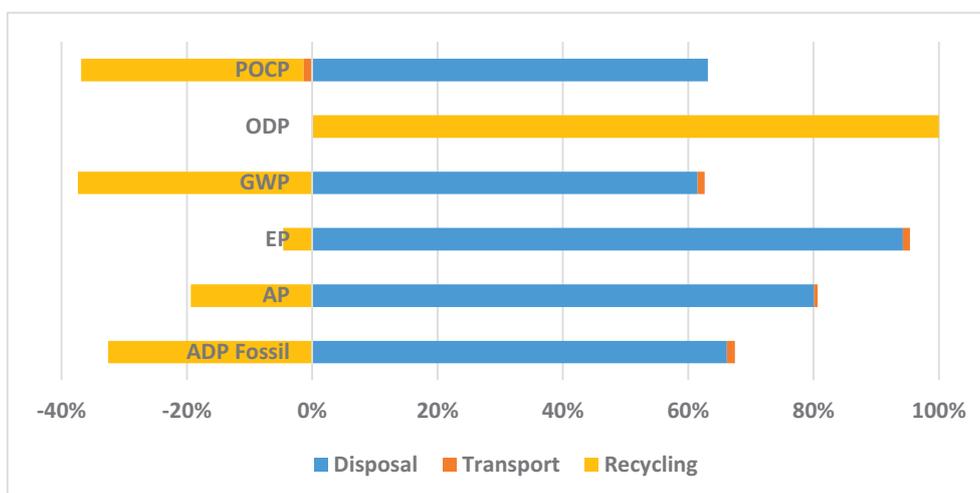
### 3.3.4 Fáze konec života

- **Posouzení vlivu na životní prostředí**

Celkové emise pro každou kategorii dopadu v fázi životního cyklu jsou uvedeny v grafu na obrázku 69, který uvádí příspěvek každého procesu pro jednotlivé kategorie dopadu. Záporné hodnoty na obrázku 69 představují přínosy vyplývající z recyklace materiálu.

Tabulka 57: Dopady na životní prostředí podle procesů ve fázi konec života [B1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Uložení odpadu	Doprava	Recyklace
ADP Fossil	MJ	8,87E+06	1,68E+07	3,27E+05	-8,28E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	5,93E+03	7,75E+03	5,29E+01	-1,87E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,02E+03	1,05E+03	1,26E+01	-5,17E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	5,33E+05	1,30E+06	2,37E+04	-7,91E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,51E-02	1,27E-05	7,93E-09	2,51E-02
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,10E+02	7,45E+02	-1,67E+01	-4,19E+02



Obrázek 69: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [B1]

Největší dopad má likvidace materiálů, zatímco doprava má malý dopad na všechny kategorie. Je možné si všimnout, že proces recyklace působí ve všech kategoriích dopadů na životní prostředí s výjimkou ODP příznivě.

### 3.3.5 Výsledky posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

- **Shrnutí výsledků životního cyklu pro případovou studii B1**

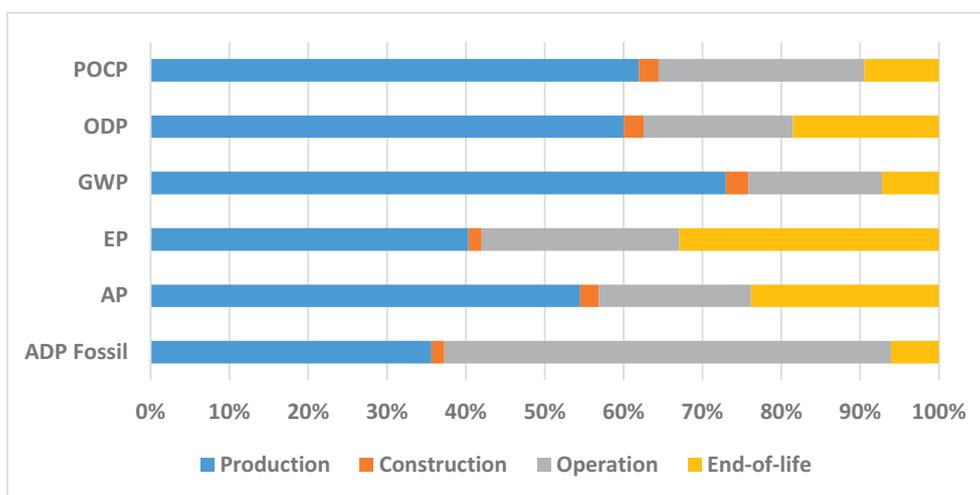
V předchozích částech byly prezentovány dílčí výsledky pro každou fázi. V pododdílu jsou výsledky jednotlivých stupňů shrnuty ve vztahu k jednotlivým kategoriím dopadu. Výsledky pro standardní scénář údržby a práci během denní směny jsou uvedeny v tabulce 58.

Tabulka 58: Shrnutí vlivu životního cyklu na životní prostředí podle kategorií dopadu [B1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Výroba materiálu	Výstavba	Provoz	Konec života
ADP Fossil	MJ	1,46E+08	5,19E+07	2,39E+06	8,25E+07	8,87E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	2,49E+04	1,36E+04	5,88E+02	4,81E+03	5,93E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	3,09E+03	1,24E+03	5,22E+01	7,73E+02	1,02E+03
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,40E+06	5,40E+06	2,11E+05	1,26E+06	5,33E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,36E-01	8,14E-02	3,43E-03	2,56E-02	2,51E-02
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,28E+03	2,03E+03	8,18E+01	8,54E+02	3,10E+02

Pro lepší porozumění příspěvku z každé fáze jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 70.

Fáze výroby materiálu přispívá do celkového vlivu na životní prostředí nejvíce ve všech kategoriích dopadů s výjimkou kategorie ADP Fossil. Fáze provozu má druhý nejvýznamnější dopad, a dopad fáze konce života je třetím nejvýznamnějším. Fáze výstavby má zanedbatelný význam pro všechny kategorie dopadů.



Obrázek 70: Příspěvek každé fáze životního cyklu podle kategorie dopadů [B1]

### 3.3.6 Alternativní scénáře údržby

V části jsou posouzeny dva další alternativní scénáře údržby. První z nich je nazýván nedostatek finančních prostředků. Ve scénáři se mění frekvence údržby, aby se zohlednila situace s rozpočtovými omezeními. Druhý scénář je nazýván prodloužená životnost, ve kterém je životnost mostu prodloužena na 130 let.

Oba alternativní scénáře ovlivňují pouze fázi provozu. Výsledky uvedené v části, se proto týkají pouze fáze provozu. Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí pro fázi provozu, v případě práce probíhající během dne denní směna, jsou uvedeny v tabulce 59 pro standardní a alternativní scénáře údržby.

Tabulka 59: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě různých scénářů údržby [B1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	8,25E+07	5,16E+07	-37,4%	1,57E+08	+90,0%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,81E+03	2,91E+03	-39,4%	9,00E+03	+87,3%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,73E+02	4,66E+02	-39,7%	1,44E+03	+86,3%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,26E+06	7,07E+05	-43,7%	2,29E+06	+82,7%
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-02	1,28E-02	-50,0%	2,56E-02	+0,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,54E+02	5,28E+02	-38,2%	1,52E+03	+77,4%

Vzhledem k tomu, že scénáře údržby se vztahují ke dvěma různým časovým rozpětím, jsou výsledky pro posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě práce během dne denní směna přepočteny na jeden rok. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 60. Pro scénář nedostatek finančních prostředků je uvažované časové rozpětí 100let, pro scénář prodloužená životnost je uvažované časové rozpětí 130 let.

Tabulka 60: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu za jeden rok v případě různých scénářů údržby [B2]

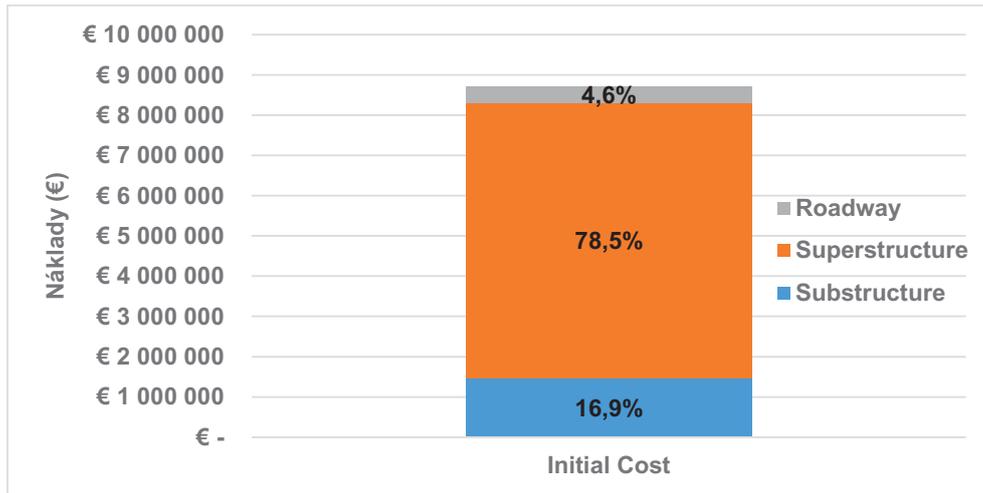
Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	8,25E+05	5,16E+05	-37,4%	1,21E+06	+46,1%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,81E+01	2,91E+01	-39,4%	6,92E+01	+44,1%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,73E+00	4,66E+00	-39,7%	1,11E+01	+43,3%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,26E+04	7,07E+03	-43,7%	1,76E+04	+40,5%
ODP	Kg R11 eq.	2,56E-04	1,28E-04	-50,0%	1,97E-04	-23,1%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	8,54E+00	5,28E+00	-38,2%	1,17E+01	+36,4%

Z výsledků je zřejmé, že scénář nedostatek finančních prostředků vede ke snížení dopadu v průměru o 41,4 %. Snaha prodloužit životnost mostu ve scénáři prodloužená životnost vede průměrně k 31,2% nárůstu dopadu do životního prostředí ve všech kategoriích, kromě kategorie ODP.

### 3.4 Posouzení nákladů na životní cyklus

#### 3.4.1 Počáteční náklady

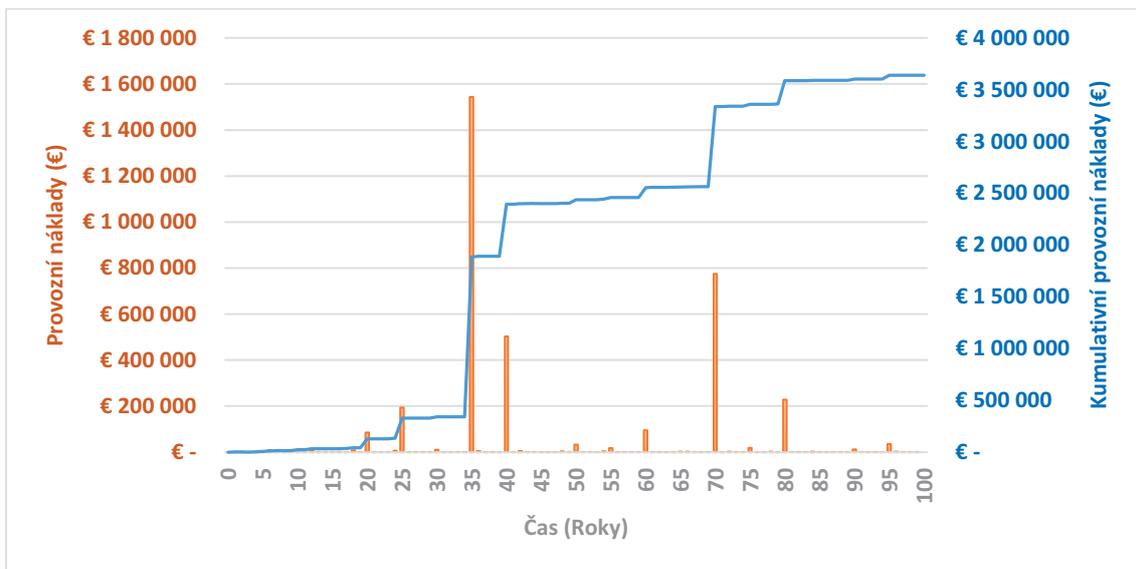
Počáteční náklady na stavbu, včetně nákladů na přepravu materiálu, činí 8 735 404,67 €, což odpovídá přibližně 2 293,48 €/m<sup>2</sup>. Graf na obrázku 71 znázorňuje podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou vypočteny na základě výkazu materiálu a jednotkové ceny uvedené v tabulce 51.



Obrázek 71: Počáteční náklady na B1

### 3.4.2 Provozní náklady

Během časového období 100 let se předpokládá, že posuzované mosty budou udržovány a opravovány podle plánu uvedeného v příloze - tabulka A1, definice standardního scénáře údržby. Roční náklady jsou vypočteny na základě jednotkových cen a frekvencí uvedených v tabulce A6. Provozní náklady jsou zobrazeny v grafu na obrázku 72.



Obrázek 72: Provozní náklady B1 během života mostu

### 3.4.3 Náklady na ukončení života

Shrnutí nákladů na ukončení života mostu je uvedeno v tabulce 61.

Tabulka 61: Náklady na ukončení života B1

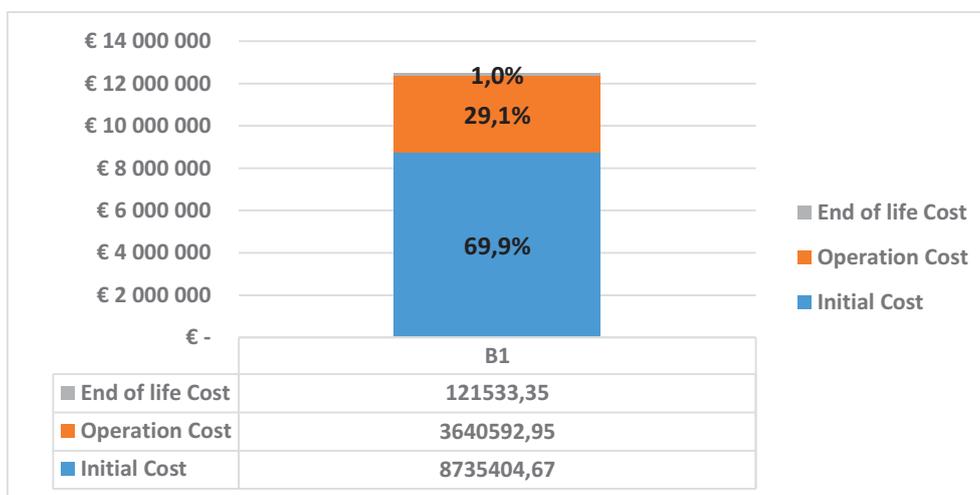
Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	2367,92	-26882,53	50	490,28
Beton	14112	19479,21	50	2921,88
Zemní práce	9640	66531,89	10	399,19
Asfalt	804	5548,93	20	66,59
Jiné	-	403,91	-	-
Součet (€)				68959,35
Demoliční náklady (€)				52574,00
<b>Celkem (€)</b>				<b>121533,35</b>

(\*) Uvažovaná cena uložení betonového odpadu 10 €/t, cena tuny šrotu 100 €/t a cena přepravy 0,03 €/t/km.

(\*\*) Výše vypočtené množství oceli zahrnuje jak ocelovou výztuž, tak nosníky, plechy a přípoje z konstrukční oceli.  
Poznámka: Náklady jsou uvedeny v současné hodnotě vypočtené podle rovnice 2 s diskontní sazbou 2%.

### 3.4.4 Celkové náklady na životní cyklus

Sečtením nákladů z předchozích částí se získá hodnota 11 488 362,07 €, což je čistá současná hodnota nákladů na životní cyklus (LCC) při uvážení 2% diskontní sazby pro první údržby. To představuje celkové náklady přibližně 3 016,27 €/m<sup>2</sup>. Náklady na most pro každou fázi zvlášť jsou zobrazeny v grafu na obrázku 73.

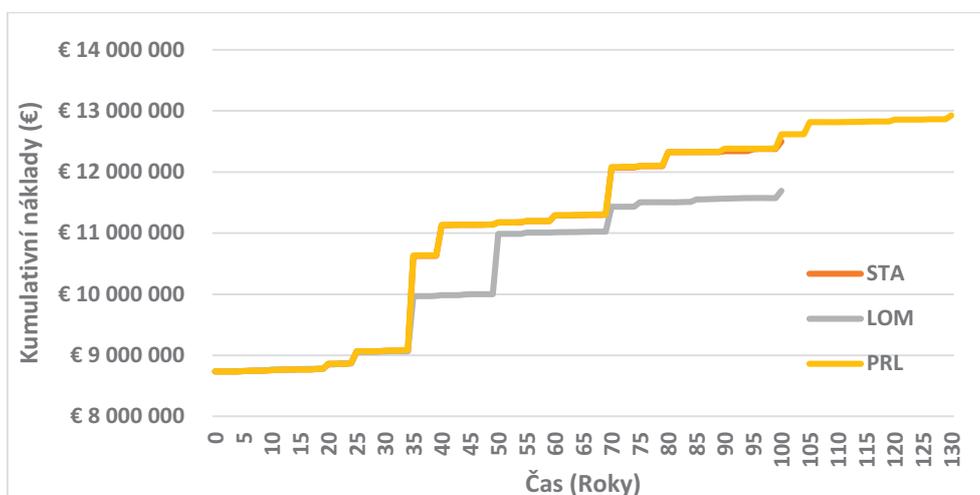


Obrázek 73: Náklady na životní cyklus B1

### 3.4.5 Alternativní scénáře údržby

Kromě standardního scénáře byly posouzeny dva alternativní scénáře údržby, a to scénáře nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost. Ve scénáři nedostatek finančních prostředků musí být frekvence údržby snížena, aby se zohlednila situace s rozpočtovými omezeními. Druhý scénář, prodloužená životnost, počítá s rozhodnutím o udržování mostu v provozu po delší dobu, než bylo plánováno (130 let namísto 100), toto rozhodnutí padlo v 80. roce provozu. Strategie údržby je na konci životnosti upravena, aby byla zajištěna požadovaná výkonnost mostu do roku 130. roku provozu.

Graf na obrázku 74 zobrazuje celkové náklady na životní cyklus pro případovou studii B1 se standardním scénářem údržby, a se scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



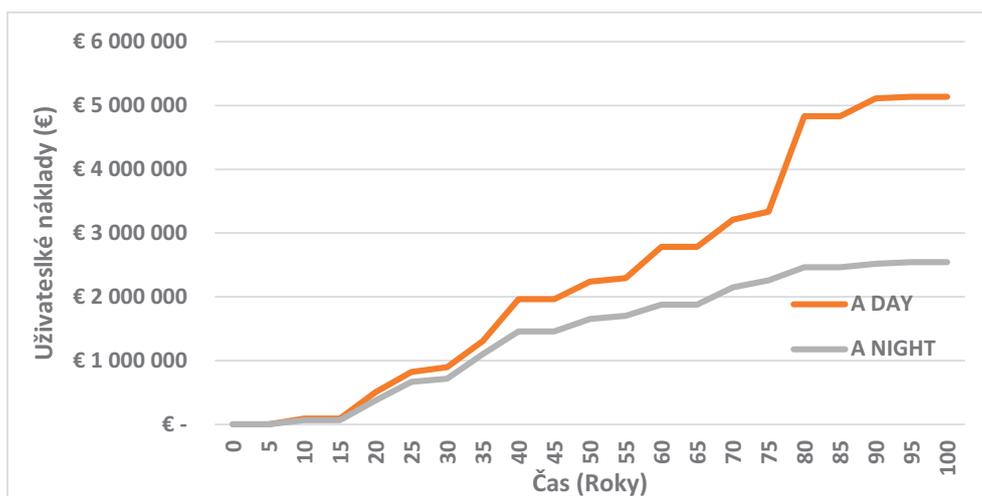
Obrázek 74: Náklady na životní cyklus případu B1 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

Scénář prodloužené životnosti mostu je o 3 % nákladnější než standardní scénář, protože je nutná častější údržba, aby se most udržel v provozuschopném stavu po delší dobu. Takový výsledek je v rozporu s předchozími příklady, kde byly náklady na konci života mnohem menší, než náklady na údržbu prováděnu na mostě po roce 100. Scénář nedostatek finančních prostředků vedl ke snížení nákladů oproti standardnímu scénáři.

### 3.5 Sociální analýza životního cyklu

Pro výpočet uživatelských nákladů byly posouzeny dva scénáře údržby: (i) scénář den, kdy se většina prací provádí během dne (od 6:00 do 22:00) a na mostě je uzavřen jeden jízdní pruh kvůli hlavní údržbářským pracím (výměna povrchu vozovky nebo hydroizolace); (ii) scénář noc, který je obdobný jako scénář den s tím rozdílem, že většina údržbářských prací probíhá během noci (od 22:00 do 6:00).

Graf na obrázku 75 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii B1 se scénářem den a noc. Negativní vlivy údržby pro uživatele jsou sníženy, pokud se práce provádí v noci, protože je provoz slabší než během dne. Největší nárůst uživatelských nákladů probíhá v roce 80 a je spojen s údržbou povrchu vozovky a hydroizolačních vrstev.

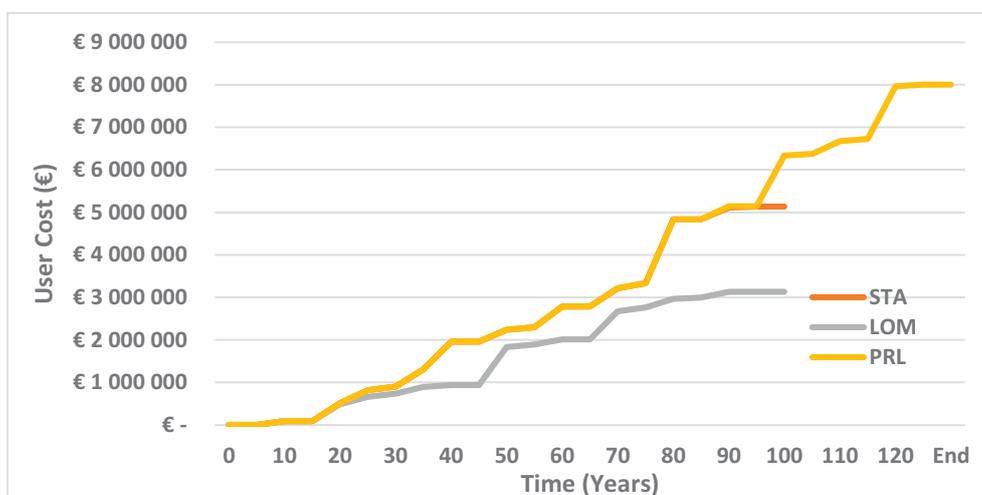


Obrázek 75: Uživatelské náklady pro případovou studii B1 se scénáři den a noc.

### 3.5.1 Alternativní scénáře údržby

Stejně jako v případě LCA a LCC, pro uživatelské náklady byly posuzovány i alternativní scénáře údržby: nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost a porovnány se standardním scénářem údržby.

Graf na obrázku 76 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii B1 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



Obrázek 76: Uživatelské náklady případu B1 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

Scénář nedostatek finančních prostředků měl v konečném důsledku nižší uživatelské náklady než standardní scénář, zatímco scénář prodloužená životnost vedl k vyšším uživatelským nákladům. Aby bylo možné prodloužit životnost mostu, je totiž nutné navýšit frekvenci údržby, což vede k dopravním omezením a vyšším uživatelským nákladům.

### 3.6 Závěry z výsledků případové studie B

Z výsledků posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí je jasné, že fáze výroby materiálů a fáze provozu zdaleka dominují všem kategoriím dopadů. Výroba stavebních materiálů a dopravní zácpy způsobené pracovní činností jsou hlavními příčinami ekologické zátěže při posouzení celého životního cyklu. Ve fázi provozu jsou dopady způsobeny zejména dopravními zácpami. Usuzuje se, že nejvíce lze zlepšit výsledky prováděním údržbářských prací v noci. Práce během noční směny snižují dopady na životní prostředí v důsledku skutečnosti, že hustota provozu je během noci menší.

Společenské aspekty sociální analýzy životního cyklu (LCA) ukazují, že práce během noční směny je příznivá pro snížení uživatelských nákladů. Uživatelské náklady vypočítané pro práci během denní a noční směny na stejném mostě vedly k rozdílu téměř 1,5 milionu €. Porovnání různých scénářů ukazuje, že scénář nedostatek finančních prostředků vyvolává nižší uživatelské náklady než standardní scénář, zatímco scénář prodloužená životnost vyvolává vyšší uživatelské náklady. Nemělo by ale zapadnout, že nižší náklady na údržbu znamenají vyšší degradaci mostu, což nakonec vede k rozhodnutí most zcela nahradit, a v konečném důsledku náklady podstatně vyšší.

## 4 PŘÍPADOVÉ STUDIE – MOST TYPU C1

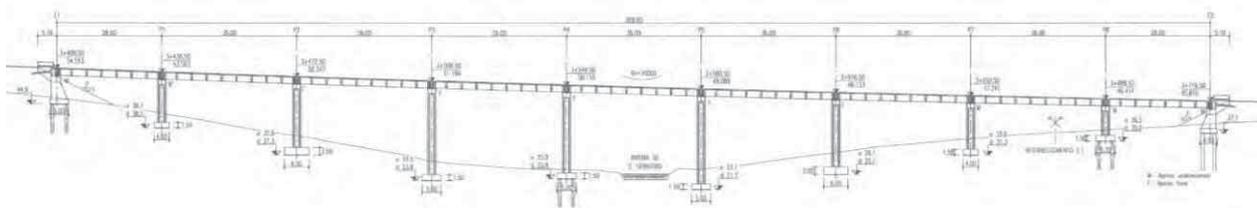
U mostu jsou posuzovány čtyři případy: dva mosty s ocelobetonovou spřaženou mostovkou (C1.1 a C2.1) a jejich ekvivalenty s prefabrikovanými předpjatými betonovými nosníky (C1.2 a C2.2).

### 4.1 Příklad C1 - Vícepolové dálniční mosty

#### 4.1.1 Popis případových studií

##### 4.1.1.1 Příklad C1.1: Popis konstrukčního systému mostu, geometrie a dalších parametrů

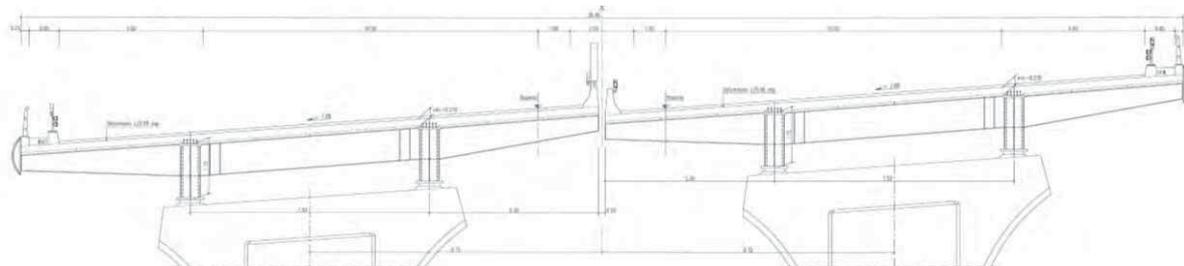
Posuzovaný most, jménem Viaduto São Sebastião, se nachází v Portugalsku na dálnici A10. Zprovozněn byl v roce 2006. Z hlediska konstrukčního systému mostu se jedná o spojitý trám o celkové délce 308 m, má devět polí o rozpětí 28 m + 7 x 36 m + 28 m. Je ve směrovém kruhovém oblouku o poloměru 700 m s konstantním sklonem 7 %, viz obrázek 77.



Obrázek 77: Příklad C1.1 Podélný řez

Most má celkovou šířku 36,40 m a je složen z částí, které jsou zobrazeny na obrázku 78:

- 2 x 3 jízdní pruhy o šířce 3,50 m: 21 m
- 2 pravé krajnice šířky 4,50 m: 9 m
- 2 levé krajnice šířky 1,00 m: 2 m
- Střední dělicí pás: 2 m
- 2 chodníky šířky 1,20 m: 2,40 m



Obrázek 78: Příklad C1.1 Typický průřez

Vzhledem k šířce příčného řezu bylo rozhodnuto navrhnout dvě nezávislé konstrukce, jednu pro každý směr jízdy.

Oba mosty se skládají ze spřaženého ocelobetonového průřezu, který je tvořen železobetonovou deskou a dvěma ocelovými nosníky tvaru I o výšce 1750 mm. Horní pásnice má konstantní šířku 700 mm a spodní pásnice 850 mm. Tloušťka stojiny a pásnice je proměnná po délce každého rozpětí. Maximální tloušťka plechu je 70 mm. Příčnický, umístěný po 4 metrech, tvoří podporu pro betonovou desku, která je tak pnutá v obou směrech. Z důvodů mají příčnický vykonzolovaný převislý konec. Nad každou podporou je nosník vybaven příčnými výtuhami po obou stranách stojiny nosníku. Železobetonová deska je provedena pomocí prefabrikovaných betonových desek, které se používají jako ztracené bednění.

Mezilehlé podpory tvoří jeden sloup s železobetonovým dutým průřezem. V horní části sloupů se dutý průřez rozšiřuje tak, aby podepřel oba nosníky mostovky. Nejvyšší pilíře jsou vysoké 26 m. Pilíře P2 až P6 podírají mostovku pomocí pevných hrncových ložisek, proto jsou všechny podélné brzdné síly, účinek teploty a seismické účinky absorbovány obousměrným ohybem prvků. Všechna ostatní spojení mezi mostovkou a sloupy jsou tvořena ložisky, ale s umožněným vodorovným posunem.

Obě koncové opěry jsou otevřené (přesýpané) opěry skládající se pilířů s pravouhlým průřezem s proměnnou výškou, které jsou ukončené úložným prahem pro uložení mostovky, na kterém jsou hrncová ložiska. Montáž mostu byla provedena podélným výsunem.

#### 4.1.1.2 Příklad C1.1: Uvažované parametry návrhu

Následující tabulka obsahuje výkaz hlavních materiálů pro případ C1.1.

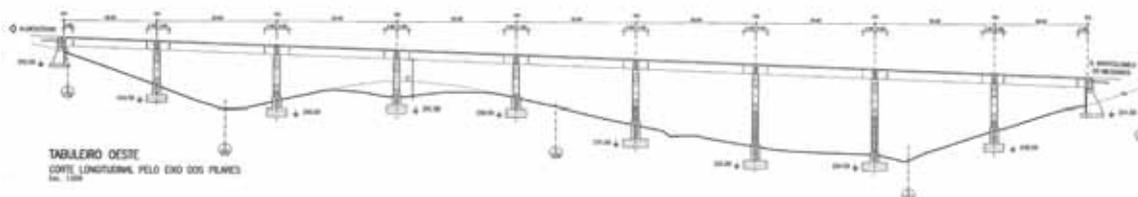
Tabulka 62: : Výkaz materiálu pro případ C1.1 pro provedení posouzení LCA a LCC

Popis	Jednotka	Případ C1.1 (Spřažený ocelobetonov ý most)	Jednotka	Jednotková cena* (Portugalsko 2006)
<b>Spodní stavba</b>				
Výkopy	[m <sup>3</sup> ]	3310	[€/m <sup>3</sup> ]	25,33
Násypy	[m <sup>3</sup> ]	1810	[€/m <sup>3</sup> ]	9,68
Bednění - pro opěry a sloupy	[m <sup>2</sup> ]	8395	[€/m <sup>2</sup> ]	30,89
Ocelová výztuž - kromě betonové mostovky	[kg]	897600	[€/kg]	0,93
Beton - C16/20	[m <sup>3</sup> ]	89	[€/m <sup>3</sup> ]	84,66
Beton - C30/37	[m <sup>3</sup> ]	3386	[€/m <sup>3</sup> ]	95,15
<b>Horní stavba</b>				
Konstrukční ocel S355*	[kg]	1521000	[€/kg]	2,42
Bednění	[m <sup>2</sup> ]	1325	[€/m <sup>2</sup> ]	28,64
Ocelová výztuž – betonová mostovka	[kg]	371400	[€/kg]	0,93
Vylehčený beton	[m <sup>3</sup> ]	96	[€/m <sup>3</sup> ]	82,31
Beton C 40/50	[m <sup>3</sup> ]	3095	[€/m <sup>3</sup> ]	107,59
Ocelové spřahovací prostředky včetně montáže a kontroly	[kg]	31655	[€/kg]	5,66
Prefabrikované ztracené bednění z betonu C40/50 s výztuží A500NR	[m <sup>2</sup> ]	9850	[€/m <sup>2</sup> ]	42,88
Betonové nebo ocelové římsy	[m]	620	[€/m]	203,52
Hrncová ložiska a elastomerová vyztužená ložiska	[ks]	40	[€/ks]	2682,85
<b>Vozovka</b>				
Vyrovnání povrchů s asfaltobetonovým a bitumenovým povrchem	[m <sup>2</sup> ]	22360	[€/m <sup>2</sup> ]	7,04
Zábradlí	[m]	637	[€/m]	48,22
Zábradlí	[m]	637	[€/m]	100,87
Dilatační spoje	[m]	72	[€/m]	1167,43
Ostatní práce a vybavení	[gv]	1	[€/gv]	29753,88
Vysouvání NK a dočasné podpory	[gv]	1	[€/gv]	274652,79

(\*) Dodávka, doprava a montáž válcované oceli S355 dle EN10025 včetně svařování, povrchové ochrany a všech potřebných prací specifikovaných v detailním návrhu

#### 4.1.1.3 Případ C1.2: Popis konstrukčního systému mostu, geometrie a dalších parametrů

Posuzovaný most, jménem Viaduto Cerro da Barreira, se nachází v Portugalsku na dálnici A2. Zprovozněn byl v roce 2002. Konstrukční systém je podobný jako u předchozího. Jedná se o spojitý nosník o celkové délce 308 m, pnutý přes devět polí o rozponu 28 m + 7 x 36 m + 28 m. Geometricky jde o přechodnici (A = 500), následovanou směrovým obloukem s poloměrem 1000 m, viz obrázek 79.



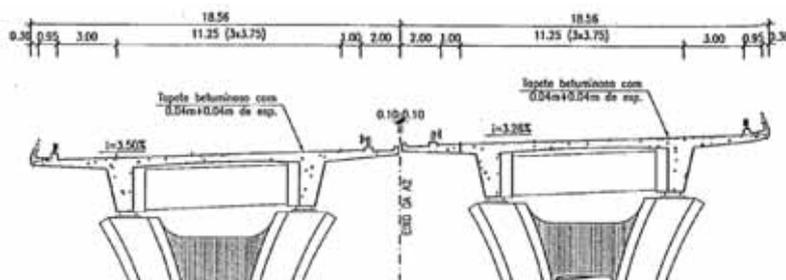
Obrázek 79: Případ C1.2 Podélný řez

Průřez mostu má celkovou šířku 36,40 m a je složen z částí:

- 2 x 3 jízdní pruhy o šířce 3,75 m: 22,5 m
- 2 pravé krajnice šířky 3,00 m: 6 m
- 2 levé krajnice šířky 1,00 m: 2 m
- Střední dělicí pás: 4 m
- 2 chodníky šířky 1,31 m: 2,62 m

Vzhledem k šířce příčného řezu a rozdílné topografii terénu bylo rozhodnuto navrhnout dvě nezávislé konstrukce, jednu pro každý směr jízdy.

Obě mostovky tvoří běžné dodatečně předpjaté betonové nosníky. Deska mezi nosníky má proměnnou tloušťku od 0,45 do 0,30 m. Část desky, která je vykonzolovaná po straně nosníků má proměnnou tloušťku od 0,45 do 0,20 m. Všechny nosníky mají konstantní výšku 2,70 m.



Obrázek 80: Případ C1.2 Typický průřez

Mezilehlé podpory tvoří jeden sloup s železobetonovým průřezem. V horní části sloupů se průřez rozšiřuje tak, aby podepřel oba nosníky mostovky. Nejvyšší sloupy jsou vysoké 22 m.

Sloupy P5 až P7 podírají NK pomocí elastomerových ložisek bez umožnění posunu v podélném i příčném směru. Všechna ostatní spojení mezi mostovkou a sloupy jsou tvořena ložisky, která umožňují posun v podélném směru a neumožňují posun v příčném směru.

Obě koncové opěry jsou otevřené (přesýpané) opěry skládající se utopených sloupů s pravoúhlým průřezem s proměnnou výškou, které jsou ukončené úložným prahem pro uložení mostovky, na kterém jsou hrncová ložiska. Montáž mostu byla provedena podélným výsunem.

#### 4.1.1.4 Příklad C1.2: Uvažované parametry návrhu

Následující tabulka obsahuje výkaz hlavních materiálů pro případ C1.2.

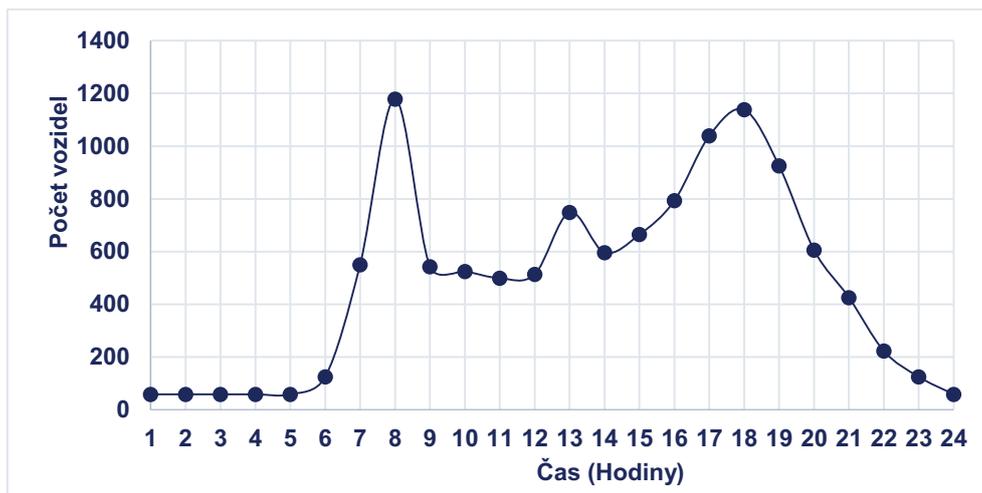
Tabulka 63: Výkaz materiálu pro případ C1.2 pro provedení posouzení LCA a LCC

Popis	Jednotka	Případ C1.2 (Železobetonový most)	Jednotka	Jednotková cena (Portugalsko 2002)
<b>Spodní stavba</b>				
Výkopy	[m <sup>3</sup> ]	11077	[€/m <sup>3</sup> ]	14,60
Násypy	[m <sup>3</sup> ]	2846	[€/m <sup>3</sup> ]	5,10
Bednění - pro opěry a sloupy	[m <sup>2</sup> ]	12387	[€/m <sup>2</sup> ]	43,73
Ocelová výztuž - kromě betonové mostovky	[kg]	1210090,30	[€/kg]	1,17
Beton - C12/15	[m <sup>3</sup> ]	191	[€/m <sup>3</sup> ]	125,98
Beton - C30/37	[m <sup>3</sup> ]	7893	[€/m <sup>3</sup> ]	147,83
<b>Horní stavba</b>				
Bednění	[m <sup>2</sup> ]	18161	[€/m <sup>2</sup> ]	53,07
Ocelová výztuž - betonová mostovka	[kg]	511481,70	[€/kg]	1,17
Předpínací výztuž - mostovka	[kg]	170107,03	[€/kg]	3,88
Beton - C35/45	[m <sup>3</sup> ]	7049	[€/m <sup>3</sup> ]	161,82
Vylehčený beton	[m <sup>3</sup> ]	45	[€/m <sup>3</sup> ]	142,88
Betonové nebo ocelové římsy	[m]	691	[€/m]	122,47
Uzamykací zařízení pro elastomerové ložisko	[ks]	24		311,44
Hrncová ložiska a elastomerová vyztužená ložiska	[ks]	44	[€/ks]	6040,21
<b>Vozovka</b>				
Vyrovnání povrchů s asfaltobetonovým a bitumenovým povrchem	[m <sup>2</sup> ]	19036	[€/m <sup>2</sup> ]	7,72
Povrchová úprava utopených prvků	[m <sup>2</sup> ]	5847		6,13
Zábradlí	[m]	1323	[€/m]	54,29
Zábradlí	[m]	691	[€/m]	147,98
Dilatační spoje	[m]	74	[€/m]	4694,63
Ostatní práce a vybavení	[gv]	1	[€/gv]	74910,82
Výsun NK a dočasné podpory	[gv]	1	[€/gv]	817444,67

#### 4.1.2 Analýza dopravy

Pro případové studie C1 se ve výchozím roce studie počítá s průměrným denním provozem (ADT) na dálnici 11575 vozidel za den. Dále se předpokládá, že procentní podíl lehkých a těžkých vozidel je 88 % a 12 % ADT. Pro dálnici se předpokládá hodinová distribuce dopravy znázorněná na obrázku 81.

Růst provozu v průběhu let se vypočítá podle rovnice (3), (viz bod 5.3 části A), kde je uvažována míra růstu 0,5%.



Obrázek 81: Hodinové rozdělení provozu pro případy C1.1 a C1.2

#### 4.1.3 Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

##### 4.1.3.1 Fáze výroby materiálu

Fáze zohledňuje výrobu všech materiálů potřebných k vybudování mostu podle obrázku 82. Zdroje dat jsou uvedeny v tabulce 8.



Obrázek 82: Fáze výroby materiálu

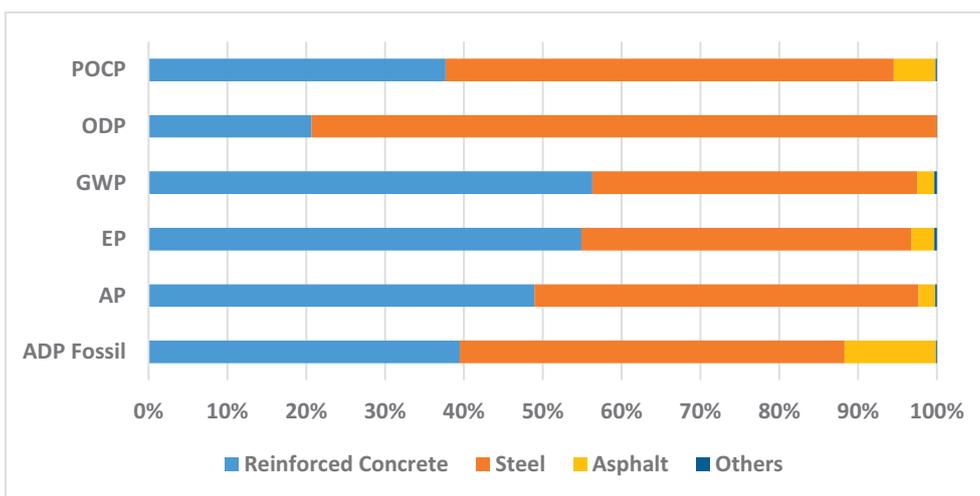
Povrchová ochrana a hydroizolace nejsou v případech C1.1 a C1.2 obsaženy.

- **Posouzení vlivu případové studie C1.1 na životní prostředí**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výroby materiálu jsou shrnuty v tabulce 64. Výsledkem je, že hlavními procesy přispívajícími k celkovým dopadům ve fázi výroby materiálu jsou výroba konstrukční oceli a železobetonu. Výsledky jsou zobrazeny i v grafu na obrázku 83.

Tabulka 64: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí [C1.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Železobeton	Konstrukční ocel	Asfalt	Ostatní
ADP Fossil	MJ	6,33E+07	2,50E+07	3,09E+07	7,32E+06	7,49E+04
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,62E+04	7,94E+03	7,90E+03	3,41E+02	3,17E+01
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,47E+03	8,05E+02	6,13E+02	4,29E+01	4,77E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	6,65E+06	3,75E+06	2,74E+06	1,46E+05	1,98E+04
ODP	Kg R11 eq.	7,57E-02	1,57E-02	6,01E-02	1,23E-07	1,24E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,45E+03	9,23E+02	1,39E+03	1,29E+02	3,89E+00



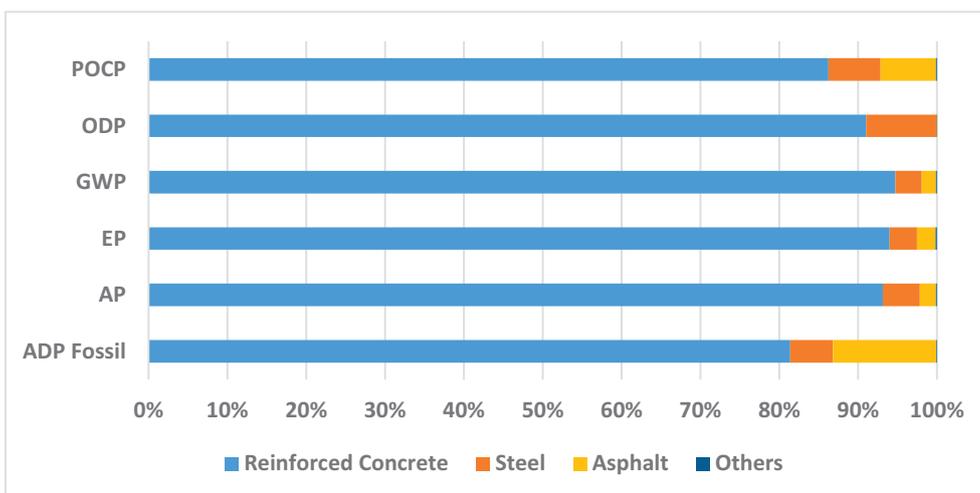
Obrázek 83: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [C1.1]

- Posouzení vlivu případové studie C1.2 na životní prostředí

Výsledky posouzení pro variantní případovou studii C1.2 jsou uvedeny v tabulce 65 a zobrazeny v grafu na obrázku 84.

Tabulka 65: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí [C1.2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Železobeton	Konstrukční ocel	Asfalt	Ostatní
ADP Fossil	MJ	4,76E+07	3,87E+07	2,57E+06	6,23E+06	3,51E+04
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,42E+04	1,32E+04	6,69E+02	2,91E+02	1,49E+01
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,54E+03	1,44E+03	5,30E+01	3,65E+01	2,23E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,06E+06	6,69E+06	2,36E+05	1,24E+05	9,29E+03
ODP	Kg R11 eq.	2,34E-02	2,13E-02	2,10E-03	1,05E-07	5,80E-08
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,57E+03	1,36E+03	1,04E+02	1,10E+02	1,82E+00



Obrázek 84: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [C1.2]

Tabulka 66 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studii C1.1.

Tabulka 66: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu pro případ C1.2 vzhledem k C1.1

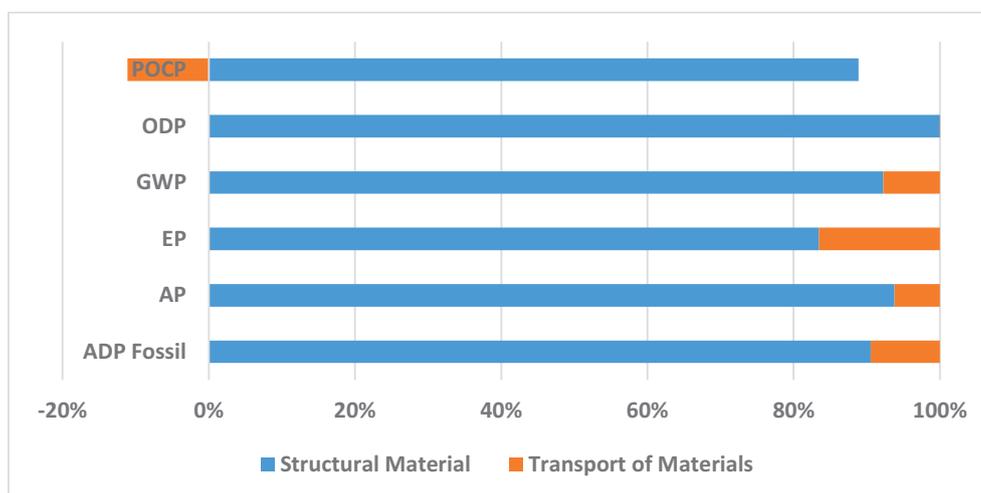
Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C1.1	Případ C1.2	Změna vzhledem k C1.1
ADP Fossil	MJ	6,33E+07	4,76E+07	-24,8%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,62E+04	1,42E+04	-12,4%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,47E+03	1,54E+03	+4,8%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	6,65E+06	7,06E+06	+6,2%
ODP	Kg R11 eq.	7,57E-02	2,34E-02	-69,2%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,45E+03	1,57E+03	-35,9%

Je vidět, že varianta C1.1 má ve fázi výroby materiálu o 21,9 % (v průměru) větší dopad na životní prostředí než varianta C1.2.

#### 4.1.3.2 Fáze výstavby

- **Posouzení vlivu případové studie C1.1 na životní prostředí**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výstavby pro případovou studii C1.1 jsou zobrazeny v grafu na obrázku 85. Operace související s výrobou stavebních materiálů na stavbě přispívají k dopadům na životní prostředí největší mírou.

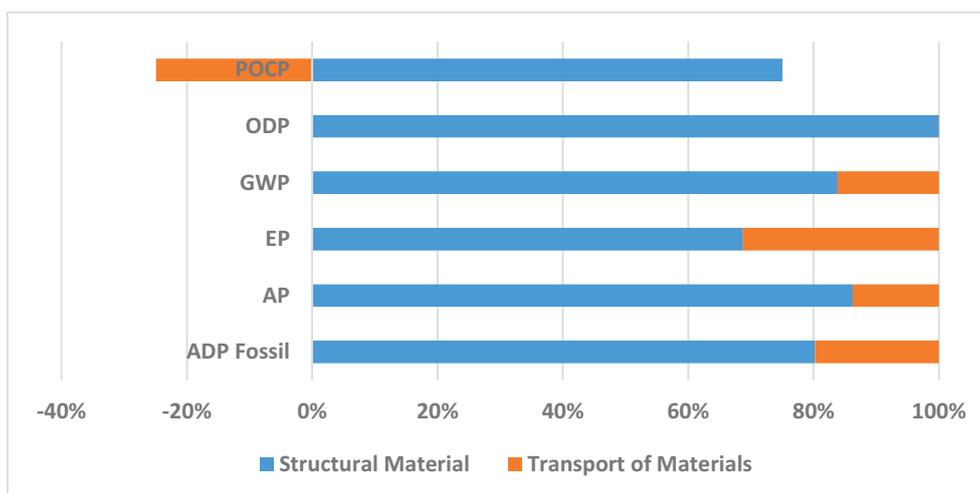


Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

**Obrázek 85: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [C1.1]**

- **Posouzení vlivu případové studie C1.2 na životní prostředí**

Výsledky posouzení pro variantní případovou studii C1.2 jsou zobrazeny v grafu na obrázku 86.



Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

**Obrázek 86: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [C1.2]**

Tabulka 67 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií C1.1.

**Tabulka 67: Dopady na životní prostředí ve fázi výstavby pro případ C1.2 vzhledem k C1.1**

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C1.1	Případ C1.2	Změna vzhledem k C1.1
ADP Fossil	MJ	2,83E+06	1,95E+06	-31,1%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,96E+02	4,54E+02	-34,8%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	6,21E+01	4,74E+01	-23,6%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,51E+05	1,73E+05	-31,0%
ODP	Kg R11 eq.	3,79E-03	1,17E-03	-69,2%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,54E+01	3,95E+01	-58,6%

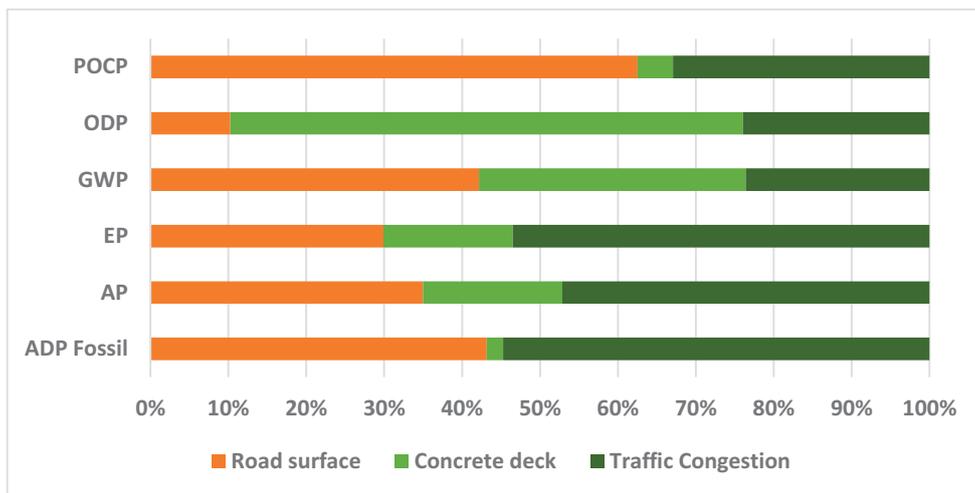
Případ C1.2 se ukázal jako lepší alternativa, která má ve fázi výstavby menší dopad na životní prostředí ve srovnání s případem C1.1.

#### 4.1.3.3 Fáze provozu

Schéma údržby v tabulce A4 přílohy A udává omezení provozu na mostě v průběhu let, ve kterých se provádějí údržbové práce. Tabulka je platná pro případové studie C1.

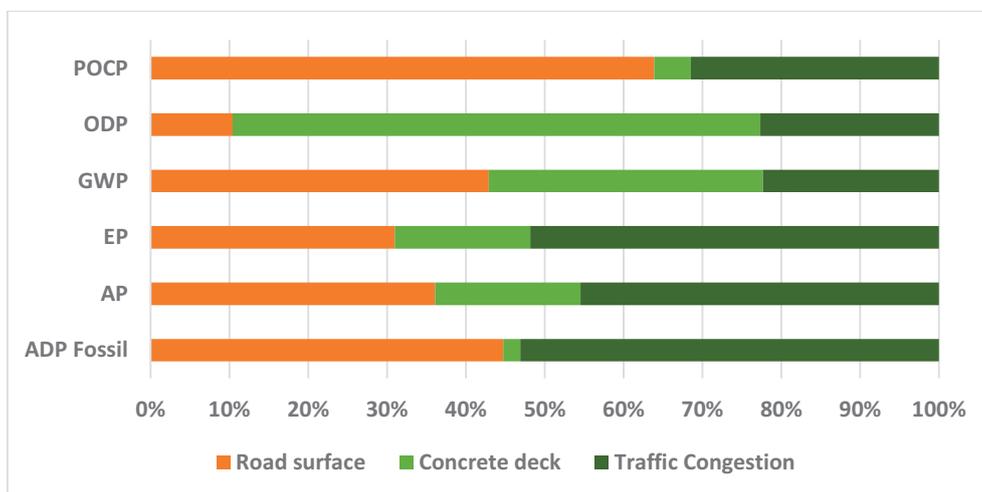
- **Posouzení vlivu případové studie C1.1 na životní prostředí**

Výsledky pro referenční případovou studii C1.1 ve fázi provozu jsou zobrazeny v grafu na obrázku 87 pro práci během denní směny.



Obrázek 87: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (C1.1, denní směna)

Pro scénář, kdy práce probíhají během noční směny, jsou výsledky ve fázi provozu pro referenční případovou studii C1.1 zobrazeny v grafu na obrázku 88.



Obrázek 88: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (C1.1, noční směna)

Z obou scénářů je patrné, že hlavní příspěvek pro všechny kategorie dopadů pochází z údržby povrchu vozovky, údržby ocelových nosníků a z vlivu dopravní zácpy. Příspěvek od dopravní zácpy je v případě práce během noci jen nepatrně nižší (o 1 až 4 %) než v případě práce během dne.

- **Posouzení vlivu případové studie C1.2 na životní prostředí**

Výsledky získané pro variantní případovou studii C1.2 jsou uvedeny v Tabulce 68 za předpokladu denního pracovního scénáře pro všechny případové studie. Tabulka označuje změnu výsledků ve vztahu k referenční případové studii C1.1.

Výsledky pro variantní případovou studii C1.2 ve fázi provozu jsou uvedeny v tabulce 68 pro práci během denní směny. Tabulka uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studii C1.2.

Tabulka 68: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ C1.2 vzhledem k C1.1 (denní směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C1.1	Případ C1.2	Změna vzhledem k C1.1
ADP Fossil	MJ	8,43E+07	8,34E+07	-1,1%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,91E+03	5,73E+03	+16,6%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,32E+02	8,57E+02	+17,1%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,75E+06	2,28E+06	+30,0%
ODP	Kg R11 eq.	6,00E-06	9,97E-06	+66,1%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,02E+03	9,73E+02	-4,1%

Výsledky pro variantní případovou studii C1.2, pokud se uvažuje s prací během noční směny, jsou uvedeny v tabulce 68.

**Tabulka 69: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ C1.2 vzhledem k C1.1 (noční směna)**

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C1.1	Případ C1.2	Změna vzhledem k C1.1
ADP Fossil	MJ	8,13E+07	8,03E+07	-1,3%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,76E+03	5,57E+03	+17,0%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,06E+02	8,30E+02	+17,6%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,72E+06	2,25E+06	+30,4%
ODP	Kg R11 eq.	5,90E-06	9,87E-06	+67,2%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,94E+02	9,51E+02	-4,3%

Výsledky ukazují, že případ C1.2, betonová varianta, způsobuje ve fázi provozu vyšší dopad na životní prostředí ve srovnání s ocelobetonovou variantou, případ C1.1. Rozdíly jsou důsledkem zvýšených údržbových prací na povrchu vozovky, ložiskách, dilatačních závěrech a zádržných zařízeních v případě varianty C1.2. Přestože betonová varianta má za následek mírné snížení dopadu na životní prostředí ( $\leq 4\%$ ) v kategoriích ADP a POCP v fázi, má za následek výrazné zvýšení dopadu na životní prostředí ve většině ostatních kategorií. V tuto chvíli lze říci, že varianta C1.1 je šetrnější k životnímu prostředí než ekvivalent, varianta C1.2. Rozdíly mezi prací během denní a noční směny jsou pro oba případy, C1.1 i C1.2, podobné.

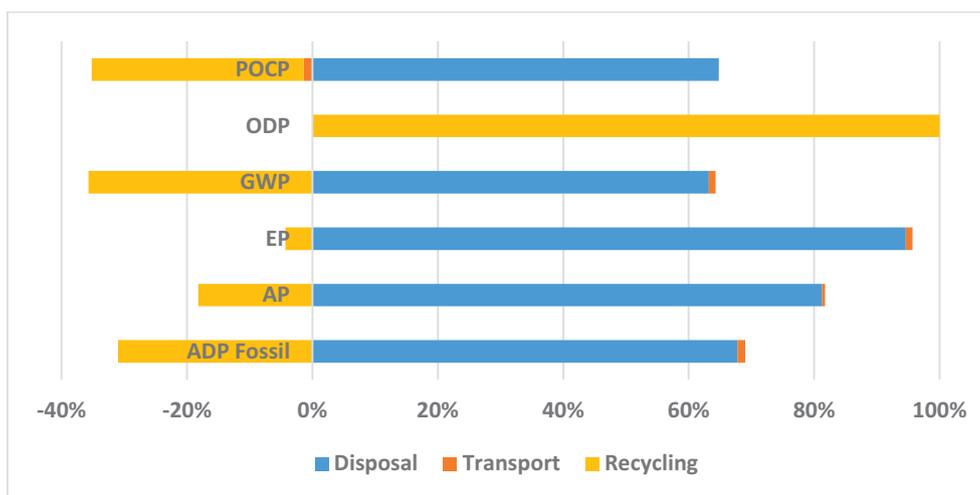
#### 4.1.3.4 Fáze konec života

- **Posouzení vlivu referenční případové studie C1.1 na životní prostředí**

Celkové emise pro každou kategorii dopadu v fázi životního cyklu jsou uvedeny v tabulce 70. Graf na obrázku 89 zobrazuje příspěvek každého procesu pro jednotlivé kategorie dopadu. Záporné hodnoty na obrázku 89 představují přínosy vyplývající z recyklace materiálu.

Tabulka 70: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života [C1.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Uložení	Doprava	Recyklace
ADP Fossil	MJ	1,15E+07	2,04E+07	3,82E+05	-9,34E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	7,37E+03	9,43E+03	6,19E+01	-2,12E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,24E+03	1,28E+03	1,47E+01	-5,84E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,15E+05	1,58E+06	2,77E+04	-8,93E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,83E-02	1,55E-05	9,28E-09	2,83E-02
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4,14E+02	9,06E+02	-1,95E+01	-4,73E+02



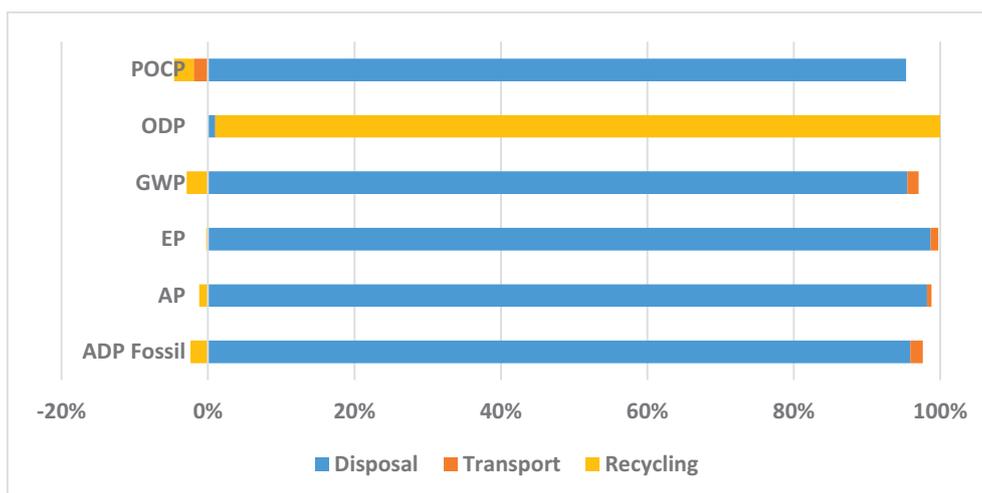
Obrázek 89: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [C1.1]

- **Posouzení vlivu referenční případové studie C1.2 na životní prostředí**

Celkové emise pro každou kategorii dopadu v fázi životního cyklu pro variantní případovou studii C1.2 jsou uvedeny v tabulce 71 a v grafu na obrázku 90.

Tabulka 71: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života [C1.2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Uložení	Doprava	Recyklace
ADP Fossil	MJ	4,27E+07	4,30E+07	7,59E+05	-1,06E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,97E+04	1,98E+04	1,23E+02	-2,41E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	2,72E+03	2,70E+03	2,92E+01	-6,65E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	3,28E+06	3,33E+06	5,51E+04	-1,02E+05
ODP	Kg R11 eq.	3,26E-03	3,26E-05	1,84E-08	3,22E-03
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,81E+03	1,91E+03	-3,88E+01	-5,38E+01

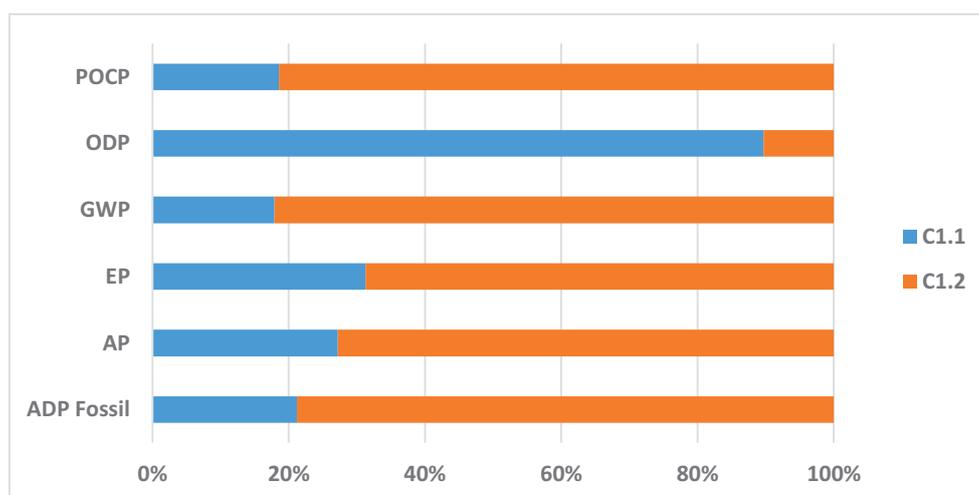


Obrázek 90: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [C1.2]

V obou případech nejvíce zatěžuje životní prostředí ukládání betonu a asfaltových materiálů na skládku, zatímco transport materiálů zatěžuje životní prostředí nejméně. Na druhou stranu, recyklace je pro životního prostředí prospěšná ve všech kategoriích dopadu, s výjimkou potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP), kde i proces recyklace způsobuje emise, které mohou ozónovou vrstvu porušovat. Tabulka 72 uvádí rozdíl mezi výsledky případové studie ve srovnání s referenční případovou studií C1.1. Výsledky jsou zobrazeny na obrázku 91.

Tabulka 72: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života pro případ C1.2 vzhledem k C1.1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C1.1	Případ C1.2	Změna vzhledem k C1.1
ADP Fossil	MJ	1,15E+07	4,27E+07	+271,9%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	7,37E+03	1,97E+04	+167,5%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,24E+03	2,72E+03	+119,7%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,15E+05	3,28E+06	+358,3%
ODP	Kg R11 eq.	2,83E-02	3,26E-03	-88,5%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4,14E+02	1,81E+03	+338,4%



Obrázek 91: Poměr mezi dopadem případu C1.1 a C1.2 do jednotlivých kategorií

Z výše uvedených informací, lze usoudit, že v fázi životního cyklu vede ocelobetonová varianta mostu, případ C1.1, k podstatně nižším hodnotám dopadu do životního prostředí, kvůli použití konstrukční oceli, což je recyklovatelný materiál. Nicméně, v kategorii dopadu

ODP má případ C1.1 větší dopad, který je způsobený procesem recyklace. Povšimněte si, že dopady jsou velmi malé (v řádu  $10^{-2}$  nebo méně).

#### 4.1.3.5 Výsledky posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

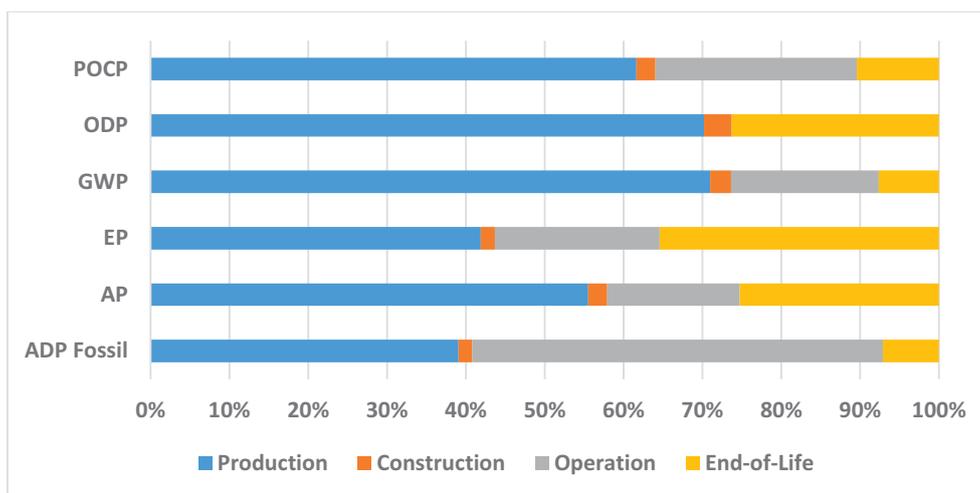
- **Shrnutí výsledků životního cyklu pro případovou studii C1.1**

V předchozích částech byly prezentovány dílčí výsledky pro každou fázi. V pododdílu jsou výsledky jednotlivých fází shrnuty ve vztahu k jednotlivým kategoriím dopadu. Výsledky pro standardní scénář údržby a práci během denní směny jsou uvedeny v tabulce 73.

Tabulka 73: Shrnutí vlivu životního cyklu na životní prostředí podle kategorií dopadu [C1.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Produkce	Výstavba	Provoz	Konec života
ADP Fossil	MJ	1,62E+08	6,33E+07	2,83E+06	8,43E+07	1,15E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	2,92E+04	1,62E+04	6,96E+02	4,91E+03	7,37E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	3,50E+03	1,47E+03	6,21E+01	7,32E+02	1,24E+03
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	9,37E+06	6,65E+06	2,51E+05	1,75E+06	7,15E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,08E-01	7,57E-02	3,79E-03	6,00E-06	2,83E-02
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,97E+03	2,45E+03	9,54E+01	1,02E+03	4,14E+02

Pro lepší porozumění příspěvku z každé fáze jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 92.



Obrázek 92: Příspěvek každé fáze životního cyklu podle kategorie dopadů (práce během denní směny) [C1.1]

Fáze výroby materiálu má celkově největší dopad, průměrně 56,5 %. Fáze provozu má druhý největší dopad, průměrně přispívá 24,5 %, po něm následuje fáze konec života s 18,6% příspěvkem k celkovým dopadům. Fáze výstavby má nejmenší dopad, průměrně 2,4 %.

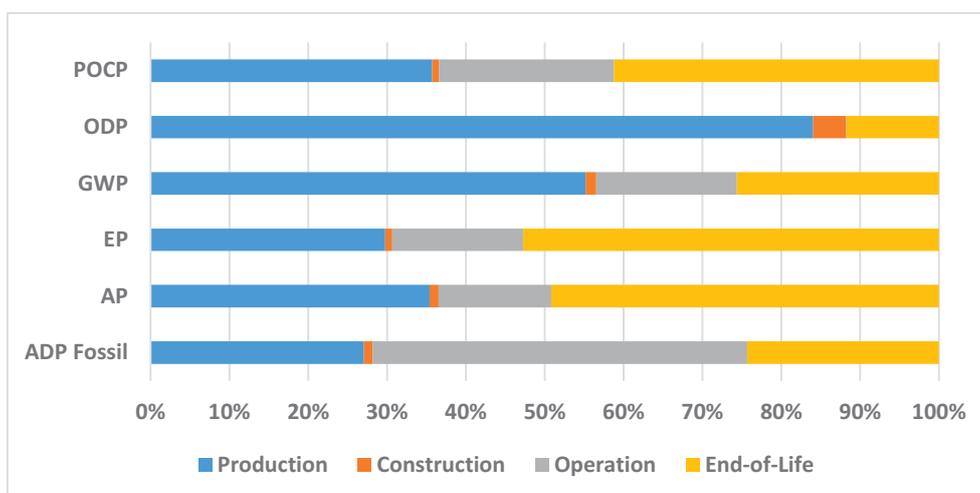
- **Shrnutí výsledků životního cyklu pro případovou studii C1.2**

Výsledky případu C1.2 pro standardní scénář údržby a práci během denní směny jsou uvedeny v tabulce 74 a zobrazeny v grafu na obrázku 93.

Tabulka 74: Shrnutí vlivu životního cyklu na životní prostředí podle kategorií dopadu [C1.2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Produkce	Výstavba	Provoz	Konec života
ADP Fossil	MJ	1,76E+08	4,76E+07	1,95E+06	8,34E+07	4,27E+07
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,01E+04	1,42E+04	4,54E+02	5,73E+03	1,97E+04

EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,16E+03	1,54E+03	4,74E+01	8,57E+02	2,72E+03
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,28E+07	7,06E+06	1,73E+05	2,28E+06	3,28E+06
ODP	Kg R11 eq.	2,78E-02	2,34E-02	1,17E-03	9,97E-06	3,26E-03
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4,40E+03	1,57E+03	3,95E+01	9,73E+02	1,81E+03



Obrázek 93: Příspěvek každé fáze životního cyklu podle kategorie dopadů (práce během denní směny) [C1.2]

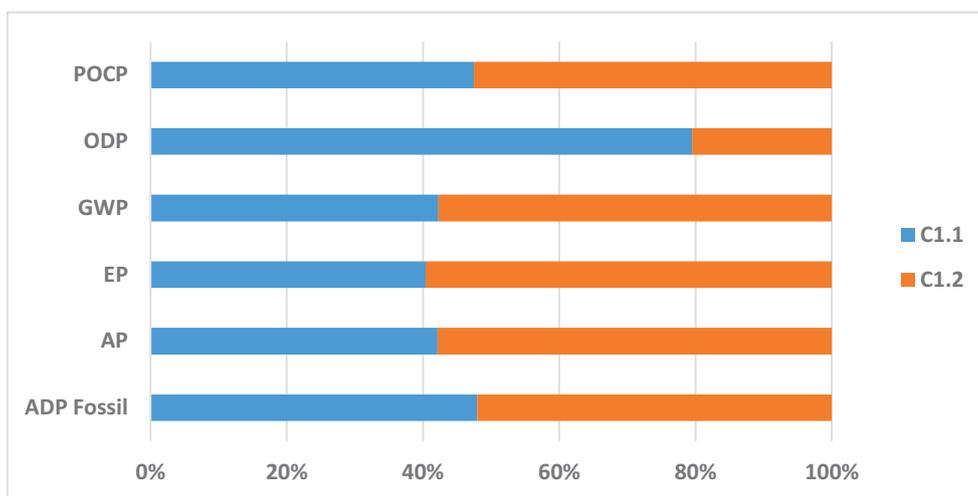
Jak je patrné z obrázku 93, fáze výroby materiálu přispívá k celkovému dopadu nejvíce, průměrně 44,5 %, po něm následuje fáze konec života, fáze provozu a fáze výstavby, které přispívají k celkovému dopadu 34 %, 19,9 % a 1,6 %.

Tabulka 75 uvádí srovnání výsledků případové studie ve vztahu k referenční případové studii C1.1.

Tabulka 75: Souhrnné výsledky dopadu do životního prostředí pro případ C1.2 ve srovnání s C1.1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C1.1	Případ C1.2	Změna vzhledem k C1.1
ADP Fossil	MJ	1,62E+08	1,76E+08	+8,5%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	2,92E+04	4,01E+04	+37,4%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	3,50E+03	5,16E+03	+47,5%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	9,37E+06	1,28E+07	+36,5%
ODP	Kg R11 eq.	1,08E-01	2,78E-02	-74,2%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3,97E+03	4,40E+03	+10,6%

Pro lepší porovnání celkového vlivu obou případových studií jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 94.



Obrázek 94: Relativní příspěvek případu C1.1 a C1.2 podle jednotlivých kategorií dopadu (práce během denní směny)

Z výše uvedených informací, lze usoudit, že referenční příklad C1.1 má příznivější výsledky ve všech kategoriích dopadu kromě potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP).

#### 4.1.3.6 Alternativní scénáře údržby

##### • Posouzení referenční případové studie C1.1

V části jsou posouzeny dva další alternativní scénáře údržby. První z nich je nazýván nedostatek finančních prostředků. V

scénáři se mění frekvence údržby, aby se zohlednila situace s rozpočtovými omezeními. Druhý scénář je nazýván prodloužená životnost, ve kterém je životnost mostu prodloužena na 130 let.

Oba alternativní scénáře ovlivňují pouze na fázi provozu. Výsledky uvedené v části se proto týkají pouze fáze provozu. Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí pro fázi provozu, v případě práce probíhající během dne denní směna, jsou uvedeny v tabulce 76 pro standardní a alternativní scénáře údržby.

Tabulka 76: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě různých scénářů údržby [C1.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	8,43E+07	4,97E+07	-41,0%	1,38E+08	+63,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,91E+03	2,70E+03	-45,1%	8,36E+03	+70,1%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,32E+02	4,06E+02	-44,4%	1,25E+03	+71,5%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,75E+06	8,71E+05	-50,3%	3,00E+06	+71,3%
ODP	Kg R11 eq.	6,00E-06	2,55E-06	-57,5%	1,14E-05	+89,2%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,02E+03	5,79E+02	-43,0%	1,60E+03	+57,7%

Vzhledem k tomu, že scénáře údržby se vztahují ke dvěma různým časovým rozpětím, jsou výsledky pro posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě práce během dne denní směna přepočteny na jeden rok. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 77. Pro scénář nedostatek finančních prostředků je uvažované časové rozpětí 100let, pro scénář prodloužená životnost je uvažované časové rozpětí 130 let.

**Tabulka 77: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu za jeden rok v případě různých scénářů údržby [C1.1]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	8,43E+05	4,97E+05	-41,0%	1,06E+06	+25,9%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	4,91E+01	2,70E+01	-45,1%	6,43E+01	+30,8%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,32E+00	4,06E+00	-44,4%	9,65E+00	+31,9%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,75E+04	8,71E+03	-50,3%	2,31E+04	+31,8%
ODP	Kg R11 eq.	6,00E-08	2,55E-08	-57,5%	8,74E-08	+45,5%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,02E+01	5,79E+00	-43,0%	1,23E+01	+21,3%

Z výsledků je zřejmé, že scénář nedostatek finančních prostředků vede ve všech kategoriích ke snížení dopadu do životního prostředí průměrně o 46,9 %. Naopak snaha prodloužit životnost mostu ve scénáři prodloužená životnost vede průměrně k 31,2% nárůstu dopadu do životního prostředí ve všech kategoriích.

- **Posouzení referenční případové studie C1.2**

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí pro fázi provozu, v případě práce probíhající během dne denní směna jsou uvedeny v tabulce 78 pro standardní a alternativní scénáře údržby.

**Tabulka 78: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě různých scénářů údržby [C1.2]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	8,34E+07	4,92E+07	-41,0%	1,38E+08	+65,5%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	5,73E+03	2,96E+03	-48,3%	1,01E+04	+75,8%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	8,57E+02	4,50E+02	-47,5%	1,51E+03	+76,6%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,28E+06	1,03E+06	-54,8%	4,11E+06	+80,2%
ODP	Kg R11 eq.	9,97E-06	3,89E-06	-61,0%	1,93E-05	+93,6%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,73E+02	5,51E+02	-43,4%	1,56E+03	+60,4%

Vzhledem k tomu, že scénáře údržby se vztahují ke dvěma různým časovým rozpětím, jsou výsledky pro posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi provozu v případě práce během dne denní směna přepočteny na jeden rok. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 79. Pro scénář nedostatek finančních prostředků je uvažované časové rozpětí 100let, pro scénář prodloužená životnost je uvažované časové rozpětí 130 let.

**Tabulka 79: Srovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu za jeden rok v případě různých scénářů údržby [C1.2]**

Kategorie dopadu	Jednotka	Standardní scénář (STA)	Nedostatek finančních prostředků (LOM)	$\Delta(\text{LOM,STA})$	Prodloužená životnost (PRL)	$\Delta(\text{PRL,STA})$
ADP Fossil	MJ	8,34E+05	4,92E+05	-41,0%	1,06E+06	+27,3%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	5,73E+01	2,96E+01	-48,3%	7,75E+01	+35,2%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	8,57E+00	4,50E+00	-47,5%	1,16E+01	+35,9%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,28E+04	1,03E+04	-54,8%	3,16E+04	+38,6%
ODP	Kg R11 eq.	9,97E-08	3,89E-08	-61,0%	1,49E-07	+48,9%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	9,73E+00	5,51E+00	-43,4%	1,20E+01	+23,4%

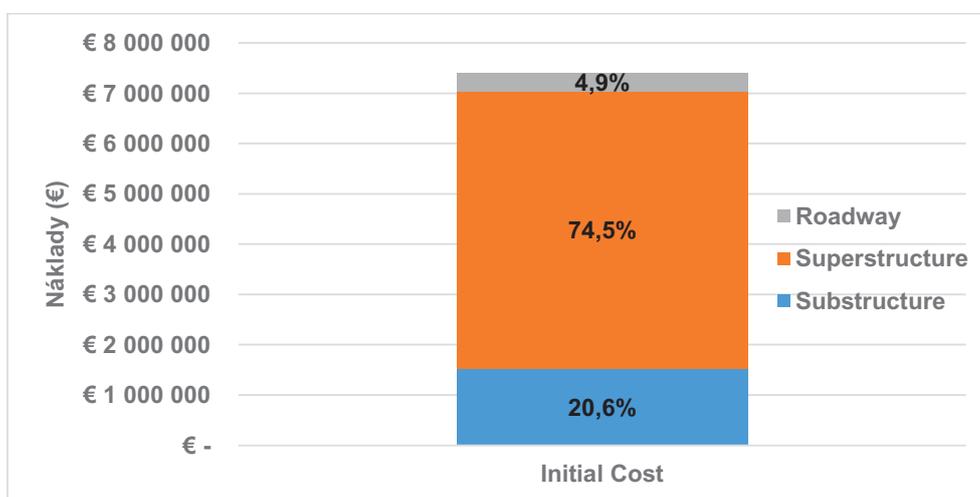
Scénář nedostatek finančních prostředků vede u případu C1.2 ke snížení dopadu ve všech kategoriích, v průměru o 49,3 %. Naproti tomu snaha prodloužit životnost mostu ve scénáři prodloužená životnost vede k nárůstu dopadu ve všech kategoriích životního prostředí, průměrně o 34,9 %.

#### 4.1.4 Posouzení nákladů na životní cyklus

##### 4.1.4.1 Počáteční náklady

- Posouzení referenční případové studie C1.1

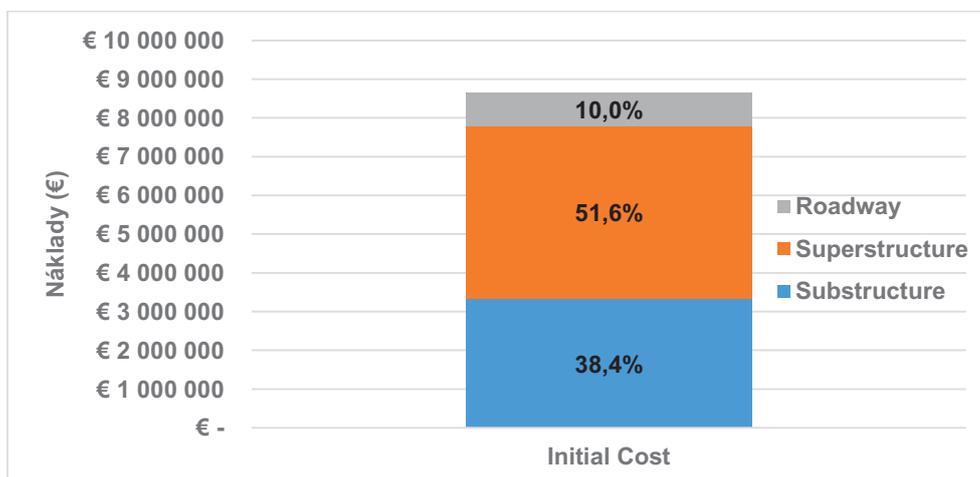
Počáteční náklady na stavbu včetně nákladů na přepravu materiálu činí 7 421 217,1 €, což odpovídá přibližně 665,60 €/m<sup>2</sup>. Graf na obrázku 95 znázorňuje podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou vypočteny na základě výkazu materiálu a jednotkové ceny uvedené v tabulce 62.



Obrázek 95: Počáteční náklady C1.1

- Posouzení případové studie C1.2

Počáteční náklady na stavbu včetně nákladů na přepravu materiálu činí pro variantní případovou studii C1.2 8 684 092,5 €, což odpovídá přibližně 759,56 €/m<sup>2</sup>. Graf na obrázku 96 znázorňuje podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou vypočteny na základě výkazu materiálu a jednotkové ceny uvedené v tabulce 63.



**Obrázek 96: Počáteční náklady C1.2**

Počáteční náklady uvedené výše jsou vypočteny na základě skutečné jednotkové ceny prvků obou mostů. Pro účely srovnání je nutné, aby dvě řešení byla hodnocena na základě stejných jednotkových cen - což zajistí společný základ pro porovnání. Z důvodu se pro účely posouzení předpokládá, že dva mosty jsou postaveny na stejném místě, ve stejnou dobu a se stejnými jednotkovými cenami, pokud je to možné. Namísto skutečných jednotkových nákladů obou mostů, jsou pro účely srovnání použity jednotkové náklady uvedené v tabulce 80.

**Tabulka 80: Společné jednotkové náklady použité pro srovnávací účely**

Popis	Jednotka	Společná jednotková cena
<b>Spodní stavba</b>		
Výkopy	[€/m <sup>3</sup> ]	19,97
Násypy	[€/m <sup>3</sup> ]	7,39
Bednění – pro opěry a sloupy	[€/m <sup>2</sup> ]	37,31
Ocelová výztuž – kromě betonové mostovky	[€/kg]	1,05
Beton - C30/37	[€/m <sup>3</sup> ]	121,49
<b>Nosná konstrukce</b>		
Ocelová výztuž – betonová mostovka	[€/kg]	1,05
Vylehčený beton	[€/m <sup>3</sup> ]	112,60
Betonové nebo ocelové římsy	[€/m]	163,00
Lamelle (ocelové a plastové lamely)	[€/ks]	21,66
<b>Vozovka</b>		
Vyrovnání povrchů s asfaltobetonovým a bitumenovým povrchem	[€/m <sup>2</sup> ]	7,38
Ochranné zábradlí	[€/m]	51,26
Zábradlí	[€/m]	124,43

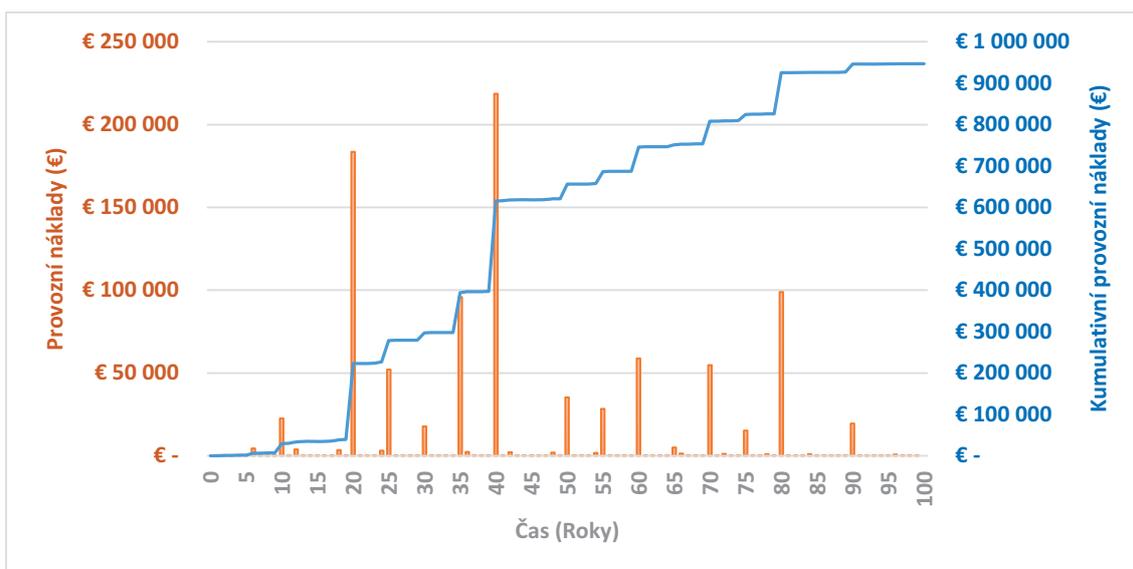
Využití výše uvedených jednotkových nákladů vede k počátečním nákladům ve výši 7 713 831,8 € a 8 301 478,8 € pro případy C1.1 a C1.2. Což odpovídá počátečním nákladům na jednotku plochy 691,84 €/m<sup>2</sup> a 726,10 €/m<sup>2</sup>.

**4.1.4.2 Provozní náklady**

Během časového období 100 let se předpokládá, že posuzované mosty budou udržovány a opravovány podle plánu uvedeného v příloze - tabulka A1, definice standardního scénáře údržby.

- Posouzení referenční případové studie C1.1

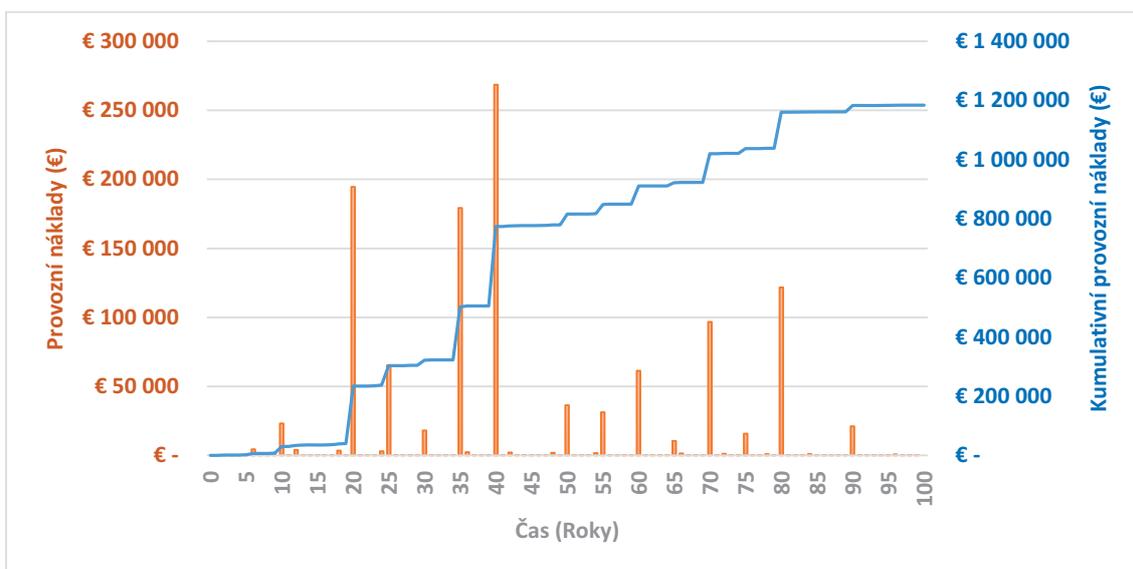
Náklady spojené s kontrolními a údržbovými pracemi prováděnými na mostě C1.1 po celou dobu života jsou vypočteny na základě jednotkových nákladů a frekvencí uvedených v tabulkách A1 až A6 v příloze a byly stanoveny na 947 233,99 €. Náklady jsou znázorněny v grafu na obrázku 97 spolu s čistými současnými hodnotami akumulovaných nákladů s uvažovanou diskontní sazbou ve výši 2%.



Obrázek 97: Provozní náklady C1.1 během života mostu

- Posouzení referenční případové studie C1.2

Provozní náklady vypočítané pro případovou studii C1.2 činí 1 183 807,66 €. Roční provozní náklady a akumulované provozní náklady jsou znázorněny v grafu na obrázku 98.



Obrázek 98: Provozní náklady C1.2 během života mostu

Z předchozích grafů lze vyčíst, že provozní náklady jsou výrazně vyšší v roce 20 a 40. Špičky v provozních nákladech jsou spojeny s výměnou povrchové vrstvy vozovky, která pokrývá poměrně velkou plochu (> 11000 m<sup>2</sup>). Provozní náklady pro ocelobetonovou variantu, případ C1.1, jsou o 25% nižší než provozní náklady pro betonovou variantu, případ C1.2.

#### 4.1.4.3 Náklady na konci životnosti

Náklady na ukončení života konstrukce zahrnují náklady na pracovní sílu, náklady na vybavení, náklady na dopravní značení, náklady na dopravu materiálu a náklady na ukládání či likvidaci materiálů nebo příjmy z jejich recyklace.

Uvažovaná jednotková cena demolice je 100 €/m<sup>2</sup> [1]. Cena zahrnuje náklady na práci, náklady na stavební vybavení a pohonné hmoty, náklady na přidružené materiály, náklady na třídění materiálů, náklady na všechna nezbytná opatření k zajištění bezpečnosti pracovního prostoru a náklady na konečné čištění staveniště.

Stavební odpad je odeslán k recyklaci nebo uložen na skládce. Náklady na dopravu vyžadují odhad vzdálenosti od místa demolice k místu likvidace nebo recyklace, odhad účinnosti nákladních automobilů a ceny paliva. V případě odpadů odeslaných na skládku účtuje provozovatel skládky poplatek za uložení stavebního odpadu. Náklady na uložení stavebního odpadu se liší podle druhu materiálu a stupně kontaminace.

V případě oceli, tj. konstrukční oceli i výztuže do železobetonu, se předpokládá cena 100 €/t (cena obvykle závisí na aktuální ceně oceli, podle informací od amerického recyklačního institutu lze uvažovat s cenou 120 \$ za tunu oceli). Hodnota má v posouzení záporné znamínko, protože jde o zisk a nikoliv o náklady. Shrnutí nákladů na ukončení života případů C1.1 a C1.2 je uvedeno v tabulce 81 82. Betonová varianta, případ C1.2, má o 72,3 % vyšší náklady na ukončení života než ocelobetonová varianta, případ C1.1.

**Tabulka 81: Náklady na ukončení života C1.1**

Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	2821,655	-31550,05	50	584,22
Beton	15979,2	22056,56	50	3308,48
Zemní práce	10240	70672,88	10	424,04
Bitumen	2146,56	14814,80	20	177,78
Součet (€)				80488,72
Demoliční náklady (€)				153901,24
<b>Celkem (€)</b>				<b>234389,95</b>

**Tabulka 82: Náklady na ukončení života C1.2**

Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	1891,679	-18277,98	50	391,67
Beton	36418,2	50269,12	50	7540,37
Zemní práce	27846	192183,30	10	1153,10
Bitumen	1827,456	12612,46	20	151,35
Součet (€)				246023,38
Demoliční náklady (€)				157812,54
<b>Celkem (€)</b>				<b>403835,92</b>

(\*) Uvažovaná cena uložení betonového odpadu 10 €/t, cena tuny šrotu 100 €/t a cena přepravy 0,03 €/t/km.

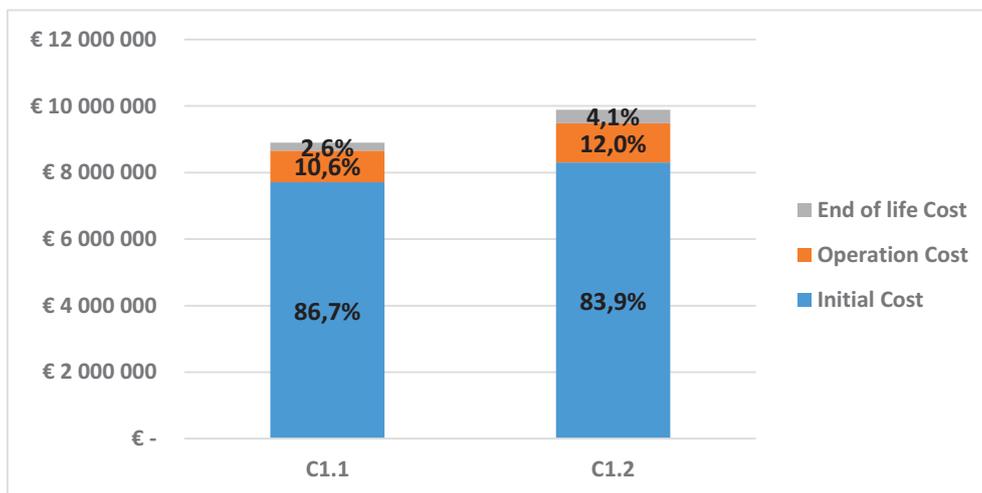
(\*\*) Výše vypočtené množství oceli zahrnuje jak ocelovou výztuž, tak nosníky, plechy a přípoje z konstrukční oceli. Poznámka: Náklady jsou uvedeny v současné hodnotě vypočtené podle rovnice 2 s diskontní sazbou 2 %.

#### 4.1.4.4 Celkové náklady na životní cyklus

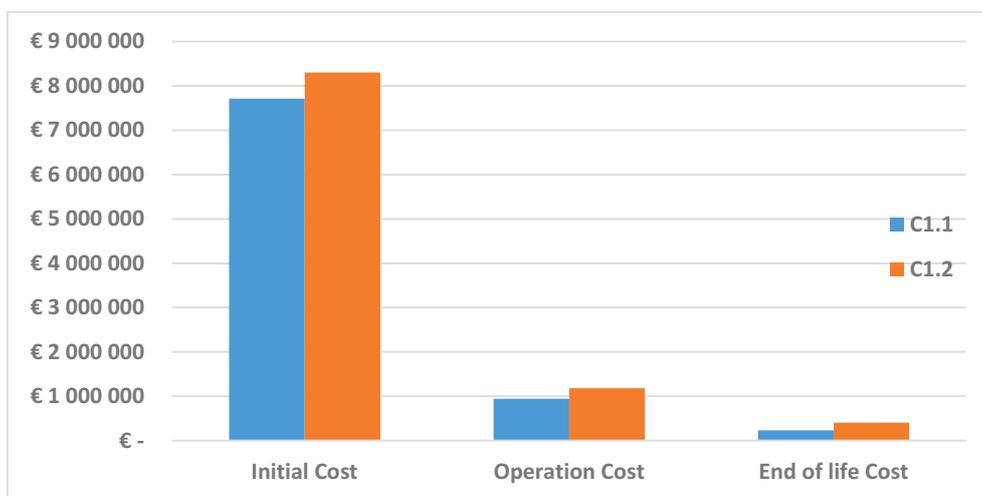
Sečtením nákladů pro případovou studii C1.1 z předchozích částí, se získá hodnota 8 895 455,74 €, což je čistá současná hodnota nákladů na životní cyklus (LCC) při uvážení 2% diskontní sazby. To představuje celkové náklady přibližně 797,83 €/m<sup>2</sup>. Celková současná hodnota nákladů na životní cyklus (LCC) pro případ C1.2 je 9 889 122,39 € se stejnou 2% diskontní sazbou. To představuje celkové náklady přibližně 864,96 €/m<sup>2</sup>. Náklady na mosty pro každou fázi zvlášť jsou shrnuty v tabulce 83 a zobrazeny v grafech na obrázcích 99 a 100.

Tabulka 83: Srovnání nákladů na životní cyklus mezi C1.1 a C1.2

	Případ C1.1 (€)	Případ C1.2 (€)	Změna vzhledem k C1.1
Počáteční náklady	7713831,80	8301478,80	+7,6%
Provozní náklady	947233,99	1183807,66	+25,0%
Náklady na ukončení života	234389,95	403835,92	+72,3%
Celkové náklady	8895455,74	9889122,39	+11,2%



Obrázek 99: Celkové náklady na životní cyklus C1.1 a C1.2



Obrázek 100: Srovnání nákladů na životní cyklus C1.1 a C1.2

Obvyklá představa je, že ocelové a ocelobetonové varianty mostů bývají nákladnější z hlediska počátečních nákladů, tj. fáze výroby materiálu a fáze výstavby, ale mohou být atraktivnější při zvažování dalších fází, provozu a ukončení života. Je zřejmé, že ocelobetonové řešení (případová studie C1.1) je lepší než betonový ekvivalent (C1.2) a celkové náklady na životní cyklus (LCC) jsou o LCC o 11,2 % nižší. Rozdíly v nákladech na nosnou konstrukci lze vysvětlit výrazně těžší mostovkou v případě C1.2, a s tím spojenými vyššími vnitřními silami a větším seismickým namáháním sloupů a základů.

Náklady na ukončení života jsou mnohem nižší než náklady na provoz nebo náklady na výstavbu vzhledem k tomu, že náklady vznikají v roce 100 a jsou diskontovány roční diskontní

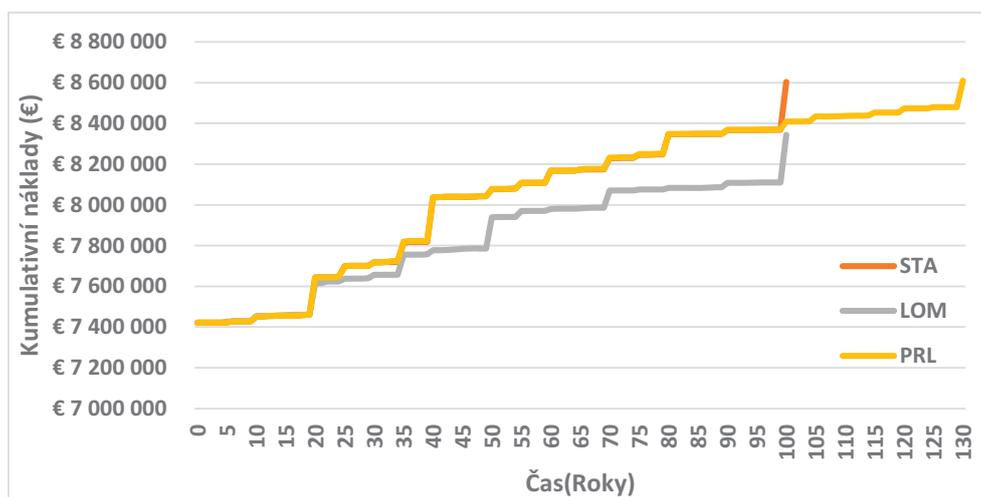
sazbou stanovenou na 2%. Všechny výše uvedené výpočty byly provedeny s uvážením standardního scénáře údržby a práce během denní směny.

#### 4.1.4.5 Alternativní scénáře údržby

Kromě standardního scénáře byly posouzeny dva alternativní scénáře údržby, a to scénáře nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost. Ve scénáři nedostatek finančních prostředků musí být frekvence údržby snížena, aby se zohlednila situace s rozpočtovými omezeními. Druhý scénář, prodloužená životnost, počítá s rozhodnutím o udržování mostu v provozu po delší dobu, než bylo plánováno (130 let namísto 100), toto rozhodnutí padlo v 80. roce provozu. Strategie údržby je na konci životnosti upravena, aby byla zajištěna požadovaná výkonnost mostu do 130. roku provozu.

- Posouzení referenční případové studie C1.1

Graf na obrázku 101 zobrazuje celkové náklady na životní cyklus pro případovou studii C1.1 se standardním scénářem údržby [STA], scénářem nedostatek finančních prostředků [LOM] a scénářem prodloužená životnost [PRL]. Míra růstu nákladů na životní cyklus je po 80 letech nižší než na začátku života konstrukce, protože náklady jsou diskontovány pevnou roční diskontní sazbou ve výši 2 %. Hodnota nákladů na životní cyklus (LCC), vychází pro scénář nedostatek finančních prostředků o 3 % nižší, jak se očekávalo. Celkové náklady v případě scénáře prodloužená životnost vychází nižší, a to o 1,3 % než standardní scénář údržby. Důvodem snížení nákladů na životní cyklus ve scénáři prodloužená životnost jsou náklady na konci životnosti s vysokou diskontovanou hodnotou v roce 130. Čistá současná hodnota nákladů na ukončení života konstrukce ve scénáři s prodlouženou životností (v roce 130) vychází 55% oproti standardnímu scénáři (v roce 100).

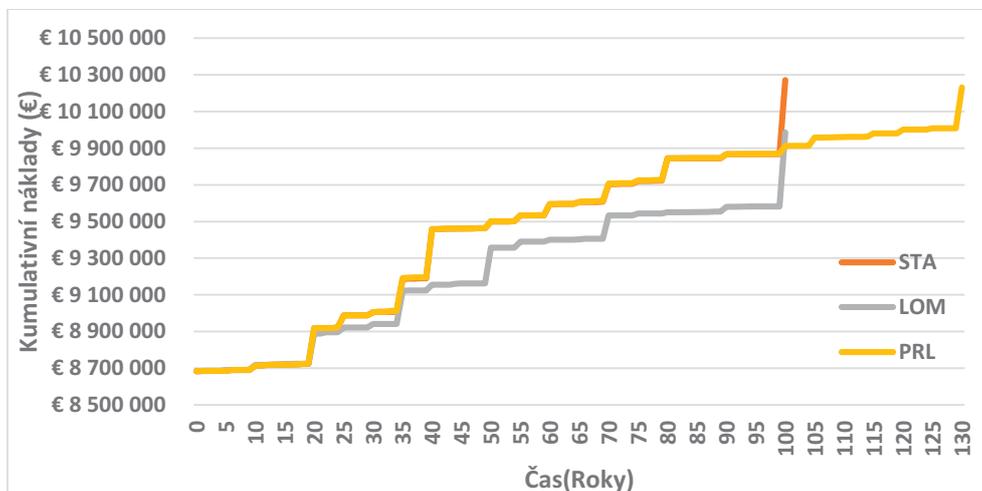


Obrázek 101: Náklady na životní cyklus případu C1.1 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

- Posouzení referenční případové studie C1.2

Graf na obrázku 102 zobrazuje celkové náklady na životní cyklus pro případovou studii C1.2 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost. U předpjatého betonového mostu byla zaznamenána o 1,7 % nižší hodnota LCC

pro scénář nedostatek finančních prostředků. Také scénář prodloužená životnost, má celkové náklady na životní cyklus nižší, a to o 2,8 %, ačkoli má most delší životnost. Důvodem snížení nákladů na životní cyklus scénáře jsou vysoce diskontované náklady na ukončení života v roce 130. Čistá současná hodnota nákladů na ukončení života konstrukce ve scénáři s prodlouženou životností (v roce 130) vychází 55% oproti standardnímu scénáři (v roce 100).

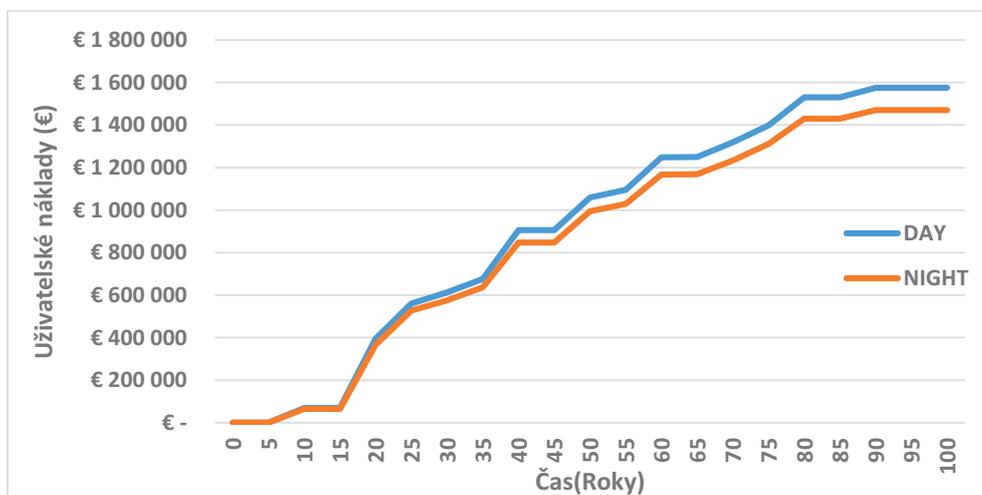


Obrázek 102: Náklady na životní cyklus případu C1.2 se scénáři údržby standardní, nedostatku finančních prostředků a prodloužená životnost

#### 4.1.5 Sociální analýza životního cyklu

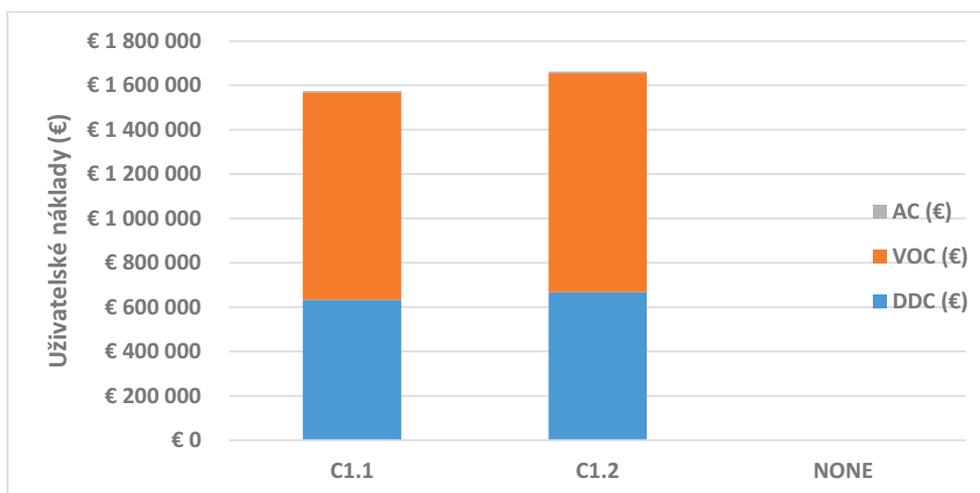
Pro výpočet uživatelských nákladů byly posouzeny dva scénáře údržby: (i) scénář den, kdy se většina prací provádí během dne (od 6:00 do 22:00) a na mostě je uzavřen jeden jízdní pruh kvůli hlavní údržbářským pracím (výměna povrchu vozovky); (ii) scénář noc, který je obdobný jako scénář den s tím rozdílem, že většina údržbářských prací probíhá během noci (od 22:00 do 6:00).

Graf na obrázku 103 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii C1.1 se scénářem den a noc. Negativní vlivy údržby pro uživatele jsou sníženy, pokud se práce provádí v noci, protože je provoz slabší než během dne. Rozdíl mezi těmito scénáři není velký, protože na mostě je relativně nízká hustota provozu a pod mostem není uvažováno s žádným provozem.



Obrázek 103: Uživatelské náklady na C1.1 s pracovním plánem den a noční

Z obrázku 104 je dále patrné, že uživatelské náklady případové studie C1.1 jsou nižší, než pro případovou studii C1.2, a to o 6,4%, protože údržba betonového mostu trvá více času.



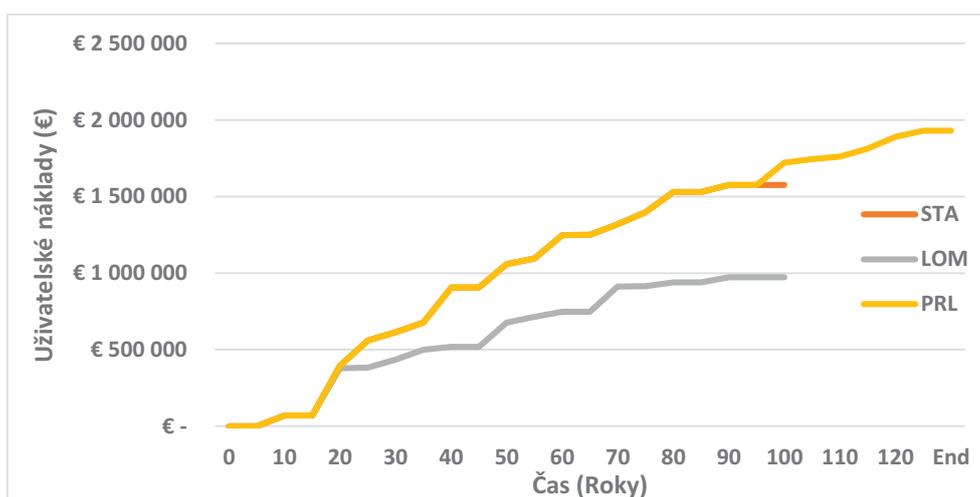
Obrázek 104: Srovnání uživatelských nákladů pro C1.1 a C1.2 se standardním pracovním scénářem.

#### 4.1.5.1 Alternativní scénáře údržby

Stejně jako v případě LCA a LCC, pro uživatelské náklady byly posuzovány i alternativní scénáře údržby: nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost a porovnány se standardním scénářem údržby.

- **Posouzení referenční případové studie C1.1**

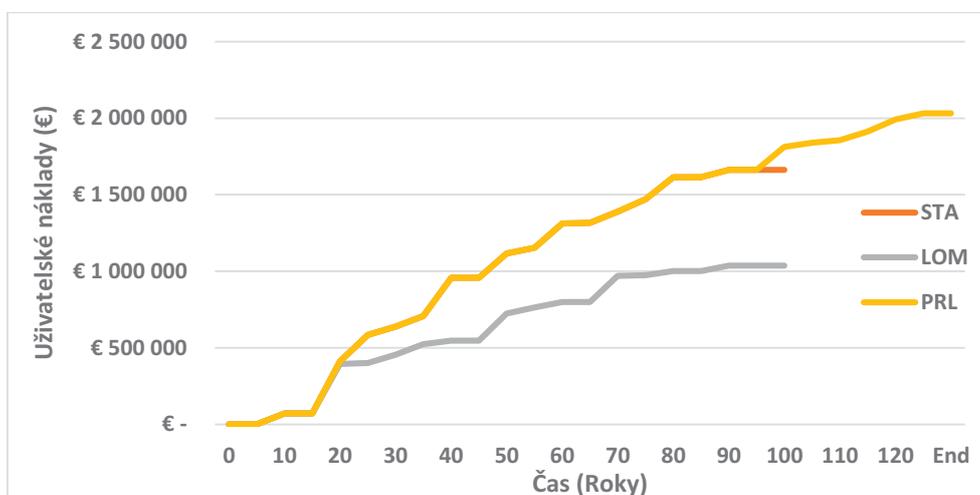
Graf na obrázku 105 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii C1.1 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



Obrázek 105: Uživatelské náklady případu C1.1 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

### • Posouzení referenční případové studie C1.2

Graf na obrázku 106 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii C1.2 se standardním scénářem údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost.



Obrázek 106: Uživatelské náklady případu C1.2 se scénáři údržby standardní, nedostatek finančních prostředků a prodloužená životnost

V obou případech C1.1 i C1.2 měl scénář nedostatek finančních prostředků nižší uživatelské náklady než standardní scénář, zatímco scénář prodloužená životnost vedl k vyšším uživatelským nákladům. Aby bylo možné prodloužit životnost mostu, je totiž nutné navýšit frekvenci údržby, což vede k dopravním omezením a vyšším uživatelským nákladům. Ukázalo se, že uživatelské náklady spojené s případem C1.2 jsou vyšší než u případu C1.1.

#### 4.1.6 Závěry z výsledků případové studie C1

Stejně jako v případě C2, je z posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí patrné, že fáze výroby materiálu a fáze provozu zdaleka dominují všem kategoriím dopadů. Výroba stavebních materiálů a dopravní zácpy způsobené pracovní činností jsou hlavními příčinami ekologické zátěže při posouzení celého životního cyklu. Ve fázi provozu jsou dopady způsobeny zejména dopravními zácpami. Usuzuje se, že nejvíce lze zlepšit výsledky prováděním údržbářských prací v noci. Práce během noční směny snižují dopady na životní prostředí v důsledku skutečnosti, že hustota provozu je během noci menší. Referenční příklad C1.1 má menší dopad na životní prostředí ve všech kategoriích kromě potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP). Dopady v kategorii ODP jsou velmi malé (v řádu  $10^{-3}$ ).

Z hlediska nákladů na životní cyklus je z případových studií patrné, že ocelobetonový most vykazuje výhodnější vlastnosti. Kvůli rozdílným jednotkovým cenám jednotlivých částí mostu, bylo nutné vytvořit jednotkové ceny společné pro oba mosty, aby byl vytvořen společný základ, podle kterého byly oba mosty posouzeny. Počáteční a provozní náklady pro ocelobetonový most jsou nižší než u betonové varianty. Ocelobetonový most je méně nákladný i ve fázi ukončení života, protože obsahuje velké množství oceli, kterou lze recyklovat.

Společenské aspekty sociální analýzy životního cyklu (LCA) ukazují, že práce během noční směny je příznivá pro snížení uživatelských nákladů. Uživatelské náklady pro případ C1.1 jsou nižší než u případu C1.2 o 5,5 % kvůli nižšímu množství času potřebnému k provedení údržbářských prací. V obou případech C1.1 i C1.2 vede scénář údržby nedostatek finančních

prostředků k nižším uživatelským nákladům, zatímco scénář prodloužená životnost vede k vyšším uživatelským nákladům. Nemělo by ale zapadnout, že nižší náklady na údržbu znamenají vyšší degradaci mostu, což nakonec vede k rozhodnutí most zcela nahradit, a v konečném důsledku náklady podstatně vyšší.

## 4.2 Příklad C2 – Jednopolové dálniční mosty

Příklad C2 popisuje jednopolový dálniční mostový most o teoretické délce 34,80 m a šířce mostovky 12,14 m. Varianta s ocelobetonovou mostovkou se skládá ze dvou nosníků tvaru I, svařovaných z oceli třídy S355-N o výšce 1,85 m. Osová rozteč nosníků je 7,00 m. Nosníky jsou usazeny na místo pomocí lehkých jeřábů. Most se nachází v jižní Albánii.

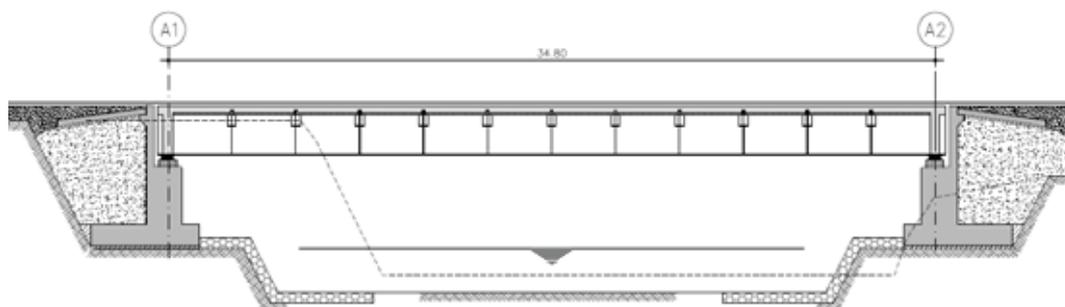
Na rozdíl od všech předchozích případových studií je pro porovnání ocelobetonové mostu s betonovou variantou navržen fiktivní (nerealizovaný) případ. Navržený most se skládá ze čtyř prefabrikovaných předpjatých nosníků tvaru I (C30/37) o výšce 2,20 m. Osová rozteč nosníků se rovná 3,50 m. Nosníky jsou uloženy na místo jeřábem.

Nosná konstrukce obou variant je podepřena a seizmicky izolována přes běžná kotvená (ale vyměnitelná) tlumící pryžová ložiska. Spodní stavbu tvoří masivní opěry ze železobetonu (C25 / 30) s plošným základem.

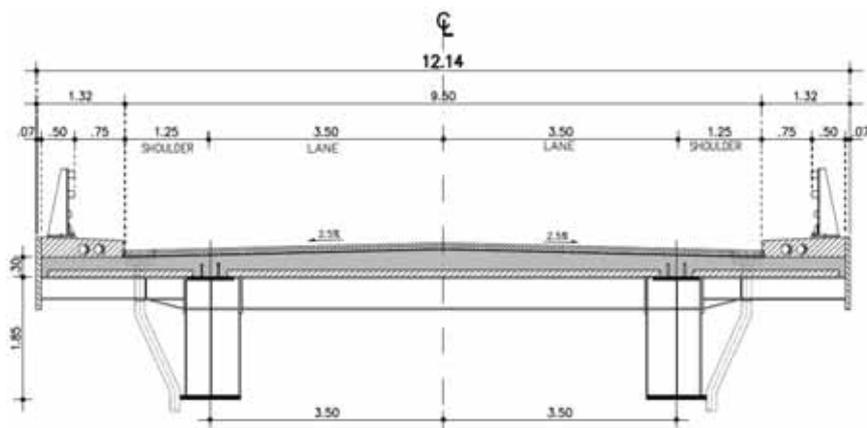
### 4.2.1 Popis případových studií

#### 4.2.1.1 Popis konstrukčního systému mostu, geometrie a dalších parametrů

Varianta s ocelobetonovou mostovkou (příklad C2.1, obrázek 107) se skládá ze dvou nosníků tvaru I, svařovaných z oceli třídy S355-N o výšce 1,85 m. Osová rozteč nosníků je 7,00 m. Nosníky jsou usazeny na místo pomocí lehkých jeřábů. Horní pásnice nosníku je 700 mm široká, dolní 900 mm široká. Železobetonová mostovka z betonu (C30/37) se skládá z monolitické vrstvy tloušťky 0,20 m lité do prefabrikovaných desek o tloušťce 0,10 m. Příčnický tvar nosníky HEA500 (mezi hlavními nosníky) a HEA340 (konzola) jsou umístěny každých 2,90 m. Na každém nosném průřezu je vytvořen železobetonový příčný trám, o tloušťce 420 mm, viz obrázek 108.

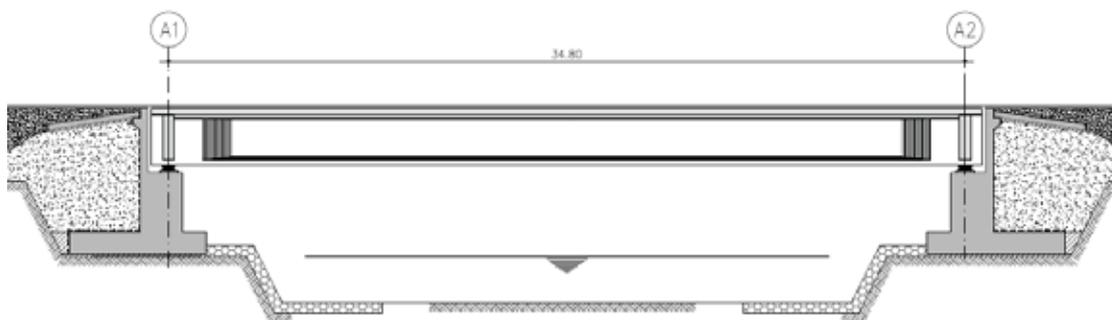


Obrázek 107: Příklad C2.1 Podélný řez

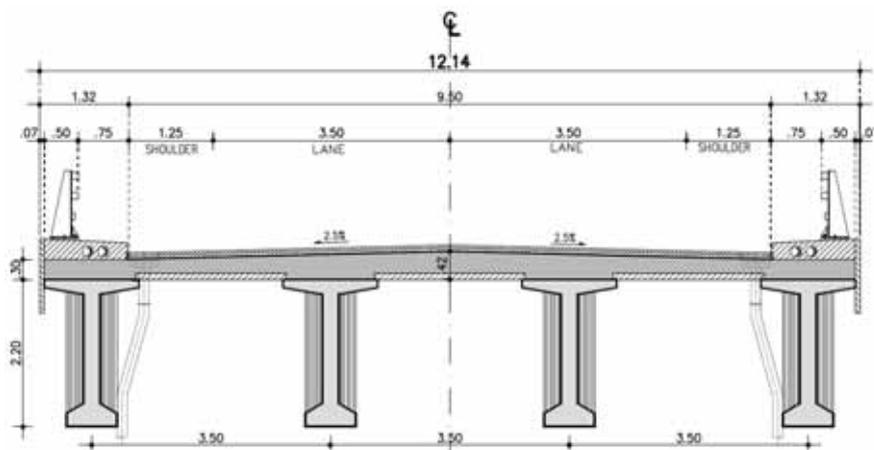


Obrázek 108: Příklad C2.1 Typický průřez

Ekvivalentní předpjatý betonový most (příklad C2.2, obrázek 109) se skládá ze 4 prefabrikovaných předpjatých nosníků tvaru I (C30/37) o výšce 2,20 m. Osová rozteč nosníků se rovná 3,50 m. Nosníky jsou usazeny na místo pomocí jeřábů. Horní pásnice je široká 1400 mm, dolní 750 mm. Železobetonová mostovka (C30/37) se skládá z monolitické vrstvy tloušťky 0,20 m lité do prefabrikovaných desek o tloušťce 0,10 m, stejně jako v případě C2.1. Po celém rozpětí nejsou navrženy žádné příčné nosníky. Na každém nosném průřezu je vytvořen železobetonový příčný trám, o tloušťce 500 mm, viz obrázek 110.



Obrázek 109: Příklad C2.2 Podélný řez



Obrázek 110: Příklad C2.2 Typický průřez

Nosná konstrukce obou variant je podepřena a seizmicky izolována přes elastomerová ložiska (typ C podle EN1337). Ložiska jsou umístěna pod každým hlavním nosníkem. Pro případ C2.1

to jsou: 2x2 NDRB 350x450x166 mm ( $t_{ei}=66$  mm) a pro případ C2.2: 2x4 NDRB 300x400x145 mm ( $t_{ei}=64$  mm).

Spodní stavbu případu C2.1 tvoří typická železobetonová (C25/30) masivní opěra s plošným základem (základová zemina typu A: vrstvy flyše, pískovce a prachovce). Opěra je široká 12,14 m a celková výška je 6,35 m. Základová deska je tlustá 1,00 m a dlouhá 4,90 m.

Z důvodu porovnání s předchozím případem, byla pro případ C2.2 navržena podobná opěra, která má stejnou výšku a šířku. Tloušťka stěny opěry byla zvýšena tak, aby vyhovovala požadavkům na uložení prefabrikovaných nosníků. Také byla zvýšena délka základové desky na 6,0 m, aby se vyrovnalo napětí v základové spáře, které by jinak, v důsledku zvýšeného zatížení vlastní tíhou, bylo pro tuto variantu vyšší.

Případ C2.2 je fiktivní (nerealizovaný) most, a je navržen pouze pro srovnání. Statické využití není pro obě varianty stejné, což lze snadno vidět na stejných množstvích použitého betonu v obou případech. Z důvodu, je srovnání variant méně pravedlivé, než kdyby byla obě řešení stejně optimalizována.

#### 4.2.1.2 Uvažované parametry návrhu

Následující tabulka obsahuje výkaz hlavních materiálů pro případy C2.1 a C2.2 (pro mostovku v jednom směru jízdy).

Tabulka 84: Množství pro případy C2.1 a C2.2 za účelem provedení analýzy LCA a LCC

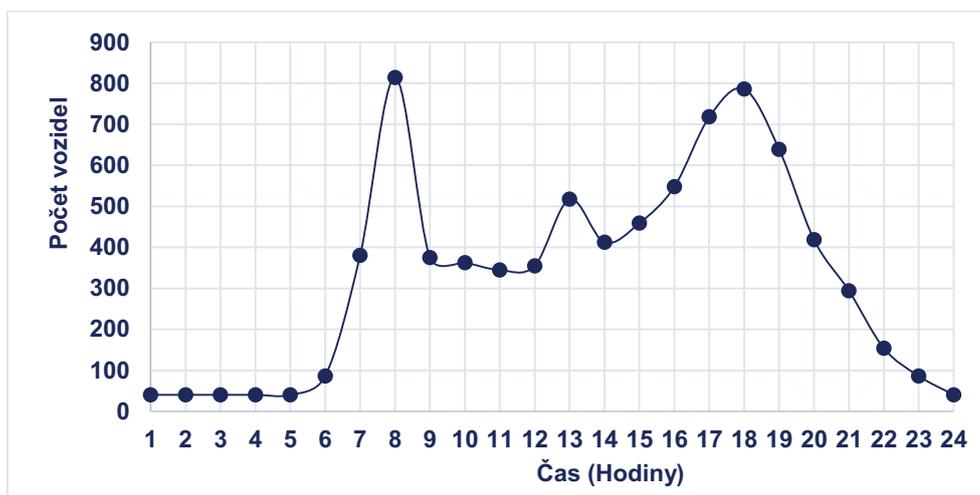
Popis	Jednotka	Případ C2.1 (ocelobetonové nosníky)	Případ C2.2 (prefa nosníky)	Jednotka	Jednotková cena (Řecko 2015)
<b>Spodní stavba</b>					
Výkopy	[m <sup>3</sup> ]	2200	2400	[€/m <sup>3</sup> ]	1,50
Násypy	[m <sup>3</sup> ]	530	600	[€/m <sup>3</sup> ]	5,00
Opěry beton C25/30	[m <sup>3</sup> ]	300	350	[€/m <sup>3</sup> ]	95,00
Výztuž opěr S500C	[kg]	22530	26180	[€/kg]	0,80
<b>Nosná konstrukce</b>					
Konstrukční ocel S355 N	[kg]	94000	-	[€/kg]	1,80
Protikorozní ochrana	[m <sup>2</sup> ]	720	-	[€/m <sup>2</sup> ]	9,00
Beton prefa nosníky C30/37	[m <sup>3</sup> ]	-	148	[€/m <sup>3</sup> ]	160,00
Betonová deska C30/37	[m <sup>3</sup> ]	210	212	[€/m <sup>3</sup> ]	110,00
Výztuž S500C	[kg]	37350	41790	[€/kg]	0,80
Předpínací výztuž 1570/1770	[kg]	-	8460	[€/kg]	3,10
Ložiska	[ks]	4	8		
	[lt]	105	139	[€/lt]	45,00
Náklady na umístění jeřábu	[GV]	20000	70000	[€]	1
<b>Vozovka</b>					
Asfaltová vozovka (2x5cm)	[m <sup>2</sup> ]	2x340	2x345	[€/m <sup>2</sup> ]	6,00
Hydroizolace	[m <sup>2</sup> ]	418	422	[€/m <sup>2</sup> ]	11,40
Odvodnění	[kg]	1256	1256	[€/kg]	4,90
Žlaby PVC Ø200	[m]	45,80	49,00	[€/m]	8,60
Dilatační závěry	[m]	24,30	24,30	[€/m]	800,00
Svodidla	[kg]	4650	4720	[€/kg]	1,90

(\*) Uvedené jednotkové ceny se týkají přímých nákladů na výstavbu. Za účelem zohlednění dalších obecných nákladů a zisků dodavatele byly náklady zvýšeny o 30 %.

## 4.2.2 Dopravní analýza

Pro případové studie C2 se ve výchozím roce studie počítá s průměrným denním provozem (ADT) na dálnici 8000 vozidel za den. Dále se předpokládá, že procentní podíl lehkých a těžkých vozidel je 88 % a 12 % ADT. Pro dálnici se předpokládá hodinová distribuce dopravy znázorněná na obrázku 111.

Růst provozu v průběhu let se vypočítá podle rovnice (3), (viz bod 5.3 části A), kde je uvažována míra růstu 0,5%.



Obrázek 111: Hodinové rozdělení provozu pro případy C2.1 a C2.2

## 4.2.3 Posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

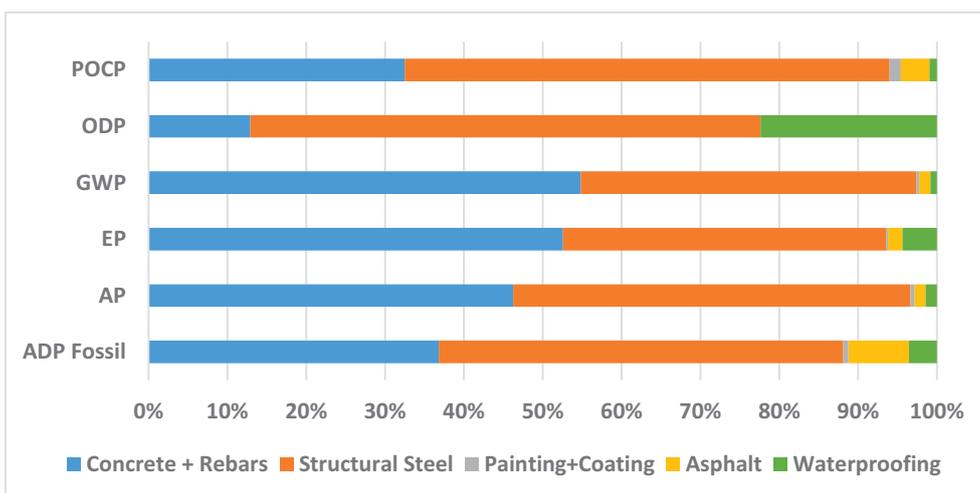
### 4.2.3.1 Fáze výroby materiálu

- Posouzení vlivu referenční případové studie C2.1 na životní prostředí

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výroby materiálu jsou shrnuty v tabulce 85. Pro výpočet byly použity hodnoty uvedené v tabulce 84 a výsledek byl vynásoben dvěma, což reprezentuje existenci stejného mostu v opačném směru jízdy. Výsledkem je, že hlavními procesy přispívajícími k celkovým dopadům ve fázi výroby materiálu jsou výroba konstrukční oceli a železobetonu. Výsledky jsou zobrazeny i v grafu na obrázku 112.

Tabulka 85: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí [C2.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Beton + výztuž	Konstrukční ocel	Povrchová úprava + nátěr	Asfalt	Hydroizolace
ADP Fossil	MJ	7,23E+06	2,66E+06	3,71E+06	4,80E+04	5,57E+05	2,55E+05
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,88E+03	8,69E+02	9,47E+02	1,00E+01	2,59E+01	2,66E+01
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,80E+02	9,46E+01	7,37E+01	4,87E-01	3,26E+00	7,86E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,72E+05	4,23E+05	3,28E+05	2,98E+03	1,11E+04	6,15E+03
ODP	Kg R11 eq.	1,15E-02	1,48E-03	7,42E-03	5,56E-09	9,34E-09	2,56E-03
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,70E+02	8,78E+01	1,66E+02	3,90E+00	9,84E+00	2,48E+00



Poznámka: Výsledky z posouzení dopadů nátěrů a povrchových úprav zahrnují i dopady na životní prostředí způsobené nátěry aplikovanými na nenosné prvky, jako jsou ochranná zábradlí.

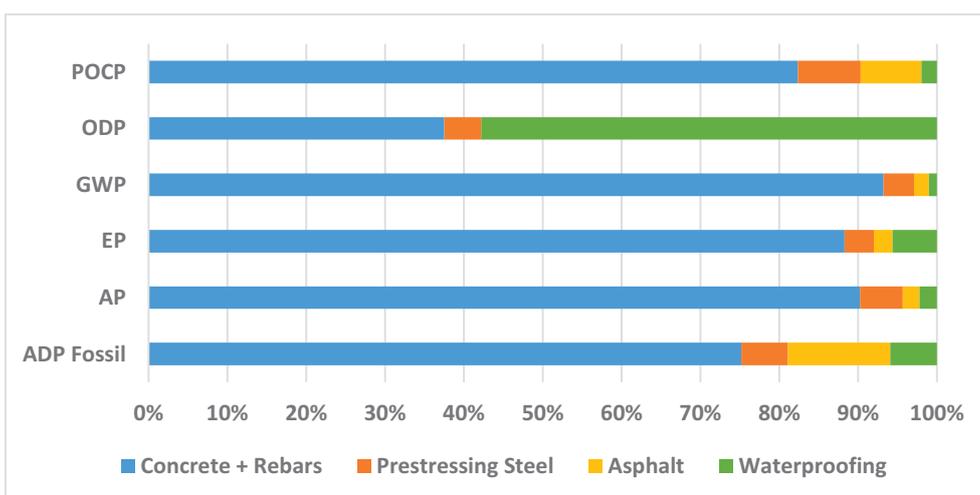
Obrázek 112: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [C2.1]

• Posouzení vlivu případové studie C2.2 na životní prostředí

Výsledky posouzení pro variantní případovou studii C2.2 jsou uvedeny v tabulce 86 a zobrazeny v grafu na obrázku 113.

Tabulka 86: Dopady fáze výroby materiálu na životní prostředí [C2.2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Beton + výztuž	Předpínací ocel	Asfalt	Hydroizolace
ADP Fossil	MJ	4,35E+06	3,27E+06	2,56E+05	5,65E+05	2,57E+05
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,23E+03	1,11E+03	6,65E+01	2,63E+01	2,69E+01
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,41E+02	1,25E+02	5,27E+00	3,31E+00	7,94E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	6,06E+05	5,65E+05	2,35E+04	1,13E+04	6,21E+03
ODP	Kg R11 eq.	4,47E-03	1,68E-03	2,09E-04	9,47E-09	2,59E-03
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,29E+02	1,07E+02	1,03E+01	9,99E+00	2,50E+00



Obrázek 113: : Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výroby materiálu [C2.2]

Tabulka 87 uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studii C2.2.

Tabulka 87: Dopady na životní prostředí ve fázi výroby materiálu pro případ C2.2 vzhledem k C2.1

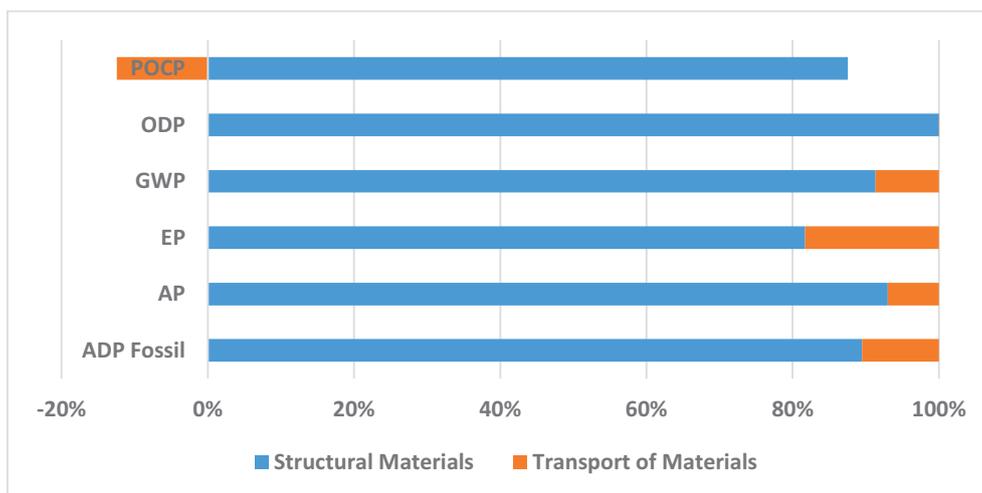
Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C12.1	Případ C2.2	Změna vzhledem k C2.1
ADP Fossil	MJ	7,23E+06	4,35E+06	-39,9%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,88E+03	1,23E+03	-34,5%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,80E+02	1,41E+02	-21,6%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	7,72E+05	6,06E+05	-21,5%
ODP	Kg R11 eq.	1,15E-02	4,47E-03	-61,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,70E+02	1,29E+02	-52,2%

Podle výsledků, má případová studie C2.2 ve fázi výroby materiálu ve všech kategoriích významně menší dopad na životní prostředí, než C2.1.

#### 4.2.3.2 Fáze výstavby

- Posouzení vlivu případové studie C2.1 na životní prostředí

Výsledky posouzení vlivu na životní prostředí ve fázi výstavby pro případovou studii C2.1 jsou zobrazeny v grafu na obrázku 114. Operace související s výrobou stavebních materiálů na stavbě přispívají k dopadům na životní prostředí největší mírou.

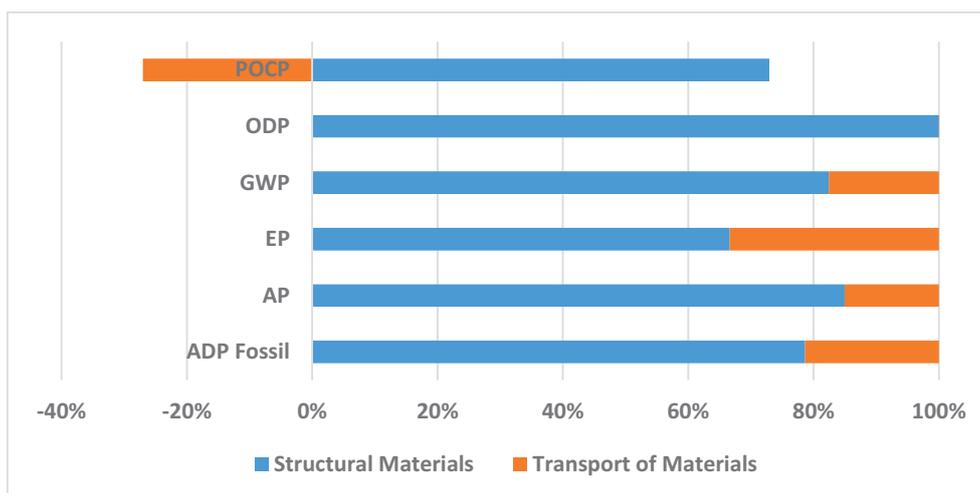


Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

Obrázek 114: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [C2.1]

- Posouzení vlivu případové studie C2.2 na životní prostředí

Výsledky posouzení pro případ C2.2 jsou zobrazeny v grafu na obrázku 115.



Poznámka: Důvodem negativní hodnoty POCP jsou emise oxidu dusnatého (NO) z přepravy nákladními vozidly, které mají pozitivní vliv na environmentální kategorii POCP [21]. Viz oddíl 1.2.6.

Obrázek 115: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi výstavby [C2.2]

Výsledky pro případovou studii C2.2 jsou uvedeny v tabulce 88, tabulka uvádí rozdíly ve srovnání s referenční případovou studií C2.1.

Tabulka 88: Environmentální dopady ve fázi výstavby vzhledem k C2.1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C12.1	Případ C2.2	Změna vzhledem k C2.1
ADP Fossil	MJ	3,19E+05	1,63E+05	-48,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	7,77E+01	3,76E+01	-51,6%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	7,05E+00	4,02E+00	-43,0%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,81E+04	1,44E+04	-48,6%
ODP	Kg R11 eq.	4,45E-04	9,43E-05	-78,8%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,04E+01	3,01E+00	-70,9%

Případ C2.2 se ukázal jako lepší alternativa, ve fázi výstavby má ve všech kategoriích menší dopad na životní prostředí (o více než 40 %) ve srovnání s případem C2.1.

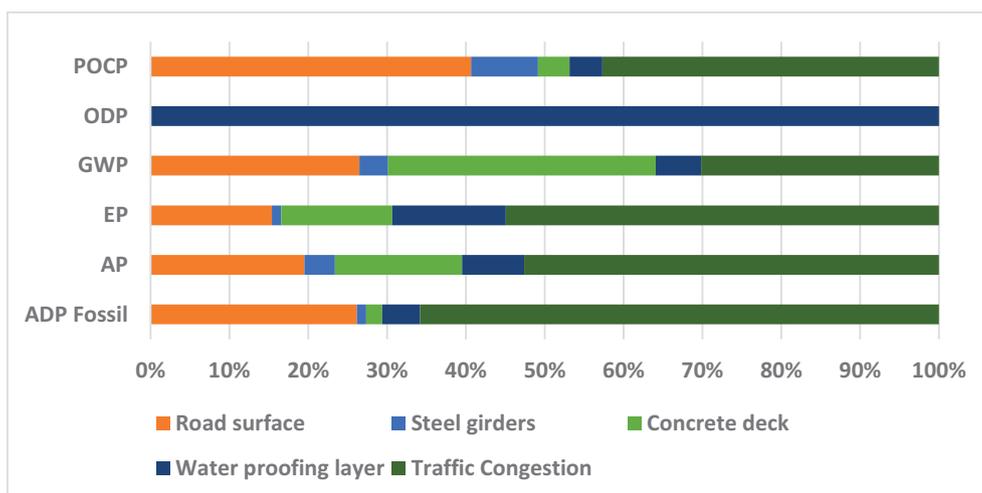
#### 4.2.3.3 Fáze provozu

- **Posouzení vlivu referenční případové studie C2.1 na životní prostředí**

Výsledky pro referenční případovou studii C2.1 ve fázi provozu jsou zobrazeny v tabulce 89 a v grafu na obrázku 116 pro práci během denní směny.

Tabulka 89: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu (C2.1, denní směna)

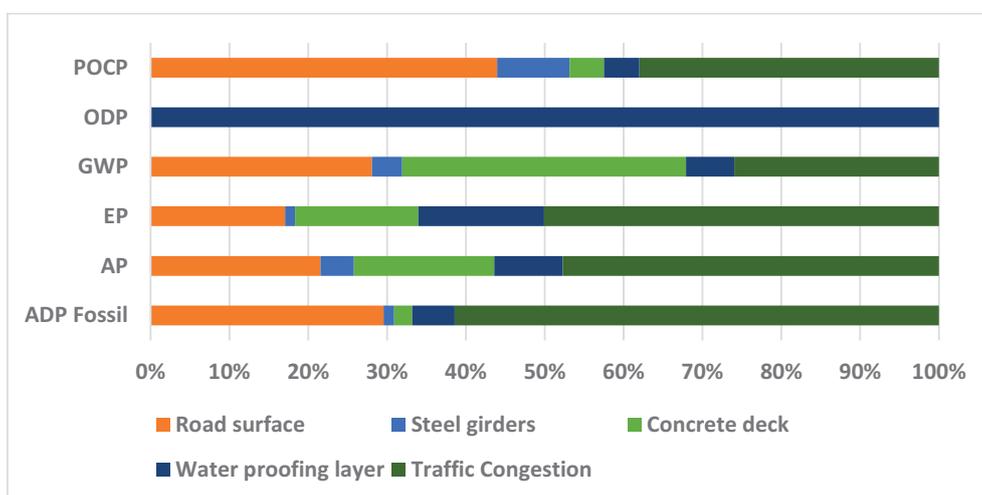
Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Vozovka	Ocelové nosníky	Betonová mostovka	Hydroizolace	Dopravní zácpy
ADP Fossil	MJ	1,07E+07	2,80E+06	1,25E+05	2,18E+05	5,09E+05	7,03E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,75E+02	1,32E+02	2,61E+01	1,09E+02	5,33E+01	3,55E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,09E+02	1,68E+01	1,27E+00	1,54E+01	1,57E+01	5,99E+01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,13E+05	5,65E+04	7,75E+03	7,24E+04	1,23E+04	6,43E+04
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	4,70E-08	1,45E-08	4,74E-07	5,12E-03	2,23E-07
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,19E+02	4,86E+01	1,01E+01	4,79E+00	4,96E+00	5,10E+01



Obrázek 116: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (C2.1, denní směna)

Potenciál porušení ozónové vrstvy (ODP) je dominantně ovlivněn dopadem způsobeným hydroizolační vrstvou. Výměna hydroizolační vrstvy v roce 40 a 80 tvoří největší příspěvek ve srovnání s ostatními procesy, které dosahují velmi nízkých hodnot (řádově  $10^{-7}$  nebo méně). V ostatních kategoriích dominují dopady plynoucí z tvorby dopravní zácpy, údržby betonové mostovky a povrchu vozovky. Je vidět, že příspěvek plynoucí z údržby ocelových nosníků, konkrétně aplikace protikorozního nátěru, je ve srovnání s ostatními minimální. Stejný vysvětlení platí i pro scénář práce během noční směny.

Výsledky získané pro scénář noční práce v provozní fázi referenční případové studie C2.1 jsou zobrazeny na obrázku 117.



Obrázek 117: Posouzení příspěvků jednotlivých prvků ve fázi provozu (C2.1, noční směna)

Z obou scénářů je patrné, že hlavní příspěvek pro všechny kategorie dopadů pochází z údržby povrchu vozovky, údržby ocelových nosníků a z vlivu dopravní zácpy. Z tabulky 90 lze vyčíst, že scénář práce během noční směny má obecně nižší dopad než práce během denní směny. Všechny parametry kromě hustoty provozu jsou pro oba scénáře shodné. Snížení dopadů je tedy možné připsat pouze nižšímu zatížení dopravou během noční směny. Tabulka 91 porovnává výsledky obou pracovních scénářů s důrazem na vliv dopravní zácpy. Dopad na životní prostředí je v případě práce během noční směny snížen o 17, až 19 %.

Tabulka 90: Porovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu mezi denní a noční směnou [C2.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C2.1 Den	Případ C2.1 Noc	Změna vzhledem k C2.1 Den
ADP Fossil	MJ	1,07E+07	9,45E+06	-11,5%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,75E+02	6,12E+02	-9,4%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,09E+02	9,85E+01	-9,7%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,13E+05	2,01E+05	-5,7%
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	5,12E-03	0,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,19E+02	1,10E+02	-7,6%

Tabulka 91: Porovnání vlivu mezi denní a noční směnou pokud je zohledněn pouze vliv dopravní zácpy [C2.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C2.1 Den	Případ C2.1 Noc	Změna vzhledem k C2.1 Den
ADP Fossil	MJ	7,03E+06	5,80E+06	-17,4%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,55E+02	2,92E+02	-17,9%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,99E+01	4,93E+01	-17,7%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	6,43E+04	5,22E+04	-18,9%
ODP	Kg R11 eq.	2,23E-07	1,81E-07	-18,6%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	5,10E+01	4,19E+01	-17,8%

- **Posouzení vlivu případové studie C2.2 na životní prostředí**

Výsledky pro případovou studii C2.1 ve fázi provozu jsou zobrazeny v tabulce 92 pro práci během denní i noční směny.

Tabulka 92: Porovnání vlivu na životní prostředí ve fázi provozu mezi denní a noční směnou [C2.2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C2.2 Den	Případ C2.2 Noc	Změna vzhledem k C2.2 Den
ADP Fossil	MJ	1,11E+07	9,85E+06	-11,3%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,78E+02	6,13E+02	-9,6%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,13E+02	1,02E+02	-9,6%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,12E+05	1,99E+05	-5,9%
ODP	Kg R11 eq.	5,17E-03	5,17E-03	0,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,14E+02	1,04E+02	-8,1%

Jak bylo očekáváno, scénář noční práce vede ke snížení dopadů. Snížení (7,3%) není tak velké kvůli poměrně malé hustotě provozu na mostech. Případ C2.2 je ve fázi provozu porovnáván s referenčním případem C2.1 pro případ práce během denní i a noční směny, viz tabulka 93 a 94.

Tabulka 93: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ C2.2 vzhledem k C2.1 (denní směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C2.1	Případ C2.2	Změna vzhledem k C2.1
ADP Fossil	MJ	1,07E+07	1,11E+07	+4,0%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,75E+02	6,78E+02	+0,4%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,09E+02	1,13E+02	+3,2%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,13E+05	2,12E+05	-0,8%
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	5,17E-03	+1,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,19E+02	1,14E+02	-4,8%

Tabulka 94: Dopady na životní prostředí ve fázi provozu pro případ C2.2 vzhledem k C2.1 (noční směna)

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C2.1	Případ C2.2	Změna vzhledem k C2.1
ADP Fossil	MJ	9,45E+06	9,85E+06	+4,2%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	6,12E+02	6,13E+02	+0,2%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	9,85E+01	1,02E+02	+3,3%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	2,01E+05	1,99E+05	-0,9%
ODP	Kg R11 eq.	5,12E-03	5,17E-03	+1,0%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,10E+02	1,04E+02	-5,4%

Ve fázi provozu, vede variantní případ C2.2 ve většině kategorií k vyšším dopadům ve srovnání s referenčním případem C2.1.

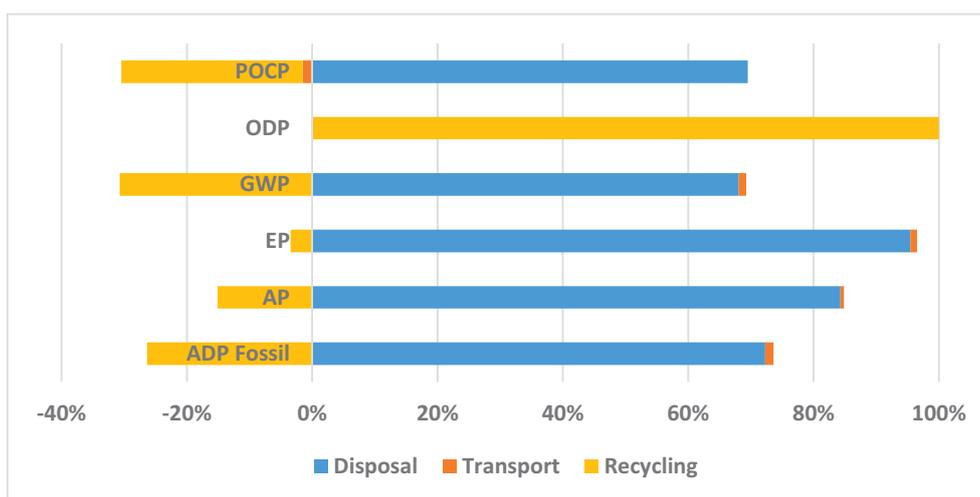
#### 4.2.3.4 Fáze konec života

- Posouzení vlivu referenční případové studie C2.1 na životní prostředí

Celkové emise pro každou kategorii dopadu v fázi životního cyklu jsou uvedeny v tabulce 95. Graf na obrázku 118 zobrazuje příspěvek každého procesu pro jednotlivé kategorie dopadu. Největší zátěž pro životní prostředí představuje ukládání betonu a asfaltových materiálů na skládku, zatímco transport materiálů zatěžuje životní prostředí nejméně. Záporné hodnoty na obrázku 118 představují přínosy vyplývající z recyklace materiálu.

Tabulka 95: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života [C2.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Uložení	Doprava	Recyklace
ADP Fossil	MJ	1,92E+06	2,94E+06	5,48E+04	-1,07E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,12E+03	1,36E+03	8,88E+00	-2,43E+02
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,80E+02	1,84E+02	2,11E+00	-6,71E+00
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,29E+05	2,27E+05	3,98E+03	-1,03E+05
ODP	Kg R11 eq.	3,25E-03	2,23E-06	1,33E-09	3,25E-03
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,32E+01	1,30E+02	-2,80E+00	-5,43E+01



Obrázek 118: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [C2.1]

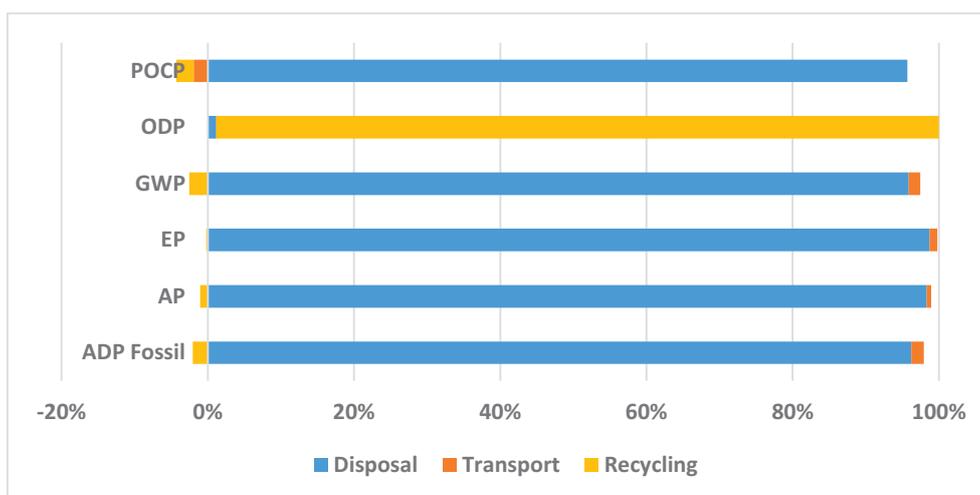
- Posouzení vlivu případové studie C2.2 na životní prostředí

Celkové emise pro každou kategorii dopadu v fázi životního cyklu jsou uvedeny v tabulce 96. Graf na obrázku 119 zobrazuje příspěvek každého procesu pro jednotlivé kategorie dopadu. Největší zátěž pro životní prostředí představuje ukládání betonu a asfaltových materiálů na

skládku, zatímco transport materiálů zatěžuje životní prostředí nejméně. Záporné hodnoty na obrázku 119 představují přínosy vyplývající z recyklace materiálu.

Tabulka 96: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života [C2.2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Uložení	Doprava	Recyklace
ADP Fossil	MJ	4,00E+06	4,02E+06	7,05E+04	-8,60E+04
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,84E+03	1,85E+03	1,14E+01	-1,95E+01
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	2,54E+02	2,52E+02	2,71E+00	-5,37E-01
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	3,08E+05	3,11E+05	5,12E+03	-8,22E+03
ODP	Kg R11 eq.	2,64E-04	3,04E-06	1,71E-09	2,60E-04
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,70E+02	1,78E+02	-3,60E+00	-4,35E+00

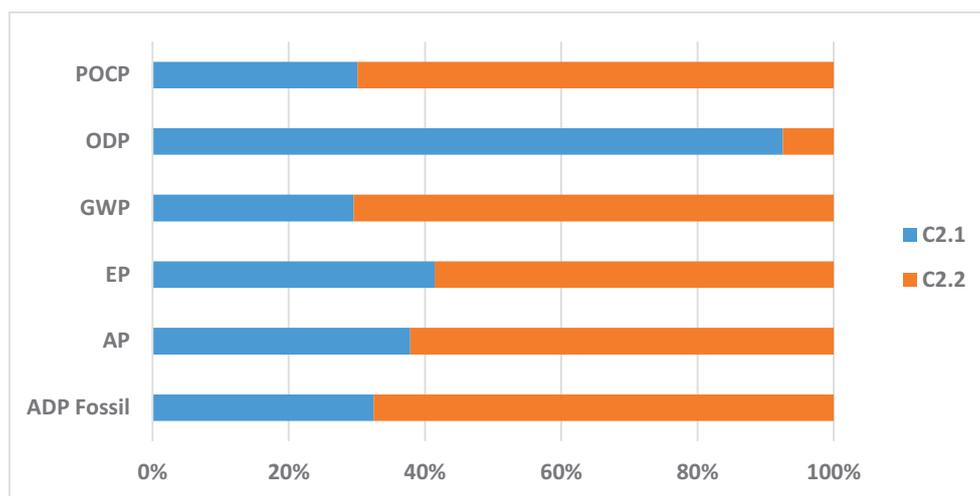


Obrázek 119: Posouzení příspěvků jednotlivých procesů ve fázi konec života [C2.2]

Výsledky obou případů jsou shrnuty a porovnány v tabulce 97 a na obrázku 120.

Tabulka 97: Dopady na životní prostředí ve fázi konec života pro případ C2.2 vzhledem k C2.1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C2.1	Případ C2.2	Změna vzhledem k C2.1
ADP Fossil	MJ	1,92E+06	4,00E+06	+108,3%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	1,12E+03	1,84E+03	+64,5%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	1,80E+02	2,54E+02	+41,4%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,29E+05	3,08E+05	+138,9%
ODP	Kg R11 eq.	3,25E-03	2,64E-04	-91,9%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7,32E+01	1,70E+02	+132,4%



Obrázek 120: Poměr mezi dopadem případu C2.1 a C2.2 do jednotlivých kategorií

Z výše uvedených informací, lze usoudit, že v fázi životního cyklu vede referenční varianta, případ C2.1, k nižším hodnotám dopadu do životního prostředí, kvůli použití konstrukční oceli, což je recyklovatelný materiál. Nicméně, v kategorii dopadu ODP má případ C2.1 větší dopad, který je způsoben právě procesem recyklace. Povšimněte si, že dopady jsou velmi malé (v řádu  $10^{-2}$  nebo méně).

#### 4.2.3.1 Výsledky posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí

- Souhrnné výsledky životního cyklu pro případovou studii C2.1

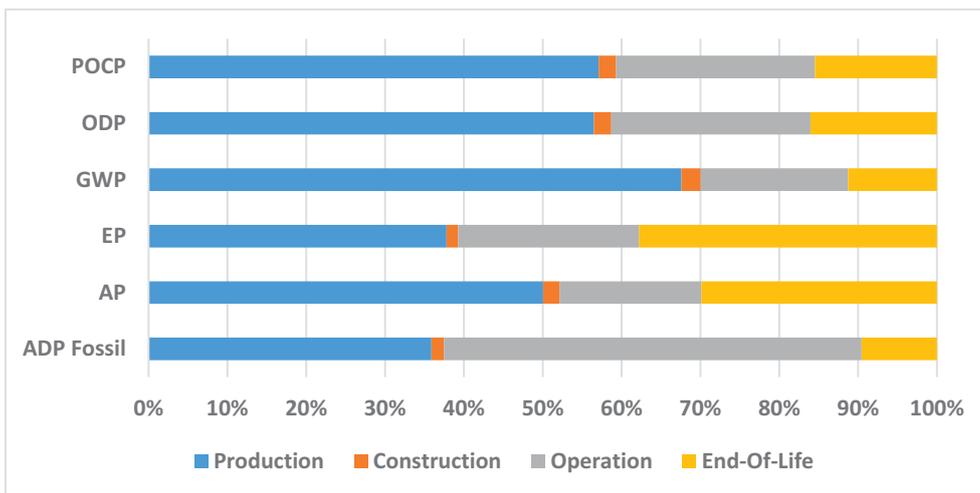
V předchozích částech byly prezentovány dílčí výsledky pro každou fázi. V pododdílu jsou výsledky jednotlivých fází shrnuty ve vztahu k jednotlivým kategoriím dopadu. Výsledky pro práci během denní směny jsou uvedeny v tabulce 98.

Tabulka 98: Shrnutí vlivu životního cyklu na životní prostředí podle kategorií dopadu [C2.1]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Produkce	Výstavba	Provoz	Konec života
ADP Fossil	MJ	2,01E+07	7,23E+06	3,19E+05	1,07E+07	1,92E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,75E+03	1,88E+03	7,77E+01	6,75E+02	1,12E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	4,76E+02	1,80E+02	7,05E+00	1,09E+02	1,80E+02
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,14E+06	7,72E+05	2,81E+04	2,13E+05	1,29E+05
ODP	Kg R11 eq.	2,03E-02	1,15E-02	4,45E-04	5,12E-03	3,25E-03
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4,73E+02	2,70E+02	1,04E+01	1,19E+02	7,32E+01

Pro lepší porozumění příspěvku z každé fáze jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 121.

Fáze výroby materiálu má celkově největší vliv ve všech kategoriích dopadu, průměrně 50,8 %. Fáze provozu má druhý největší vliv, průměrně přispívá 27,2 %, poměr vlivu fáze ukončení života na celkový dopad je menší, ale nezanedbatelný, průměrně 20 %, zatímco příspěvek fáze výstavby je zanedbatelný, průměrně 2 % z celkového dopadu do životního prostředí.



Obrázek 121: : Příspěvek každé fáze životního cyklu podle kategorie dopadů [C2.1]

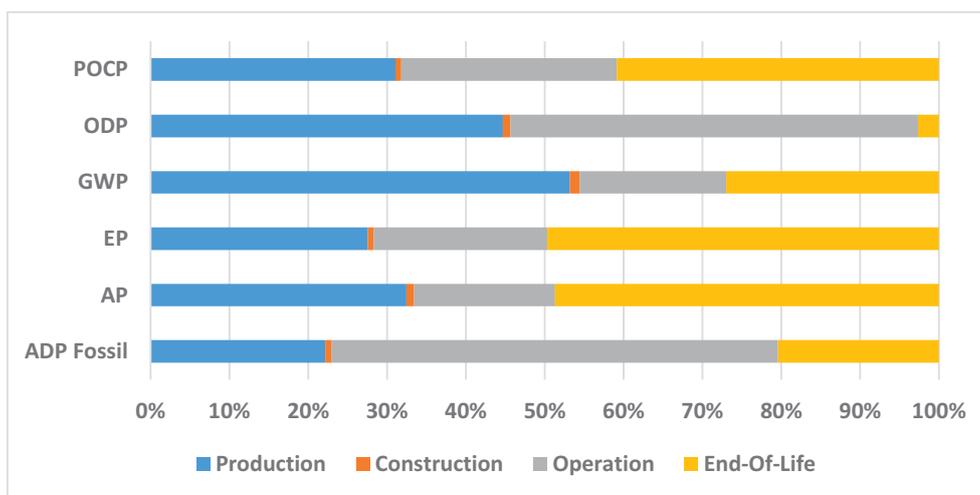
- Souhrnné výsledky životního cyklu pro případovou studii C2.2

V předchozích částech byly prezentovány dílčí výsledky pro každou fázi. V pododdílu jsou výsledky jednotlivých fází shrnuty ve vztahu k jednotlivým kategoriím dopadu. Výsledky pro práci během denní směny jsou uvedeny v tabulce 99.

Tabulka 99: Shrnutí vlivu životního cyklu na životní prostředí podle kategorií dopadu [C2.2]

Kategorie dopadu	Jednotka	Celkem	Produkce	Výstavba	Provoz	Konec života
ADP Fossil	MJ	1,96E+07	4,35E+06	1,63E+05	1,11E+07	4,00E+06
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,79E+03	1,23E+03	3,76E+01	6,78E+02	1,84E+03
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	5,12E+02	1,41E+02	4,02E+00	1,13E+02	2,54E+02
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,14E+06	6,06E+05	1,44E+04	2,12E+05	3,08E+05
ODP	Kg R11 eq.	1,00E-02	4,47E-03	9,43E-05	5,17E-03	2,64E-04
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4,16E+02	1,29E+02	3,01E+00	1,14E+02	1,70E+02

Jak je patrné z obrázku 122, fáze výroby materiálu přispívá k celkovému dopadu nejvíce, průměrně 35,3 %, po něm následuje fáze konec života, fáze provozu a fáze výstavby, které přispívají k celkovému dopadu 34 %, 19,9 % a 1,6 %. Porovnáním hodnot z tabulky 98 a 99 lze zjistit, že betonová varianta má výrazně větší dopad na životní prostředí ve fázi provozu a fázi ukončení života.



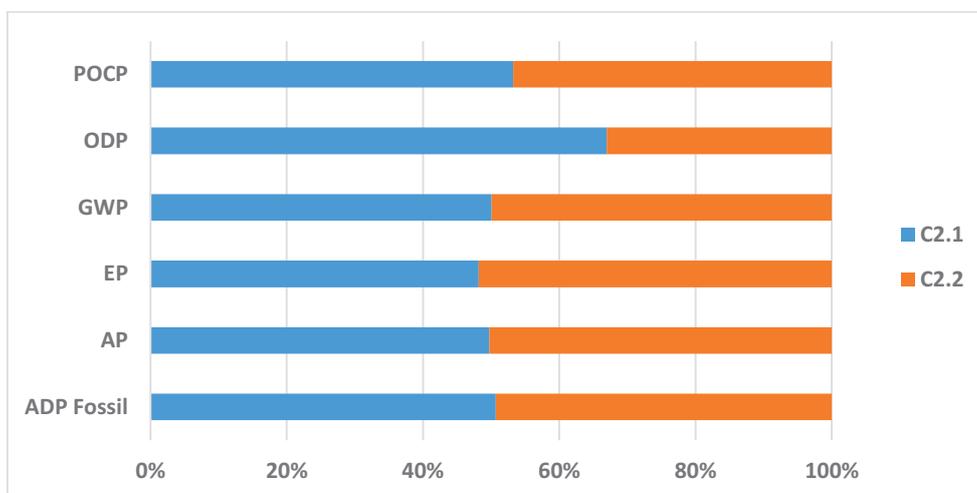
Obrázek 122: Příspěvek každé fáze životního cyklu podle kategorie dopadů [C2.2]

Výsledky získané pro případ C2.2 jsou porovnány s referenčním případem C2.1 v tabulce 100, v obou případech je uvažovaná práce během denní směny.

Tabulka 100: Souhrnné výsledky dopadu do životního prostředí pro případ C2.2 ve srovnání s C2.1

Kategorie dopadu	Jednotka	Případ C2.1	Případ C2.2	Změna vzhledem k C2.1
ADP Fossil	MJ	2,01E+07	1,96E+07	-2,7%
AP	Kg SO <sub>2</sub> eq.	3,75E+03	3,79E+03	+1,0%
EP	Kg PO <sub>4</sub> eq.	4,76E+02	5,12E+02	+7,6%
GWP	Kg CO <sub>2</sub> eq.	1,14E+06	1,14E+06	-0,2%
ODP	Kg R11 eq.	2,03E-02	1,00E-02	-50,7%
POCP	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	4,73E+02	4,16E+02	-12,1%

Pro lepší porovnání celkového vlivu obou případových studií jsou výsledky zobrazeny v grafu na obrázku 123.



**Obrázek 123: Relativní příspěvek případu C2.2 a C2.1 podle jednotlivých kategorií dopadu**

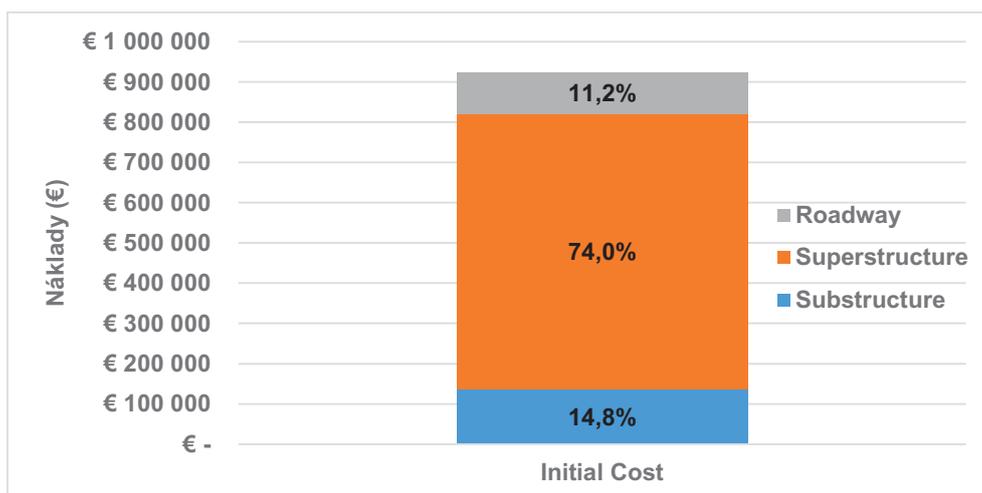
Z výše uvedených informací, lze usoudit, že referenční příklad C2.1 má příznivější výsledky v kategoriích ADP Fossil, AP, EP, a GWP. Nicméně v kategorii ODP a POCP má lepší výsledky příklad C2.2. Největší rozdíl mezi oběma varianty je v potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP). Varianta C2.1 má v kategorii větší dopad, protože se emise uvolňují během fáze výroby, výstavby a recyklace oceli. Všimněte si, že dopady jsou obecně malé velikosti (řádově  $10^{-2}$  nebo nižší).

#### 4.2.4 Posouzení nákladů na životní cyklus

##### 4.2.4.1 Počáteční náklady

- Posouzení referenční případové studie C2.1

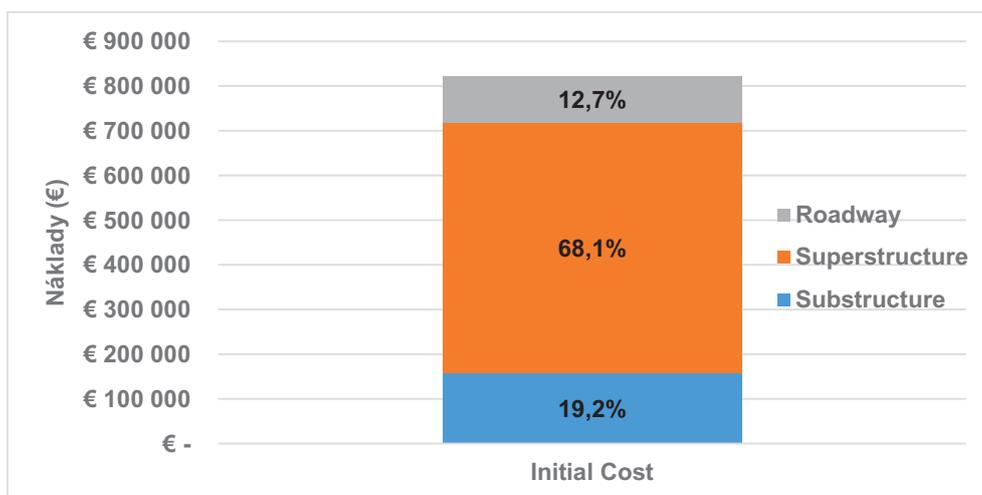
Počáteční náklady na stavbu včetně nákladů na přepravu materiálu činí 928 779,30 €. Pro plochu mostů  $2 \times 422,85 \text{ m}^2$  to odpovídá ceně cca 1098,2 €/m<sup>2</sup>. Graf na obrázku 124 znázorňuje podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou vypočteny na základě výkazu materiálu a jednotkové ceny uvedené v tabulce 84.



Obrázek 124: Počáteční náklady C2.1

- Posouzení variantní případové studie C2.2

Počáteční náklady na stavbu včetně nákladů na přepravu materiálu pro variantní případovou studii činí 826 410,9 €. Pro plochu mostů  $2 \times 422,45 \text{ m}^2$  to odpovídá ceně cca 978,1 €/m<sup>2</sup>. Graf na obrázku 125 znázorňuje podíl nákladů na spodní stavbu, nosnou konstrukci a vybavení, které jsou vypočteny na základě výkazu materiálu a jednotkové ceny uvedené v tabulce 84.



Obrázek 125: Počáteční náklady C2.2

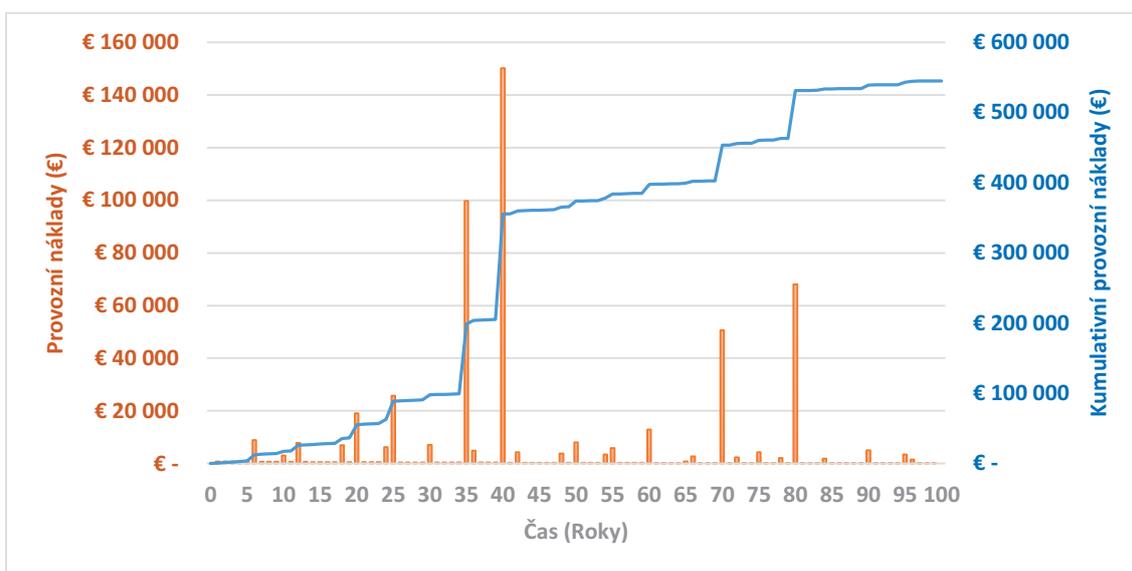
#### 4.2.4.2 Provozní náklady

Vedle nákladů na údržbu jsou v následujících grafech zahrnuty náklady spojené s inspekčními pracemi.

Během časového období 100 let se předpokládá, že posuzované mosty budou udržovány a opravovány podle plánu uvedeného v příloze - tabulka A1, definice standardního scénáře údržby. Vedle nákladů na údržbu zahrnuje následující graf náklady spojené s kontrolou mostu.

- Posouzení referenční případové studie C2.1

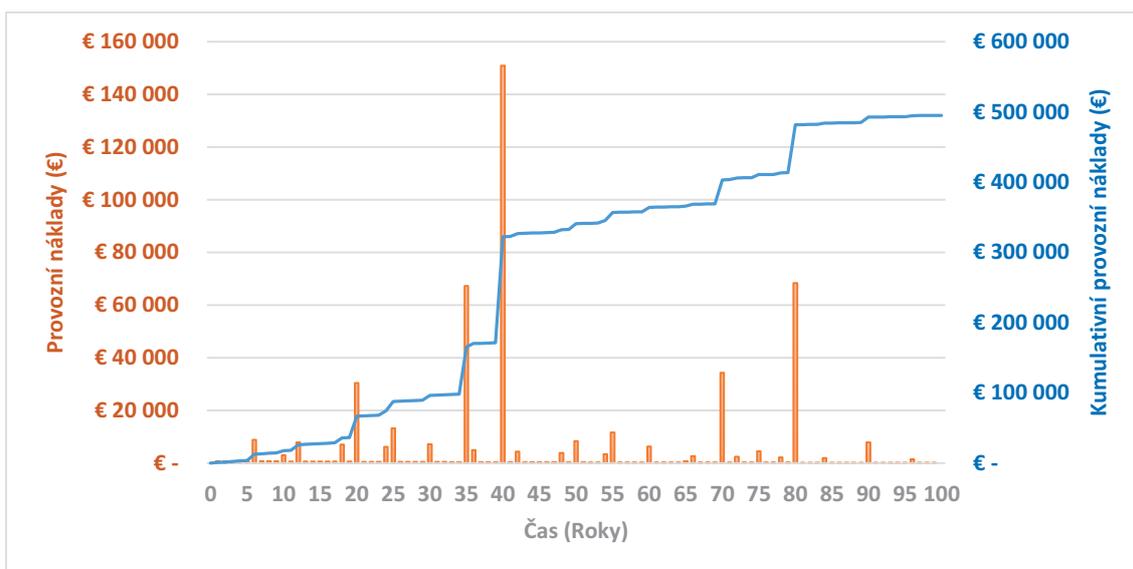
Roční provozní náklady jsou vypočteny na základě jednotkových nákladů a frekvencí uvedených v tabulce A1. Náklady jsou zobrazeny v grafu na obrázku 126 spolu s čistými současnými hodnotami akumulovaných nákladů s uvažovanou diskontní sazbou ve výši 2 %. Vysoká hodnota provozních nákladů v roce 40 je výsledkem práce na výměně povrchu vozovky a dilatačních spár. Jednotkové náklady spojené s výměnou dilatačních spár jsou vysoké a navyšují provozní náklady. Výměna dilatačních spár se ouje v roce 80. Špička v grafu již není tak výrazná, protože se s časem zvyšuje devalvace peněz, při přepočtu nákladů na čistou současnou hodnotu. Ve stejných letech se provádí údržba betonové mostovky. Špičky v letech 35 a 70 se nao týkají nákladů vzniklých při údržbových pracích na ložiscích a obnově protikorozi ochrany.



Obrázek 126: Provozní náklady C2.1 během života mostu

- Posouzení referenční případové studie C2.2

Roční provozní náklady jsou vypočteny na základě jednotkových nákladů a frekvencí uvedených v tabulce A1. Náklady jsou zobrazeny v grafu na obrázku 127 spolu s čistými současnými hodnotami akumulovaných nákladů s uvažovanou diskontní sazbou ve výši 2 %. Vysoká hodnota provozních nákladů v roce 40 je výsledkem práce na výměně povrchu vozovky a dilatačních spár. Jednotkové náklady spojené s výměnou dilatačních spár jsou vysoké a navyšují provozní náklady.



Obrázek 127: Provozní náklady C2.2 během života mostu

Mezi variantami jsou rozdíly v provozních nákladech i pro stejná období životního cyklu mostu. Například provozní náklady případu C2.2 v letech 35 a 70 se týkají nákladů vzniklých při údržbě ložisek. Příklad C2.2 vyžaduje údržbu osmi ložisek, na rozdíl od případu C2.1, který má pouze čtyři ložiska.

#### 4.2.4.3 Náklady na konci životnosti

Shrnutí nákladů na ukončení života konstrukce pro případy C2.1 a C2.2 je uvedeno v tabulkách 101 a 102. Betonová varianta, případ C2.2, má o 12,3 % vyšší náklady na ukončení života než ocelobetonová varianta, případ C2.1.

Tabulka 101: Náklady na ukončení života C2.1

Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	307,76	-3492,68	50	63,72
Beton	2448	3379,05	50	506,86
Zemní práce	10920	75366,00	10	452,20
Asfalt	163,2	1126,35	20	13,52
Jiné		81,52		0,00
Součet (€)				77496,53
Demoliční náklady (€)				11663,01
<b>Celkem (€)</b>				<b>89159,55</b>

Tabulka 102: Náklady na ukončení života C2.2

Materiál	Hmotnost (tuny)	Náklady na likvidaci či hodnota šrotu (€)*	Vzdálenost (km)	Cena dopravy (€)*
Ocel**	152,86	-1476,98	50	31,65
Beton	3408	4704,16	50	705,62
Zemní práce	12000	82819,78	10	496,92
Asfalt	155,25	1071,48	20	12,86
Jiné		82,49		0,00
Součet (€)				88447,98
Demoliční náklady (€)				11663,01
<b>Celkem (€)</b>				<b>100111,00</b>

(\*) Uvažovaná cena uložení betonového odpadu 10 €/t, cena tuny šrotu 100 €/t a cena přepravy 0,03 €/t/km.

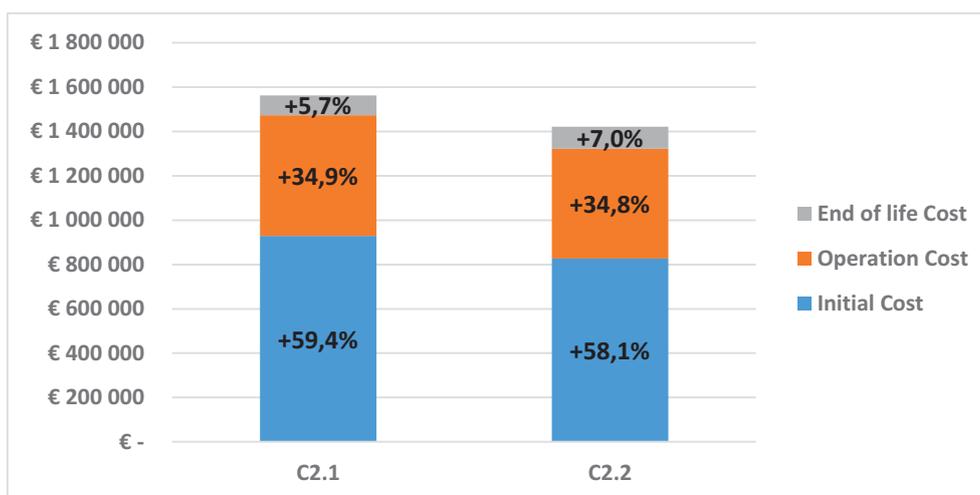
(\*\*) Výše vypočtené množství oceli zahrnuje jak ocelovou výztuž, tak nosníky, plechy a přípoje z konstrukční oceli.  
Poznámka: Náklady jsou uvedeny v současné hodnotě vypočtené podle rovnice 2 s diskontní sazbou 2 %.

#### 4.2.4.1 Celkové náklady na životní cyklus

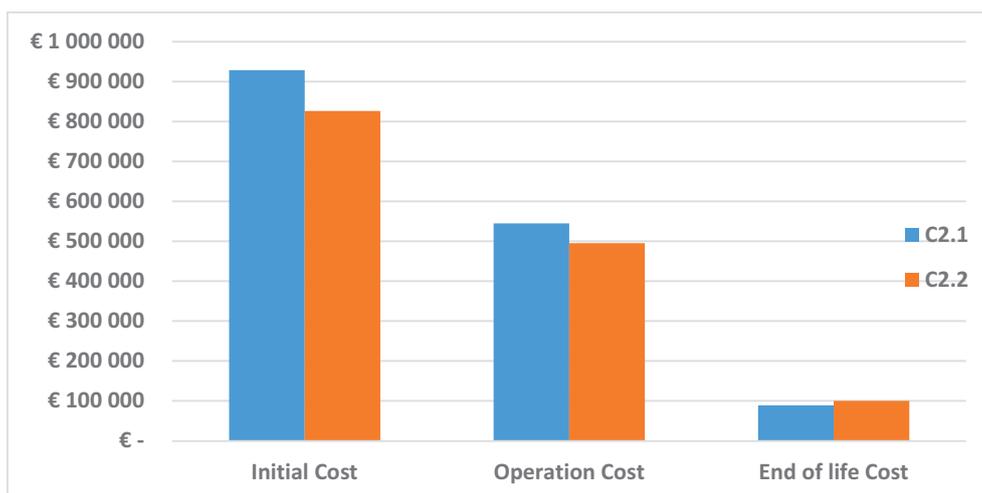
Sečtením nákladů pro případovou studii C2.1 z předchozích částí, se získá hodnota 1 562 781,9 €, což je čistá současná hodnota nákladů na životní cyklus (LCC) při uvážení 2% diskontní sazby. To představuje celkové náklady přibližně 1847,92 €/m<sup>2</sup>. Celková současná hodnota nákladů na životní cyklus (LCC) pro případ C2.2 je 1 421 637,6 € se stejnou 2% diskontní sazbou. To představuje celkové náklady přibližně 1682,61 €/m<sup>2</sup>. Náklady na mosty pro každou fázi zvlášť jsou shrnuty v tabulce 103 a zobrazeny v grafech na obrázcích 128 a 129.

Tabulka 103: Srovnání nákladů na životní cyklus mezi C2.1 a C2.2

	Případ C2.1 (€)	Případ C2.2 (€)	Změna vzhledem k C2.1
Počáteční náklady	928779,3	826410,9	-11,0%
Provozní náklady	544843,0	495043,4	-9,1%
Náklady na konci životnosti	89159,5	100183,3	+12,4%
<b>Celkové náklady</b>	<b>1562781,9</b>	<b>1421637,6</b>	<b>-9,0%</b>



Obrázek 128: Celkové náklady na životní cyklus C2.1 a C2.2 (bez uživatelských nákladů)



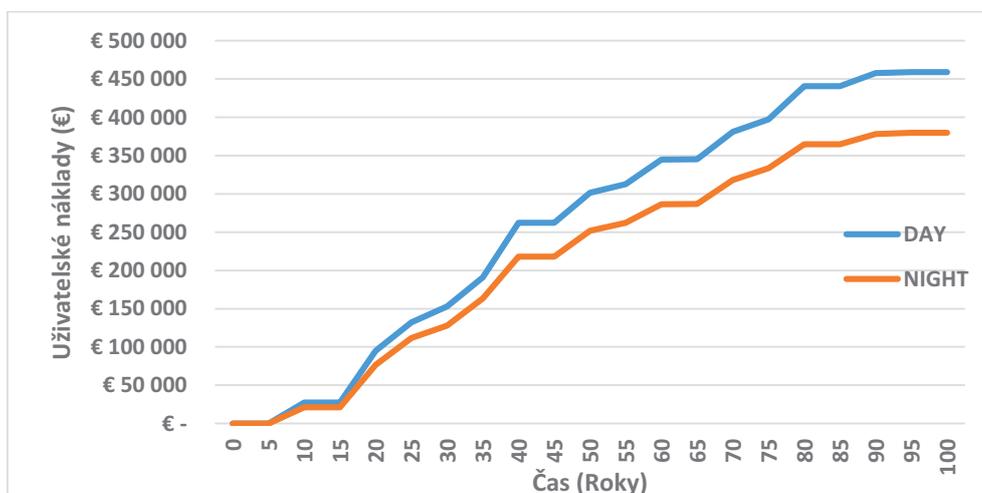
Obrázek 129: Srovnání nákladů na životní cyklus C2.1 a C2.2

Ocelobetonová varianta se zdá být dražší, ve fázi výstavby a provozu, ve fázi konce životnosti je výhodnější. I přesto, má případ C2.2 ve srovnání s případem C2.1 o 17,9 % nižší celkové náklady na životní cyklus (LCC). Náklady na ukončení života jsou mnohem nižší než náklady na provoz nebo náklady na výstavbu vzhledem k tomu, že náklady vznikají v roce 100 a jsou diskontovány roční diskontní sazbou stanovenou na 2%.

#### 4.2.5 Sociální analýza životního cyklu

Pro výpočet uživatelských nákladů byly posouzeny dva scénáře údržby: (i) scénář den, kdy se většina prací provádí během dne (od 6:00 do 22:00) a na mostě je uzavřen jeden jízdní pruh kvůli hlavní údržbářským pracím (výměna povrchu vozovky); (ii) scénář noc, který je obdobný jako scénář den s tím rozdílem, že většina údržbářských prací probíhá během noci (od 22:00 do 6:00).

Graf na obrázku 130 zobrazuje uživatelské náklady pro případovou studii C2.1 se scénářem den a noc. Negativní vlivy údržby pro uživatele jsou sníženy, pokud se práce provádí v noci, protože je provoz slabší než během dne. Pro scénář noc vycházejí uživatelské náklady o 17,3 % nižší.



Obrázek 130: Uživatelské náklady na C2.1 s pracovním plánem den a noční

Z obrázku 131 je dále patrné, že uživatelské náklady případové studie C2.1 jsou nižší, než pro případovou studii C2.2, a to o 7,4%, protože údržba betonového mostu trvá více času. Ocelové nosníky ocelobetonové varianty je nutné udržovat, především jejich protikorozní ochranu, což u betonové varianty odpadá. Betonová varianta má 8 ložisek, dvakrát více oproti ocelobetonové variantě, a jejich údržba vyžaduje více času. Skutečnost vede k významnému rozdílu v čase potřebném pro údržbu. Údržba ocelobetonového mostu, během celého životního cyklu trvá 194 dní, zatímco u betonového 211 dní. Čím delší je doba údržby, tím vyšší jsou uživatelské náklady.



Obrázek 131: Uživatelské náklady pro případy C2.1 a C2.2 se scénářem práce den

#### 4.2.6 Závěry z výsledků případové studie C2

V případové studii pro malé dálniční mosty je z výsledků posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí patrné, že fáze výroby materiálu a fáze provozu zdaleka dominují všem kategoriím dopadů. Výroba stavebních materiálů a dopravní zácpy způsobené pracovní činností jsou hlavními příčinami ekologické zátěže při posouzení celého životního cyklu. Ve fázi provozu jsou dopady způsobeny zejména dopravními zácpami. Usuzuje se, že nejvíce lze zlepšit výsledky prováděním údržbářských prací v noci. Práce během noční směny snižují dopady na životní prostředí v důsledku skutečnosti, že hustota provozu je během noci menší.

Referenční příklad C2.1 má ve srovnání s C2.2 menší dopad na životní prostředí z hlediska acidifikace, eutrofizace, porušení abiotické složky prostředí (vyčerpání fosilních paliv) a potenciálů globálního oteplování. Proti tomu, případ C2.2 je výhodnější z hlediska potenciálu porušení ozónové vrstvy a potenciálu tvorby přízemního ozonu. Největší rozdíl mezi oběma varianty je v potenciálu porušení ozónové vrstvy (ODP). Varianta C2.1 má v kategorii větší dopad, protože se emise uvolňují během fáze výroby, výstavby a recyklace oceli. Všimněte si, že dopady jsou obecně malé velikosti (řádově  $10^{-2}$  nebo nižší). Celkově lze říci, že oba příklady mají srovnatelný vliv na životní prostředí.

Pokud jde o náklady na životní cyklus, je zřejmé, že počáteční cena ocelobetonového mostu je vyšší (o 11,2 %) z důvodu vyšších nákladů na výrobu materiálu a výstavbu. Vypočtené provozní náklady jsou vyšší, a to o 9,1 %. Ocelobetonový most má lepší výsledky ve fázi ukončení života, v fázi jsou náklady nižší proti betonové variantě o 12,4 %. Výhoda plyne ze skutečnosti, že ocelobetonový most obsahuje velké množství oceli, kterou lze recyklovat.

Vyšší hodnoty LCC pro případ C2.1 jsou způsobeny tím, že počáteční náklady představují přibližně 59,4 % celkových nákladů na most. Provozní náklady a náklady na ukončení života představují 64,9 % a 5,7 % z celkových nákladů. Na druhou stranu, případ C2.2 vyžaduje o 9,1% více provozních nákladů, protože čas potřebný pro údržbu je vyšší. Stejný závěr lze vyvodit z uživatelských nákladů.

Společenské aspekty sociální analýzy životního cyklu (LCA) ukazují, že práce během noční směny je příznivá pro snížení uživatelských nákladů. Posouzení ukázalo, že uživatelské náklady vypočítané pro ocelobetonový most jsou nižší, než náklady vypočtené pro betonový most. Rozdíl v uživatelských nákladech mezi těmito dvěma mosty by byl ještě výraznější, pokud by byla hustota dopravy vyšší nebo by byl provoz i pod mostem. Z toho vyplývá, že pro vyšší průměrný denní provoz (ADT), by byla při posouzení LCS a LCC ocelobetonová varianta výhodnější.

## 5 SHRUTÍ A ZÁVĚRY

V projektu spojili své znalosti a zkušenosti z oboru ocelobetonových mostů evropští partneři z univerzit, výzkumných středisek, dopravních úřadů, projekčních kanceláří a výrobci oceli. Mosty nebyly posouzeny pouze s ohledem na počáteční náklady a funkci, jak je běžné, ale zohlednil se celý životní cyklus. Degradční procesy jako např. únava, koroze a karbonatace se uvažují na dobu, na kterou jsou mosty navrženy. Pozornost je věnována kontrole a údržbě. Funkční kvalita byla kombinována s ekologickou a ekonomickou. Tímto holistickým přístupem (LCA, LCC a LCS) byl posouzen celý životní cyklus.

Jako typické aplikace byly v závislosti na rozpětí a funkci vybrány tři typy mostů. Malé jednopólové dálniční mosty, s rozpětím téměř 35 m, využívající ocelobetonové nosníky nebo prefabrikované předpjaté betonové nosníky, jsou označeny jako případ C2. Vícepólové dálniční mosty, s konstrukčním systémem spojitého nosníku s celkovou délkou 308 m, pnuté přes devět polí, byly studovány jako případ C1. Případ A obsahuje dálniční nadjezdy o rozpětí 40 – 50 m. Umožňuje srovnání mezi různými řešeními opěr (integrováný most a most se závěry) a různými podepřeními (jednopólové a dvoupólové mosty). Dálniční most s rozpětím až 166 m s ocelobetonovým spřaženým průřezem je zařazen jako případ B1.

Byl vybrán rozsáhlý počet případových studií, viz tabulka 7. Mosty byly rozřazeny podle typu a posouzeny. Základem byla rozsáhlé podklady, které byly získány a porovnány pro různé zúčastněné evropské země. Podrobný souhrn dat byl uložen do databáze. Mosty jsou navrhovány s životností více než 100 let. Fáze provozu hraje v udržitelnosti hlavní roli. Zvláštní pozornost byla věnována sestavování a porovnávání strategií kontrol a údržby. Byl vypracován standardní scénář včetně frekvencí, nákladů, omezení provozu během akce, potřebného vybavení apod. Pro údržbu byly definovány průměrné životnosti mostních prvků a popsány nezbytné kroky údržby. Dále byly připraveny dva specifické scénáře a) nedostatek finančních prostředků a b) prodloužená životnost. U obou scénářů byly stanoveny další předpoklady a frekvence činnosti údržby.

Případové studie byly navrženy podle požadavků norem a vyhlášek. Výkaz materiálu slouží na stanovení nákladů na životní cyklus a posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí. Po uvedení do provozu začnou mosty degradovat. Aby byl stav mostu udržen nad určitou hranicí, jsou nutné kontroly, údržba a opravy. Každý zásah způsobuje dopady do životního prostředí a nákladů na životní cyklus, které je třeba vzít v úvahu. Proto musí být známa výtěžnost konstrukce mostu. Na ní přímo závisí environmentální a ekonomické posouzení. Pro posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí byly stanoveny okrajové podmínky, které zahrnují fáze života mostu od získání surovin až po demolici na konci životnosti, včetně následné recyklace. V rámci posouzení bylo využito sedm indikátorů vlivu na životní prostředí.

Do nákladů na životní cyklus byly zahrnuty hodnoty od návrhu až po konec životnosti mostu. Pro porovnání minulých a budoucích peněžních toků se současnými byly využity následující předpoklady. Roční diskontní sazba byla stanovena pro LCC jako 2 % pro životnost 100 let ve standardním scénáři údržby a scénáři nedostatek finančních prostředků. Pro životnost 130 let se uvažovala ve scénáři prodloužená životnost. Sociální analýza životního cyklu byla posouzena s uvažováním uživatelských nákladů. Uživatelské náklady představují náklady způsobené údržbovými operacemi, které vedou k dopravní zácpě nebo narušení plynulosti provozu. Uživatelské náklady byly rozděleny na náklady na zpoždění řidiče a náklady na provoz vozidla.

Vytvořené databáze, posouzení výtěžnosti životního cyklu, posouzení vlivu na životní prostředí a posouzení nákladů na životní cyklus, byly integrovány do holistického přístupu a ukázány na případových studiích. Pro každý typ mostu lze uvést následující závěry:

### **Případ A- Dálniční nadjezdy**

V případě dálničních nadjezdů dominuje vliv fáze výroby materiálu a fáze provozu všem kategoriím dopadů na životní prostředí. Obecně jsou dopady nižší pro integrovaný ocelobetonový most. U dálničních nadjezdů zaznamenala varianta integrovaného mostu velkou výhodu, protože není nutné provádět údržbu ložisek a dilatačních závěrů, a tím pádem dochází ke snížení objemu dopravních komplikací vlivem dopravních omezení.

Pokud jde o LCC, integrovaný ocelobetonový most (A1) má vyšší počáteční náklady v porovnání s betonovou variantou. Pokud byly zváženy pouze počáteční náklady, vycházela ocelobetonová varianta (A3) lépe než betonová varianta (A2) i než integrované řešení (A1). Integrovaný most měl nižší provozní náklady, protože nevyžaduje údržbu ložisek a dilatačních závěrů. Protože integrovaný most nevyžaduje tolik údržby, nevytváří se během životního cyklu tolik dopravních komplikací a tím pádem jsou redukovány uživatelské náklady. Přesto tradiční ocelobetonové řešení vychází v celkovém posouzení nákladů na životní cyklus nepatrně lépe.

Posouzení LCA vykazuje, při uvážení alternativního scénáře údržby nedostatek finančních prostředků, snížení množství emisí ve všech kategoriích dopadu pro betonovou variantu mostu, zatímco pro integrovanou a běžnou ocelobetonovou variantu dochází v některých kategoriích ke snížení množství emisí, a v některých k jejich zvýšení. Scénář prodloužená životnost vede ve všech variantách vyšším dopadům na životní prostředí.

Posouzení LCC, při uvážení alternativních scénářů údržby vede k víceméně podobným ekonomickým dopadům v případě betonové varianty mostu. Zatímco v případě integrovaného mostu a tradičního ocelobetonového mostu vznikají dodatečné náklady proti standardnímu scénáři v obou alternativních scénářích údržby.

Posudek sociální analýzy životního cyklu potvrdil, že integrovaný a tradiční ocelobetonový most mají podobné výsledky při uvážení alternativní scénářů údržby. U obou variant došlo ke snížení uživatelských nákladů pro scénář nedostatek finančních prostředků a ke zvýšení nákladů pro scénář prodloužená životnost. Také u betonové varianty (A2) byly uživatelské náklady pro scénář nedostatek finančních prostředků nižší a pro scénář prodloužená životnost vyšší, než pro standardní scénář údržby.

Z výsledků lze vyvodit, že u takto malých rozpětí, je lepší využít integrované opěry, místo tradičních opěr (s ložisky a dilatačními spoji). Volba mezi železobetonovou variantou a ocelobetonovou variantou se řídí důrazem, který se přisoudí uživatelským nákladům a s tím spojenou důležitostí mostu pro plynulost dopravy.

### **Případ B- Velké dálniční mosty**

Podobné závěry týkající se vlivu životního cyklu na životní prostředí lze vyvodit pro velké dálniční mosty. Jako v předchozím případě dominuje vliv fáze výroby materiálu a fáze provozu.

Společenské aspekty (LCA) znovu ukazují, že práce během noční směny je příznivá pro snížení uživatelských nákladů. Uživatelské náklady vypočítané pro práci během denní a noční směny na stejném mostě vedly k rozdílu téměř 1,5 milionu €. Porovnání různých scénářů ukazuje, že scénář nedostatek finančních prostředků vyvolává nižší uživatelské náklady než standardní scénář, zatímco scénář prodloužená životnost vyvolává vyšší uživatelské náklady.

### **Případ C1 – Vícepolové dálniční mosty**

Z posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí bylo zjištěno, že fáze výroby materiálu a fáze provozu dominují všem kategoriím dopadu. Výroba stavebních materiálů a dopravní zácpy způsobené pracovní činností jsou hlavními příčinami ekologické zátěže při posouzení celého životního cyklu. Ve fázi provozu jsou dopady způsobeny zejména dopravními zácpami.

Z hlediska nákladů na životní cyklus je z případových studií patrné, že ocelobetonový most vykazuje výhodnější vlastnosti. Počáteční a provozní náklady pro ocelobetonový most jsou nižší než u betonové varianty. Ocelobetonový most je méně nákladný i ve fázi ukončení života, protože obsahuje velké množství oceli, kterou lze recyklovat. Společenské aspekty sociální analýzy životního cyklu (LCA) ukazují, že práce během noční směny je příznivá pro snížení uživatelských nákladů.

Při posuzování alternativních scénářů údržby bylo zjištěno, že scénář nedostatek finančních prostředků vedl ke snížení dopadů na životní prostředí jak u ocelobetonové varianty, tak u betonové varianty. Dále bylo z posouzení LCC a LCS usouzeno, že scénář nedostatek finančních prostředků vedl pro obě varianty mostu ke snížení provozních a uživatelských nákladů, proti standardnímu scénáři údržby. Snaha o prodloužení životnosti mostu reprezentovaná scénářem prodloužená životnost vedla ke zvýšení dopadu do životního prostředí ve všech kategoriích, došlo k navýšení provozních a uživatelských nákladů protože byla prodloužena životnost. U předpjaté betonové varianty, byla ve scénáři, i přesto že byla navýšena životnost mostu, dosažena nižší hodnota LCC.

### **Případ C2 – Malé jednopólové dálniční mosty**

V případové studii pro malé dálniční mosty, je z výsledků posouzení vlivu životního cyklu na životní prostředí patrné, že fáze výroby materiálu a fáze provozu zdaleka dominují všem kategoriím dopadů. Výroba stavebních materiálů a dopravní zácpy způsobené pracovní činností jsou hlavními příčinami ekologické zátěže při posouzení celého životního cyklu. Ve fázi provozu jsou dopady způsobeny zejména dopravními zácpami.

Pokud jde o náklady na životní cyklus, je zřejmé, že počáteční cena ocelobetonového mostu je vyšší z důvodu vyšších nákladů na výrobu materiálu a výstavbu. Provozní náklady jsou pro obě varianty, ocelobetonový i betonový most, víceméně stejné. Ocelobetonová varianta má lepší výsledky ve fázi ukončení života, vzhledem k tomu, že ocelobetonový most obsahuje velké množství oceli, kterou lze recyklovat.

Společenské aspekty sociální analýzy životního cyklu ukazují, že práce během noční směny je příznivá pro snížení uživatelských nákladů. Bylo zjištěno, že celkové výsledky jsou lepší,

pokud je údržba mostu prováděna v noci. Práce během noční směny vedou ke snížení uživatelských nákladů, protože hustota provozu je během noci nižší. Uživatelské náklady vypočítané pro oba typy mostů jsou pro danou hustotu provozu srovnatelné.

## REFERENCE

- [1] H. Gervásio, Sustainable design and integral life-cycle analysis of bridges. PhD Thesis, University of Coimbra, 2010.
- [2] ISO 14040 - Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [3] ISO 14044 Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006.
- [4] M. G. Alexander, Y. Ballim and K. Stanish, A framework for use of durability indexes in performance-based design and specifications for reinforced concrete structures, *Materials and Structures*, vol. 41, pp. 921-936, 2008.
- [5] V. Baroghel-Bouny, Concrete design for structures with predefined service life – Durability control with respect to reinforcement corrosion and alkali-silica reaction. state-of-the-art and guide for the implementation of performance-type and predictive approach based upon du, Association Française de Génie Civil., 2004.
- [6] M. Thiery, V. Baroghe-Bouny and A. Orcesi, Durability design of reinforced concrete structures submitted to carbonation by using an probabilistic modeling, Cape Town. South Africa: ICCRRR 2012, 3 - 5 September 2012.
- [7] EUR 26322, Sustainable steel-composite bridges in built environment (SBRI), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.
- [8] IPCC, Fourth Assessment Report – Climate Change 2007, Geneva, Switzerland.: IPCC., 2007.
- [9] CML, Operational Guide to the ISO standards, Jeroen B. Guinée (Ed.), in *Handbook on life cycle assessment*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [10] M. Huijbregts, Uncertainty and variability in environmental life-cycle assessment. PhD. Thesis, The Netherlands: University of Amsterdam, 2001.
- [11] J. R. Guinée and Heijungs, A proposal for the definition of resource equivalency factors for use in product life-cycle assessment, *Environmental toxicology and chemistry*, vol. 14, no. 5, pp. 917-925., 1995.
- [12] O. Hechler, L. Cajot, P.-O. Martin and A. Bureau, Efficient and economic design of composite bridges with small and medium spans., in *7th International Conference on Steel Bridge*, Guimarães ,Portugal., 2008..
- [13] H. Salokangas, ETSI PROJECT (STAGE II) Bridge Life Cycle Optimisation., Espoo, Finland.: Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering, TTK-R-BE3., 2009.
- [14] University of Coimbra (UC), Multi-criteria analysis. Report in the framework of SBRI - Sustainable Steel-Composite Bridges in Built Environment (RFSR-CT- 2009-00020)., Coimbra: University of Coimbra (UC) and GIPAC. Lda., 2012.
- [15] J. Brans, L'ingénierie de la décision Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In R. Nadeau and M. Landry. editors. L'aide à la décision: Nature. Instruments et Perspectives d'Avenir, pp. 183-213, 1982.
- [16] J. Vincke and P. Brans, A preference ranking organization method. The PROMETHEE method for MCDM., *Management Science*, vol. 31, p. 641–656, 1985.

- [17] J. Geldermann, T. Spengler and O. Rentz, Fuzzy outranking for environmental assessment. Case study: iron and steel making industry, *Fuzzy sets and systems*, vol. 115, pp. 45-65, 2000.
- [18] J. Brans, P. Vincke and B. Mareschal, How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, *European Journal of Operational Research*, vol. 24, no. 2, p. 228–238, 1986.
- [19] M. Behzadian, R. Kazemzadeh, A. Albadvi and M. Aghdasi, PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, *European Journal of Operational Research*, vol. 200, p. 198–215, 2010.
- [20] ThinkStep, *GaBi*™ [Computer Program], Leinfelden-Echterdingen, Germany, 2015.
- [21] J. Guinée, M. Gorée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A. Wegener Sleeswijk, S. Suh and H. Udo de Haes, Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards, Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publisher, 2002.
- [22] L. Van Oers, A. De Koning, J. Guinée and G. Huppes, Abiotic resource depletion in LCA. Improving characterisation factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA handbook., Delft, The Netherlands: RWS-DWW, 2002.
- [23] FOSTA P843 - NaBrü, Ganzheitliche Bewertung von Stahl- und Verbundbrücken nach Kriterien der Nachhaltigkeit, Forschungsvereinigung Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, 2014.
- [24] P. Seshadri and R. Harrison, Workzone mobile source emission prediction, Center for transportation research, University of Texas at Austin, Austin, Texas, 1993.

## PŘÍLOHA A

Tabulka A1: Standardní scénář údržby

Poškození	Akce údržby	Roky																		
		1 0	1 5	2 0	2 5	3 0	3 5	4 0	4 5	5 0	5 5	6 0	6 5	7 0	7 5	8 0	8 5	9 0	9 5	100
<b>Ocel</b>																				
Ocelové nosníky - degradované	Demolice/výměna																			X
Koroze (bodová/malá plošná)	Částečná obnova protikorozní ochrany (1)				X							X							X	
Koroze (celková obnova)	Celková obnova korozní ochrany (1)						X							X						
<b>Železobeton</b>																				
Mostovka – degradovaná	Demolice/výměna																			X
Koroze ocelové výztuže mostovky	Částečná obnova				X					X					X					X
Betonové římsy	Částečná obnova							X								X				
Betonové římsy	Celková výměna							X								X				
Betonové římsy - opravy	Částečná obnova				X								X							
<b>Dilatační závěry</b>																				
Rozbitý modul (v případě modulárních závěrů)	Celková výměna							X								X				
Poškozený závěr (oprava)	Celková / částečná výměna	X		X		X		X		X		X		X		X		X		
Doažení šroubů	Celková / částečná výměna	X		X		X		X		X		X		X		X		X		
čištění		X		X		X		X		X		X		X		X		X		
<b>Ložiska</b>																				
Elastomerová ložiska - degradovaná	Celková výměna							X							X					
Elastomerová ložiska (oprava)	Částečná výměna			X							X							X		
Hrncová ložiska – degradovaná	Celková výměna																			X
Hrncová ložiska – - údržba	Celková / částečná výměna																			X
Koroze kovových prvků (Sa2 / St3)	Nátěr kovových prvků						X							X						
<b>Povrch vozovky</b>																				
Trhliny, koleje, výtluky	Celková výměna			X				X				X				X				X
Trhliny, koleje, výtluky	Malé opravy	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
<b>Hydroizolace</b>																				
Trhliny, netěsnost	Celková výměna							X								X				
<b>Zábradlí</b>																				
opotřebované	Celková výměna zábradlí							X								X				
nátěr	Nátěr kovových prvků			X				X				X			X					
<b>Žlaby</b>																				
Výměna odvodnění	Celková výměna				X					X					X					X
<b>Svodidla</b>																				
degradace	Celková výměna svodidel							X								X				
Svodidla – malé opravy	Celková / částečná výměna				X								X							X

(1): klasifikace podle výdrže ochranné vrstvy, EN ISO 12944-2 (L=2-5 let; M=5-15 let; H&gt;15 let)

Tabulka A2: Scénář nedostatek finančních prostředků

Poškození	Akce údržby	Roky																		
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
<u>Ocel</u>																				
Ocelové nosníky - degradované	Demolice/výměna																			
Koroze (bodová/malá plošná)	Částečná obnova protikoroziní ochrany (1)				X		X							X		X				
Koroze (celková obnova)	Celková obnova protikoroziní ochrany (1)									X										
<u>Železobeton</u>																				
Mostovka – degradovaná	Demolice/výměna																			
Koroze ocelové výztuže mostovky	Částečná obnova									X										
Betonové římsy	Celková výměna									X										
Betonové římsy	Obnova povrchové úpravy						X									X				
Betonové římsy	Částečná obnova povrchové úpravy								X										X	
Betonové římsy - opravy	Částečná obnova				X									X						
<u>Dilatační závěry</u>																				
Rozbitý modul (v případě modulárních závěrů)	Celková výměna									X										
Poškozený MZ (oprava)	Celková / částečná výměna	X		X		X		X				X		X		X		X		
Utažení šroubů	Celková / částečná výměna	X		X		X		X				X		X		X		X		
Čištění		X		X		X		X				X		X		X		X		
<u>Ložiska</u>																				
Elastomerová ložiska – degradovaná	Celková výměna						X							X						
Elastomerová ložiska (oprava)	Částečná výměna			X							X							X		
Hrncová ložiska – degradovaná	Celková výměna																			
Hrncová ložiska – - údržba	Celková / částečná výměna																			
Koroze kovových prvků (Sa2 / St3)	Nátěr kovových prvků						X							X						
<u>Povrch vozovky</u>																				
Trhliny, koleje, výtluky	Celková výměna			X										X						
Trhliny, koleje, výtluky	Celková výměna všech vrstev								X										X	
Trhliny, koleje, výtluky	Malé opravy	X				X						X				X				
<u>Hydroizolace</u>																				
Trhliny, netěsnost	Celková výměna									X										
<u>Zábradlí</u>																				
Opatřebované	Celková výměna zábradlí									X										
Nátěr	Nátěr kovových prvků			X				X					X					X		
Poškození způsobené korozi	Částečná výměna							X										X		
<u>Odvodňovací žlaby</u>																				
Výměna odvodnění	Celková výměna				X					X				X						
<u>Svodidla</u>																				
Degradace	Celková výměna svodidel									X										
Svodidla – malé opravy, kvůli korozi	Celková / částečná výměna				X			X						X				X		
Poškození způsobené nehodou	Částečná výměna																			

(1): klasifikace podle výdrže ochranné vrstvy, EN ISO 12944-2 (L=2-5 let; M=5-15 let; H&gt;15 let)

Tabulka A3: Scénář prodloužená životnost

Poškození	Akce údržby	Roky																									
		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	
<b>Ocel</b>																											
Ocelové nosníky - degradace	Demolice/výměna																										
Koroze (bodová/malá plošná)	Částečná obnova protikorozi ochrany (1)				X							X						X						X			
Koroze (celková obnova)	Celková obnova protikorozi ochrany (1)							X						X						X							
<b>Železobeton</b>																											
Mostovka – degradace	Demolice/výměna																										
Koroze ocelové výtluče mostovky	Částečná obnova				X					X				X						X			X		X		
Betonové římsy	Celková výměna																				X						
Betonové římsy	Obnova povrchové úpravy																						X				
Betonové římsy	Částečná obnova povrchové úpravy								X							X											
Betonové římsy - opravy	Částečná obnova				X								X							X			X		X		
<b>Dilatační závěry</b>																											
Rozbitý modul (v případě modulárních MZ)	Celková výměna								X							X											
Rozbité MZ (oprava)	Celková / částečná výměna	X	X	X						X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Utažení šroubů	Celková / částečná výměna	X	X	X						X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Čištění		X	X	X						X	X	X						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Ložiska</b>																											
Elastomerová ložiska - opotřebovaná	Celková výměna							X						X								X					
Elastomerová ložiska (oprava)	Částečná výměna			X							X							X						X			
Hrncová ložiska – opotřebovaná	Celková výměna																										
Hrncová ložiska – - údržba	Celková / částečná výměna																										
Koroze kovových prvků (Sa2 / St3)	Nátěr kovových prvků							X						X								X					
<b>Povrch vozovky</b>																											
Trhliny, koleje, výtlučky	Celková výměna			X				X				X				X				X							
Trhliny, koleje, výtlučky	Celková výměna všech vrstev*																								X		
Trhliny, koleje, výtlučky	Malé opravy	X			X					X			X					X					X				
<b>Hydroizolace</b>																											
Trhliny, netěsnost	Celková výměna								X							X											
<b>Zábradlí</b>																											
Opotřebované	Celková výměna zábradlí								X							X											
Nátěr	Nátěr kovových prvků			X								X								X			X				
Poškození způsobené korozi	Částečná výměna																						X				
<b>Odvodňovací žlaby</b>																											
Výměna odvodnění	Celková výměna				X					X					X							X					
<b>Svodidla</b>																											
Degradace	Celková výměna svodidel								X							X											
Svodidla – malé opravy, kvůli korozi	Celková / částečná výměna				X							X								X			X				
Poškození způsobené nehodou	Částečná výměna																										

\* opravná asfaltová tenkostěnná vrstva

Tabulka A4: Dopravní omezení pro případ B a C

Poškození	Akce údržby	Dopravní omezení	
		Na mostě	Pod mostem
<u>Ocel</u> Ocelové nosníky - degradace	Demolice/výměna	Silnice uzavřena	-
Koroze (bodová/malá plošná)	Částečná obnova korozní ochrany (1)	Bez omezení	-
Koroze (celková obnova)	Celková obnova korozní ochrany (1)	Bez omezení	-
<u>Železobeton</u> Mostovka – degradovaná	Demolice/výměna	Silnice uzavřena	-
Koroze ocelové výztuže mostovky	Částečná obnova	1 jízdní pruh na den	-
Betonové římsy	Celková výměna	Snížení povolené rychlosti	-
Betonové římsy	Obnova povrchové úpravy	Snížení povolené rychlosti	-
Betonové římsy	Částečná obnova povrchové úpravy	Snížení povolené rychlosti	-
Betonové římsy - opravy	Částečná obnova	Snížení povolené rychlosti	-
<u>Dilatační závěry</u> Rozbitý modul (v případě modulárních MZ)	Celková výměna	1 jízdní pruh na den	-
Rozbité MZ (oprava)	Celková / částečná výměna	1 jízdní pruh na den	-
Utažení šroubů	Celková / částečná výměna	1 jízdní pruh na den	-
Čištění		1 jízdní pruh na den	-
<u>Ložiska</u> Elastomerová ložiska - degradace	Celková výměna	Snížení povolené rychlosti	-
Elastomerová ložiska (oprava)	Částečná výměna	Snížení povolené rychlosti	-
Hrncová ložiska – degradace	Celková výměna	Snížení povolené rychlosti	-
Hrncová ložiska – - údržba	Celková / částečná výměna	Snížení povolené rychlosti	-
Koroze kovových prvků (Sa2 / St3)	Nátěr kovových prvků	Snížení povolené rychlosti	-
<u>Povrch vozovky</u> Trhliny, koleje, výtluky	Celková výměna	1 jízdní pruh na den	-
Trhliny, koleje, výtluky	Celková výměna všech vrstev*	1 jízdní pruh na den	-
Trhliny, koleje, výtluky	Malé opravy	1 jízdní pruh na den	-
<u>Hydroizolace</u> Trhliny, netěsnost	Celková výměna	1 jízdní pruh na den	-
<u>Zábradlí</u> Degradace	Celková výměna zábradlí	Bez omezení/snížení rychlosti	-
Nátěr	Nátěr kovových prvků	Bez omezení/snížení rychlosti	-
Poškození způsobené korozi	Částečná výměna	Bez omezení/snížení rychlosti	-
<u>Odvodňovací žlaby</u> Výměna odvodnění	Celková výměna	Bez omezení/snížení rychlosti	-
<u>Svodidla</u> Degradace	Celková výměna svodidel	1 jízdní pruh na den	-
Svodidla – malé opravy, kvůli korozi	Celková / částečná výměna	1 jízdní pruh na den	-
Poškození způsobené nehodou	Částečná výměna	1 jízdní pruh na den	-

\* asfaltová vrstva obsahující velké množství bitumenu, který je umístěn na horní části existující poškozené povrchové vrstvy (a hydroizolační vrstvy)

Tabulka A5: Dopravní omezení pro případ A

Poškození	Akce údržby	Dopravní omezení	
		Na mostě	Pod mostem
<b>Ocel</b> Ocelové nosníky - degradace	Demolice/výměna	Silnice uzavřena	-
Koroze (bodová/malá plošná)	Částečná obnova korozní ochrany (1)	Bez omezení	Bez omezení
Koroze (celková obnova)	Celková obnova korozní ochrany (1)	Bez omezení	1 jízdní pruh na den
<b>Železobeton</b> Mostovka – degradace	Demolice/výměna	Silnice uzavřena	1 jízdní pruh na den
Koroze ocelové výztuže mostovky	Částečná obnova	1 jízdní pruh na den	1 jízdní pruh na den
Betonové římsy	Celková výměna	Snížení povolené rychlosti	1 jízdní pruh na den
Betonové římsy	Obnova povrchové úpravy	Snížení povolené rychlosti	1 jízdní pruh na den
Betonové římsy	Částečná obnova povrchové úpravy	Snížení povolené rychlosti	1 jízdní pruh na den
Betonové římsy - opravy	Částečná obnova	Snížení povolené rychlosti	1 jízdní pruh na den
<b>Dilatační závěry</b> Rozbitý modul (v případě modulárních MZ)	Celková výměna	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
Rozbité zhlaví (oprava)	Celková / částečná výměna	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
Utažení roubů	Celková / částečná výměna	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
Čištění		1 jízdní pruh na den	Bez omezení
<b>Ložiska</b> Elastomerová ložiska - degradace	Celková výměna	Snížení povolené rychlosti	Bez omezení
Elastomerová ložiska (oprava)	Částečná výměna	Snížení povolené rychlosti	Bez omezení
Hrncová ložiska – degradace	Celková výměna	Snížení povolené rychlosti	Bez omezení
Hrncová ložiska – - údržba	Celková / částečná výměna	Snížení povolené rychlosti	Bez omezení
Koroze kovových prvků (Sa2 / St3)	Nátěr kovových prvků	Snížení povolené rychlosti	Bez omezení
<b>Povrch vozovky</b> Trhliny, koleje, výtlučky	Celková výměna	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
Trhliny, koleje, výtlučky	Celková výměna všech vrstev*	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
Trhliny, koleje, výtlučky	Malé opravy	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
<b>Hydroizolace</b> Trhliny, netěsnost	Celková výměna	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
<b>Zábradlí</b> Degradace	Celková výměna zábradlí	Bez omezení/snížení rychlosti	Bez omezení
Nátěr	Nátěr kovových prvků	Bez omezení/snížení rychlosti	Bez omezení
Poškození způsobené korozi	Částečná výměna	Bez omezení/snížení rychlosti	Bez omezení
<b>Odvodňovací žlaby</b> Výměna odvodnění	Celková výměna	Bez omezení/snížení rychlosti	Bez omezení
<b>Svodidla</b> Degradace	Celková výměna svodidel	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
Svodidla – malé opravy, kvůli korozi	Celková / částečná výměna	1 jízdní pruh na den	Bez omezení
Poškození způsobené nehodou	Částečná výměna	1 jízdní pruh na den	Bez omezení

\* asfaltová vrstva obsahující velké množství bitumenu, který je umístěn na horní části existující poškozené povrchové vrstvy (a hydroizolační vrstvy)

**Tabulka A6: Typ provozu, pracnost a jednotková cena údržby**

Údržba		Pracnost	Jednotková cena
Prvek	Typ		
Ložiska	Oprava	1,5 dny/ks	2100 €/ks
Ložiska	Výměna	2 den/ks	(2100 + cena nového ložiska) €/ks
Betonová mostovka	Rekonstrukce	0,08 dny/m <sup>2</sup>	30 €/m <sup>2</sup>
Železobetonové římsy - obruba	Výměna	0,225 dny/m	70 €/m
Železobetonové římsy -obruba	Rekonstrukce	0,225 dny/m	70 €/m
Dilatační závěry	Oprava	0,75 m/h	10 €/m
Dilatační závěry	Údržba	40 m/den	10 €/m
Dilatační závěry	Výměna	3,5 m/den	2500 €/m
Odvodňovací žlaby	Výměna	0,1 dny/m	140 €/m
Zábradlí	Rekonstrukce	4 m <sup>2</sup> /h	90 €/m
Zábradlí	Výměna	1,75 m/h	115 €/m
Vozovkové souvrství	Oprava r	0,02 dny/m <sup>2</sup>	11,4 €/m <sup>2</sup>
Vozovkové souvrství	Výměna	0,02 dny/m <sup>2</sup>	11,5 €/m <sup>2</sup>
Svodidla	Výměna	1,3 m <sup>2</sup> /h	140 €/m
Ocelové nosníky	Rekonstrukce	0,02 dny/m <sup>2</sup>	75 €/m <sup>2</sup>
Ocelové nosníky	Oprava	0,02 dny/m <sup>2</sup>	100 €/m <sup>2</sup>
Hydroizolace	Výměna	0,02 dny/m <sup>2</sup>	202 €/m <sup>2</sup>