

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Aspekty udržitelného rozvoje v betónovom staviteľstve

Aspects of sustainable development in concrete construction

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Obsah:

Zadanie	3
Špecifikácia zadania	4
Čestné prehlásenie	5
Podakovanie	6
Abstrakt a kľúčové slová	7
Zoznam skratiek	8
1. Úvod	9
2. Udržateľný rozvoj	10
2.1 Definícia	10
2.2 Princípy UR	11
2.3 Základné piliere UR	11
2.4 Slabá a silná udržateľnosť	12
2.5 Legislatívny rámec	12
3. Systém hodnotenie životného cyklu konštrukcií	16
3.1 Udržateľný konštrukčný návrh – SSD	16
3.2 Metódy posúdenia environmentálnych a ekonomických dopadov	17
3.3 Hodnotenie životného cyklu pomocou LCA	18
3.4 Nástroje a zdroje dát pre hodnotenie pomocou LCA	21
3.5 Problémy hodnotenia metódou LCA	21
3.6 EPD – Environmental product declaration	21
3.7 Certifikačné systémy	22
3.8 Zdroje dát certifikačných systémov	24
3.9 Envimat	25
4. Udržateľný rozvoj a betónové konštrukcie	26
4.1 Zloženie betónu	27
4.2 Výpočet dopadov železobetónových konštrukcií na životné prostredie	28
4.3 Trvanlivosť železobetónových konštrukcií	29
4.4 Demolácia a recyklácia železobetónových konštrukcií	35
5. Návrh konštrukčného prvku	40
5.1 Geometria prvku a výpočet zaťaženia	40
5.2 Návrh prekladu z jednotlivých materiálov	42
5.3 Zhrnutie a výpočet objemu/hmotnosti spotrebovaných materiálov	51
5.4 Výpočet dopadov na životné prostredie	51
5.4.1 Fázy jednotlivých dopadov	51
5.4.2 Výrobná fáza	51
5.4.3 Fáza výstavby	56
5.4.4 Fáza užívania	57
5.4.5 Fáza konca životného cyklu	62
5.4.6 Doplnujúce informácie	64

5.5 Výsledky environmentálnych dopadov	64
5.6 Normalizácia výsledkov	65
5.7 Váhy dopadov na životné prostredie	67
6. Záver	71
7. Literatúra	73
Zoznam obrázkov	76
Zoznam tabuliek	77
Zoznam grafov	77
Zoznam použitých programov	77

Zadanie

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6


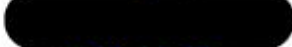


ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: <u>Ardamica</u>	Jméno: <u>Enikő</u>	Osobní číslo: <u>468236</u>
Zadávací katedra: <u>K133</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Aspekty udržitelného rozvoje v betonovém stavitelství</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Aspects of sustainable development in concrete construction</u>	
Pokyny pro vypracování: Vypracujte srovnávací studii hodnotící betonové konstrukce z hlediska udržitelného rozvoje. Součástí studie: - legislativní rámec pro hodnocení betonových konstrukcí z hlediska udržitelného rozvoje, - popis systému hodnocení životního cyklu konstrukcí, - porovnání vybraných typů konstrukce, resp. vybraných materiálů.	
Seznam doporučené literatury: KOČÍ, Vladimír. LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví. Praha: Česká rada pro šetné budovy. c-PCR-003. Concrete and Concrete Elements (EN 16757). INTERNATIONAL FEDERATION FOR STRUCTURAL CONCRETE (fib). Bulletin No. 34: Model Code for service life design. KOČÍ, V. Environmentální dopady: posuzování životního cyklu HORÁKOVÁ, Anna. Optimalizace betonových konstrukcí z hlediska environmentálních vlivů a trvanlivosti. Praha, 2022. Disertační práce. ČVUT fakulta stavební + další vhodné zdroje vztahující se k tématu práce	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Iva Broukalová, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>26. 9. 2022</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>8.1.2023</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>26. 9. 2022</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	---

Špecifikácia zadania

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6



SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Enikő Ardamica

Název diplomové práce: Aspekty udržitelného rozvoje v betónovom staviteľstve

Základní část: katedra betonových a zděných konstrukcí podíl: 100 %

Formulace úkolů: Seznamte se s terminologií související s tématem udržitelné výstavby, popište metody pro hodnocení environmentálních aspektů výstavby a výroby stavebních prvků.

Pro jednoduchý konstrukční prvek proveďte srovnávací studii a zhodnoťte dopady výroby, resp. životního cyklu jednotlivých materiálových variant zvoleného prvku.

Podpis vedoucího DP: [redacted]

Datum:

26.9.22

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

Čestné prehlásenie

Čestne prehlasujem, že diplomovú prácu s názvom: *Aspekty udržateľného rozvoja v betónovom stavitelstve* som vypracovala samostatne, a že som uviedla všetky použité zdroje.

V Prahe dňa:

Podpis:

Poďakovanie

Chcela by som sa poďakovať mojej vedúcej práce doc. Ing. Ive Broukalovej, Ph.D. za odbornú pomoc, za poskytnuté rady a informácie, za ochotu a usmernenie pri spracovaní diplomovej práce.

Abstrakt

Cieľom práce bolo vypracovať porovnávaciu štúdiu hodnotiacu betónové konštrukcie z hľadiska udržateľného rozvoja. Súčasťou štúdie je legislatívny rámec pre hodnotenie betónových konštrukcií, definícia udržateľného rozvoja, popis systému hodnotenia životného cyklu konštrukcií a porovnanie vybraných typov konštrukcií z vybraných materiálov, ktoré má obsahovať porovnanie návrhu, sanácie, trvanlivosti a odstránenia konštrukcií. Súčasťou štúdie bude aj vyhodnotenie výsledkov z porovnania.

Kľúčové slová

Udržateľnosť, prostredie, rozvoj, ekológia, efektívnosť, trvanlivosť, kvalita, hodnotenie, LCA, betón, návrh, sanácia, konštrukcia, porovnanie, materiál

Abstract

The aim of this thesis was to develop a comparative study evaluating concrete structures from the point of view of sustainable development. Part of the study is the legislative framework for the assessment of concrete structures, the definition of sustainable development, a description of the life cycle assessment system of structures and a comparison of selected types of structures made of selected materials, which should include a comparison of design, rehabilitation, durability and removal of structures. The study will also include an evaluation of the results of the comparison.

Key words

Sustainability, environment, development, ecology, effectiveness, durability, quality, rating, LCA, concrete, design, rehabilitation, construction, comparison, material

Zoznam skratiek:

UR – udržateľný rozvoj
ŽP – životné prostredie
PZ – prírodný zdroj
MZP – ministerstvo životného prostredia
EU – Európska únia
EP – Európsky parlament
ČR – Česká republika
OSN – Organizácia Spojených národov
WWF – Svetový fond na ochranu prírody
IUCN – Medzinárodná únia na ochranu prírody a prírodných zdrojov
BK – Betónové konštrukcie
LCA – Posúdenie životného cyklu
EIA – Posudzovanie vplyvov na životné prostredie
LCI – Inventarizačná analýza
LCIA – Hodnotenie dopadov
EPD – Environmentálne prehlásenie o výrobku
LCEA – Energetická analýza životného cyklu
LCCA – Analýza nákladov životného cyklu
SSD – Udržateľný konštrukčný návrh
USGBC – U.S. Green Building Council
BREEAM – British Research Establishment Environmental Assessment Method
LEED – Leadership in Environmental and Energy Design
SBToolCZ – Sustainability Buildings Tool
ČSN – Česká technická norma
EN – Európska norma
GWP – Potenciál globálneho otepľovania
AP – Potenciál acidifikácie prostredia
POCP – Potenciál tvorby prízemného ozónu
ODP – Potenciál ničenia ozónovej vrstvy
EP – Potenciál eutrofizácie prostredia
PEI – Spotreba primárnej energie
 R_w – Index vzduchovej nepriezvučnosti
U – Súčiniteľ prestupu tepla
ASR – Alkalicko-kremičitá reakcia
PEF – Environmentálna stopa produktu

1. Úvod

V dnešnej dobe sa často stretávame s pojmami: udržateľný rozvoj, ekológia, efektívnosť, kvalita a trvanlivosť. Dôvodom je, že v posledných rokoch začína byť čoraz viac diskutovanou témou dopad ľudskej činnosti na životné prostredie. V negatívnych dopadoch na naše okolie hrajú veľkú rolu aj dopady stavebných činností a výroba stavebných materiálov. Tieto dopady sú veľmi významné v porovnaní s inými odvetvami.

Podľa verejných údajov, stavebný priemysel zodpovedá za 40 % všetkých emisií skleníkových plynov na svete, a podľa rady pre ekologické budovy v Spojených štátoch spotrebujú stavby až 40 % energií. Tieto hodnoty sa zvyšujú každým rokom.

Pri snahe zabrániť týmto negatívnym vplyvom, ľudia sa začali viac sústreďovať na návrh budov z obnoviteľných zdrojov, na použitie prírodných materiálov, na predĺženie životnosti stavieb, resp. na sanáciu budov a na recykláciu stavebných materiálov, aby tým znížili objem stavebných odpadov.

V prvej časti tejto štúdie bude objasnený pojem udržateľného rozvoja, aké má ciele a aké sú základné piliere. Ďalej sa budem zaoberať s legislatívnym rámcom pre Českú republiku, metódami hodnotenia životného cyklu konštrukcií a certifikačnými systémami, ktoré sa používajú v ČR na hodnotenie budov.

Cieľom tejto práce je porovnať stavebné materiály z hľadiska udržateľnosti. V druhej časti tejto práce bude vypracovaný návrh konštrukčného prvku z rôznych materiálov, ktoré budú medzi sebou porovnané z hľadiska udržateľnosti. Toto porovnanie bude obsahovať spotrebu materiálov, výrobu materiálov, trvanlivosť prvku, sanáciu a ich odstránenie.

V závere budú vyhodnotené výsledky tohto porovnania. V závislosti na výsledkoch sa chcem venovať aj budúcnosti železobetónových konštrukcií z hľadiska udržateľnosti – čo by sme chceli dosiahnuť, a ako by sme vedeli zlepšiť a zefektívniť betónové staviteľstvo.

2. Udržitelný rozvoj

2.1 Definícia

Definícia z Brundtlandskej správy:

„takový rozvoj, ktorý naplňuje potreby prítomných generácií, aniž by ohrozil schopnosť budúcich generácií naplňovať potreby své.“¹

Definícia Európskeho parlamentu:

„zlepšovanie životnej úrovne a blahobytu ľudí v medziach kapacity ekosystémov pri zachovaní prírodných hodnôt a biologickej rozmanitosti pre súčasné a budúce generácie“.²

Definícia českého zákona :

„takový rozvoj, ktorý súčasným i budúcim generáciám zachováva možnosť uspokojovať jejich základní životní potreby a pritom nesnižuje rozmanitosť prírody a zachováva prirodzené funkcie ekosystémů“.³

Pod pojmom udržateľného rozvoja teda rozumieme taký rozvoj, pri ktorom sa snažíme zachovať životné prostredie, teda obmedziť dopad ľudskej činnosti a tým znížiť ekologickú stopu. K UR patrí aj odstránenie negatívnych prejavov doterajších ľudských činností, a obnova prírodných zdrojov.

Väčšina prírodných zdrojov je vyčerpatelná, preto je veľmi dôležité, aby sme ich nahradili inými zdrojmi čo najskôr. Tým, že využívame nadmerné množstvo neobnoviteľných prírodných zdrojov, trvalo poškodujeme našu planétu. Základné pravidlá UR sú teda šetrenie, recyklácia, opakované použitie, používanie trvanlivejších materiálov a obmedzenie plytvania.

Udržateľné myslenie veľmi dobre vystihuje aj princíp RRR, ktorý vychádza z anglických pojmov:

Reduce – obmedziť

Reuse – znovu použiť

Recycle – recyklovať

Z hľadiska stavebníctva a z hľadiska betónových konštrukcií to znamená, že by sme mali obmedziť množstvo odpadov, hlavne z demolácie budov a pri výrobe stavebných hmôt, znížiť objem skládkových materiálov a spotrebu primárnych surovín. Pri rekonštrukciách by sme mali zachovať, resp. znovu použiť nepoškodené prvky, a v prípade, že prvok už nie je možné ďalej používať, mali by sme ho nejakým spôsobom recyklovať.

¹ Naše spoločná budúcnosť, Světová komise Organizace spojených národů pro životní prostředí a rozvoj, 1987

² Európsky parlament

³ § 6, Zákon č. 17/1992 Sb., Zákon o životním prostředí, ČR

2.2 Princípy UR

Základné princípy UR vychádzajú z využívania prírodných zdrojov a znečistenia prírody:

- Obnoviteľné zdroje by sa nemali čerpať rýchlejšie, ako sa obnovujú
- Vyčerpatelné zdroje by sa mali čerpať takou rýchlosťou, aby bolo možné vybudovať ich náhradu ešte pred vyčerpaním
- Intenzita znečistenia by nemala presiahnuť samočistiacu schopnosť prírody
- Súčasnú technológiu by sme mali použiť na zmiernenie znečistenia prírody a plytvania prírodných zdrojov
- Mali by sme zvýšiť efektivitu výrobných postupov – výroba energie, materiálov, atď. [23]

2.3 Základné piliere UR

Základy trvalo udržateľného rozvoja tvoria 3 piliere:

Ekonomický pilier:

Zahŕňa všetky hospodárske aktivity, ktoré sú v interakcii so životným prostredím. Sem patrí aj snaha o vyčíslenie negatívnych dopadov na ŽP, ktoré by sa malo v budúcnosti objaviť aj pri tvorbe cien jednotlivých produktov.

Environmentálny pilier:

Patrí do toho ochrana a obnova životného prostredia. Zahŕňa šetrné a správne využívanie prírodných zdrojov.

Sociálny pilier:

Odstránenie nezrovnalostí medzi jednotlivými spoločenskými vrstvami, v lokálnych aj globálnych mierach. Patrí sem napr. odstránenie chudoby, lepšie podmienky na život, dostupnosť lekárskej pomoci, potlačenie diskriminácie, rasizmu a vyrovnanie medzigeneračných rozdielov. [41]



Obrázok 2.3 – Základné piliere UR
Zdroj: https://www.mzp.cz/cz/udrzitelny_rozvoj

2.4 Slabá a silná udržateľnosť

Slabá udržateľnosť:

- Z neobnoviteľných zdrojov je možné čerpať, keď bude v budúcnosti vytvorená protihodnota. To znamená, že v budúcnosti bude výrobok recyklovaný a tak nedochádza k strate – nedôjde k zníženiu ekonomickej hodnoty zdrojov.

Silná udržateľnosť:

- Čerpanie len z obnoviteľných zdrojov. V dnešnej dobe je ťažko uskutočniteľná.

2.5 Legislatívny rámec

Jednotlivé krajiny sa už v minulosti snažili vytvoriť odporúčania k ochrane životného prostredia, avšak tie platili len na jednotlivých miestach a neboli nijak kontrolované. V novodobej histórii sa už jednotlivé štáty snažili zmierniť negatívne dopady na životné prostredie novými zákonmi a smernicami. V dnešnej dobe sú platné viaceré zákony. Z hľadiska Českej republiky je dôležité poznať smernice Európskej únie a zákony platné v ČR.

Vývoj dnes platných zákonov:

1972: Prvá správa Rímskeho klubu

Rímsky klub je medzinárodná organizácia, ktorá združuje významných vedcov a spoločenských činiteľov. Vytvárajú globálne prognózy s cieľom pôsobiť na verejnosť.

Publikácia Medze rastu (1972) konštatovala, že pri limitovaných zdrojoch nie je možný nekonečný rast ekonomického modelu. Autori hľadali alternatívnu možnosť ekonomického rozvoja, ktorú dnes nazývame ako udržateľný rozvoj.

1980: Akceptácia pojmu UR

V roku 1980 bol vypracovaný dokument **Svetová stratégia ochrany životného prostredia**, v ktorom zdôraznili súvislosť medzi ekonomickým rozvojom a ochranou životného prostredia. Dokument vypracovali tri svetové organizácie – OSN, WWF a IUCN.

1987: Naša spoločná budúcnosť

Správa Valného zhromaždenia OSN, v ktorej definovali pojem UR.

1992: Charta zeme a Agenda 21

V Rio de Janeiru bola schválená Deklarácia o životnom prostredí a rozvoji, ktorá obsahovala 27 princípov UR. Agenda 21 je v podstate akčný plán na ochranu ŽP. Zásady UR sa začali uplatňovať v každej sfére, ako napr. energetika, priemysel, hospodárstvo a v mnohých ďalších oblastiach. [22]

Dnes platné zákony, ktoré sú dôležité z hľadiska UR:

1992: Zákon 17/1992 Sb., o životním prostředí, ČR

Tento zákon vymedzuje základné pojmy a zásady ochrany životného prostredia. Niektoré dôležité pojmy a zásady zo zákona sú citované nižšie [1]:

„§ 2 Životní prostředí

Životním prostředím je vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Jeho složkami jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie.

§ 3 Ekosystém

Ekosystém je funkční soustava živých a neživých složek životního prostředí, jež jsou navzájem spojeny výměnou látek, tokem energie a předáváním informací a které se vzájemně ovlivňují a vyvíjejí v určitém prostoru a čase.

§ 4 Ekologická stabilita

Ekologická stabilita je schopnost ekosystému vyrovnávat změny způsobené vnějšími činiteli a zachovávat své přirozené vlastnosti a funkce.

§ 5 Únosné zatížení území

Únosné zatížení území je takové zatížení území lidskou činností, při kterém nedochází k poškozování životního prostředí, zejména jeho složek, funkcí ekosystémů nebo ekologické stability.

§ 8 Znečišťování a poškozování životního prostředí

- (1) Znečišťování životního prostředí je vnášení takových fyzikálních, chemických nebo biologických činitelů do životního prostředí v důsledku lidské činnosti, které jsou svou podstatou nebo množstvím cizorodé pro dané prostředí.
- (2) Poškození životního prostředí je zhoršování jeho stavu znečišťováním nebo jinou lidskou činností nad míru stanovenou zvláštními předpisy.

§ 10 Ekologická újma

Ekologická újma je ztráta nebo oslabení přirozených funkcí ekosystémů, vznikající poškozením jejich složek nebo narušením vnitřních vazeb a procesů v důsledku lidské činnosti.”⁴

Tento zákon vymedzuje zásady a povinnosti pri ochrane ŽP, a tiež zodpovednosť za porušenie týchto povinností. Podľa tohto zákona môže dostať právnická osoba alebo

⁴ Zákon č. 17/1992 Sb., Zákon o životním prostředí, ČR

podnikajúca fyzická osoba pokutu od 500 000 Kč (pri neúčinných opatreniach k náprave ekologickej ujmy alebo neupozornenia orgánu štátnej správy) až do 1 000 000 Kč (keď porušia právne predpisy a spôsobia tak ekologickú ujmu). Tieto priestupky riešia orgány pre životné prostredie.

2015: Agenda 2030

Je to najvýznamnejší dokument z Konferencie OSN. Zahŕňa 17 cieľov, ktoré by mali štáty splniť do roku 2030.



Obrázok 1.5 – 17 cieľov v Agende 2030
Zdroj: <https://www.osn.cz/osn/hlavni-temata/sdgs/>

Z hľadiska stavebníctva sú najdôležitejšie body: 6 – pitná voda a kanalizácia, 7 – dostupné a čisté energie, 9 – priemysel, inovácie a infraštruktúra, 11 – udržateľné mestá a obce, 12 – zodpovedná výroba a spotreba, a 13, 14 a 15 – boj s klimatickými zmenami a využívanie vodných a suchozemských zdrojov. [42]

2020: Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, ČR

V tomto zákone sú spracované predpisy Európskej únie, pravidiel pre predchádzanie vzniku odpadov a nakladanie s nimi, práva a povinnosti osôb v odpadovom hospodárstve a pôsobnosť orgánov. Tento zákon stanovuje už aj pokyny pre budúcnosť [2]:

„ (1) Provozovatel skládky nesmí od 1. ledna 2030 na skládku ukládat odpady, c) které je za stávajícího stavu vědeckého a technického pokroku možné účelně recyklovat”⁵

⁵ Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech, ČR

To znamená, že od roku 2030 nebude možné ukladať recyklovateľné materiály na skládky.

K odpadovému hospodárstvu patria aj vyhlášky [3], [4]:

- **Č. 8/2021 Sb. – Katalog odpadů a posuzování vlastností odpadů**
Tento dokument uvádza materiály vhodné pre recykláciu (betón, tehly, sklo, keramické výrobky, atď.), a odpady vylúčené z recyklácie (napr. azbest)
- **Č. 273/2021 Sb. - Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady**

Orientačný zoznam s percentuálnymi hodnotami odpadov zo stavebných materiálov [39]:

45 % - Tehly a betón

20 % - Drevo a drevené hmoty

20 % - Plast, sklo a ostatné materiály

10 % - Omietky

5% - Kovy

Ďalšie normy a vyhlášky súvisiace s UR:

- **2021: ČSN EN 15643 – Udržitelnost ve výstavbě – Rámec pro posuzování budov a inženýrských staveb**
- **2022: ČSN EN 15804 – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu - Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů**
- **2022: ČSN EN 15942 – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu - Formát komunikace mezi podniky**
- **2012: ČSN EN 15978 – Udržitelnost staveb – Posuzování environmentálních vlastností budov - Výpočtová metoda**
- **2018: ČSN EN 16757 – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu - Pravidla produktové kategorie pro beton a betonové prvky**

Hlavné normy týkajúce sa betónových konštrukcií:

- **1992: ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2 - Navrhování betonových konstrukcí - Část 1 – 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby**
- **2010: ČSN 73 1201 – Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb**
- **2010: ČSN EN 13670 - Provádění betonových konstrukcí**
- **2021: ČSN EN 206+A2 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda**

Normy, ktoré sa zaoberajú hodnotením pomocou LCA:

- **2006: ČSN ISO 14040 – Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova**
- **2006: ČSN ISO 14044 - Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice**

3. Systém hodnotenia životného cyklu konštrukcií

3.1 Udržateľný konštrukčný návrh – SSD

Skratka SSD je z anglického názvu sustainable structural design, ktoré v slovenčine znamená konštrukčný návrh podľa zásad udržateľnosti. Pri návrhu s ohľadom na životné prostredie by sme sa mali zamerať na minimalizáciu spotreby materiálu, na minimalizáciu energie pri výrobe materiálu, na hodnotenie životného cyklu a na maximalizáciu opätovného využitia budov.

Z hľadiska stavebného inžinierstva je najdôležitejším faktorom návrh konštrukčného systému budovy. Konštrukčný návrh môže totiž ovplyvniť využitie pôdy, výber materiálu a množstvo spotrebovaných materiálov.

V dnešnej dobe existujú rôzne štúdie, ako dosiahnuť udržateľný návrh. Keďže sa jedná o novinku v stavebníctve, tieto metódy sú v štádiu vývoja. Návrhy zohľadňujúce udržateľnosť sú založené na rozumu a citu, neexistujú overené metódy návrhu. [38]

Ciele udržateľného návrhu:

- **Zlepšenie výkonu životného cyklu** – v súčasnosti sa budovy navrhujú tak, aby boli čím menšie počiatkové náklady pri výstavbe a pri návrhu projektanti nezohľadňujú náklady na sanáciu alebo na prípadnú demoláciu. Pri lepšej údržbe a umožnením zachránenia konštrukcie má stavba merateľne lepšie ekonomické a environmentálne vlastnosti.
- **Použitie recyklované alebo odpadové materiály** – inžinieri musia hľadať alternatívne zdroje materiálov, v súčasnosti totiž existujú materiály, ktorých je momentálne viac v zastavanom prostredí, ako v prírodnom prostredí. Produkty z týchto materiálov môžu mať lepšie environmentálne vlastnosti pri znížených nákladoch.
- **Maximalizácia flexibility konštrukčných prvkov** – znamená to, že konštrukčné prvky by mali byť navrhnuté tak, aby v budúcnosti umožnili zmenu užívania stavby, resp. aby sa dalo prvky rozobrať a použiť pri inej stavbe.
- **Alternatívne materiály** – skúmať nové materiály, napr. Japonský pavilón (výstava: Expo 2000, Hannover) mal strop - mriežku z papierových rúr s rozpätím až 35 m. [27]

3.2 Metódy posúdenia environmentálnych a ekonomických dopadov

- **EIA:**

Environmental Impact Assessment, po slovensky posudzovanie vplyvov na životné prostredie. Táto metóda je vo viacerých krajinách zakomponovaná do štátnych predpisov a používa sa pri politickom rozhodovaní. Cieľom hodnotenia je posúdiť vplyv projektov verejného charakteru. Toto posúdenie má informovať politikov o vplyve na životné prostredie a tým spojenými nákladmi ešte pred realizáciou. Táto skutočnosť podriaďuje metódu EIA mnohým predpisom.

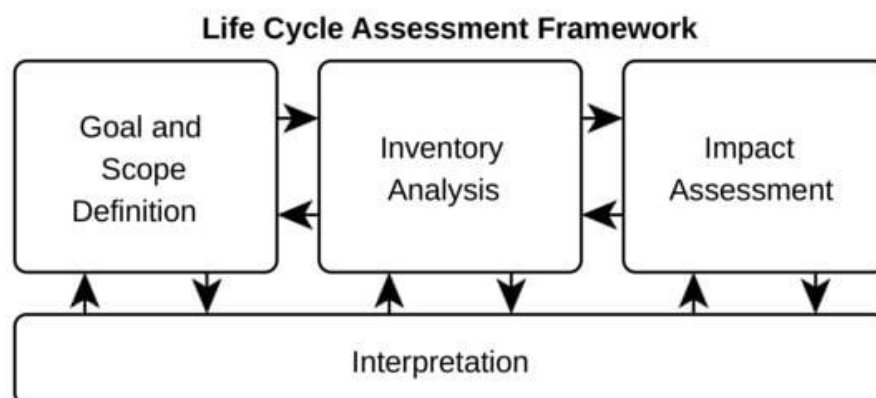
Výhodou EIA je, že analyzuje dopady rôznych fáz projektu, napr. výstavbu, prevádzku, a ďalším prínosom je aj to, že EIA berie do úvahy aj sociálne a ekonomické záujmy, napr. hluk. Nevýhodou je, že sa obmedzuje na predmet štúdie, a nedajú sa s ňou porovnať podobné alternatívy. EIA berie do úvahy len tie emisie a účinky, ktoré sa vyskytujú na mieste projektu. Hodnotenie EIA sa spracováva ešte pred ukončením projektu.

- **LCA:**

Na posúdenie environmentálnych dopadov rôznych produktov nám slúži aj metóda LCA. LCA je skratka z anglického: Life Cycle Assessment, čo v slovenčine znamená: posúdenie životného cyklu. LCA je analytická metóda, ktorá sa až teraz začína uplatňovať, aj keď sa nejedná o žiadnu novinku. Nové požiadavky EÚ, ISO normy a požiadavky zahraničných výrobcov nás donútili prejavíť záujem o túto metódu hodnotenia.

LCA sa zaoberá hodnotením budov počas ich celej životnosti, ide o viacstupňovú analýzu environmentálnej záťaže. Je to vhodný nástroj na hodnotenie spotreby energie, emisií a iných odpadov. LCA na rozdiel od iných metód, napr. od EIA, stanovuje negatívne vplyvy z globálneho hľadiska. Metóda LCA je komplexná analýza. Postup na vykonanie LCA je stanovený normami ISO 14040 a ISO 14044.

Metodika LCA sa skladá zo 4 krokov: definícia cieľa, rozsahu a hraníc, inventarizačná analýza (LCI), hodnotenie dopadov (LCIA), a interpretácia výsledkov. [38]



Obrázok 3.2 – Rámec hodnotenia životného cyklu
Zdroj: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/4/52/htm>

- **LCEA:**

LCEA, skratka z anglického názvu Life Cycle Energy Analysis – analýza energie životného cyklu, je metóda, ktorou je možné vyhodnotiť environmentálnu záťaž budovy v súvislosti so spotrebovanou energiou počas celého životného cyklu budovy. Pri LCEA sa zohľadňujú všetky energetické vstupy. Celkovú spotrebovanú energiu môžeme rozdeliť do troch fáz: výstavba, používanie a demolácia.

Energia životného cyklu sa vyjadruje ako súčet spotrebovaných energií z týchto 3 fáz:

$$E_{LC} = E_E + E_O + E_D$$

Stelesnená energia: $E_E = \sum m_i * M_i + E_T + E_C$
kde m_i je množstvo materiálu, M_i je energetický obsah potrebný na výrobu/ťažbu, E_T je energia spotrebovaná pri transporte a E_C je energia spotrebovaná počas výstavby

Prevádzková energia: $E_O = E_{OA} * l_b$
kde E_{OA} je ročná prevádzková energia a l_b je životnosť budovy

Demolačná energia: $E_D = E_{DIS} + E_T$
kde E_{DIS} je energia spotrebovaná počas demolácie a E_T je energia spotrebovaná pri transporte [38]

- **LCCA:**

Life Cycle Cost Analysis, teda analýza nákladov životného cyklu budov je metóda, ktorá hodnotí celkové náklady stavby. Do týchto nákladov patria náklady na vlastníctvo, zariadenie, nadobudnutie a likvidáciu stavby. LCCA je ekonomická hodnotiacia metóda, ktorú uprednostňujú vlastníci pri výstavbe alebo pri vylepšení zariadenia budovy.

3.3 Hodnotenie životného cyklu pomocou LCA

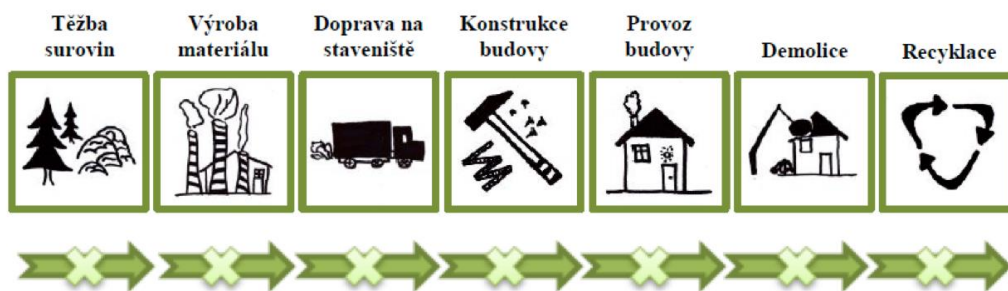
- **Definícia cieľa, rozsahu a hraníc**

Prvá fáza obsahuje popis predmetu posudzovania, funkciu prvku a že komu bude určená. Do definície cieľa patrí funkčná jednotka, ktorá definuje predmet hodnotenia a úžitok produktu. K tomu patrí aj porovnanie s ostatnými výrobkami. Funkčná jednotka musí byť merateľná v konkrétnych jednotkách. Množstvo produktov, ktoré je potrebné k danej úlohe, sa nazýva referenčný tok. Ďalej obsahuje základné predpoklady, čo sa bude hodnotiť a ako detailne – napr. či sa bude hodnotiť len hrubá stavba, či sa budú hodnotiť čerpané zdroje na stavenisku (spotrebovaná energia, voda, amortizácia strojov a ďalšie), atď.

V tomto kroku stanovujeme aj hranicu systému, ktorá je určená časovým a geografickým rozsahom. Geografická špecifikácia môže byť lokálna, regionálna, štátna, kontinentálna alebo globálna. Časový rozsah stanovuje dĺžku uvažovaného cyklu.

Názov	Slovenský názov	Zahrňuje
from cradle to gate	od kolísky po bránu	ťažbu surovín, dopravu, výrobu a skladovanie
from cradle to site	od kolísky na miesto stavby	ťažbu surovín, dopravu, výrobu a skladovanie, dopravu na miesto stavby
from cradle to grave	od kolísky po hrob	celý životný cyklus

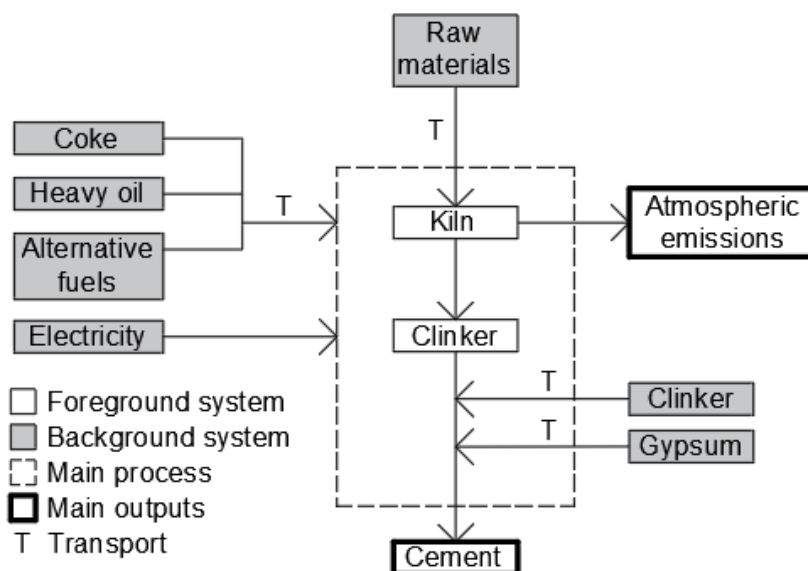
Obrázok 3.3.1 – Stanovenie hraníc systému
Zdroj: Vlastný



Obrázok 3.3.2 – Fázy životného cyklu
Zdroj: <http://www.envimat.cz/metodika/lca/>

- **Inventarizačná analýza (LCI)**

V tejto fáze sa získavajú dáta k jednotlivým procesom, ktoré tvoria produktový systém, podľa ktorého budú vyčíslené všetky materiálové a energetické toky.



Obrázok 3.3.3 – Výroba portlandského cementu
Zdroj: Stafford et al: LCA of Portland cement manufacturing

Na obrázku č. 5 je graficky spracovaná výroba portlandského cementu z hľadiska LCA. Sivo podfarbené políčka znamenajú tzv. background system – systémy v pozadí. Sem patria surové materiály, a materiály a energie k ďalším výrobným procesom, ako napr. elektrina, koks, palivá a sadra. Šípkami a písmenom T je zobrazená doprava jednotlivých materiálov.

V čiarkovanom rámečku môžeme vidieť hlavný proces výroby, ktorý zahŕňa tzv. foreground system – systémy v popredí, ako napr. pec, v ktorej sa páli surová zmes. V bielom rámečku môžeme vidieť hlavné výstupy, v našom prípade ide o cement a o atmosférické emisie.

Výsledkom inventarizačnej analýzy je tabuľka, v ktorej sú spracované všetky zdroje a ich spotreba v referenčných jednotkách. Spotreba je stanovená pre suroviny, výrobu a dopravu, a je rozdelená podľa obnoviteľnosti, recyklovateľnosti, nebezpečenstva, atď.

- **Hodnotenie dopadov (LCIA)**

Výsledky z inventarizačnej tabuľky sa spracovávajú do formy, aby bolo možné určiť kategóriu dopadov. V tomto kroku sa stanovuje aj indikátor dopadov, čo je v podstate merateľná veličina, ktorá vyjadruje možné zmeny v životnom prostredí. Táto hodnota stanoví mieru poškodenia pri danej ľudskej činnosti.

V nasledujúcej tabuľke som spracovala najčastejšie indikátory a samotné dopady na životné prostredie.

Indikátor	Kategória dopadu	Dopad
SO ₂	Okyslenie prostredia	Poškodenie pôdy a vôd
HCL		
NO _x		
CO ₂	Globálne otepľovanie	Otepľovanie, zmena klímy, extrémne počasie
CFC		
HCFC		
CH ₄		
CFC	Poškodenie ozónovej vrstvy	Zvýšené UV žiarenie
HCFC		
NO _x		

Obrázok 3.3.4 – Ukážka dopadov
Zdroj: Vlastný

Indikátory môžeme deliť na midpointové a endpointové. Rozdiel medzi nimi je, že midpointové indikátory sú založené na merateľných vlastnostiach určitej látky, a endpointové sú založené na merateľných zmenách v životnom prostredí. Kvôli neistotám sa endpointové indikátory používajú skôr pri zložitejších analýzach.

- **Interpretácia výsledkov**

Do časti interpretácia patrí výklad výsledkov, stanovenie váh, záver a odporúčanie. Dôležitá časť interpretácie je tzv. významné zistenie. Pod týmto pojmom rozumieme identifikáciu hodnôt, ktoré sú z nejakého dôvodu významnejšie než ostatné, napr. majú najväčší vplyv na životné prostredie. Získať tieto údaje je možné rôznymi postupmi: analýza dominancie, analýza príspevku, analýza ovplyvnenia a analýza bodu zvratu. Výstup z interpretácie je obvykle správa, ktorá môže mať viacero foriem, napr. úplnú pre zadávateľa, alebo skrátenú pre verejnosť. [19]

3.4 Nástroje a zdroje dát pre hodnotenie pomocou LCA

V súčasnej dobe máme k dispozícii niekoľko softvérov pre vypracovanie hodnotenia, najčastejšie používané sú nasledovné:

- SimaPro, GaBi 4, Athena, GEMIS, EcoPro, LCAiT a BEES.

Pri hodnotení treba dávať pozor, s akou databázou pracujeme, či sú v nej aktuálne údaje a zdroje, a či odpovedajú geografickej polohe hodnotenej stavby. Najpoužívanejšie databázy sú nasledovné:

- Ecoinvent, GaBi, Environdec, INIES, ICE, Ökobau.dat, IBU a CENDEC.

3.5 Problémy hodnotenia metódou LCA

Aj keď je LCA podľa môjho názoru najobjektívnejšia metóda hodnotenia environmentálnych dopadov v dnešnej dobe, musím spomenúť aj niektoré nedostatky tejto metódy.

Prvou nevýhodou je, že výsledky štúdie LCA sú platné len za daných, dopredu špecifikovaných podmienok. Ďalšou nevýhodou môže byť nedostatok informácií o dopadoch výroby jednotlivých materiálov na životné prostredie, resp. rozpory v týchto informáciách. Významným nedostatkom tejto metódy je aj to, že spravidla hodnotí len spotrebu materiálov a v hodnotení neberie ohľad na vhodnosť konštrukčného riešenia budovy.

Keďže sa štúdie LCA vypracovávajú pre rôznych objednávateľov, môžu nastať problémy so stanovením váh jednotlivých ukazovateľov. Tieto chyby môžu byť neúmyselné, alebo môže v nich hrať rolu vplyv nejakej záujmovej skupiny.

3.6 EPD – Environmental product declaration

Na základe hodnotenia pomocou LCA sa vypracováva certifikát EPD – Environmentálne prehlásenie o výrobku. Tento certifikát obsahuje informácie o vplyve produktu na životné prostredie v priebehu celého životného cyklu. Jedná sa o niekoľko stranový dokument, ktorý musí byť v súlade s platnými normami, a musí prejsť overením ešte predtým, než sa dostane k spotrebiteľovi, resp. sa stane marketingovým produktom alebo bude verejne publikovaný. Po overení bude oficiálne zaregistrovaný vo verejne prístupnej databáze, a výrobok bude oprávnený používať logo EPD. V Českej republike sú operátormi pre EPD Cendec a Cenía. [19], [44]



Obrázok 3.6 – Ukážka loga EPD
Zdroj: www.environdec.com

Medzi ciele certifikácie EPD patrí poskytnutie pravdivých a relevantných údajov o vplyve produktu na životné prostredie. Pre objednávateľov certifikácie môže byť lákavé, že s certifikátom môžu zvyšovať záujem spotrebiteľov a vytvoriť lepšie podmienky na trhu, resp. vedia posilniť dôveru u obchodných partneroch a môžu využiť EPD aj pri marketingu.

3.7 Certifikačné systémy

V dnešnej dobe v Českej Republike môže byť vydaných viacero certifikátov, ktoré hodnotia budovy z rôznych pohľadov, napr. komplexné hodnotenie – environmentálne, sociálne a ekonomické; z určitého hľadiska – napr. energetická náročnosť; alebo len podľa určitých kritérií. Účelom certifikácie je zlepšenie kvality prostredia, zvýšenie hodnoty budovy alebo nižšie prevádzkové náklady.

V Českej republike dnes používajú najmä 3 typy certifikátov: SBToolCZ, LEED a BREEAM. Podľa údajov Českej rady pre šetrné budovy je najpoužívanejší certifikát BREEAM. [19], [29]

- **SBToolCZ**

Jedná sa o národnú platformu, ktorá je založená na základe medzinárodnej SBTool. Metodika je navrhnutá pre nové budovy: rodinné domy, bytové domy, administratívne a školské budovy. Zakladá sa na nasledujúcich pilieroch: environmentálne, sociálne a ekonomické kritériá a lokalite. Na základe bodového hodnotenia rady parametrov, je možné získať základný, bronzový, strieborný alebo zlatý certifikát. Certifikáciu je možné vykonať v dvoch fázach: certifikácia kvality návrhu budovy alebo certifikácia kvality budovy.

Do celkového hodnotenia budovy vstupujú len nasledujúce kritériá:

- Environmentálne (50 %)
- Sociálne (35%)
- Ekonomické (15%)

Environmentálne kritériá sú hodnotené v súlade s LCA. Všetky kritériá sú bodovo hodnotené a následne sú priradené váhy jednotlivých kritérií. Výslednú kategóriu určia podľa dosiahnutých bodov. Pre zlatý certifikát je potrebné získať aj stanovený minimálny počet bodov z každého kritéria. [19], [29]



Obrázok 3.7.1 – Certifikáty SBToolCZ
Zdroj: <http://www.stpcr.cz/>

- **LEED**

Patrí pod organizáciu U.S. Green Building Council v USA. Túto certifikáciu môžu dostať aj už existujúce budovy. Táto certifikácia má najkvalitnejšie hodnotenie energetickej náročnosti budovy. Pri procese certifikácií je potrebné získať povinné kredity, na základe dobrovoľných kreditov sa stanovuje výsledná úroveň certifikátu. Kritériá pre hodnotenie sú: lokalita, energia, atmosféra, materiály a zdroje, hospodárenie s pitnou vodou, inovácie, kvalita vnútorného prostredia a regionálne priority.

Na rozdiel od iných certifikačných systémov, projektový tím musí zbierať dáta o stavbe a posilať ich priamo do USGBC, kde sú údaje preskúmané odborníkmi, až potom je udelený certifikát. Minimálny počet bodov na získanie certifikátu je 40. [19], [29]



Obrázok 3.7.2 – Certifikát LEED
Zdroj: www.greenexam.com

- **BREEAM**

BREEAM je najrozšírenejší certifikát na celom svete. Je založený na výpočte váženého priemeru vybraných environmentálnych aspektov. Výsledkom je percentuálny podiel environmentálnych dopadov. BREEAM hodnotí celkom 9 kategórií: energia, zdravie a pohoda prostredia, materiály, management, znečisťujúce látky, využitie pôdy a ekológiu, dopravu, odpad a vodu. Týmto kategóriám je priradená váha v percentách podľa relatívneho vplyvu na životné prostredie. Na základe percentuálneho podielu je stanovená výsledná úroveň certifikátu.

Energia	19 %	Využitie pôdy a ekológia	10%
Zdravie a pohoda prostredia	15 %	Doprava	8 %
Materiály	12,5 %	Odpady	7,5 %
Management	12 %	Voda	6 %
Znečisťujúce látky	10 %	+ Inovácie	10 %

Maximum je 110 %, z čoho 10 % je za inovatívne riešenie, ktoré redukuje negatívne dopady na životné prostredie a nie je v databáze inovatívnych riešení v rámci iných projektov. [19], [29]

Výsledok môže byť nasledovný:

Unclassified (Nezaradené) <30%

Pass (Vyhovujúce) >30%

Good (Dobré) >45%

Very Good (Veľmi dobré) >55%

Excellent (Vynikajúce) >70%

Outstanding (Výnimočné) >85%



Obrázok 3.7.3 – Certifikát BREEAM

Zdroj: www.ecopoint.sk

Tieto certifikačné systémy sa líšia aj podmienkami hodnotenia aj metódami hodnotenia, preto ich nie je možné vzájomne porovnať, ani určiť, ktorý je najvhodnejší z hľadiska udržateľného rozvoja.

3.8 Zdroje dát certifikačných systémov

- **SBToolCZ**

Certifikačný systém SBToolCZ vychádza z prehlásenia výrobcov pri konštrukčných materiáloch, a z certifikátu EPD pri certifikovaných materiáloch. Pri certifikácii majú väčšiu váhu konštrukčné materiály s prehlásením.

Pri kritériách s nepriamym vplyvom, ako je napr. spotreba primárnych energií, potenciál globálneho otepľovania, okyslenie prostredia, ničenie ozónovej vrstvy a tvorba ozónu, používajú zdroje z Envimat.cz. Čo sa týka váhy týchto kritérií, najväčšiu rolu má v hodnotení spotreba primárnych energií.

- **LEED**

Zdroje dát pri hodnotení materiálov tvoria technické listy, bezpečnostné listy, prehlásenia výrobcov a certifikáty EPD. Najväčšiu váhu majú znovu využité materiály, resp. konštrukcie, a nízkoemisné materiály.

- **BREEAM**

Spoločnosť BREEAM hodnotí materiály podľa metódy LCA, a pri certifikovaných materiáloch vychádza z prehlásenia výrobcov a z technických listov. Pri vyhodnotení berie do úvahy aj náklady životného cyklu budovy, pri ktorom vychádza z výsledkov LCCA.

Do kritérií s nepriamym vplyvom patria dopady staveniska na životné prostredie, ochrana exponovaných častí objektov a použitie recyklovaného plniva, pričom najväčšiu váhu majú dopady staveniska.

3.9 Envimat

Databáza Envimat je Česká, voľne dostupná databáza stavebných materiálov a konštrukcií, pomocou ktorého je možné posúdiť a porovnať dopad vybraných prvkov na životné prostredie.



Obrázok 3.9 – Logo envimat

Zdroj: <http://www.envimat.cz/kestazeni/>

Posudzované parametre sú nasledovné:

- **Environmentálne:** Potenciál globálneho otepľovania (GWP)
Potenciál acidifikácie prostredia (AP)
Potenciál tvorby prízemného ozónu (POCP)
Potenciál ničenia ozónovej vrstvy (ODP)
Potenciál eutrofizácie postredia (EP)
- **Ďalšie:** Spotreba primárnej energie (PEI)
Hrúbka konštrukcie
Objemová/Plošná hmotnosť konštrukcie
Index vzduchovej nepriezvučnosti (R_w)
Súčiniteľ prestupu tepla (U)
Cena

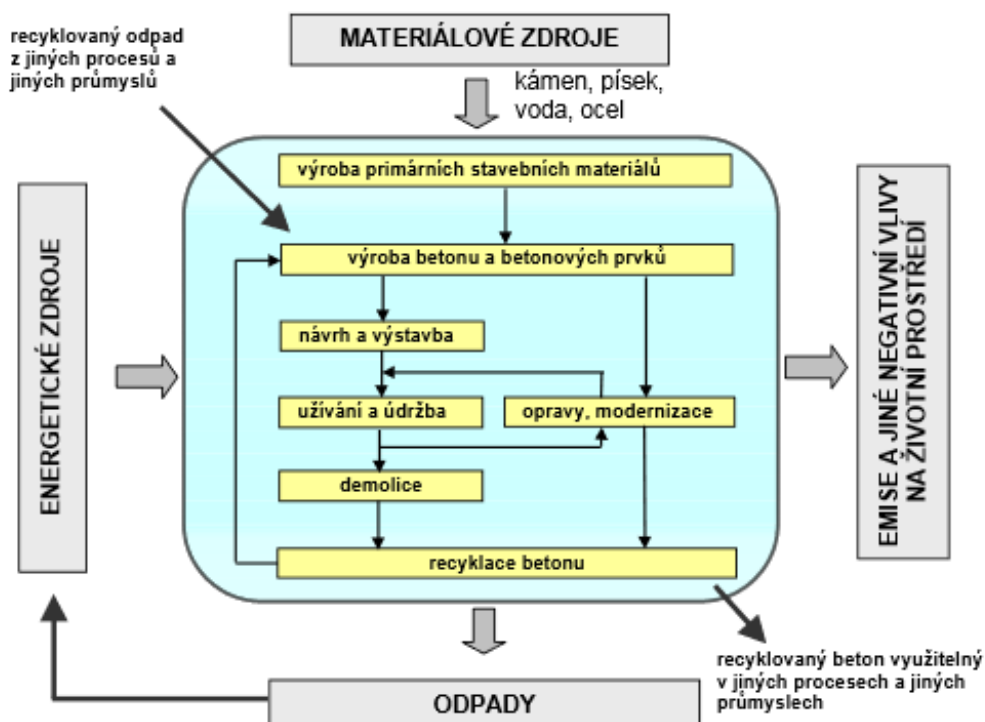
Projekt Envimat pozostáva z troch fáz. V prvej fáze sa získajú dáta zo zahraničných databáz, v druhej sa oslovujú výrobcovia stavebných produktov, získajú sa informácie o výrobkoch, ktoré sú dostupné v Českej republike, pre ktoré sú, alebo budú spracované EPD. V tretej fáze je predstavená databáza z lokálnych dát.

Na základe týchto informácií je potom možné vypracovať porovnanie jednotlivých materiálov, resp. produktov. Materiály sa porovnávajú k jednotkovej hmotnosti, stavebné konštrukcie na 1 m². Okrem preddefinovaných konštrukcií a materiálov je možnosť vytvoriť a porovnať aj vlastné konštrukcie. [43]

4. Udržateľný rozvoj a betónové konštrukcie

Vzhľadom na množstvo betónových a železobetónových konštrukcií v Českej republike, je potrebné sa viac zaoberať s udržateľnosťou betónových konštrukcií a so znižovaním dopadov betónového stavebníctva na životné prostredie. S návrhom konštrukcií zo železobetónu úzko súvisí veľká spotreba neobnoviteľných surovín, ako napr. štrk, kamenivo a suroviny na výrobu cementu. S výrobou surovín a výstavbou sú spojené aj produkcie emisií CO₂ a SO₂ a množstvo spotrebovaných energií. [25]

Špecifické ciele pre betónové stavebníctvo sú minimalizácia spotrebovanej energie, emisií a odpadov, znižovanie záťaže od výrobných procesov, optimalizácia tvaru a vystuženia železobetónových konštrukcií, predĺženie životnosti a trvanlivosti konštrukcií, návrh demontovateľných konštrukcií a používanie recyklovaných materiálov.

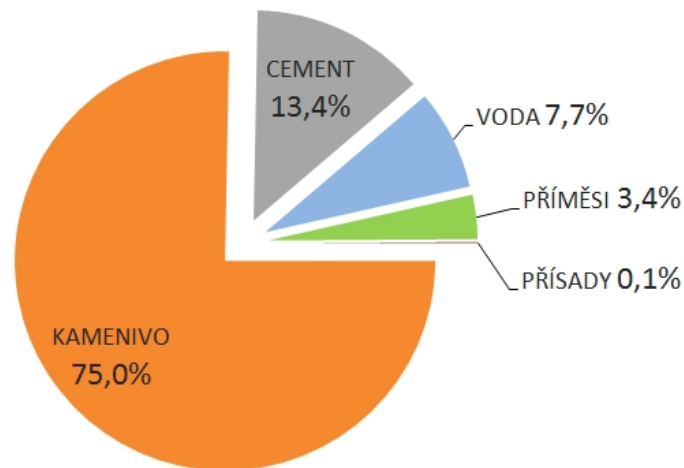


Obrázok 4.0.1 – Životný cyklus betónovej stavby
Zdroj: Hájek, Teplý, Křístek - Trvale udržateľný rozvoj a betónové konštrukcie

V nasledujúcich bodoch som sa venovala zloženiu betónu, aké sú výhody, nevýhody pri výrobe, aké sú možnosti riešenia z hľadiska UR. Ďalej som sa zaoberala dopadom ŽB konštrukcií na životné prostredie a trvanlivosťou betónových konštrukcií – s negatívnymi vplyvmi, ako je napr. korózia. V poslednej časti som sa pozrela na demoláciu a recykláciu betónových prvkov.

4.1 Zloženie betónu

Betón sa skladá z kameniva, cementu, vody, prísad a prímiesí. Pomer týchto zložiek je zrejmý z nasledujúceho grafu. [45]



Obrázok 4.1 – Zloženie betónu

Zdroj: <https://www.ebeton.cz/pojmy/slozeni-betonu-slozky-betonu/>

- Kamenivo:

Jedná sa o prírodný, ale neobnoviteľný materiál, ktorý sa ťaží z náplavov riek, z prírodných suchých ložísk alebo sa drví z prírodného kameňa. Výhodou kameniva je, že sa nachádza na viacerých miestach ČR, takže nie nutná doprava z väčšej diaľky. Nevýhodou je ťažba, ktorá má negatívny vplyv na životné prostredie a používanie strojov ako sú drviče, triedičky a dopravníky, ktoré sú poháňané palivom. Pri používaní týchto strojov čerpáme neobnoviteľné zdroje a znečisťujeme ovzdušie.

Riešením by mohlo byť používanie recyklovaných materiálov ako je recyklovaný betón alebo rozdrvené tehly z búraných stavieb. Keďže pri výstavbe priemerného rodinného domu sa použije až 400 t kameniva, čo najrýchlejšie by sme mali vymyslieť vhodnú alternatívu.

- Cement:

Cement sa vyrába pálením vápenca s ílom alebo pieskom. Pri výrobe cementu je veľká spotreba energií a palív, a pri procese sa produkujú emisie CO₂.

Každá tona cementu vyžaduje okolo 60-130 kg palivového oleja a priemerne 110 kWh elektrického prúdu. Momentálne cementársky priemysel skúša používať alternatívne palivá, aby zachoval fosílnu, ako sú napr. nafta alebo uhlie. Ako alternatívne palivo môžu byť použité odpadové materiály: odpadový olej, pneumatiky alebo palivá vyrobené z odpadov.

- Voda:

Pri výrobe betónu musí používaná voda spĺňať prísne podmienky. Z vody, ktorú chceme použiť, je najprv potrebné odobrať vzorku, a len po preukázaní vhodnosti je možné ju použiť. Výnimkou je pitná voda, čo spôsobuje, že na viacerých stavbách používajú pitnú vodu pri výrobe betónu.

- Prímеси a prísady:

Sú to prídavné látky do betónu, ktoré zlepšujú niektoré vlastnosti betónu. Z hľadiska udržateľnosti sú dôležité pre trvanlivosť a pevnosť konštrukcií, napr. znižujú korozívne pôsobenie, zlepšujú kvalitu – lepší vonkajší povrch = menej opráv počas životnosti.

4.2 Výpočet dopadov železobetónových konštrukcií na životné prostredie

Na základe údajov zo softvéru Envimat som stanovila environmentálne dopady pre prostý betón a pre betonársku výstuž. Tieto hodnoty sú spracované v nasledujúcej tabuľke na jednotku hmotnosti materiálov, teda na kg.

	Prostý betón:	Oceľ – výstuž:
Zdroj dat	Ecoinvent	Ecoinvent
Obecné vlastnosti		
PEI [MJ/kg]	0.574926	22.5279
GWP [kg CO ₂ ekv./kg]	0.109891	1.482
AP [g SO ₂ ekv./kg]	0.184899	5.0948
EP [g (PO ₄) ³⁻ ekv./kg]	0.046	3.133
ODP [g R-11 ekv./kg]	0.00000370555	0.000060017
POCP [g C ₂ H ₄ ekv./kg]	0.00677773	0.81161
Objemová hmotnosť ρ [kg/m ³]	2380	7850
Obecné vlastnosti materiálov		
Součiniteľ tepelnej vodivosti λ [W/mK]	1.36	48

Obrázok 4.2 – Posúdenie environmentálnych dopadov pomocou Envimat
Zdroj: Vlastný

Z tabuľky je jasné, že železobetónové konštrukcie majú najväčší dopad na spotrebu primárnych energií, na globálne otepľovanie a na acidifikáciu prostredia. Spotrebu primárnych energií a produkciu emisií CO₂ môžeme znížiť recykláciou materiálov, znížením objemu použitého materiálu – optimalizáciou návrhu, a opätovným použitím stavebných prvkov – návrh flexibilných alebo demontovateľných prvkov.

Acidifikácia, tzv. okysľovanie prostredia je ekologický proces, pri ktorom dôjde k znižovaniu pH životného prostredia. Acidifikácia narúša biologickú rovnováhu ekosystémov, ale na zdravie človeka nemá priami vplyv. Medzi acidifikujúce látky patrí aj SO₂. Dostáva sa do ovzdušia pri spálení fosílnych palív. Pre zníženie dopadov acidifikácie by sme preto mali používať alternatívne palivá alebo znížiť výrobu železobetónu a viac prvkov použiť znova.

4.3 Trvanlivosť železobetónových konštrukcií

Časové obdobie od začiatku realizácie, až po uplynutie času životnosti stavby nazývame životným cyklom. Životnosť stavby je obdobie, počas ktorého vyhovujú vlastnosti stavby na takej úrovni, aby spĺňali základné požiadavky. Toto obdobie začína plynúť uvedením stavby do prevádzky a končí, keď stav konštrukcie už nevyhovuje daným kritériám. Hlavné kritériá sú bezpečnosť, funkčná spôsobilosť a užívateľská pohoda.

Požadovanú životnosť stavby určíme už vo fáze projektovania, jedná sa o návrhovú životnosť stavby. Návrhová životnosť by sa mala dosiahnuť pri správnom návrhu a pri dostatočnej a vhodnej údržbe budovy. Návrhovú životnosť stavby podľa typu konštrukcie stanovujeme podľa normy ČSN EN 1990:2002 Eurokód – Zásady navrhování konstrukcí . Jednotlivé kategórie a návrhové životnosti konštrukcií sú nasledovné [17], [28]:

Kategória	Charakteristická návrhová životnosť v rokoch	Príklad
1	10	Dočasné konštrukcie*
2	10 - 25	Vymeniteľné konštrukčné časti
3	15 - 30	Poľnohospodárske a podobné stavby
4	50	Konštrukcie budov, domov a iné bežné konštrukcie
5	100	Konštrukcie hystoricky významných budov, mosty a ostatné inžinierske konštrukcie

* Konštrukcie alebo časti konštrukcií, ktoré môžu byť demontovateľné a znova použité sa nepovažujú za dočasné

Obrázok 4.3.1 – Kategórie a návrhová životnosť stavieb
Zdroj: Vlastný na základe noriem ČSN

Pre overenie trvanlivosti konštrukcií je potrebné poznať prostredie konštrukcie, mechanizmus prenosu a zaťaženie vplyvom prostredia a jeho účinky na konštrukciu. V prostredí konštrukcie sú zahrnuté vplyvy ako teplota, ovzdušie, dážď, živé organizmy, slnečné žiarenie alebo škodlivé látky, ktoré produkujú činitele ako vlhkosť a kyslík. Mechanizmy prenosu môžu podporovať, alebo zabraňovať prenos vplyvov. Medzi mechanizmy prenosov patrí napr. gravitácia, kondenzácia, tlak vzduchu a pary alebo odvodnenie. Zaťaženie vplyvom prostredia môže byť mechanické, biologické, fyzikálne, chemické alebo elektrochemické. Tieto zaťaženia spôsobujú koróziu, degradáciu, deformáciu alebo objemové zmeny materiálov.

Z hľadiska trvanlivosti poznáme tri medzné stavy:

- Medzný stav únosnosti – pre degradáciu materiálov, ktoré vedú k porušeniu alebo k strate odolnosti materiálov
- Medzný stav použiteľnosti – pre degradáciu, ktorá vedie k lokálnemu porušeniu, zmene vzhľadu alebo posunutiu konštrukcií
- Iniciačný medzný stav – je definovaný ako čas zahájenia degradácie, ktorá vedie k medznému stavu použiteľnosti alebo únosnosti [18]

Materiál	Zatížení vlivem prostředí	Účinky zatížení	Činitele, podmínky	Alternativy návrhu
Beton, betonové bloky a malta	Mrazové cykly	Rozpad, vzhled	Velký obsah vlhkosti během mrazových cyklů, zvýšeno přítomností chloridů a chybějícím odvodněním	Provzdušňování, návrh směsi, výběr kameniva, detaily odvodnění
	Napadení působením síranů	Rozpínání a následný rozpad	Sírany v podzemní vodě, zdicí prvky, haldy uhlí, mořská voda	Typ cementu, návrh směsi, odvodnění, malý obsah síranů ve zdicích prvcích
	Alkalická reakce	Rozpínání a následný rozpad	Silikátové nebo vápencové kamenivo, potřebná vlhkost	Typ kameniva, typ cementu, (např. nízkoalkalický nebo směsný cement), aditiva cementu, kontrola vlhkosti
	Smršťování	Trhliny, škody na přilehlých součástech (např. obkladu zdiva)	Velký vodní součinitel (w/c), velký obsah vlhkosti během provádění (betonové bloky)	Návrh směsi, následnost provádění, provedení dilatace, výztuž, ošetřování čerstvého betonu
	Pro napadení chloridy a karbonatami, viz „ocel“ a „korozie výztuže v betonu“.			

Obrázok 4.3.2 – Účinky zaťaženia prostredia na betónové konštrukcie
Zdroj: ČSN ISO 13823

Ocel	Atmosférická korozie	Porucha spojovacích prostriedků, vzhledu, poškození vlivem expanze produktů korozie	Trvalá vlhkost, přítomnost kyslíku, zhoršeno acidity a hygroskopickými nečistotami	Odvodňování (zabrániť zadržování vody), větrání, PKO
	Korozie v zóně postřiku aerosolem mořské vody	Korozie pilot v zóně postřiku aerosolem mořské vody	Trvalá vlhkost, přítomnost kyslíku, zhoršeno přítomností chloridů	PKO, katodická ochrana
	Korozie v půdním prostředí	Poruchy pilot, poruchy potrubí	Trvalá vlhkost, kyslík nebo anaerobní bakterie, zvýšeno přítomností rozpustných solí, bludných elektrických proudů	Typy půd (zkoušky korozní agresivity půdy, bakterie atd.), PKO, katodická ochrana
	Korozie výztuže v prostředí betonu	Ztráta soudržnosti, porucha výztuže, trhliny a oprýskávání betonu	Trvalá vlhkost, kyslík, chloridy nebo snížení pH karbonatami	Ochranná opatření, betonová směs, konstrukční detaily odvodňování
	Korozie výztuže v prostředí zdiva	Porucha spojovacích prostriedků, trhliny ve zdivu	Trvalá vlhkost, kyslík, zvýšena přítomností solí	Zinkový povlak, korozivzdorná ocel
	Korozie výztuže v prostředí dřeva	Porucha spojovacích prostriedků a přilehlého dřeva	Trvalá vlhkost, kyslík	Drenáž (zabrániť ukládání vody), ventilace, PKO

Obrázok 4.3.3 – Účinky zaťaženia prostredia na oceľové konštrukcie
Zdroj: ČSN ISO 13823

• Mraz a rozmrazovanie

Týmto vplyvom sú najviac vystavené dopravné a vodohospodárske stavby. Voda, ktorá zamrzne v póroch materiálu, zväčšuje objem, tým spôsobí napätie v betóne a porušenie konštrukcie. Výsledkom je porušenie povrchu alebo narušená štruktúra – pokles pevnosti v ťahu alebo modulu pružnosti. Mrazuvzdornosť betónu je teda priamo ovplyvnená množstvom pórov v betóne. V prípade použitia rozmrazovacích prostriedkov, ako sú napr. soli (chloridy) sa účinky mrazu a rozmrazovania zosilňujú. Chloridy patria okrem toho aj k najagresívnejším látkam čo sa týka korózie výstuže. Pri návrhu betónových konštrukcií proti

mrazu by sme mali dávať pozor na hrúbku krycej vrstvy (stupne vplyvu prostredia XF1-XF4), na správne odvodnenie konštrukcií a na návrh betónovej zmesi – použiť prevzdušňovacie prostriedky, aby sme znížili nasiakavosť a priepustnosť betónu.

- **Síranová korózia**

Tento typ korózie spôsobujú agresívne síranové vody, ktoré vyvolajú vnútorné pnutie v betóne, čo vedie k rozvoju trhlín. Najviac ohrozené sú preto konštrukcie trvalo vystavené podzemným alebo odpadovým vodám, napr. základové konštrukcie. Korózia betónu je ovplyvnená teplotou, koncentráciou agresívnej vody, vlastnosťami cementu, množstvom zámesovej vody a štruktúrou betónu. Základným opatrením môže byť použitie síranovzdorného cementu, vhodná krycia vrstva (stupeň vplyvu prostredia XA1-XA3), odvodnenie konštrukcií alebo povrchová úprava, napr. ochranné nátery.

- **Alkalické reakcie**

K vzniku alkalické reakcie je potrebná prítomnosť troch zložiek: vody; alkálií – tie sú prítomné v cemente alebo sa dostávajú do betónu z vonkajšieho prostredia, napr. ako posypová soľ; a kremíku alebo vápenca, ktoré sú súčasťou kameniva. Alkalicko-kremičitá reakcia (ASR) je dlhodobá chemická reakcia, ku ktorej dochádza v najvlhkejších častiach konštrukcie a spôsobí porušenie štruktúry betónu. Týmto reakciám môžeme predísť použitím vhodného kameniva a nízkoalkalických cementov, alebo pridaním prímiesí ako napr. popolček alebo puzolán.



Obrázok 4.3.4 – Alkalicko-kremičitá reakcia

Zdroj: https://hwikisk.cyou/wiki/alkali%e2%80%93silica_reaction#Mechanism_of_concrete_deterioration

- **Zmršťovanie**

Zmršťovanie betónu ovplyvňuje hlavne vodný súčiniteľ a vlhkosť behom prevedenia konštrukcií. Rozdeľujeme autogénne a chemické zmršťovanie. V závislosti úniku vody do okolia rozlišujeme: plastické zmršťovanie – keď k úniku dochádza ešte pred tuhnutím a tvrdnutím betónu, vysychanie – keď voda uniká po začiatku tuhnutia a tvrdnutia. Keď s vodou uniká aj cement, tak to nazývame krvácaním betónu. Čo sa týka opatrení, aby sme predišli zmršťovaniu, môžeme použiť väčšiu frakciu kameniva, znížiť vodný súčiniteľ, pridať expanzívnu prísadu alebo pri ošetrovaní môžeme betón prikryť alebo vlhčiť vodnou hmlou, resp. kropením, prípadne odložiť betonáž do večerných hodín, keď sú nižšie teploty.

- **Karbonatácia**

Karbonatácia, teda uhličitanie cementu je chemická reakcia medzi oxidom uhličitým (CO_2) a hydroxidom vápenatým ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Táto reakcia prispieva k tvorbe uhličitanu vápenatého, ktorý zodpovedá za zníženie pH betónu. Čerstvý betón má pH okolo 12,6 ktorý sa dôsledkom karbonatácie môže znížiť až na 8,3. Intenzita uhličitanie závisí na koncentrácii oxidu vo vzduchu, na množstve vody v cementovej zmesi a na pórovitosti prvku.

Hlavným účinkom karbonatácie je korózia výstuže, ktorá má za následok zväčšenie objemu, čo spôsobí odpraskávanie krycej vrstvy betónu. Porušením vplyvom karbonatácie môžeme predísť dostatočnou hrúbkou krycej vrstvy (stupeň vplyvu prostredia XC1-XC4), správnym odvodňovaním alebo použitím stavebnej chemikálie – ochranného povlaku, ktorý chráni betón pred oxidom uhličitým.

- **Chloridová korózia výstuže**

Chloridová korózia, podobne ako korózia karbonatáciou, môže spôsobiť odlúpenie, odpraskávanie krycej vrstvy. Na rozdiel od uhličitanie však pri chloridovej korózii nemusí dôjsť k zníženiu pH, stačí, ak chloridy prenikajú až k výstuži. Pri návrhu krycej vrstvy vychádzame zo stupňa vplyvu prostredia XD1-XD3, ostatné možné ochrany proti koróziám sú podobné, ako v predošlých prípadoch: správne odvodnenie a zníženie objemu pórov v betóne, alebo povrchová úprava výstuže – ochranné nátery proti korózii.

- **Korózia spôsobená pohyblivým mechanickým zaťažením**

Jedná sa o namáhanie obrusom, charakteristické pre dopravné stavby, vodohospodárske stavby, sklady a továrne. Namáhanie obrusom môže spôsobiť prejazd vozidiel, vysokozdvížných vozíkov, prejazd pásovými vozidlami alebo obrus unášanými splaveninami vody. Kryciu vrstvu betónu navrhujeme podľa stupňa vplyvu prostredia XM1-XM3. Ďalšou ochranou môže byť vhodná povrchová úprava betónu, napr. ochranné nátery.

- **Biodegradácia**

Je zmena vlastností materiálov spôsobená činnosťou živých organizmov, napr. rastlín, baktérií, plesní alebo riasami. Biologické procesy môžu spôsobiť narušenie, znehodnotenie alebo úplný rozklad materiálov. Dôsledky sa prejavujú ako fyzikálna degradácia alebo chemická korózia.

Pri trvanlivosti železobetónových konštrukcií je potrebné hovoriť aj o častých poruchách týchto konštrukcií a o ich sanáciách. Poruchy železobetónových konštrukcií, ktoré boli spôsobené ľudským faktorom, môžeme rozdeliť do dvoch hlavných skupín: chyby pri návrhu a chyby pri prevedení. [20], [26]

- **Chyby pri návrhu:**

Najčastejšie chyby pri návrhu vznikajú pri vystužovaní: chybné rozmiestnenie výstuže, alebo nesprávne množstvo a rozmiestnenie rozdeľovacej výstuže, resp. strmienkov. Tieto chyby majú za následok väčšie deformácie a vznik trhlin v konštrukciách. Druhou najčastejšou chybou je návrh základových konštrukcií v súvislosti so sadaním objektu. Dôsledkom sadania

konštrukcie môžu byť výrazné trhliny na viacerých miestach budovy. Často vznikajú chyby aj pri návrhu dilatačných celkov. Pri zlom návrhu vznikajú trhliny napr. kvôli objemovým zmenám, ktoré sú vyvolané teplotnými zmenami alebo pri nerovnomernom sadaní objektu. Menej časté sú chyby pri návrhu krycej vrstvy alebo nesprávne navrhnuté pracovné škáry.

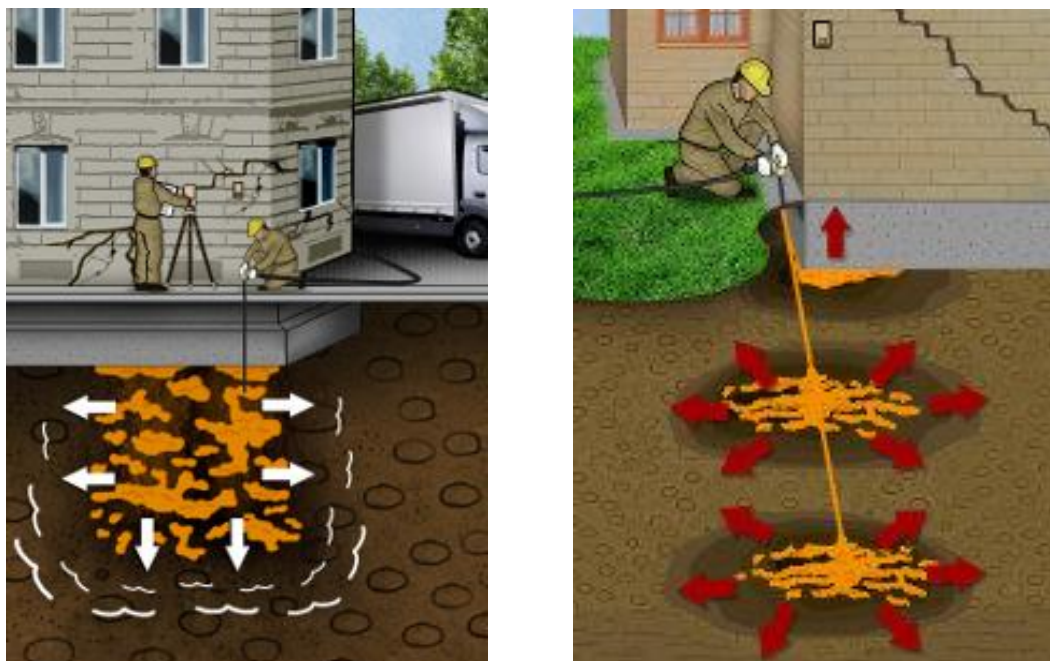
- **Chyby pri prevedení:**

Medzi časté chyby patria aj pochybenia na stavenisku ako napr. chyby pri zhotovovaní betónu, nedodržiavanie maximálneho času spracovateľnosti, nesprávne vibrovanie betónovej zmesi – vznik nezvibrovaného hniezda, nesprávna úprava povrchov debnenia alebo predčasné oddebnenie, betónovanie v nevhodných podmienkach – napr. príliš nízke alebo vysoké teploty. [30]

- **Sanácia železobetónových konštrukcií**

Z hľadiska udržateľnosti je veľmi dôležitá údržba a sanácia existujúcich konštrukcií. Železobetónové konštrukcie nie sú náročné na údržbu, stačí pozorovať ich stav, vlhkosť prostredia, prípadne vznik alebo rozvoj trhlín a celistvosť krycej vrstvy. Čo sa týka sanácie, najčastejšie sa jedná o stabilizáciu základov, sanáciu trhlín alebo o dodatočné opatrenie proti vlhkosti.

V prípade sadnutých základov je najčastejším riešením stabilizácia základov pomocou injektáže, ktorou je možné spevniť pôdu a vyplniť dutiny pod základovými konštrukciami. Rôzne firmy používajú rôzne injektážne zmesi, napr. cementovú, živicovú alebo akrylátu. Ďalšie možnosti sú rozšírenie základov alebo podchytenie základov mikropilótami.



Obrázok 4.3.5 a 4.3.6 – Stabilizácia základov pomocou injektáže
Zdroj: https://abainnovator.com/sk/technologie/zaklad_stabilization

V prípade sanácie trhlín môžeme uzavrieť trhliny elastickým náterom, utesniť pružným pásom, vyplniť pevným alebo elastickým materiálom, či vytvoriť pružný spoj a trhlinu previesť na dilatačnú škáru. Pri neaktívnej trhline je možnosť zošívania pomocou špeciálnych oceľových spôn. [31]



Obrázok 4.3.7 – Zošívanie trhliny pomocou oceľovej spony

Zdroj: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/zosivanie-trhlin-v-betone>

- Zosilnenie železobetónových konštrukcií

V dnešnej dobe sa často stáva, že sa zmení účel využitia budovy, zvýši sa zaťaženie alebo je plánovaná prestavba alebo prístavba. V takýchto prípadoch môže byť požadované zosilnenie existujúcich konštrukcií. Pri železobetónových konštrukciách sa najčastejšie jedná o obetónovanie alebo o zosilnenie pomocou oceľových profilov – uholníkov a pásov. Väčšinou ide o zosilnenie zvislých konštrukcií ako sú stĺpy a piliere.



Obrázok 4.3.8 – Sanácia železobetónového skeletu

Zdroj: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/sanacia-zelezobetonoveho-skeletu>

4.4 Demolácia a recyklácia železobetónových konštrukcií

Demolácia:

Pri hodnotení dopadov musíme v každom prípade počítať s demoláciou konštrukcií, avšak v prípade recyklácií je možné, že tieto dopady budú väčšie, keďže s recyklovateľnými materiálmi musia pracovať opatrnejšie, a musia ich triediť od ďalších materiálov. S týmto sa môže predĺžiť čas na demoláciu, čo môže mať finančné aj environmentálne dopady, napr. dlhšiu dobu sa používajú stroje, čo znamená viac emisií a vyššiu spotrebu energií. Okrem toho sa zvýšia dopady aj pri doprave, nestačí totiž všetko odvieť na jedno miesto, ale vytriedený odpad musia zobrať na zberné miesta a zvyšok napr. na skládky.

Recyklácia:

Pri recyklácii materiálov sa znižuje potreba výroby materiálov a aj spracovanie odpadov, čo je veľký prínos pre životné prostredie. Okrem toho je recyklácia výhodná aj z finančného hľadiska. Pre porovnanie, cena za odloženie vytriedeného betónového recyklovateľného odpadu sa pohybuje okolo 150-200 Kč/t, a cena na skládkach za zmiešaný stavebný odpad je od 1500 do 3000 Kč/t.

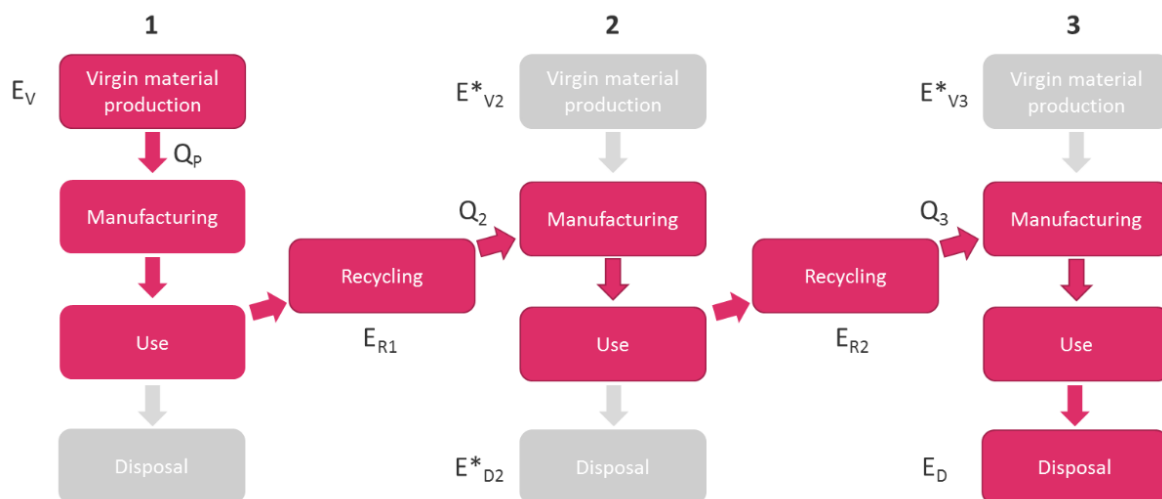
Recyklácia betónových konštrukcií začína v betonárkach, kde recyklujú vytečený betón alebo zvyšky napr. zo strojov alebo miešačiek. O to náročnejší proces je recyklácia po búracích prácach, kedy sa betón drví na odlišné frakcie pomocou drvičiek. Takto získaný recyklát sa dá použiť napr. ako podsypový materiál alebo ako náhrada štrku do betónu nižšej pevnosti. Ďalší spôsob recyklácie, ktorý môže v budúcnosti nahradiť drvenie, je namočenie betónu do vody a následný elektrický výboj. Výsledkom je oddelenie betónu na takmer pôvodné komponenty ako sú kamenivo, piesok a cementový prach. Momentálne je nevýhodou tejto technológie, že nedokáže spracovať za určitý čas toľko betónu, ako je možné recyklovať pomocou drvičiek.

Ďalšie metódy, ktoré by som chcela spomenúť, sú rezonančná technológia, kedy sa pomocou nárazov rozruší povrch betónu a vznikne betónová drť, alebo technológie, pri ktorých sa betón rozdrví použitím vodného lúča. Tieto metódy sú však náročné na technológiu a na spotrebu energií.

Existuje ďalšia technológia v Japonsku, kedy sa betón ohrieva, potom sa dáva do mlyna a následne prejde vibračným sitom. Takto získané kamenivo sa len mierne líši od prírodného kameniva, preto má lepšie vlastnosti, ako pri obyčajnom drvení. Okrem toho sa dá použiť aj získaný prach ako prímies do betónu. [24]

Z betónu teda vzniká recyklované kamenivo, ktoré má anorganický pôvod a bolo použité v nejakej konštrukcii. Pozostáva z kameniva a zbytkovej cementovej malty. Recyklovaný betón žiaľ, doteraz nemá stabilné miesto v stavebnom priemysle, lebo je skoro nemožné presne predpovedať jeho vlastnosti.

Vzhľadom nato, že miera recyklovaných materiálov sa každým rokom zvýši, nastal problém pri výpočte dopadov na životné prostredie, ktorý má zahŕňať aj množstvo recyklovaných alebo recyklovateľných materiálov.



Obrázok 4.4.1 – Schéma 3x recyklovaného materiálu z hľadiska udržateľnosti

Zdroj: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Z obrázku je jasné, že ktoré procesy/dopady vieme ušetriť vo výpočtoch udržateľnosti: výrobu prvotných materiálov a nakladanie s odpadmi. E_V vyjadruje environmentálnu záťaž pri výrobe, E_R je záťaž pri procesoch recyklácií, E_D záťaž pri nakladaní s odpadmi. Písmeno Q vyjadruje kvalitu materiálu.

Na modelovanie recyklácie pomocou LCA existuje v súčasnosti viacero metód, ako napr.:

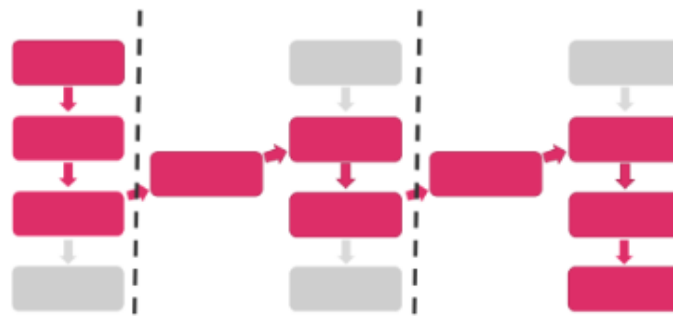
- Simple cut-off – Jednoduché odstrihnutie/prerušenie
- Cut-off plus credit – Odstrihnutie/prerušenie plus kredit
- Allocation to material losses – Rozdelenie na materiálne straty
- Allocation to virgin material use – Pridelenie na použité primárneho materiálu
- 50/50 methods – Metódy 50/50
- Quality adjusted 50/50 methods – Kvalitatívne prispôsobené metódy 50/50
- Circular footprint formula – Vzorec kruhovej stopy
- Market price based allocation – Alokácia na základe trhovej ceny
- Allocation at the point of substitution – Pridelenie v bode náhrady

a ďalšie.

Tieto metódy sú najrozšírenejšie, ale už z množstva metód je zrejmé, že žiadna z nich nie je dokonalá. V nasledujúcich bodoch je vypracovaný krátky popis vybraných metód a porovnanie, v čom sa líšia.

Simple cut-off

Jedná sa o jednoduchú metódu, ktorá je odporúčaná aj systémom EPD. V tejto metóde sa ku každému produktu priradí environmentálna záťaž procesov životného cyklu. Úlohou je určiť hranicu medzi životnými cyklami: pred, v rámci alebo po recyklácii materiálu.



Obrázok 4.4.2 – Hranice životných cyklov pri metóde Simple cut-off

Zdroj: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Metóda poukazuje na výhodnosť recyklácie materiálov v prípade, keď má recyklácia menší vplyv na životné prostredie, ako výroba z primárnych surovín. Nevýhodou tejto metódy je, že nepodporuje recykláciu materiálov, keď pri konečnej likvidácii dostaneme nulové alebo pozitívne výsledky, ako to môže nastať napr. pri likvidácii odpadového papiera, ktorý môže byť využitý ako zdroj energie. Pri tejto metóde sa environmentálna záťaž počíta podľa rovnice:

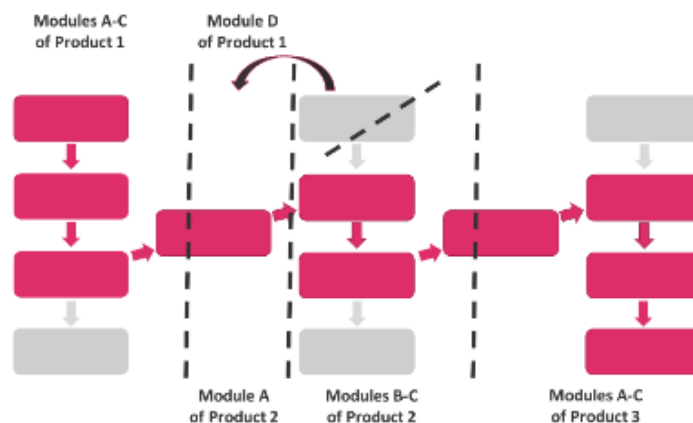
$$E = (1 - R_1) \times E_V + R_1 \times E_R + (1 - R_2) \times E_D$$

R_1 – Podiel recyklovaného materiálu vo výrobku

R_2 – Miera recyklácie materiálu po použití vo výrobku

Cut-off plus credit

Hranica medzi životnými cyklami je v tomto prípade definovaná v bode, kedy sa recyklovaný materiál stáva predajným produktom.



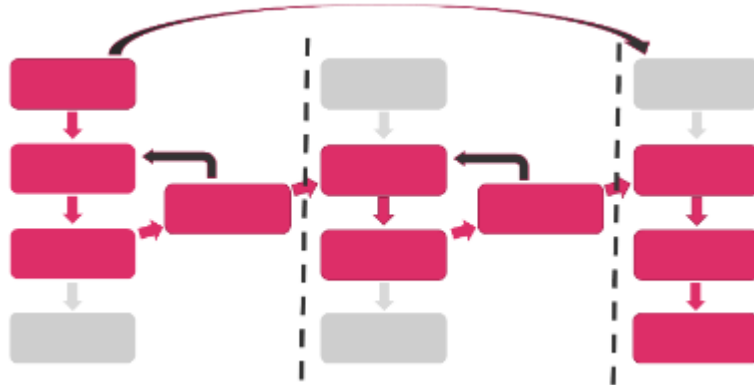
Obrázok 4.4.3 – Hranice životných cyklov pri metóde Cut-off plus credit

Zdroj: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Pri tejto metóde počítame aj s tzv. modulom D, ktorý v podstate vyjadruje, koľko sme ušetrili na výrobe materiálu. Túto hodnotu potom odčítame od dopadov na životné prostredie pri prvom životnom cykle. Modul D teda na rozdiel od modulov A a C zahŕňa dopady mimo životného cyklu materiálu.

Allocation of material losses

Tento prístup sa používa, keď sa materiál recykluje do rovnakého produktového systému alebo je bez zmien vlastností. To znamená, že kvalita materiálu sa nemení. Pri tejto metóde sa výroba a likvidácia pripočíta k poslednému produktu, ktorý už nebude recyklovaný. V ostatných prípadoch počítame len s recykláciou, vyhotovením produktu a užívaním.

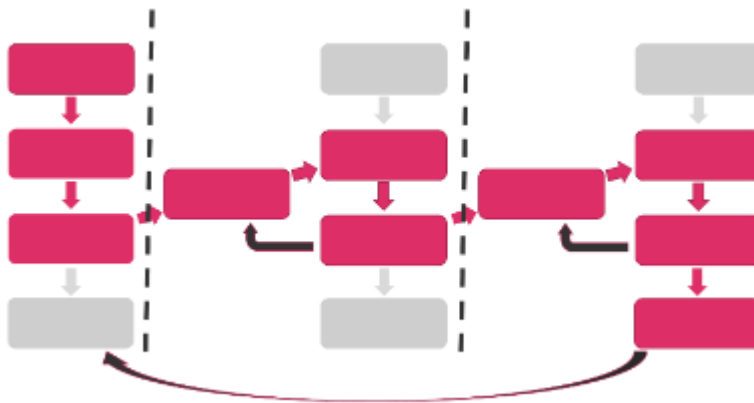


Obrázok 4.4.4 – Hranice životných cyklov pri metóde Allocation of material losses

Zdroj: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Táto metóda motivuje k návrhu recyklovateľného materiálu, avšak nepodporuje použitie recyklovaného materiálu.

Allocation to virgin material use



Obrázok 4.4.5 – Hranice životných cyklov pri metóde Allocation to virgin material use

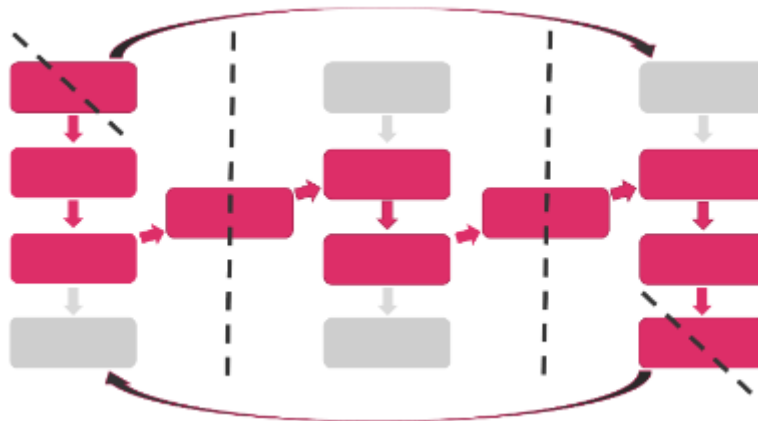
Zdroj: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Presným opakom predošlej metódy je táto metóda, ktorá pripočíta likvidáciu k primárnemu materiálu. Táto metóda zastáva názor, že nakoniec každý materiál skončí ako odpad. Metóda vyžaduje informácie o likvidácii, ktoré je ťažko stanoviť dopredu. Skutočná likvidácia produktu je častokrát neznáma, čo znižuje presnosť výpočtov.

50/50 methods

Pri týchto metódach sú rozdelené environmentálne záťaže od výroby prvotných surovín a od likvidácie materiálu 50/50 medzi pôvodným materiálom a medzi posledným

materiálom. Závaž od recyklácie je rovnomerne rozdelená medzi produktom, z ktorého sa recykluje, a produktom, v ktorom používame recyklovaný materiál.



Obrázok 4.4.6 – Hranice životných cyklov pri metóde 50/50

Zdroj: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Táto metóda zvyhodňuje produkty, v ktorých sa používajú recyklované materiály, a po skončení doby životnosti sa znova použijú.

Circular footprint formula

Jedná sa o súčasnú metodiku PEF (Product environmental footprint – environmentálna stopa produktu). PEF je nová metóda merania výkonnosti z hľadiska udržateľnosti, ktorú pripravuje Európska komisia. Cieľom PEF je zlepšenie porovnateľnosti hodnotenia environmentálnych aspektov s existujúcimi metódami.

Prístup kruhová stopa je veľmi zložitá. Berie do úvahy podiel a kvalitu recyklovaného materiálu a rovnováhu medzi ponukou a dopytom pre jednotlivé materiály. Pre vyjadrenie ponuky a dopytu je zavedený faktor A, ktorý odráža aktuálny stav trhu. Nízka hodnota faktoru A, napr. pre kovy, sklo a papier znamená, že dopyt po týchto prvkoch prevyšuje nad ponukou. Pri tejto metóde máme aj viacero možností, ako zvoliť hranice systémov v závislosti na faktore A.

Allocation at the point of substitution

Túto metódu používajú v databáze Ecoinvent, a je navrhnutá tak, aby počítala aj s využitím odpadov, napr. so získaním energie spaľovaním. Táto metóda je pomerne zložitá, keďže obsahuje veľa neznámych.

To, že akú metódu si vyberieme, z veľkej časti závisí od toho, že na aký účel potrebujeme vypracovať hodnotenie, napr. v politike, na externú komunikáciu alebo na interné účely. V závislosti na aplikácii, v niektorých prípadoch môže byť dokonca vhodné využiť aj viac metód a porovnať výsledky. To, že aké informácie sú relevantné, môže byť subjektívne, ako som už vyššie spomenula, niekom môžu byť prednejšie finančné aspekty, niekomu zase environmentálne. [40]

5. Návrh konštrukčného prvku

5.1 Geometria prvku a výpočet zaťaženia

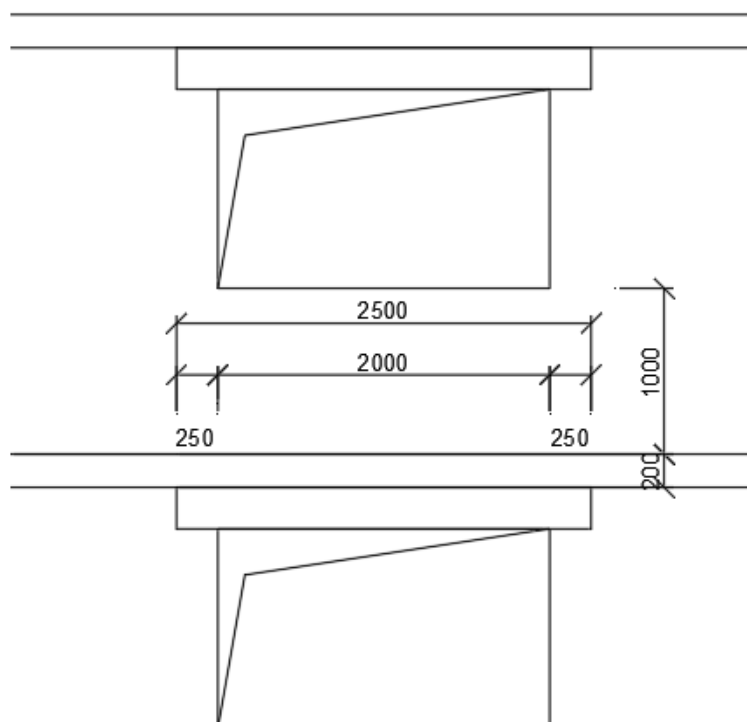
Pre porovnanie materiálov som vybrala návrh nadokenného prekladu. Tento typ konštrukcie som vybrala preto, lebo v praxi sa často stretávame s prekladmi z rôznych materiálov, ako napr.: železobetón, oceľ, drevo alebo keramika.

Najprv som vypracovala konštrukčný návrh prekladu z materiálov: železobetón, oceľ a drevo. Pri návrhu som používala bežné hodnoty zaťaženia pre rodinné, resp. bytové domy. Umiestnenie prekladu som navrhovala pre typické podlažie.

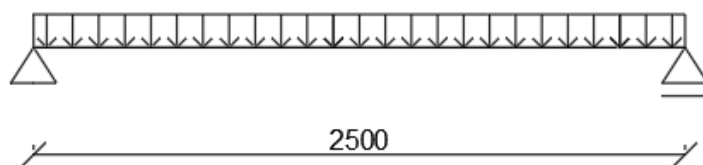
Zaťaženie prekladu predstavujú hodnoty stáleho zaťaženia – vlastná tiaž, nosná konštrukcia stropu, vrstvy podlahy, murovaná stena v podlaží nad parapetom, resp. parapet v podlaží nad prekladom a hodnoty úžitkového zaťaženia – kategória A: plochy na domáce a obytné účely. Okrem toho som predpokladala aj zaťaženie od priečok.

Hodnoty zaťaženia sú spracované v tabuľke nižšie. Tabuľka neobsahuje hodnoty vlastnej tiaže prekladu, táto hodnota bude automaticky generovaná programom. V tabuľke sú spracované líniové zaťaženia na bežný meter.

Navrhnutá geometria prekladu je nasledovná: dĺžka prekladu je 2,5 m, svetlá šírka 2 m a uloženie na každej strane 250 mm. Zaťažovaciu šírku som uvažovala 2,5 m. Geometria prekladu je zrejmá z nasledujúcej schémy:



Obrázok 5.1.1 – Schéma umiestnenia nadokenného prekladu
Zdroj: Vlastný



Obrázok 5.1.2 – Statická schéma prekladu
Zdroj: Vlastný

Tabuľka č. 5.1.1 – Skladba podlahy + nosná konštrukcia stropu:

Názov	Objemová hmotnosť [kN/m ³]	Hrúbka [m]	Charakteristická hodnota [kN/m ²]	γ_f	Návrhová hodnota [kN/m ²]
Keramická dlažba + lepidlo	22	0,015	0,33	1,35	0,45
Hydroizolačná stierka	24	0,005	0,12	1,35	0,16
Anhydritový poter	21	0,05	1,05	1,35	1,42
Separáčna fólia	-	-	-	1,35	-
Kročajová izolácia	0,35	0,03	0,01	1,35	0,01
Strop ŽB	25	0,20	5,00	1,35	6,75
			6,51		8,79

Tabuľka č. 5.1.2 – Zaťaženie od murovaného parapetu výšky 1 m:

Názov	Objemová hmotnosť * výška [kN/m ²]	Hrúbka [m]	Charakteristická hodnota [kN/m]	γ_f	Návrhová hodnota [kN/m]
Interiérová omietka	20	0,01	0,20	1,35	0,27
Stena POROTHERM	8	0,25	2,00	1,35	2,70
Izolácia	0,25	0,20	0,05	1,35	0,07
Exteriérová omietka	20	0,015	0,30	1,35	0,41
			2,55		3,45

Tabuľka č. 5.1.3 – Líniové zaťaženie pôsobiace na preklad pri zaťažovacej šírke 2,5 m:

Názov	Plošné zaťaženie [kN/m ²]	Zaťažovacia šírka [m]	Charakteristická hodnota [kN/m]	γ_f	Návrhová hodnota [kN/m]
Podlaha a strop	6,51	2,5	16,28	1,35	21,98
Priečky	0,80	2,5	2,00	1,50	3,00
Úžitkové zaťaženie	2,00	2,5	5,00	1,50	7,50
Murovaný parapet	-	-	2,55	1,35	3,45
			25,83		35,93

Vstupy do programu FIN EC:

Stále zaťaženie (charakteristická hodnota): $16,28+2,55 = 18,83$ kN/m

Úžitkové zaťaženie (charakteristická hodnota): $2+5 = 7$ kN/m

Vlastná tiaž: generovaná automaticky programom

Ručný výpočet momentu a posúvacej sily (len pre overenie softvéru – bez vlastnej tiaže):

$$M_k = 1/8 * 35,93 * 2,5^2 = \mathbf{20,18 \text{ kNm}} \quad V_k = 1/2 * 35,93 * 2,5 = \mathbf{32,29 \text{ kN}}$$

$$M_{ed} = 1/8 * 35,93 * 2,5^2 = \mathbf{28,07 \text{ kNm}} \quad V_{ed} = 1/2 * 35,93 * 2,5 = \mathbf{44,91 \text{ kN}}$$

5.2 Návrh prekladu z jednotlivých materiálov

- **Varianta A – Preklad zo železobetónu**

Železobetón C20/25, Oceľ B500B

Materiálové vlastnosti: C20/25 – XC1 – Cl 0,2, – D_{max}16 – S3

Betón:
 $f_{ck} = 20$ MPa
 $f_{ctk0,05} = 1,5$ MPa
 $f_{cm} = 28$ MPa
 $f_{ctm} = 2,2$ MPa
 $E_{cm} = 30$ GPa

Oceľ:
 $f_{yk} = 500$ MPa
 $E = 210$ GPa

Krycia vrstva:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta C_{dev}$$

$$\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{minb} = \text{odhad profilov } \varnothing 14 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max(c_{minb}, c_{min,dur} + \Delta C_{dur,y} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}, 10 \text{ mm})$$

$$= \max(14, 10+0-0-0, 10) \text{ mm} = 14 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 14 + 10 = 24 \text{ mm} \doteq \mathbf{25 \text{ mm}}$$

Predbežný návrh rozmerov: $h = 1/10 * L = 2500/10 = \mathbf{250 \text{ mm}}$, $b = \mathbf{200 \text{ mm}}$

Vlastná tiaž: $0,2 * 0,25 * 25 = \mathbf{1,25 \text{ kN/m}}$, návrh. hodnota: $1,25 * 1,35 = \mathbf{1,69 \text{ kN/m}}$

Pre charakteristickú kombináciu MSP:

$$V_{k1} = 1/2 * 2,5 * (1,25 + 18,83 + 7) = \mathbf{33,85 \text{ kN}}$$

$$M_{k1} = 1/8 * 2,5 * 2,5 * (1,25 + 18,83 + 7) = \mathbf{21,16 \text{ kN}}$$

Pre kvazistálu kombináciu MSP: $\psi_2 = 0,3$ (kat. A – obytné plochy)

$$V_{k2} = 1/2 * 2,5 * (1,25 + 18,83 + 7 * 0,3) = \mathbf{27,73 \text{ kN}}$$

$$M_{k2} = 1/8 * 2,5 * 2,5 * (1,25 + 18,83 + 7 * 0,3) = \mathbf{17,33 \text{ kN}}$$

Pre kombináciu MSÚ:

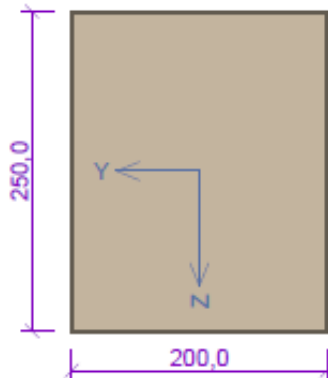
$$V_{ed} = \frac{1}{2} * 2,5 * (1,69 + 18,83 * 1,35 + 7 * 1,5) = 47,01 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = \frac{1}{8} * 2,5 * 2,5 * (1,69 + 18,83 * 1,35 + 7 * 1,5) = 29,38 \text{ kN}$$

Návrh pomocou softvéru FIN EC:

Typ prvku: nosník
Prostředí: XC1
Délka dílce: 2,50m

Průřez



Materiály

Beton: C 20/25

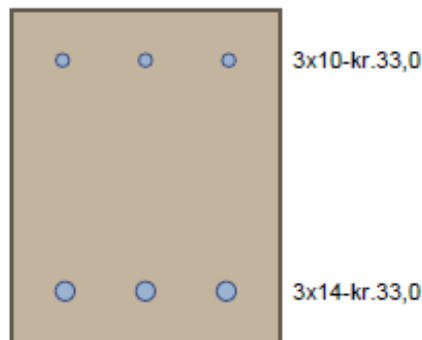
$$f_{ck} = 20,0 \text{ MPa}; f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}; E_{cm} = 30000 \text{ MPa}$$

Ocel podélná: B500B

$$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}; E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Ocel příčná: B500B

$$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}; E_s = 200000 \text{ MPa}$$



S tlačnou výztuží je počítáno.

Smyková výztuž

Úsek č.: 1, (0,00m - 2,50m)

Obvodové třmínky

Profil: 8 mm; Vzdálenost: 150,0 mm

Minimální krytí

Třída konstrukce: S4

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur}; 10) = \max(8; 15; 10) = 15 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} + \varnothing_s = 15 + 10 + 8 = 33 \text{ mm}$$

Kritický řez v bodě $x = 0,000\text{m}$ - Zat. případ 1

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Nosník (tažená výztuž - minimum, celková výztuž - maximum):

$$\rho_{s,t} = 0,011 \geq \rho_{s,min} = 0,0013 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\rho_s = 0,0139 \leq \rho_{s,max} = 0,04 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Stupeň vyztužení smykovou výztuží

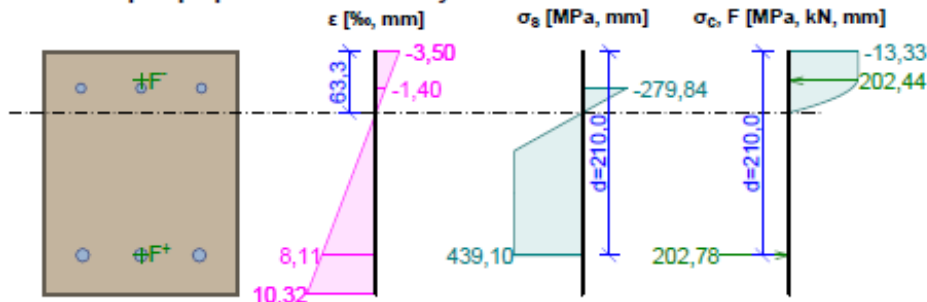
$$\rho_{w,min} = 0,000716 \leq \rho_w = 0,00335 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Maximální vzdálenost třmínků} \quad s_{l,max} = 159,0 \text{ mm} \geq 150,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$\text{Maximální vzdálenost větví třmínků} \quad s_{t,max} = 159,0 \text{ mm} \geq 142,0 \text{ mm} \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posúdenie na MSÚ:

Průběh napětí po průřezu a vnitřní síly



Deformace v krajních vláknech průřezu

Nejmenší deformace v betonu: $-3,50$ ‰
 Největší deformace v betonu: $10,32$ ‰
 Nejmenší deformace ve výztuži: $-1,40$ ‰
 Největší deformace ve výztuži: $8,11$ ‰
 Směr neutrálné osy: $360,00^\circ$
 Výška tlačené části průřezu: $x = 63,3$ mm
 Efektivní výška průřezu: $d = 210,0$ mm
 $\xi = 0,30 \leq \xi_{max} = 0,58 \Rightarrow$ **Vyhovuje**
 $M_{Edy} = 29,38 \leq M_{Rdy} = 36,46$ kNm
Posouzení průřezu na ohyb Vyhovuje
 Využití: $80,6$ %

Kontrola ručním výpočtem:

$$d = 250 - 25 - 8 - 14/2 = 210 \text{ mm} \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 210 = 189 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{sprov} \cdot z \cdot f_{yd} = 3 \times \pi \cdot 14 \cdot 14 / 4 \cdot 0,189 \cdot 435\,000 \cdot 10^{-6} = \mathbf{37,97 \text{ kNm}}$$

Únosnost betonu

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_C = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k = \min(1 + \sqrt{(200 / d)}; 2) = \min(1 + \sqrt{(200 / 210)}; 2) = \min(1,976; 2) = 1,976$$

$$\rho_l = \min(A_{sl} / (b_w \cdot d); 0,02) = \min(461,8 / (200 \cdot 210); 0,02) = \min(0,011; 0,02) = 0,011$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{1,5} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 1,976^{1,5} \cdot \sqrt{20} = 0,435 \text{ MPa}$$

$$V_{Rdc} = \max(C_{Rd,c} \cdot k \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}); v_{min}}) \cdot b_w \cdot d = \max(0,12 \cdot 1,976 \cdot \sqrt[3]{(100 \cdot 0,011 \cdot 20)}; 0,435) \cdot 200 \cdot 210 = 27,9 \text{ kN}$$

Únosnost smykové výztuže

$$V_{Rds} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta = 100,5 / 150 \cdot 179,8 \cdot 434,8 \cdot 1,75 = 91,69 \text{ kN}$$

Únosnost tlakové diagonály

$$v_1 = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \cdot (1 - 20 / 250) = 0,552$$

$$V_{Rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) = 1 \cdot 200 \cdot 179,8 \cdot 0,552 \cdot 13,33 / (1,75 + 0,571) = 114 \text{ kN}$$

Výsledná únosnost

$$V_{Rd} = \max(V_{Rdc}; \min(V_{Rdmax}; V_{Rds})) = \max(27,9; \min(114; 91,69)) = \max(27,9; 91,69) = 91,69 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 47,01 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 91,69 \text{ kN} \Rightarrow \mathbf{Vyhovuje}$$

Únosnost průřezu ve smyku Vyhovuje

Využití: $51,3$ %

Posúdenie na MSP:

Obmedzenie napätia – od charakteristických hodnôt

Ideální průřez

Poměr tuhosti výztuže a betonu: $\alpha_e = 6,667$

Průřezová plocha: $A = 54\,650 \text{ mm}^2$

Poloha těžiště (od levého spodního rohu obálky průřezu):

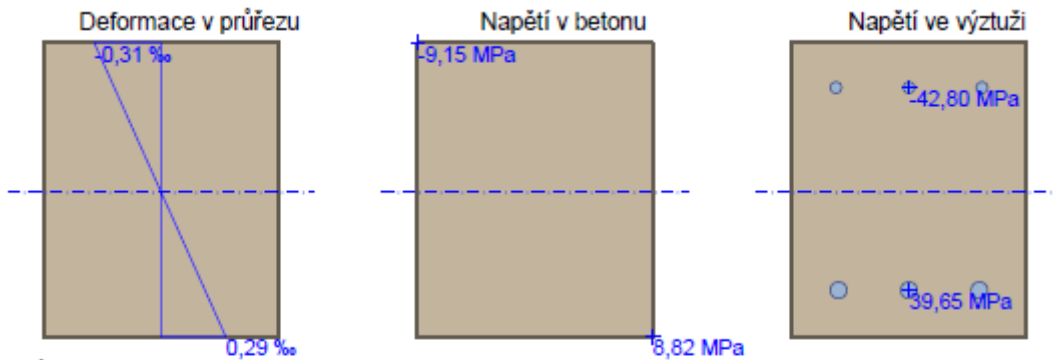
$y_t = 100 \text{ mm}$; $z_t = 122,7 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti:

$I_y = 294 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$; $I_z = 178 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$

Statický moment výztuže vůči těžišti průřezu:

$S_{y,s} = 1,60 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$; $S_{z,s} = 0 \text{ mm}^4$



Průřez s vyloučením tahu v betonu

Průřezová plocha: $A = 17\,615\text{ mm}^2$

Poloha těžiště (od levého spodního rohu obálky průřezu):

$y_t = 100\text{ mm}$; $z_t = 186\text{ mm}$

Moment setrvačnosti:

$I_y = 84,2 \cdot 10^6\text{ mm}^4$; $I_z = 54,6 \cdot 10^6\text{ mm}^4$

Statický moment výztuže vůči těžišti průřezu:

$S_{y,s} = -42,6 \cdot 10^6\text{ mm}^4$; $S_{z,s} = 0\text{ mm}^4$



Maximální tlakové napětí v betonu

$\sigma_c = 16,08\text{ MPa}$

Prostředí: XC1 \Rightarrow Posouzení napětí betonu v tlaku není potřeba

Maximální tahové napětí v betonu $\sigma_{c,max} = 8,82\text{ MPa}$

Maximální tlakové napětí ve výztuži $\sigma_{s,min} = 43,49\text{ MPa}$

Maximální tahové napětí ve výztuži $\sigma_{s,max} = 244,79\text{ MPa}$

Omezení tahového napětí ve výztuži $k_3 \times f_{yk} = 400,00\text{ MPa}$

Výška tlačené části průřezu $h = 64,0\text{ mm}$

Využití průřezu: 61,2 %

Posouzení průřezu na mezní stav omezení napětí Vyhovuje

Obmedzenie šířky trhlín – od kvazistálych hodnôt

Ideální průřez

Poměr tuhosti výztuže a betonu: $\alpha_e = 6,667$

Průřezová plocha: $A = 54\,650\text{ mm}^2$

Poloha těžiště (od levého spodního rohu obálky průřezu):

$y_t = 100\text{ mm}$; $z_t = 122,7\text{ mm}$

Moment setrvačnosti:

$I_y = 294 \cdot 10^6\text{ mm}^4$; $I_z = 178 \cdot 10^6\text{ mm}^4$

Statický moment výztuže vůči těžišti průřezu:

$S_{y,s} = 1,60 \cdot 10^6\text{ mm}^4$; $S_{z,s} = 0\text{ mm}^4$



Průřez s vyloučením tahu v betonu

Průřezová plocha: $A = 17\,615\text{ mm}^2$

Poloha těžiště (od levého spodního rohu obálky průřezu):

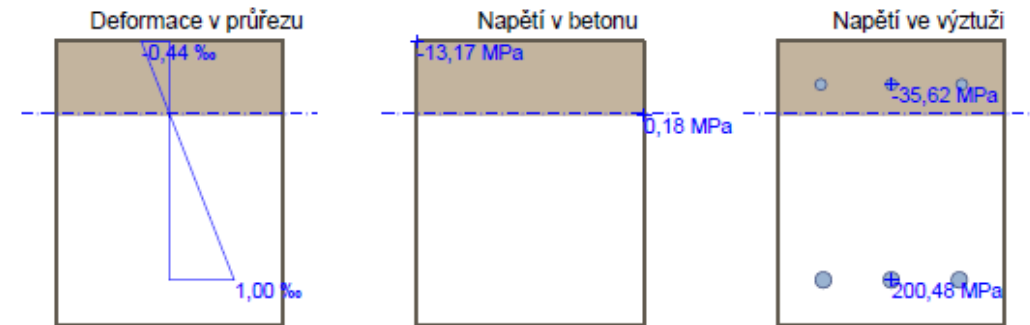
$y_t = 100\text{ mm}$; $z_t = 186\text{ mm}$

Moment setrvačnosti:

$I_y = 84,2 \cdot 10^8\text{ mm}^4$; $I_z = 54,6 \cdot 10^8\text{ mm}^4$

Statický moment výztuže vůči těžišti průřezu:

$S_{y,s} = -42,6 \cdot 10^6\text{ mm}^4$; $S_{z,s} = 0\text{ mm}^4$



$$\rho_{p,eff} = A_s / A_{c,eff} = 0,000462 / 0,0124 = 0,0372$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 200 \cdot 10^3 / 30\,000 = 6,667$$

$$\epsilon_s - \epsilon_{cm} = \max(0,6 \times \sigma_s / E_s; [\sigma_s - k_t \times f_{ctm} / \rho_{p,eff} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff})] / E_s) = \max(0,6 \times 200,5 / 200 \cdot 10^3; [200,5 - 0,4 \times 2,2 / 0,0372 \times (1 + 6,667 \times 0,0372)] / 200 \cdot 10^3) = \max(0,000601; 0,000855) = 0,000855$$

$$k_3 = \min(3,4 \times (25 / c)^{0,667}; 3,4) = \min(3,4 \times (25 / 33)^{0,667}; 3,4) = \min(2,826; 3,4) = 2,826$$

$$s_{r,max} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times d / \rho_{p,eff} = 2,826 \times 33 + 0,8 \times 0,5 \times 0,425 \times 14 / 0,0372 = 157,2\text{ mm}$$

$$w = \epsilon_s - \epsilon_{cm} \times s_{r,max} = 0,000855 \times 157,2 = 0,134\text{ mm}$$

Maximální povolená šířka trhliny: 0,400mm (Prostředí - X0 nebo XC1 - šířka trhliny neovlivňuje trvanlivost)

Výška tlačené části průřezu: $h = 64,0\text{ mm}$

Využití průřezu: 33,6 %

Posouzení průřezu na mezní stav omezení šířky trhlin Vyhovuje

Posúdenie priehybu:

Počátek vysychání: $t_s = 7$ [dny]

Konec vysychání: $t = 18250$ [dny]

Počátek zatěžování: $t_0 = 28$ [dny]

Konec zatěžování: $t = 18250$ [dny]

Součinitel dotvarování:

$$h_0 = 2 \times A_c / u = 2 \times 50\,000 / 900 = 111,1\text{ mm}$$

$$\varphi_{RH} = 1 + (1 - RH / 100) / (0,1 \times \sqrt[3]{h_0}) = 1 + (1 - 50 / 100) / (0,1 \times \sqrt[3]{111,1}) = 2,04$$

$$\beta(f_{cm}) = 16,8 \cdot 10^6 / \sqrt{f_{cm}} = 16,8 \cdot 10^6 / \sqrt{28} = 3,175$$

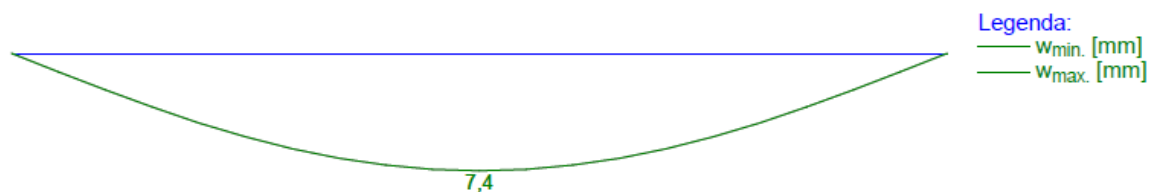
$$\beta(t_0) = 1 / (0,1 + t_0^{0,2}) = 1 / (0,1 + 28,000^0,2) = 0,488$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \times \beta(f_{cm}) \times \beta(t_0) = 2,04 \times 3,175 \times 0,488 = 3,164$$

$$\beta_H = \min(1,5 \times [1 + (0,012 \times RH)^{18}] \times h_0 + 250; 1\,500) = \min(1,5 \times [1 + (0,012 \times 50)^{18}] \times 111,1 + 250; 1\,500) = \min(416,7; 1\,500) = 416,7$$

$$\beta(t/t_0) = [(t - t_0) / (\beta_H + t - t_0)]^{0,3} = [(18\,250 - 28,00) / (416,7 + 18\,250 - 28,00)]^{0,3} = 0,993$$

$$\varphi = \varphi_0 \times \beta(t/t_0) = 3,164 \times 0,993 = 3,142$$



$$w_{lim} = L/250 = 2500/250 = 10\text{ mm} \geq 7,4\text{ mm}$$

Návrh vyhovuje: využitie 80,6 %

- **Varianta B – Preklad z ocele**

Pri návrhu prekladu z ocele som navrhla oceľ triedy S235.

Materiálové vlastnosti:

$f_{yk} = 235$ MPa

$f_u = 360$ MPa

$E = 210$ GPa

$G = 80,7$ GPa

Návrh pomocou softvéru FIN EC:

Norma **EN 1993-1-1, EN 1993-1-4/Česko.**

Součinitele pro ocelové konstrukce

Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$

Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$

Parametry klopení

Součinitele uložení konců: $k_y = -$ $k_z = 1.0$ $k_w = 1.0$

$l_{z1} = 2,500$ m M_y : Tvar č.4 $z_p = 0,500$

$l_{y1} =$ Nezadáno M_z : Tvar není

Průřez HE 140 A

Průřezová plocha: $A = 3,142E03$ mm²

Poloha těžiště:

$y_T = 70,0$ mm $z_T = 66,5$ mm

Momenty setrvačnosti:

$I_y = 1,033E07$ mm⁴ $I_z = 3,893E06$ mm⁴

Průřezové moduly:

$W_{y,1} = -1,554E05$ mm³ $W_{z,1} = 5,562E04$ mm³

$W_{y,2} = 1,554E05$ mm³ $W_{z,2} = -5,562E04$ mm³

Moment tuhosti v prostém kroucení:

$I_k = 8,130E04$ mm⁴

Výsečový moment setrvačnosti:

$I_\omega = 1,506E10$ mm⁸

Plastické průřezové moduly:

$W_{pl,y} = 1,735E05$ mm³ $W_{pl,z} = 8,485E04$ mm³

Materiál: EN 10210-1 : S 235

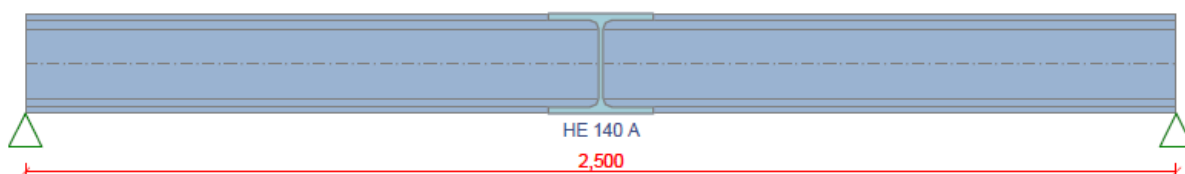
Materiálové charakteristiky:

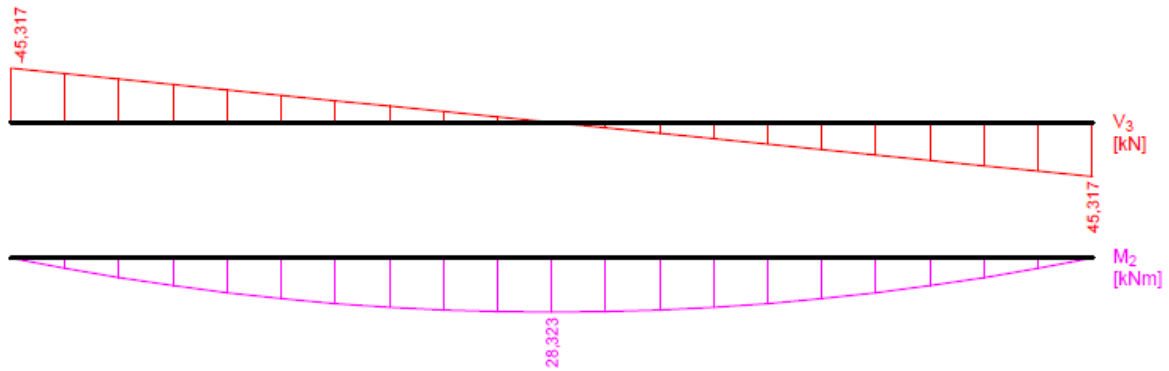
Mez kluzu f_y : 235,0 MPa

Mez pevnosti f_u : 360,0 MPa

Modul pružnosti E : 210000 MPa

Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa





Zatížení

$$\begin{aligned} f_{g,1} &= 0,247 \text{ kN/m} & \gamma_f &= 1,35 \\ f_{g,2} &= 18,830 \text{ kN/m} & \gamma_f &= 1,35 \\ f_{q,3} &= 7,000 \text{ kN/m} & \gamma_f &= 1,5 \end{aligned}$$

Posúdenie na MSÚ:

Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ:

Q3:G1+G2; Třída průřezu: 1

Ohybový moment: $M_y = 28,323 \text{ kNm}$

Posudek ohybu:

Únosnost: $M_{y,R} = 37,115 \text{ kNm}$

$|0,763| < 1$ **Vyhovuje**

Průřez vyhovuje

Ručné overenie únosnosti bez vplyvu klopenia:

Zatriedenie prierezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \quad \frac{c}{t_w} = \frac{92}{5,5} = 16,73 \leq 72 * \varepsilon = 72 \quad \frac{c}{t_f} = \frac{55,25}{8,5} = 6,5 \leq 9 * \varepsilon = 9$$

Prierez HEA 140 je triedy 1.

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{173,5 * 10^{-6} * 235000}{1} = 40,77 \text{ kNm}$$

Posúdenie na MSP:

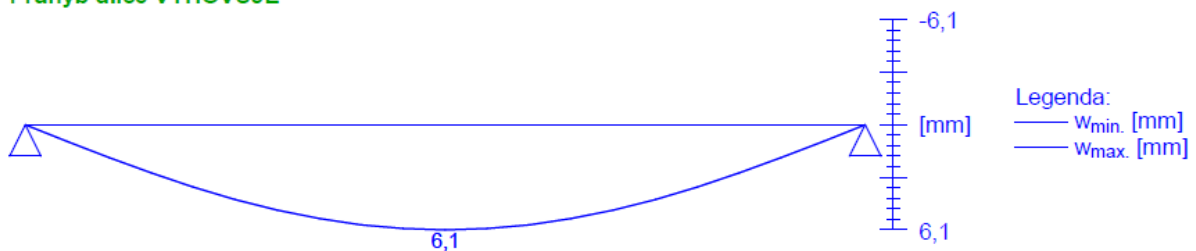
Charakteristické zatěžovací případy

Maximální deformace dílce je 6,1mm v bodě $x = 1,250\text{m}$

Maximální povolená deformace dílce je $2,500\text{m} / 250,0 = 10,0\text{mm}$

$6,1\text{mm} < 10,0\text{mm}$ **Vyhovuje**

Průhyb dílce VYHOVUJE



Návrh vyhovuje: využitie 76,3 %

- **Varianta C – Preklad z dreva**

Pri návrhu z dreva som počítala s pevnostnou triedou C24.

Trieda trvania zaťaženia: Stále

Trieda prevádzky: II.

$k_{mod}=0,7$

$k_{def}=0,8$

$\gamma_m=1,3$

$f_{mk}=24 \text{ MPa}$

$f_{vk}=4 \text{ MPa}$

Návrh pomocou softvéru FIN EC:

Norma **EN 1995-1-1/Česko**.

Rostlé drevo, základní kombinace zatížení : $\gamma_M = 1,300$

Norma **EN 1995-1-1/Česko**.

Třída provozu: 2

Materiál: S10 (C24) - jehličnaté

Druh dřeva: rostlé

Při výpočtu je zohledněn součinitel k_h pro zvětšení pevnosti dřeva v tahu a ohybu.

Klopení:

Klopení M_y :

$l_{z1} = 2,500 \text{ m}$

Typ nosníku a zatížení: Nosník se spojitým zatížením

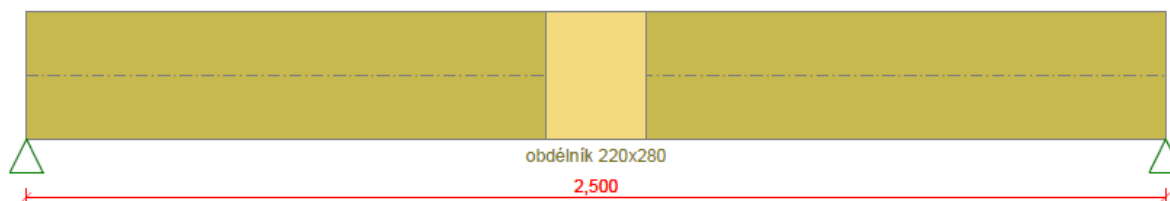
Poloha zatížení: Nahoře

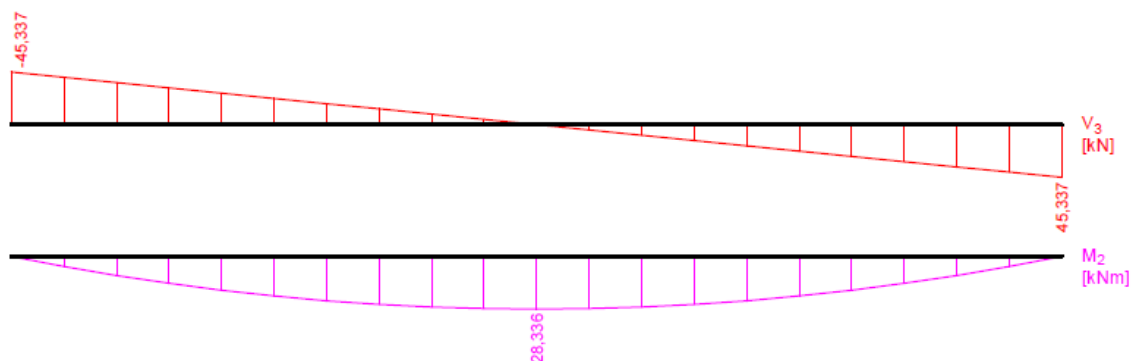
Materiál: S10 (C24) - jehličnaté

Druh dřeva: rostlé

Materiálové charakteristiky:

Pevnost v ohybu	$f_{m,k}$:	24,0 MPa
Pevnost v tahu ve směru vláken	$f_{t,0,k}$:	14,0 MPa
Pevnost v tlaku ve směru vláken	$f_{c,0,k}$:	21,0 MPa
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$:	4,0 MPa
Pevnost v tlaku kolmo na vlákna	$f_{c,90,k}$:	2,5 MPa
Pevnost v tahu kolmo na vlákna	$f_{t,90,k}$:	0,4 MPa
Modul pružnosti	$E_{0,mean}$:	11000 MPa
5% kvantil modulu pružnosti	$E_{0,05}$:	7400 MPa
Modul pružnosti ve smyku	G_{mean}	:	690 MPa





Zatížení

$$f_{g,1} = 0,259 \text{ kN/m} \quad \gamma_f = 1,35$$

$$f_{g,2} = 18,830 \text{ kN/m} \quad \gamma_f = 1,35$$

$$f_{q,3} = 7,000 \text{ kN/m} \quad \gamma_f = 1,5$$

Posúdenie na MSÚ:

Rozhodujúci zatěžovací případ: Q3:G1+G2

Vnitřní síly: $V_z = -45,337$ kN

Posudek smyku od posouvajících sil:

Únosnost: $V_R = 59,262$ kN

$$0,765 < 1 \text{ Vyhovuje}$$

Průřez vyhovuje

Ručný výpočet (overenie softvéru): $M=28,34$ kNm, $V=45,34$ kN, rozmery trámu 220x280 mm

$$f_{m,d} = k_{mod} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,7 * \frac{24}{1,3} = 12,92 \text{ [MPa]}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,7 * \frac{4}{1,3} = 2,15 \text{ [MPa]}$$

V tomto prípade rozhoduje smyk:

Využitie:

$$\tau_{v,d} = \frac{3 * V_{ED}}{2 * b_{ef} * h} = \frac{3 * V_{ED}}{2 * \frac{2}{3} * b * h} = \frac{3 * 45,34 * 10^{-3}}{2 * \frac{2}{3} * 0,22 * 0,28} = 1,66 \text{ [MPa]}$$

$$1 \geq \frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{1,66}{2,15} = 0,77$$

Posúdenie na MSP:

Průhyb

Charakteristické zatěžovací případy

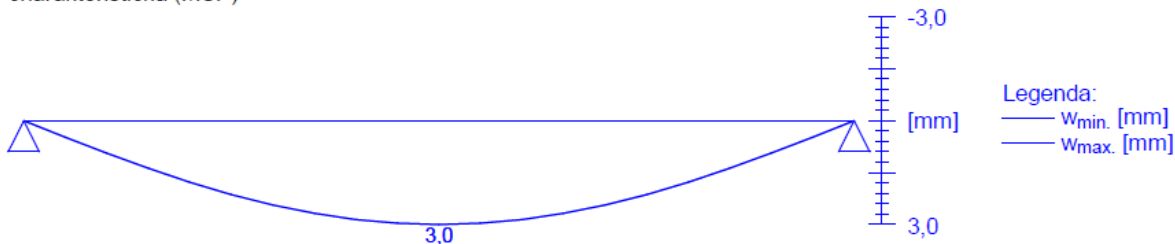
Maximální deformace dílce je 3,0mm v bodě $x = 1,250$ m

Maximální povolená deformace dílce je $2,500\text{m} / 300,0 = 8,3\text{mm}$

$3,0\text{mm} < 8,3\text{mm}$ **Vyhovuje**

Průhyb dílce VYHOVUJE

charakteristická (MSP)



Návrh vyhovuje: využitie 76,5 %

5.3 Zhrnutie a výpočet objemu/hmotnosti spotrebovaných materiálov

Železobetón: 200x250 mm, výstuž D – 3x Ø14, H – 3x Ø10, STR – Ø8 po 150 mm

Oceľ: HEA 140

Drevo: 220x280 mm

Tabuľka č. 5.3 – Spotrebované množstvo materiálov

	Betón	Výstuž	Oceľ	Drevo
Objem [m ³]	0,12249	0,00251	0,00786	0,154
Objemová hm. [kg/m ³]	2400	7850	7850	450
Hmotnosť [kg]	294,0	19,7	61,7	69,3

5.4 Výpočet dopadov na životné prostredie

5.4.1 Fázy jednotlivých dopadov

Výrobná fáza			Fáza výstavby		Fáza užívania							Fáza konca životného cyklu				Doplňujúce informácie
Dodávanie surovín	Doprava	Výroba	Doprava na stavbu	Proces výstavby	Užívanie	Údržba	Oprava	Výmena	Rekonštrukcia	Prevádzková spotreba energií	Prevádzková spotreba vody	Demolácia	Doprava	Spracovanie odpadov	Odstránenie	Potenciál opätovného použitia, využitia a recyklácia.
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D

Obrázok 5.4.1 – Fázy dopadov a hranice systémov
Zdroj: Vlastný

5.4.2 Výrobná fáza

V našom prípade táto fáza bude najpodstatnejšia, čo sa týka porovnania jednotlivých variant návrhu. Táto fáza zahŕňa ťažbu primárnych surovín, dopravu na miesto výroby a samotný výrobný proces.

Dopady od výrobnej fázy boli stanovené pomocou softvéru Envimat, ktorý zahŕňa všetky moduly (A1-A3) v tejto fáze. Na obrázku nižšie sú vstupné údaje pre jednotlivé kategórie dopadov z tohto softvéru na jednotkovú hmotnosť, v našom prípade na kg.

V ďalšej tabuľke sú tieto hodnoty prepočítané na reálne spotrebovanú hmotnosť jednotlivých materiálov. Výsledky som potom znázornila pre jednotlivé kategórie v grafoch.

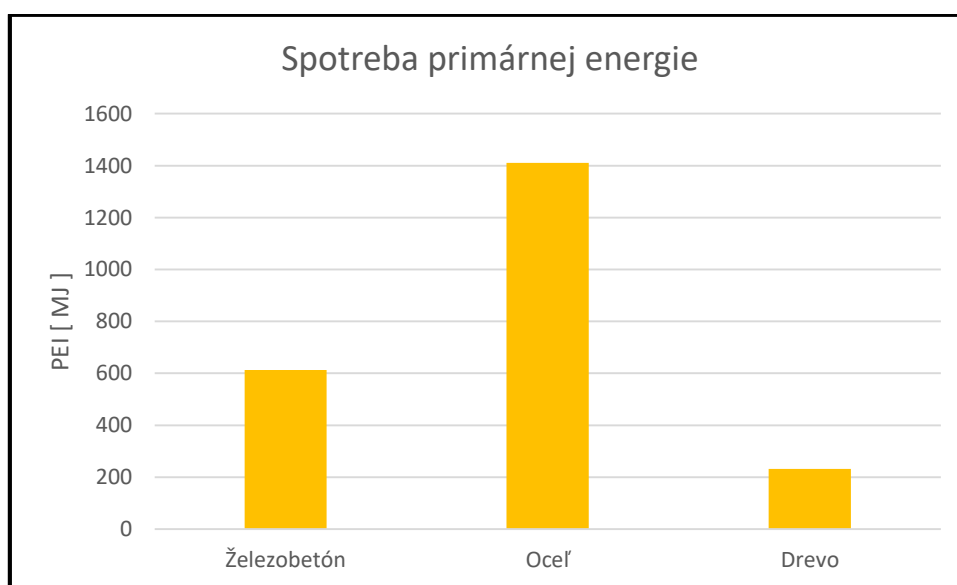
Betón: Výstuž: Oceľ: Drevo:

Zdroj dat	Ecoinvent	Ecoinvent	Ecoinvent	Ecoinvent
Obecné vlastnosti				
PEI [MJ/kg]	0.574926	22.5279	22.8535	3.35264
GWP [kg CO ₂ ekv./kg]	0.109891	1.482	1.6584	0.187358
AP [g SO ₂ ekv./kg]	0.184899	5.0948	5.6608	1.16793
EP [g (PO ₄) ³⁻ ekv./kg]	0.046	3.133	3.506	0.493
ODP [g R-11 ekv./kg]	0.00000370555	0.000060017	0.000034482	0.0000173385
POCP [g C ₂ H ₄ ekv./kg]	0.00677773	0.81161	1.0757	0.096565
Objemová hmotnosť p [kg/m ³]	2380	7850	7850	400

Obrázok 5.4.2 – Dopady na životné prostredie počas výrobnjej fázy
Zdroj: Vlastný pomocou Envimat.cz

Tabuľka č. 5.4.2 – Dopady na životné prostredie počas výrobnjej fázy

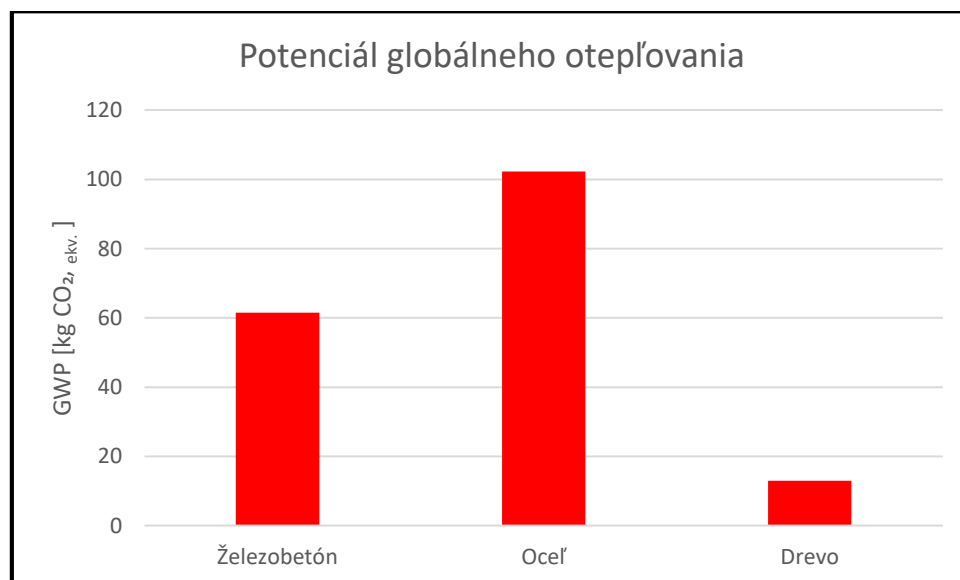
	Betón	Výstuž	Železobetón	Oceľ	Drevo
PEI [MJ]	169,03	443,88	612,91	1410,06	232,34
GWP [kg CO₂, ekv.]	32,31	29,20	61,51	102,32	12,98
AP [g SO₂, ekv.]	54,36	100,39	154,75	349,27	80,94
EP [g (PO ₄) ³⁻ , ekv.]	13,52	61,73	75,25	216,32	34,16
ODP [g R-11, ekv.]	0,0012	0,0012	0,0024	0,0021	0,0012
POCP [g C ₂ H ₄ , ekv.]	1,99	15,99	17,98	66,37	6,69



Graf č. 5.4.2.1 – Spotreba primárnej energie

Jedná sa o formu energie, ktorá sa nachádza v prírode a nebola podrobená žiadnej ľudskej činnosti. Je to energia, ktorú obsahujú surové materiály. Primárne energie môžeme deliť na obnoviteľné a neobnoviteľné. Medzi neobnoviteľné patria fosílna palivá ako napr. ropa, uhlie, zemný plyn alebo prírodný urán. Obnoviteľné zdroje sú slnečná a veterná energia, biomasy alebo termálna energia. Tieto primárne energie sa potom premieňajú na nosiče energií, ako sú napr. palivá alebo elektrina. Napriek snahe, aj v dnešnej dobe tvoria väčšiu časť svetových zásob energií neobnoviteľné zdroje energií.

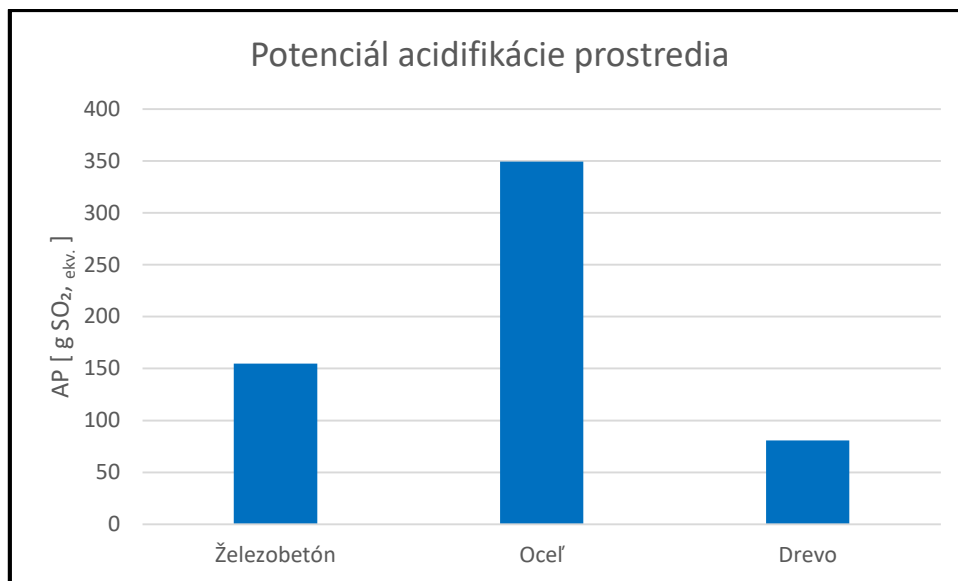
Pri výrobe ocele spotrebujeme veľa uhlia a koksu, preto pri hodnotení spotreby primárnych energií je na prvom mieste oceľový nosník. Železobetónová konštrukcia sa ocitla na druhom mieste kvôli výstuži, keby sa jednalo o nejakú nevystuženú konštrukciu, napr. o základovú pätku, prvok by mohol dosiahnuť oveľa lepšie hodnotenie z hľadiska PEI. Prostý betón má totiž oveľa nižšiu spotrebu primárnych energií ako napr. oceľ alebo drevo.



Graf č. 5.4.2.2 – Potenciál globálneho otepľovania

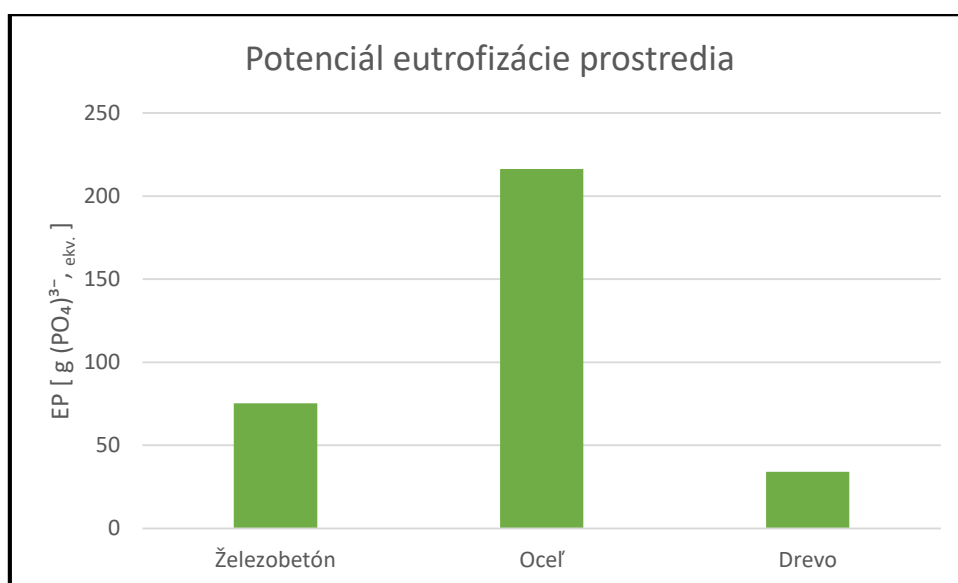
Skleníkové plyny sa vyskytujú v atmosfére a absorbujú infračervené žiarenie, čím ohrievajú zemský povrch. Pri potenciáli globálneho otepľovania sa jedná o množstvo tepla, ktoré je absorbované nejakým typom skleníkového plynu, a ktoré by absorbovala rovnaká hmotnosť CO₂. Referenčný plyn je teda oxid uhličitý. GWP pre CO₂ sa teda rovná 1. Pre ostatné plyny závisí od časového úseku, obvykle sa to počíta na 20, 100 alebo 500 rokov. Pre príklad, tona oxidu dusného (N₂O) počítaná na 100 rokov je ekvivalentná 273 tonám CO₂.

Medzi hlavné zdroje skleníkových plynov patrí spaľovanie fosílnych palív, k čomu v našom prípade najviac dochádza pri výrobe oceľových prvkov. Okrem toho, veľkú časť emisií tvorí aj doprava stavebných materiálov, či už surovín alebo hotových prvkov na miesto stavby.



Graf č. 5.4.2.3 – Potenciál acidifikácie prostredia

Pojem acidifikácia prostredia už bol vysvetlený v predošlých kapitolách. K okysľovaniu prostredia najčastejšie dochádza pri spaľovaní fosílnych palív, výsledkom je totiž únik kyslých zlúčenín. Tieto zlúčeniny v atmosfére reagujú s vodnou parou a vo forme kyslého dažďa dopadajú na zem. Kyslý dážď acidifikuje pôdu a povrchové vody, urýchľuje koróziu a ničí životné prostredie. Hlavné okysľujúce kontaminanty sú SO₂, NO_x a NH_x. Pri AP, podobne ako pri GWP používame referenčnú látku, v tomto prípade sa jedná o oxid siričitý (SO₂), pomocou ktorého vyjadrujeme mieru acidifikácie. Tak, ako v predošlých dvoch prípadoch, aj z hľadiska acidifikácie má najhorší dopad na životné prostredie výroba oceľového nosníka. V tomto prípade aj acidifikácia má negatívny vplyv na oceľový nosník. Keďže okysľovanie prostredia urýchľuje korozívne procesy, priamo poškodzuje kovové prvky. Okrem kovových prvkov môžu spôsobiť kyslé dažde aj koróziu kameňov, napr. pieskovca, pretože vymývajú vápenaté spojivo, dôsledkom čoho sa kamene začnú drobiť.



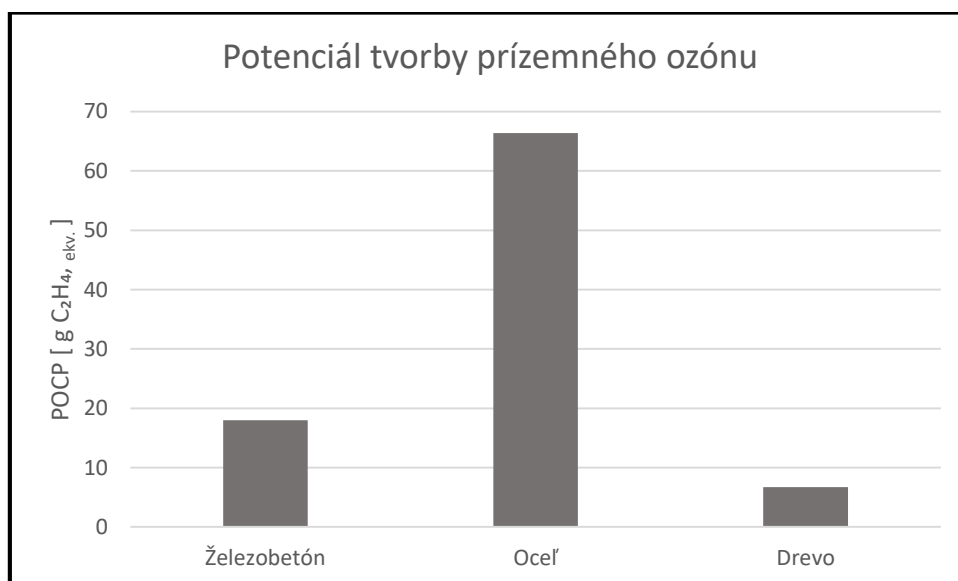
Graf č. 5.4.2.4 – Potenciál eutrofizácie prostredia

Jedná sa o potenciál nadmerného hnojenia vody a pôdy, najmä dusíkom a fosforom, ktorý spôsobí rast rias a iných rastlín. Rastlinná hmota sa rozloží a produkuje CO₂, čo môže viesť k zníženiu pH vôd a tým sa začína proces okysľovania. Zdrojom eutrofizácie môžu byť emisie alebo odpadové vody.



Graf č. 5.4.2.5 – Potenciál ničenia ozónovej vrstvy

Jedná sa o relatívnu mieru degradácie ozónovej vrstvy. Úbytok ozónu môžu spôsobiť zlúčeniny rôznych chemických látok, ako je napr. chlór, bróm alebo fluór. Ozónová vrstva zachytáva UV žiarenia, ale viditeľné svetlo prepúšťa na zemský povrch. Čo sa týka ozónu, vo vyššej koncentrácii je jedovatý, preto v dolnej časti atmosféry je nežiadúci, vid'. ďalší faktor – tvorba prízemného ozónu.



Graf č. 5.4.2.6 – Potenciál tvorby prízemného ozónu

Za vznik prízemného ozónu môžu najmä výfukové plyny spaľovacích motorov a ďalšie emisie pri ktorých dochádza k nárastu oxidov dusíka.

Z týchto grafov je zrejmé, že čo sa týka výroby jednotlivých materiálov, pri návrhu nadokenného prekladu najviac znečisťujeme, resp. zaťažujeme naše prostredie, keď používame oceľové prvky. Na základe výpočtov môžeme skonštatovať, že okrem potenciálu zničenia ozónovej vrstvy, v každom prípade skončil na najhoršom mieste návrh oceľového nosníka, na druhom železobetónový preklad, a najudržateľnejší návrh je drevený trám. Tieto hodnoty však úzko súvisia s množstvom spotrebovaného materiálu, preto je možné, že pri návrhu iných typov konštrukcií, napr. stropu, by sme dostali odlišné výsledky.

Ďalej by som chcela podotknúť, že prostý betón má menšie dopady na životné prostredie ako oceľ a drevo, preto by sme sa mali zamyslieť nad vystužovaním s inými materiálmi ako oceľ, resp. aby materiál výstuže vykázal menšie zaťaženie životného prostredia, ako oceľ. V dnešnej dobe už existujú alternatívy oceľovej výstuže, ako napr. kompozitné tyče, sklenené vlákna alebo plasty. V budúcnosti by sme sa mali viac zaoberať s návrhom pomocou týchto alternatív a ich dopadmi na životné prostredie.

5.4.3 Fáza výstavby

K fáze výstavby patrí doprava na stavenisko a proces výstavby. Vo všeobecnosti, dopady na životné prostredie v závislosti na doprave vo veľkom závisia od umiestnenia stavby, či je k miestu stavby bližšie betonárka a armovňa, výrobňa oceľových konštrukcií alebo drevovýroba. Ďalšia dôležitá vec je, že dopravný prostriedok, ktorý použijeme, má akú spotrebu a akú pohonnú látku. Pre porovnanie, keď počítame s nákladným autom, ktoré má spotrebu napr. 30 l/100 km, tak liter paliva nám vystačí na 3,3 km, pričom priemerné emisie CO₂ sú nasledovné:

Vzorec pre výpočet emisií:

Benzín: 23,38 * spotreba na 100 km	Benzín: 701 g/km
Nafta: 26,83 * spotreba na 100 km	Nafta: 805 g/km

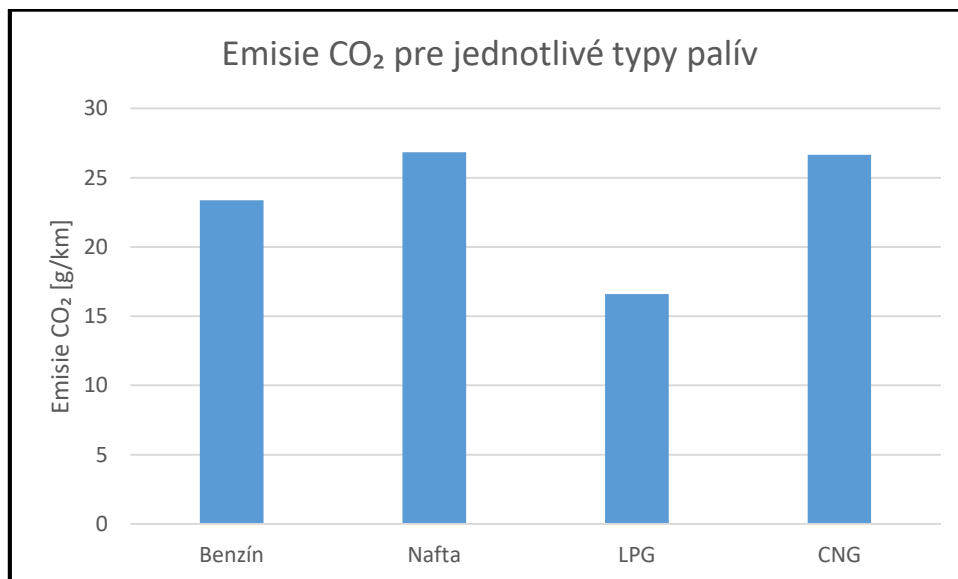
Pri 30 km-ovej trase je už rozdiel nasledovný:

$$805 * 30 - 701 * 30 = \mathbf{3120\ g}$$

Z tohto príkladu vidíme, že už pri relatívne krátkej vzdialenosti produkuje o 3 kg viac emisií CO₂, keď je nákladné auto poháňané naftou v porovnaní s benzínom. Tieto hodnoty priamo závisia na spotrebe daného automobilu, preto emisie osobných áut sú oveľa nižšie. Čo sa týka alternatívnych palív, ako sú napr. plyny LPG a CNG, alebo elektrický pohon, tie sú v nákladnej doprave zriedkavé, ale pre porovnanie uvádzam hodnoty emisií aj pre tieto alternatívy:

LPG: 16,60 * spotreba na 100 km
CNG: 26,66 * spotreba na 100 km

Ďalšie aspekty, ako napr. výroba pohonných látok, spotrebovaná energia pri ich výrobe a výroba samotných automobilov nie sú predmetom tejto práce. Existuje veľa faktorov, ktoré môžu ovplyvniť ich udržateľnosť. Porovnanie emisií som spracovala v grafe, ktorý porovnáva jednotlivé palivá. Tieto údaje sú merateľné, a v dnešnej dobe kladieme veľký dôraz na znižovanie týchto emisií. Graf je informačný, neberie ohľad nato, že automobily poháňané plynom majú nižšiu spotrebu. Tento fakt ale poukazuje na to, že rozdiel medzi emisiami nafty, resp. benzínu v porovnaní s plynom je ešte väčší.



Graf č. 5.4.3 – Emisie CO₂ pre jednotlivé typy palív

V našom prípade sa nejedná o konkrétnu stavbu s konkrétnym umiestnením, ale o hypotetický príklad, preto presné hodnoty dopadov na životné prostredie v závislosti na doprave neboli spočítané. Pri reálnej stavbe by tieto dopady mohli značne ovplyvniť výsledky emisií pri jednotlivých materiáloch.

Čo sa týka dopadov pri realizácii, pod túto kategóriu patria emisie od strojov ako napr. žeriav, s ktorým sa ukladajú väčšie prvky, alebo čerpadlá a miešačky betónu. V našom prípade nie je potrebné počítať s týmito emisiami, keďže ide o zanedbateľné hodnoty. Pri väčšej stavbe, kde je spotrebovaný väčší objem betónu, alebo sa ukladajú väčšie/ťažšie prvky, môžu byť tieto dopady značné. Okrem emisií CO₂ sa jedná aj o čerpanie neobnoviteľných zdrojov a ďalších emisií a spotrebovanej energie pri výrobe palív.

5.4.4 Fáza užívania

Do fázy užívania patrí všetko, čo sa deje s konštrukciou behom jeho životnosti v stavbe. Sem patrí užívanie, údržba, prípadné opravy, rekonštrukcie alebo výmena. Do fázy užívania zaraďujeme aj spotrebované energie na prevádzku a spotrebu vody.

V našom prípade boli jednotlivé prvky navrhnuté tak, aby mali trvanlivosť min. 50 rokov, čo je aj minimálna životnosť občianskych stavieb, preto aspekty ako oprava, rekonštrukcia alebo výmena sú v tomto výpočte nulové. Rovnako majú nulovú hodnotu všetky varianty z hľadiska užívania a spotreby vody.

V našom prípade hrajú rolu teda len dopady z údržby alebo zo spotrebovaných energií. Tieto dopady sa môžu líšiť v závislosti na variantnom návrhu. Niektoré z týchto dopadov môžu byť vyčísliteľné, a niektoré sú dôležité z hľadiska bezpečnosti, aby sme predišli negatívnym vplyvom na životné prostredie.

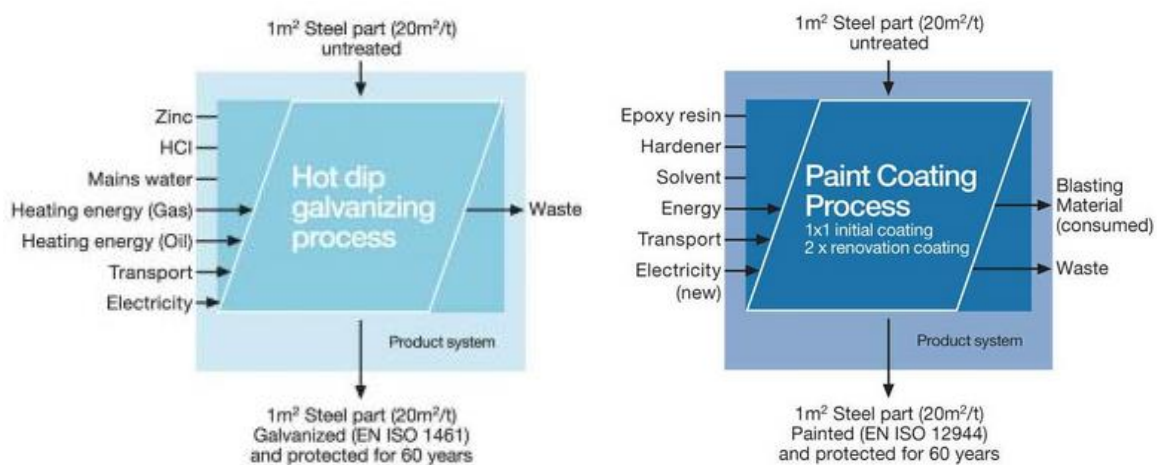
- **Železobetón:**

Z hľadiska údržby a trvanlivosti sú železobetónové konštrukcie ideálne pre udržateľný rozvoj. Interiérové konštrukcie majú takmer nekonečnú trvanlivosť, netreba ich opatriť ochrannými nátermi a z hľadiska požiarnej bezpečnosti majú výhody oproti ostatným materiálom v tom, že nehoria, majú vysokú odolnosť voči ohňu, nezvyšujú požiarne zaťaženie a bránia šíreniu požiaru. Okrem toho majú vysokú objemovú hmotnosť, čo spôsobí že majú dobré zvukovo izolačné schopnosti – kročajová nepriezvučnosť.

- **Oceľ:**

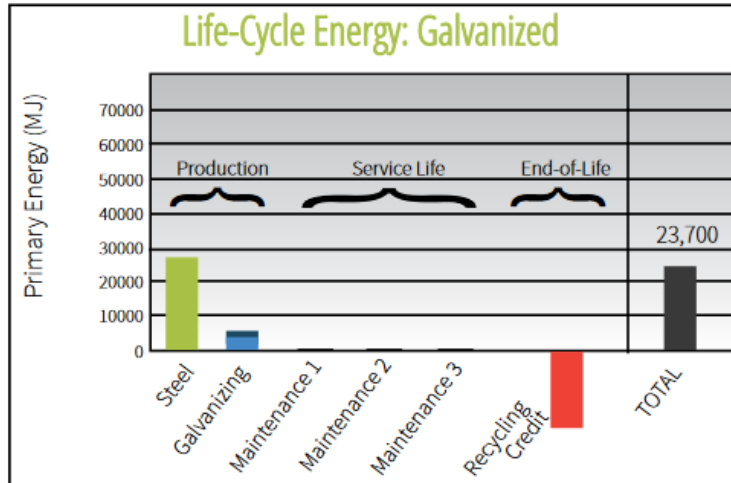
Pri ocelových prvkoch je veľmi dôležité chrániť prvok pred požiarom a koróziou. Na ochranu proti korózii sa používa najčastejšie galvanizácia alebo ochranné nátery. Ochranné nátery majú výhodu v tom, že niektoré slúžia aj ako požiarne ochrana prvku. Okrem náterov existujú aj protipožiarne obklady alebo omietky. V tomto prípade bude ale oceľový nosník zabudovaný, preto nenavrhum protipožiarne ochranu.

Pre porovnanie, z hľadiska ochrany proti korózii je udržateľnejšia povrchová úprava galvanizáciou. Ochrana galvanizáciou má trvanlivosť 60 rokov, kým ochranný náter by sme za tú dobu mali naniesť viackrát. V jednotlivých kategóriách dopadov tiež mala lepšie výsledky galvanizácia. Na obrázkoch sú uvedené jednotlivé vstupy a výstupy pri procesoch galvanizácie a náteru, ako sú zinok, voda, spotrebované energie, transport a výstupy ako odpady a tryskacie materiály. Následne na grafe sú uvedené výsledky porovnania LCA zo štúdie, ktorá skúmala udržateľnosť externého oceľového prvku. Výsledky tejto štúdie znázorňujú rozdiel z hľadiska udržateľnosti jednotlivých variant ochrany proti korózii.

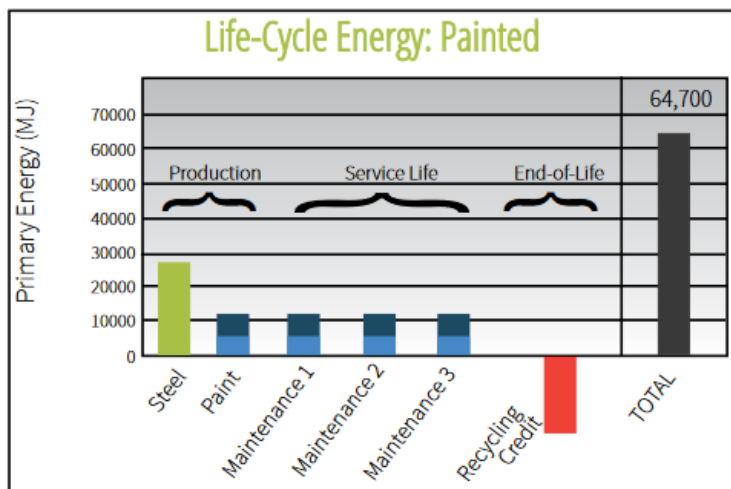


Obrázok 5.4.4.1 – Proces galvanizácie a použitia ochranného náteru

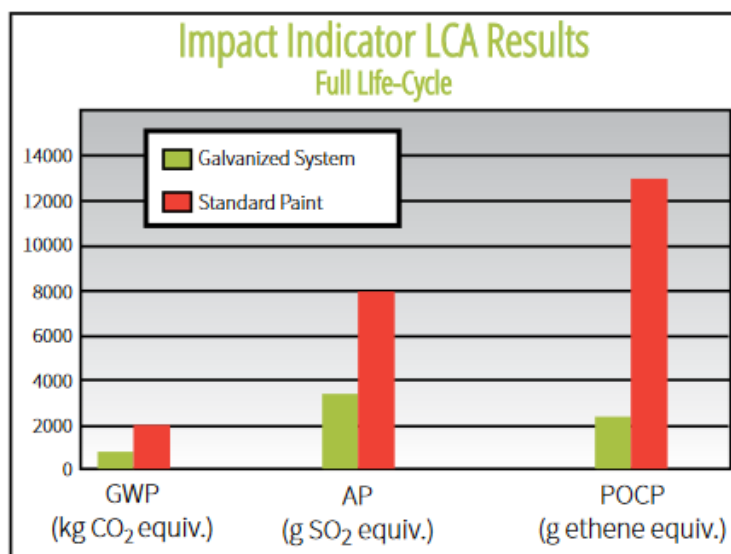
Zdroj: <https://www.galvanizing.ie/sustainable-construction/life-cycle-analysis/lca-multistorey-car-park/>



Obrázok 5.4.4.2 – PEI galvanizácie – Výroba/Používanie/Koniec životnosti
 Zdroj: https://galvanizeit.org/uploads/publications/LCA_Balcony_Case_Study.pdf



Obrázok 5.4.4.3 – PEI náteru – Výroba/Používanie/Koniec životnosti
 Zdroj: https://galvanizeit.org/uploads/publications/LCA_Balcony_Case_Study.pdf



Obrázok 5.4.4.4 – Porovnanie výsledkov LCA
 Zdroj: https://galvanizeit.org/uploads/publications/LCA_Balcony_Case_Study.pdf

Procesom galvanizácie by sa teda mierne zvýšili dopady na životné prostredie. Negatívne dopady by vyvolalo použitie ďalšieho materiálu, napr. zinku (ťažba a doprava prvotných surovín), doprava ocele na miesto galvanizácie a spotreba energií a produkcia emisií pri procese samotnej galvanizácie. Tieto hodnoty sú však z nášho pohľadu zanedbateľné, vzhľadom na to, že nič by nemenili na fakte, že oceľový preklad je najmenej udržateľný z hľadiska výroby.

- **Drevo:**

Pre zaistenie trvanlivosti, drevo bude opatrené ochranným náterom Den Braven Profi, ktorý tvorí účinnú ochranu proti drevokazným hubám, plesniam, hnilobe pre triedy použitia I a II. Potrebné množstvo je 20 g/m² a pomer riedenia vodou je 1:9. V našom prípade bude použité malé množstvo: 3,1 g a 28 g vody, preto nie je potrebné počítať s kategóriami dopadov, avšak je potrebné dávať pozor na správne zaobchádzanie s náterom, pretože podľa karty bezpečnosti je veľmi toxický pre vodné organizmy, a je žieravý pre oči a kožu. Pri takýchto chemických látkach je vždy potrebné dbať na správne zaobchádzanie s produktom, pri úniku totiž môže dôjsť k nevratným škodám. V tomto prípade, pri koncentrácií 1mg/l, do 72 hodín vyhynú riasy a do 96 hodín ryby. Tieto dopady sú vopred nevyčísliteľné, avšak sú veľmi dôležitým aspektom pri ochrane životného prostredia. [47]

- **Spoločné pre všetky varianty:**

Pre zaistenie trvanlivosti konštrukcií je potrebné aj obmedzenie vlhkosti. Preto je nutné počítať so spotrebovanými energiami na kúrenie v miestnosti a s emisiami. Podľa verejných dát, priemerná hodnota pre vykurovanie je 20 kWh/(m²*rok). Pre príklad, keď predpokladám, že miestnosť, v ktorej bude uložený preklad, má 20 m², a kúriť budeme 50 rokov – aká je návrhová životnosť budovy, tak spotrebujeme 20 000 kWh. Vo výpočte som porovnala spotrebované primárne energie a emisie rôznych variant:

Zemný plyn:

- Faktor 1,1 a emisie CO₂ 0,22 kg/kWh

LPG:

- Faktor 1,35 a emisie CO₂ 0,248 kg/kWh

Elektrina:

- Faktor 2,2 a emisie CO₂ 0,167 kg/kWh

Drevené pelety:

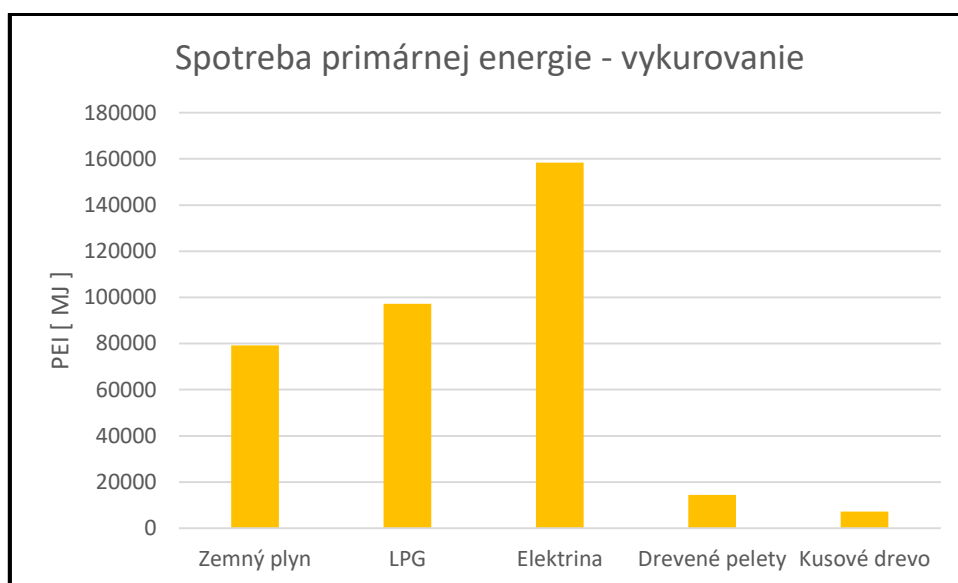
- Faktor 0,2 a emisie CO₂ 0,02 kg/kWh

Kusové drevo:

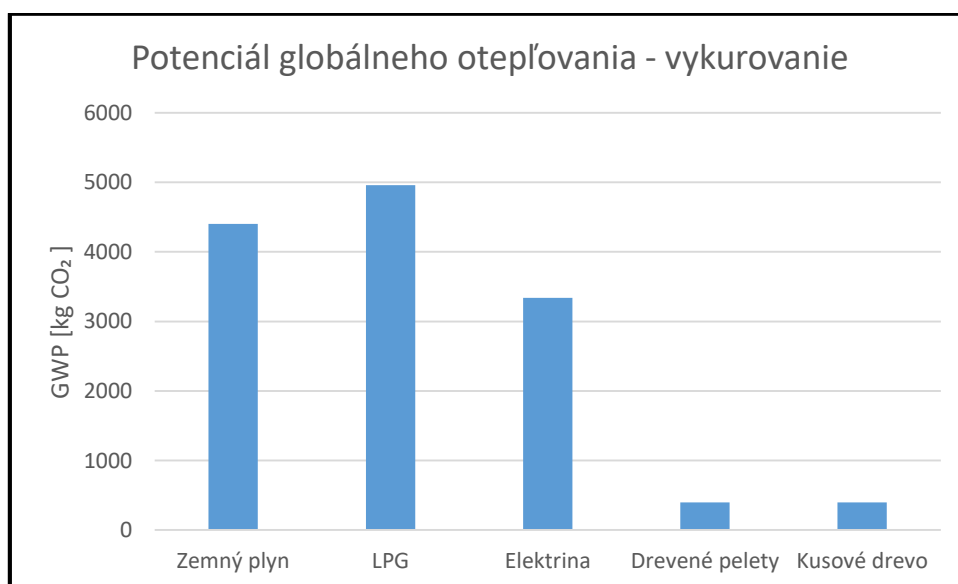
- Faktor 0,1 a emisie CO₂ 0,02 kg/kWh

Tabuľka č. 5.4.4 – Výsledná spotreba primárnych energií a emisie CO₂

	f [-]	CO ₂ [kg/kWh]	PEI [kWh]	PEI [MJ]	CO ₂ [kg]
Zemný plyn	1,1	0,22	22000	79200	4400
LPG	1,35	0,248	27000	97200	4960
Elektrina	2,2	0,167	44000	158400	3340
Drevené pelety	0,2	0,02	4000	14400	400
Kusové drevo	0,1	0,02	2000	7200	400



Graf č. 5.4.4.1 – Spotreba primárnej energie - vykurovanie



Graf č. 5.4.4.2 – Potenciál globálneho otepľovania - vykurovanie

Údaje sa vzťahujú na rodinné domy, pre vnútornú požadovanú teplotu 20 °C. [5], [6]

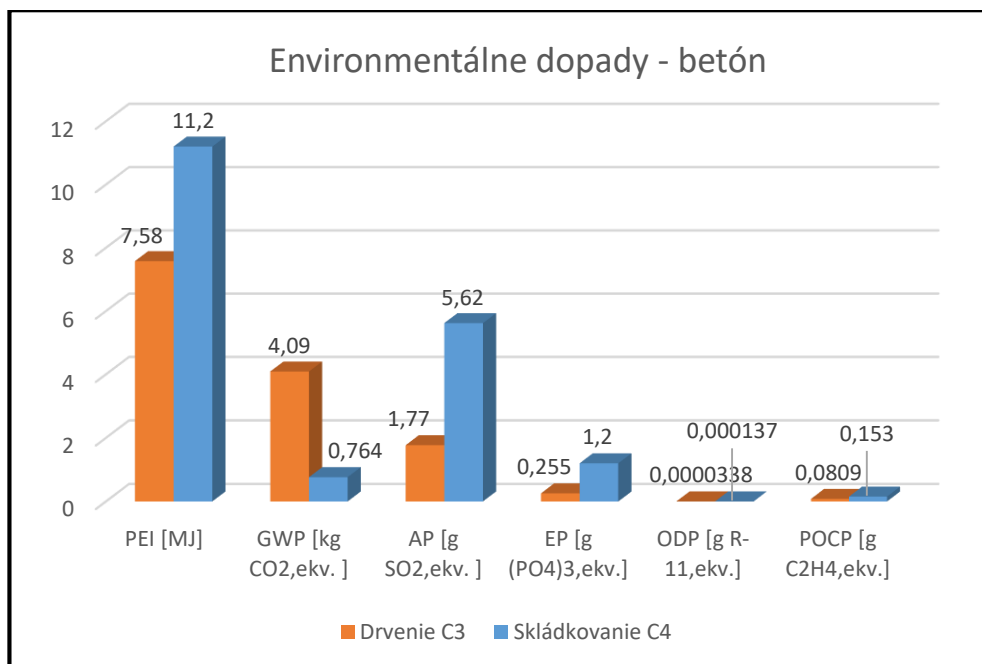
Dopady z vykurovania v našom prípade nie sú relevantné z hľadiska porovnania jednotlivých variant, keďže kúriť je potrebné v každom prípade. Jedná sa len o ukážku výpočtu. Tieto dopady by hrali značnú rolu pri posudzovaní celej stavby, rovnako, ako napr. dopady z osvetlenia, chladenia, ohrievania vody atď. V našom prípade vo finálnych výsledkoch porovnania som neposudzovala environmentálne dopady z prevádzkovej spotreby energií.

5.4.5 Fáza konca životného cyklu

Rovnako, ako pri fáze výstavby som zanedbala spotrebované energie a produkované emisie pri demolácii a pri doprave materiálov (dôvody sú rovnaké, nepoznáme presné umiestnenie stavby a demolácia jedného prvku nemá vysoké dopady na životné prostredie). Percentuálne najvyššia miera odpadov pochádza práve zo stavebného priemyslu, po ktorom nasleduje ťažba materiálov, ktorá tiež súvisí s výstavbou. Pri spracovaní odpadov je najlepšia možnosť recyklácia alebo spaľovanie. Najhoršia možnosť je momentálne skládkovanie. K nakladaniu s odpadom patrí zber, zhromažďovanie, preprava a zneškodnenie odpadov. Skládkovanie odpadov znamená trvalé uloženie odpadov, ide teda o spôsob zneškodnenia. Jednotlivé dopady pri spracovaní odpadov boli spočítané pomocou aplikácie One click lca, v ktorom je možné pracovať s databázou Ecoinvent, rovnako, ako to bolo aj pri softvériu Envimat. V aplikácii je možné vybrať aj štát a výrobcu jednotlivých materiálov. Pri výpočtoch bolo možné zvoliť aj to, čo sa má stať po demolácii s daným materiálom. V tejto kapitole sú zahrnuté len negatívne dopady, benefity z recyklácie alebo zo spaľovania patria do fázy D. [46]

- **Betón:**

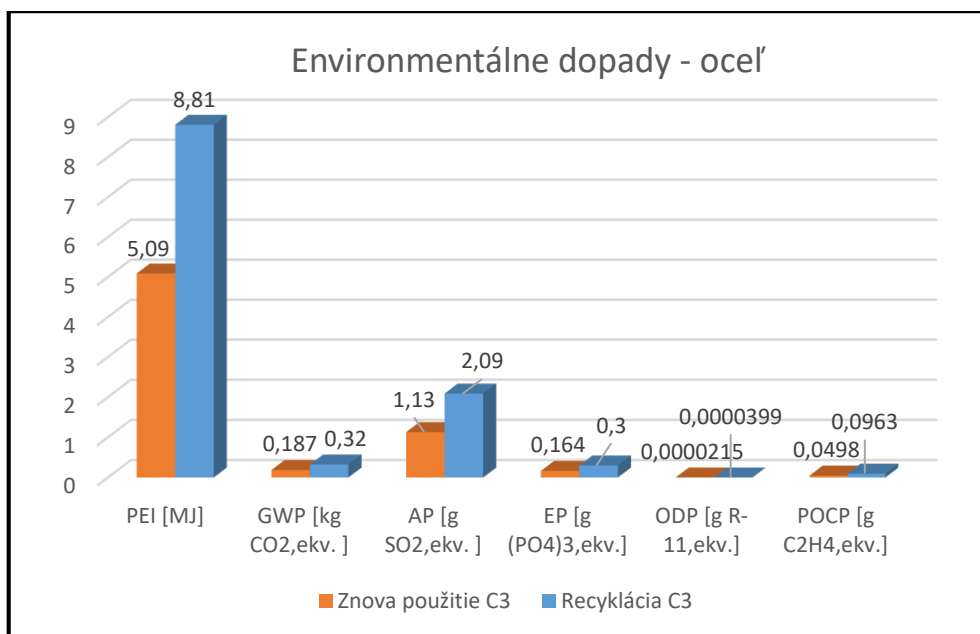
Pri železobetónových konštrukciách som spracovala 2 možnosti – skládkovanie a drvenie betónu na kamenivo. Výsledky sú zrejmé z nasledujúceho grafu. Graf slúži len na porovnanie jednotlivých variant, pri konečnom návrh je nutné vybrať jednu z možností.



Graf č. 5.4.5.1 – Environmentálne dopady - betón

- **Oceľ:**

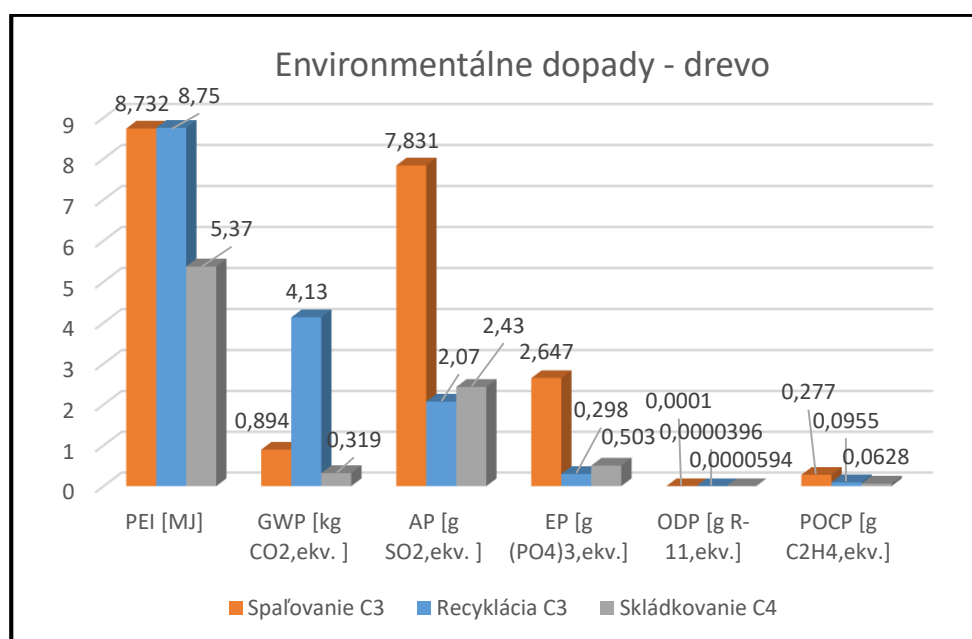
Pri oceľovej konštrukcii som mala limitované možnosti, lebo v programe sa nedala zvoliť možnosť: skládkovanie oceľových prvkov. Z tohto je zrejmé, každý počíta s tým, že oceľ bude nejakým spôsobom znova použitá. Preto porovnanie obsahuje len dopady znova použitia a procesu recyklácie.



Graf č. 5.4.5.2 – Environmentálne dopady - oceľ

- **Drevo:**

Čo sa týka dreveného nosníka, tu som mala najviac možností. Drevo je možné spaľovať a tak vyrábať energiu, skládkovať, znova použiť alebo recyklovať. Do porovnania som vybrala proces spaľovania, recykláciu a skládkovanie.



Graf č. 5.4.5.3 – Environmentálne dopady - drevo

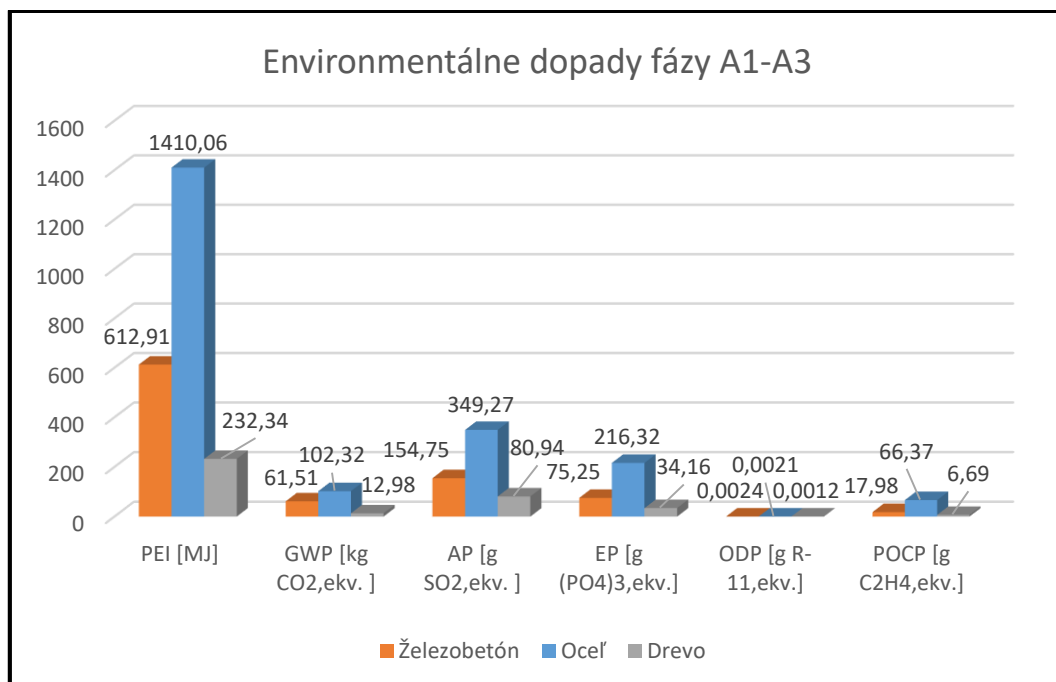
5.4.6 Doplnujúce informácie

V teoretickej časti som uviedla možné spôsoby výpočtu benefitov recyklácie materiálov. Môj vlastný názor však je, že výpočty dopadov na životné prostredie počítajú s neistými hodnotami aj bez recyklácie, je tam veľa variabilných hodnôt, preto som vybrala pre hodnotenie jednotlivých variant metódu simple cut off. Ako je vysvetlené v predošlých kapitolách, táto metóda nepočíta s benefitmi recyklácie pri prvotnom posúdení, ani s dopadmi recyklácie. Pri prvom použití prvku sú v hodnotení LCA započítané len fázy výroby, výstavby a užívania. Ani táto metóda nie je stopercentná, keďže človek nikdy nemôže s istotou tvrdiť, že prvky budú recyklované (môže sa stať napr., že materiál už nebude v takom stave, aby sa dal recyklovať). Preto, ako nevýhodu tejto metódy by som spomenula, že pri prvom použití nepočíta ani s dopadmi likvidácie (tu je nutné spomenúť, že metóda allocation to virgin material use s tým síce počíta, ale použitie tej metódy mi tiež nepríde správne, keďže sa v dnešnej dobe každý snaží recyklovať čo najviac).

Ďalším neznámym je aj to, že ktorý prvok sa zrecykluje a koľkokrát, či pritom využijeme celý prvok alebo len časť, či sa zrecyklovaný materiál použije v jednom novom prvku alebo bude rozdelený do viacerých konštrukcií. Ďalej je tu aj otázka, že akým procesom sa daný materiál recykluje, v predošlých kapitolách som poukázala nato, že napr. na recykláciu betónu už existuje viacero spôsobov, pričom každý môže mať iný dopad na životné prostredie a iné využitie v stavebníctve. [21], [36]

5.5 Výsledky environmentálnych dopadov

Pre čo najpresnejšie porovnanie jednotlivých materiálov budem teda vo výsledku počítať len s dopadmi behom výroby materiálov, teda s modulmi A1-A3. Rozhodla som sa tak preto, aby som mala čo najobjektívnejšie výsledky s čo najmenej variabilnými hodnotami. Grafické zhrnutie výsledkov:



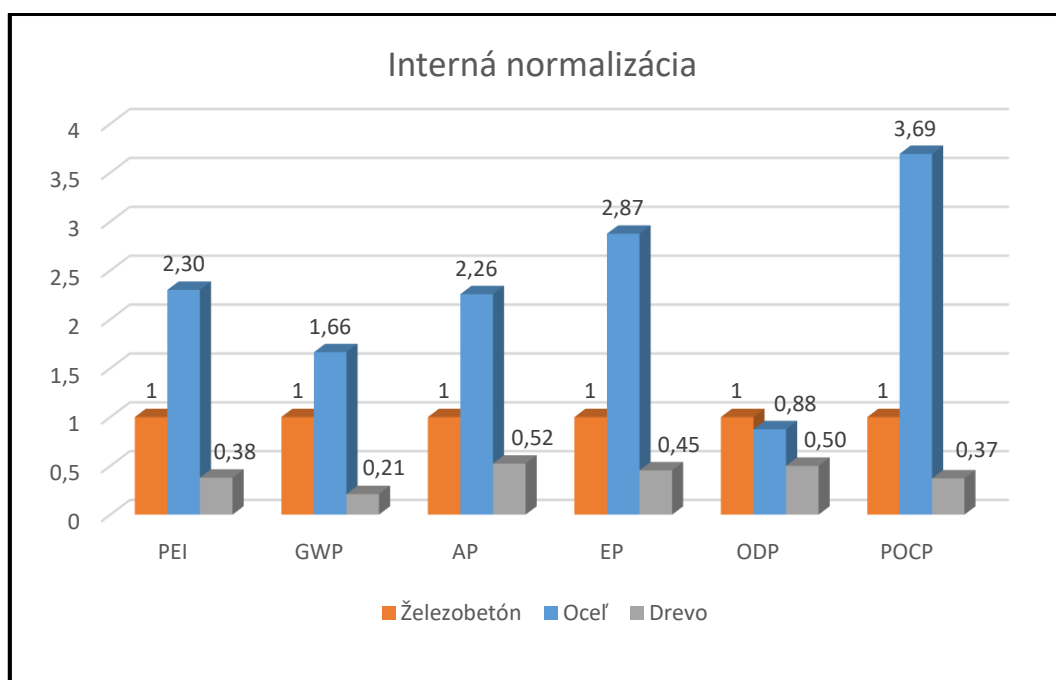
Graf č. 5.5 – Environmentálne dopady fázy A1-A3

5.6 Normalizácia výsledkov

Normalizácia je proces, pri ktorom sa vytvára jediná číselná hodnota vážením a súčtom z každej kategórií vplyvu. Pri normalizácii prevádzame komplikované jednotky na zlomky skóre stavebných materiálov. Z hľadiska normalizácie rozlišujeme 2 hlavné metódy [33], [34], [35]:

- Vnútornú (internú) normalizáciu

Internú normalizáciu môžeme použiť len v takých prípadoch, keď pomocou LCA porovnávame viacero alternatív. Pri internej normalizácii vyberieme jednu alternatívu, ktorá bude v našom prípade referenčná, a k tomu prirovnáme ďalšie. Hlavnou výhodou tejto metódy je, že môžeme vylúčiť menšie chyby, ako napr. nad- alebo podcenenie spoločných výsledkov pre všetky alternatívy.



Graf č. 5.6.1 – Interná normalizácia

- Vonkajšiu (externú) normalizáciu

Externá normalizácia používa ako referenčnú hodnotu celkové emisie alebo ekvivalentné emisie na obyvateľa v danej kategórii v danom regióne. Existujú viaceré externé referenčné hodnoty, ako napr. celkové emisie na obyvateľov v Európe, vo svete, v Spojených štátoch, atď. Na rozdiel od internej analýzy, táto metóda neslúži len na porovnanie jednotlivých alternatív medzi sebou, ale ponúka komplexnejšie hodnotenie z hľadiska vybraného regiónu. Nevýhoda pri externej normalizácii vznikne, keď kategórie s vysokou regionálnou referenčnou hodnotou vytvárajú menší normalizačný vplyv. Táto skutočnosť môže mať za následok skreslenie výsledkov.

Pri externej normalizácii som použila najnovšie dostupné globálne normalizačné faktory z roku 2010 pri 6 895 889 018 obyvateľoch (údaje z United Nations Department of

Economic and Social Affairs z roku 2011). Na obrázku nižšie sú uvedené tieto hodnoty, ktoré boli potom prepočítané na referenčné jednotky zhodné s doterajšími výpočtami.

Impact category	Model	Unit	global NF for EF	global NF for EF per person *
Climate change	IPCC (2013)	kg CO ₂ eq	5.79E+13	8.40E+03
Ozone depletion	WMO (1999)	kg CFC-11 eq	1.61E+08	2.34E-02
Human toxicity, cancer	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTU _h	2.66E+05	3.85E-05
Human toxicity, non-cancer	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTU _h	3.27E+06	4.75E-04
Particulate matter	Fantke et al., 2016	disease incidences	4.95E+06 ^(a)	7.18E-04
Ionising radiation	Frischknecht et al., 2000	kBq U-235 eq.	2.91E+13	4.22E+03
Photochemical ozone formation	Van Zelm et al., 2008 as applied in ReCiPe (2008)	kg NMVOC eq.	2.80E+11	4.06E+01
Acidification	Posch et al., 2008	mol H ⁺ eq	3.83E+11	5.55E+01
Eutrophication, terrestrial	Posch et al., 2008	mol N eq	1.22E+12	1.77E+02
Eutrophication, freshwater	Struijs et al., 2009	kg P eq	5.06E+09	7.34E-01
Eutrophication, marine	Struijs et al., 2009	kg N eq	1.95E+11	2.83E+01
Land use	Bos et al., 2016 (based on)	pt	9.64E+15 ^(b)	1.40E+06
Ecotoxicity freshwater	USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTU _e	8.15E+13	1.18E+04
Water use	AWARE 100 (based on; UNEP, 2016)	m ³ water eq of deprived water	7.91E+13 ^(b)	1.15E+04
Resource use, fossils	ADP fossils (van Oers et al., 2002)	MJ	4.50E+14	6.53E+04
Resource use, minerals and metals	ADP ultimate reserve (van Oers et al., 2002)	kg Sb eq	4.39E+08	6.36E-02

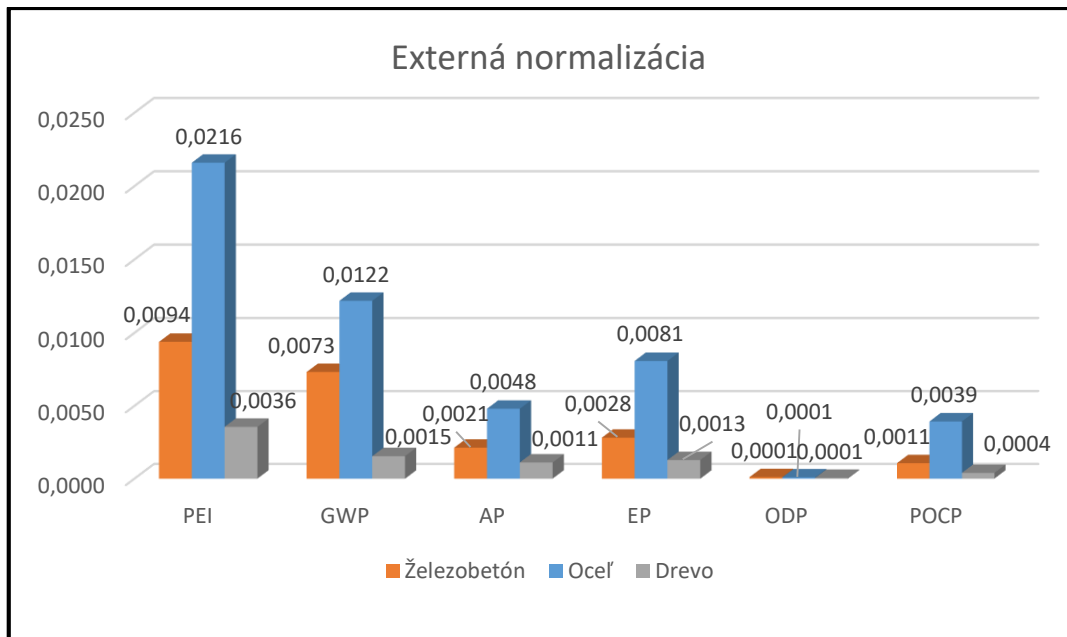
Obrázok 5.6 – Globálne normalizačné faktory

Zdroj: file:///C:/Users/User/Downloads/kjna28984enn_global_norm_factors-3.pdf

Tabuľka č. 5.6 – Globálne normalizačné faktory

PEI [MJ]	65 300
GWP [kg CO ₂ , ekv.]	8 400
AP [g SO ₂ , ekv.]	72 705
EP [g (PO ₄) ³⁻ , ekv.]	26 768,07
ODP [g R-11 , ekv.]	23,4
POCP [g C ₂ H ₄ , ekv.]	16 889,6

Prepočty jednotiek som spracovala na základe stránky environdec.com a na základe štúdie od autorov: Warit Jawjit, Carolien Kroeze, Wit Soontaranun a Leen Hordijk, podľa tabuľky č. IV, v ktorej je spracovaný prepočet jednotiek na referenčné jednotky, rozdelený podľa jednotlivých faktorov. [32], [44]



Graf č. 5.6.2 – Externá normalizácia

5.7 Váhy dopadov na životné prostredie

Stanovenia váh dopadov je posledným krokom pri hodnotení dopadov (LCIA). Znamená to vynásobenie normalizovaných výsledkov váhovým faktorom, ktorý vyjadruje dôležitosť danej kategórie. Vážené výsledky majú rovnakú jednotku, preto je možné ich sčítať a vytvoriť tým konečný výsledok – poradie porovnaných produktov. Jedná sa o diskutabilný krok, keďže voľba váh môže ovplyvniť celkové výsledky.

Ide o voliteľný krok, ktorý však môže byť užitočný z viacerých dôvodov. Výsledky sú zrozumiteľnejšie a ľahšie ich komunikujeme, keď máme jeden výsledok a nie rôzne výsledky jednotlivých faktorov. Váženie je používané predovšetkým na vlastné alebo interné účely. V norme ISO 14040 a 14044 je totiž stanovené, že vážené výsledky nesmieme použiť na porovnávacie tvrdenia, ktoré majú byť zverejnené, aby nedošlo k manipulácii údajov.

Na stanovenie váh jednotlivých faktorov poznáme štyri základné princípy, ktoré určujú, čomu sa treba vyhýbať:

- Vzdialenosť od cieľa politiky – stanovenie váh na základe politických požiadaviek nemusí vždy korešpondovať s vážnosťou jednotlivých faktorov, preto je potrebné nenechať sa ovplyvniť aktuálnou politickou situáciou.
- Vzdialenosť od vedeckého cieľa – netreba sa spoliehať na dosiahnutie vedcom stanovených cieľov, napr. nechať sa ovplyvniť s údajne bezpečnými limitnými hodnotami jednotlivých škodlivých látok a preto dať väčšiu váhu iným faktorom.
- Speňaženie – taktiež by sme sa nemali nechať ovplyvňovať financiami, ako sú napr. náklady na predchádzanie alebo odstránenie škôd v závislosti na dopadoch na životné

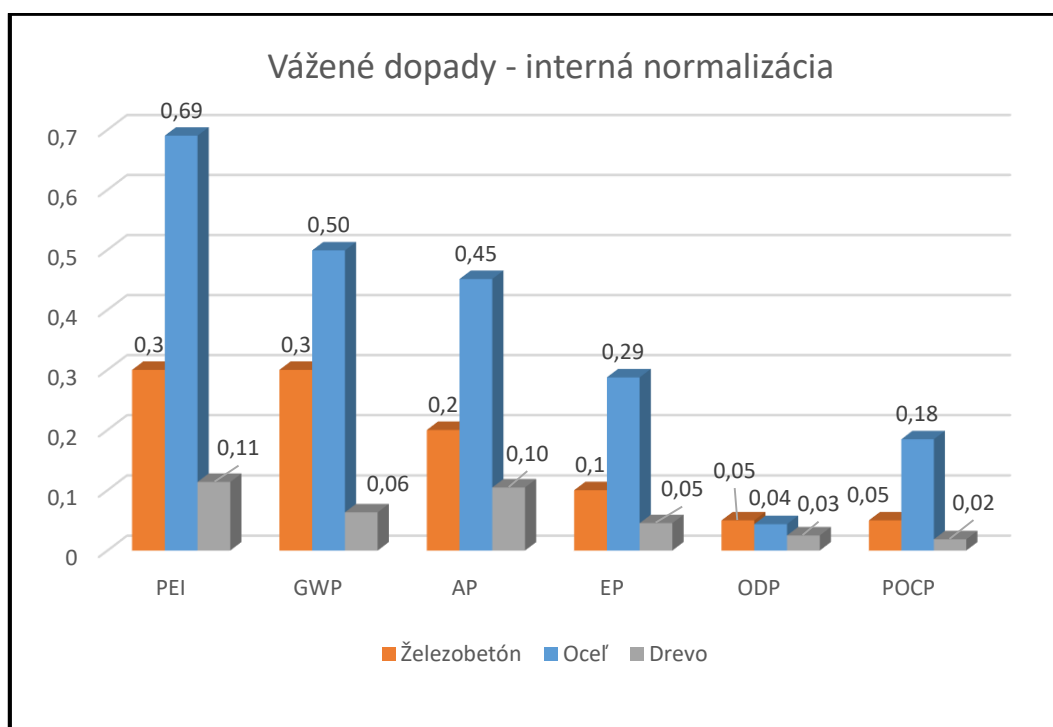
prostredie. Pre každého je totiž cennejšie niečo iné, pre niekoho ochrana životného prostredia, pre niekoho ochrana zdravia a zase pre niekoho ochrana neobnoviteľných zdrojov. Niektorí chcú predísť škodám, a niektorí zaplatia až vtedy, keď k škode došlo a je potrebné odstránenie negatívnych dopadov.

- Váženie na základe skupiny/poroty – jedná sa o priamu formu určenia váh, keď sa spýtame skupiny ľudí, že aký majú názor na jednotlivé dopady. Nevýhodou je, že v skupine môže byť ľuďia s rôznymi vedomosťami a názormi, môžu mať inú informovanosť, resp. môžu byť pod vplyvom médií. [37]

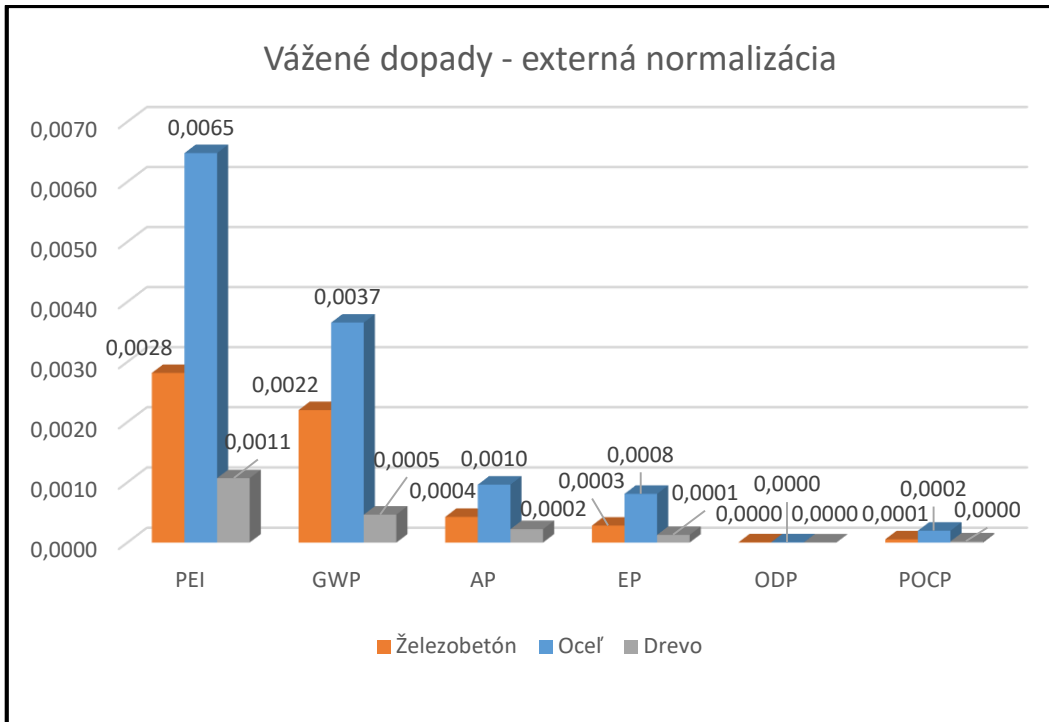
Z grafov je vidno, že váženie jednotlivých faktorov v našom prípade nezmení veľmi finálne výsledky, ale napriek tomu som vypracovala tabuľky jednotlivých váh, aby som ukázala fungovanie tohto procesu. Jednotlivé váhy som stanovila podľa vlastného názoru, že ktorý faktor aký veľký vplyv môže mať na životné prostredie.

Tabuľka č. 5.7 – Zvolené váhy jednotlivých dopadov

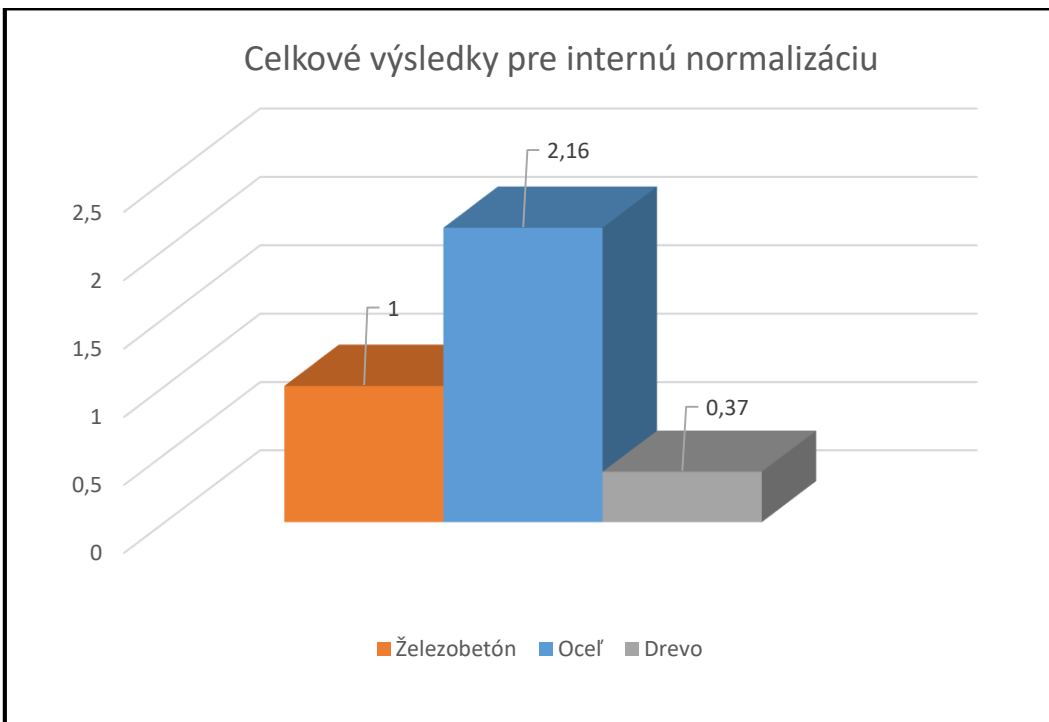
Kategórie dopadov	PEI	GWP	AP	EP	ODP	POCP
Zvolená váha	0,3	0,3	0,2	0,1	0,05	0,05



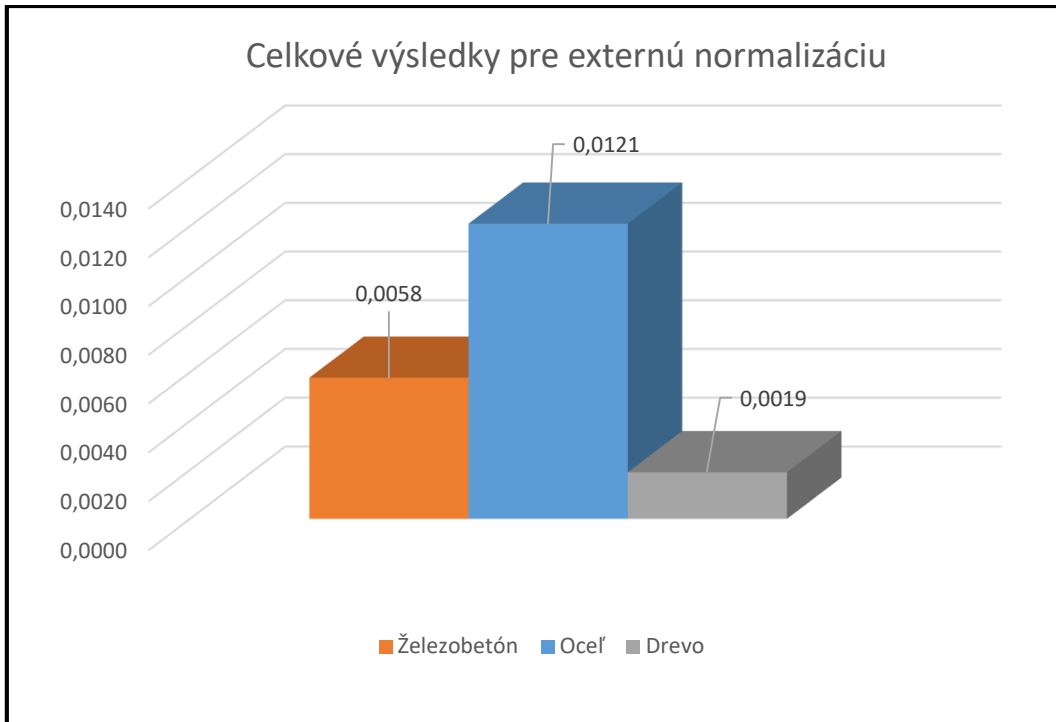
Graf č. 5.7.1 – Vážené dopady - interná normalizácia



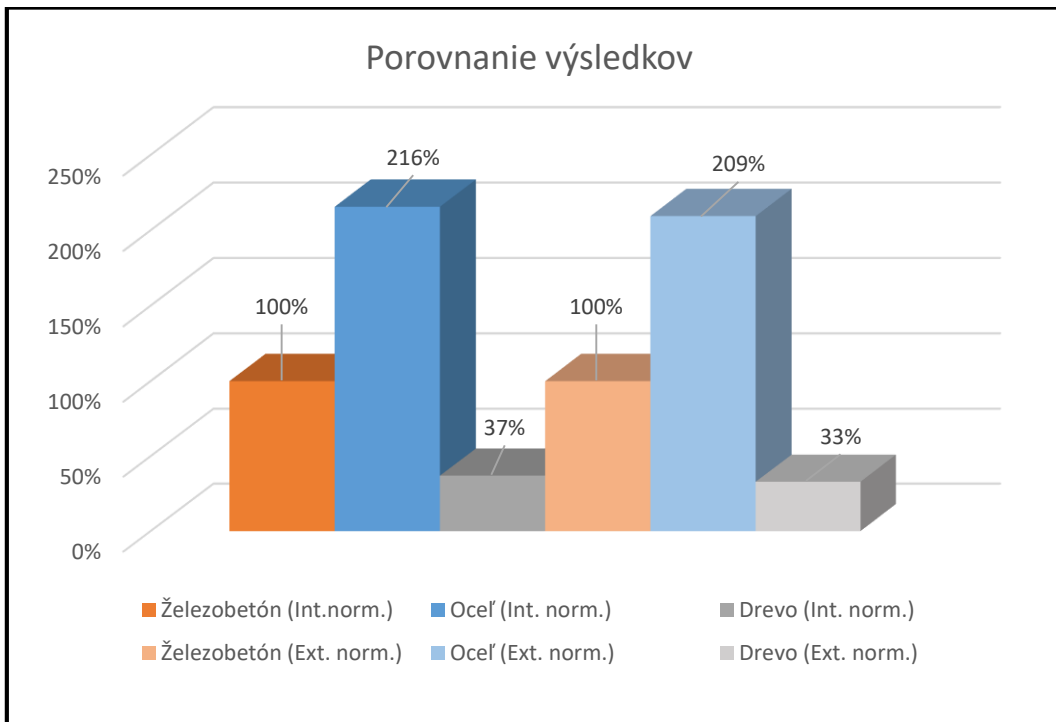
Graf č. 5.7.2 – Vážené dopady - externá normalizácia



Graf č. 5.7.3 – Celkové výsledky pre internú normalizáciu



Graf č. 5.7.4 – Celkové výsledky pre externú normalizáciu



Graf č. 5.7.5 – Porovnanie výsledkov

6. Záver

Cieľom tejto práce bolo zoznámenie sa s pojmom udržateľného rozvoja a metódami hodnotenia environmentálnych dopadov stavebných prvkov. Hlavnou úlohou bolo vypracovanie porovnania pre jednoduchý konštrukčný prvok. V práci som porovnávala tri materiálové varianty nadokenného prekladu z hľadiska udržateľnosti. Porovnanie obsahovalo konštrukčný návrh jednotlivých variant, environmentálne dopady výrobnéj fázy a aspekty environmentálnych dopadov ďalších fáz.

Z predchádzajúcich grafov je jasný výsledok: najudržateľnejší návrh je drevený trám, na druhom mieste skončil železobetónový nosník a najhoršie dopadol oceľový prvok. Na výsledku nič nemenil spôsob normalizácie, ani váženie výsledkov. Pri návrhu boli všetky varianty navrhnuté na rovnaké, resp. čo najviac podobné využitie, preto považujem výsledky za presné z hľadiska konštrukčného návrhu.

Tieto výpočty sa vzťahujú len na tento konkrétny prípad. Keďže sa jedná o komplikovaný výpočet environmentálnych dopadov, ktorý zohľadňuje veľa faktorov, aj pri najmenšej zmene návrhu by sme mohli dostať odlišné výsledky. Pri tak zložitých výpočtoch je vždy potrebné dopredu stanoviť všetky faktory, ktoré môžu ovplyvniť výpočet, a počítať s konkrétnymi hodnotami.

Z výsledkov vyplýva, že čo sa týka udržateľnosti betónových konštrukcií, máme ešte čo zmeniť/zlepšiť. Musíme zefektívniť návrh, hlavne materiál a množstvo výstuže, a skúšať nové recyklačné metódy, aby sme dostali kvalitnejší recyklát, ktorý bude možné lepšie a vo väčšom množstve využiť pri výstavbe. Okrem toho musíme skúmať environmentálne dopady v prípade alternatívnych armovacích materiálov a vlastnosti železobetónových konštrukcií, v ktorom sme použili recyklovaný betón. Budúcnosť betónových a železobetónových konštrukcií z veľkej časti závisí aj na ich udržateľnosti.

Rovnako musíme ešte zdokonaľiť výpočet environmentálnych dopadov. Hodnotenie pomocou metódy LCA je dobrý základ, ale pri výpočtoch som narazila na veľké nedostatky. Najväčšou nevýhodou tohto hodnotenia je nedostatočný prístup k zdrojovým údajom. Aj keď existujú softvéry a aplikácie, ktoré uvádzajú zdroje, aj tie sú ešte v štádiu vývoja, a ťažko v nich vyhľadať, že presne s akými okrajovými podmienkami pracujú. Tieto softvéry často nemajú ani demo alebo študentskú verziu, v ktorých by sa človek naučil pracovať.

Ďalší problém pri výpočtoch spočíva v tom, že momentálne existuje veľa metód pre výpočet, a človek si nemôže byť istý, že ktorý by bol najviac vhodný. Často sa môžu líšiť výsledky rovnakých materiálov len preto, lebo projektant vybral iný prístup alebo predpokladal iné zaobchádzanie s materiálom. Myslím tým napr. spôsob a možnosť recyklácie alebo odpadové hospodárstvo.

Podľa môjho názoru je veľký problém aj v tom, že tieto metódy výpočtu vôbec nezahrňujú efektívnosť a vhodnosť konštrukčného návrhu. Je to určite dôležitý aspekt, ktorý by sa mal prejavovať aj pri hodnotení z environmentálneho hľadiska.

Na záver by som chcela dodať, že ide o hodnotenie, ktoré je ešte stále novinkou v stavebníctve, preto nemôžeme očakávať, že výsledky a výpočtové metódy budú hneď dokonalé. Myslím, že tým, že sa vôbec zaujímame o naše prostredie, už sme jeden krok bližšie k udržateľnému stavebnému priemyslu.

7. Literatura:

Zákony a vyhlášky:

- [1] Zákon č. 17/1992 Sb., Zákon o životním prostředí, ČR
- [2] Zákon č. 541/2020 Sb., Zákon o odpadech, ČR
- [3] Vyhláška č. 8/2021 Sb., Katalog odpadů a posuzování vlastností odpadů, ČR
- [4] Vyhláška č. 273/2021 Sb., Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady, ČR
- [5] Zákon č. 406/2000 Sb., Zákon o hospodaření energií, ČR
- [6] Vyhláška č. 194/2007 Sb., ČR

Normy a predpisy:

- [7] ČSN EN 15643 Udržitelnost ve výstavbě – Rámec pro posuzování budov a inženýrských staveb, 2021
- [8] ČSN EN 15804 – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu - Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů, 2022
- [9] ČSN EN 15942 – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu - Formát komunikace mezi podniky, 2022
- [10] ČSN EN 15978 - Udržitelnost staveb – Posuzování environmentálních vlastností budov – Výpočtová metoda, 2012
- [11] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2 - Navrhování betonových konstrukcí - Část 1 – 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 1992
- [12] ČSN 73 1201 – Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb, 2010
- [13] ČSN EN 13670 – Provádění betonových konstrukcí, 2010
- [14] ČSN EN 206+A2 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, 2021
- [15] ČSN ISO 14040 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova, 2006
- [16] ČSN ISO 14044 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice, 2006
- [17] ČSN EN 1990:2002 Eurokód – Zásady navrhování konstrukcí, 2021
- [18] ČSN ISO 13823 – Obecné zásady navrhování konstrukcí s ohledem na trvanlivost, 2014
- [19] ČSN EN 16757 – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu - Pravidla produktové kategorie pro beton a betonové prvky, 2018

Publikácie a internetové zdroje:

- [19] KOČÍ, V. a kolektiv, 2012. *LCA a EPD stavebních výrobků: Posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6
- [20] HORÁKOVÁ, A., 2017. *Hodnocení železobetonových konstrukcí z hlediska trvanlivosti a udržitelného rozvoje*. Praha: ČVUT Fsv, Diplomová práce. Dostupné na: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70219/F1-DP-2017-Horakova-Anna-DIPLOMOVA%20PRACE%20-%20ANNA%20HORAKOVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [21] HORÁKOVÁ, A., 2021. *Optimalizace betonových konstrukcí z hlediska environmentálních vlivů a trvanlivosti*. Praha: ČVUT Fsv, Disertační práce. Dostupné na:

<https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/99995/F1-D-2022-Horakova-Anna-Disertacni%20prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

[22] RUSKO, M. a ŠTEFFEK, J., 2008. *Základy ekológie a environmentalistiky*. Bratislava: Strix, ISBN 978-80-89281-36-7, Dostupné na: http://www.sszp.eu/wp-content/uploads/Udrzatelny_rozvoj.pdf

[23] KREMEROVÁ, A., 2020. *Environmentální dopady nosných stavebných konstrukcí rodinných domů*. Praha: ČVUT Fsv, Diplomová práce. Dostupné na: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/86741/F1-DP-2020-Kremerova-Alice-Environment.dopady_RD.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

[24] SKRIŇÁKOVÁ, E., 2014. *Studium možností využití kameniva z recyklovaných betonů pro výrobu konstrukčních betonů*. Brno: VUT, Bakalářská práce. Dostupné na: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=91483

[25] HÁJEK, P., TEPLÝ, B. a KŘÍSTEK, V. *Trvale udržitelný rozvoj a betonové konstrukce*. Dostupné na: <https://docplayer.cz/26659595-Trvale-udrzitelny-rozvoj-a-betonove-konstrukce-sustainable-development-and-concrete-structures.html>

[26] Európska betonárska platforma, 2009. *Výhody trvalej udržateľnosti betónových konštrukcií*. Dostupné na: <https://www.savt.sk/images/Dokumenty/VerejneDokumenty/UdrzatelnostBetonovychKonstrukcii.pdf>

[27] OCHSENDORF, J.A., 2005. *Sustainable Engineering: The Future of Structural Design*. Dostupné na: <https://courses.washington.edu/cee380/ochsendorf.pdf>

[28] BRIATKA, P. a MAKÝŠ, P. 2012. *Betón ako materiál trvalo udržateľnej výstavby*. Časopis Stavebné materiály. Dostupné na: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/beton-ako-material-trvalo-udrzatelnej-vystavby>

[29] Česká rada pro šetrné budovy, 2020. *Šetrné budovy a komplexní certifikační systémy*. Dostupné na: <https://www.czgbc.org/files/2021/01/738fb89879d9a56abcc3fb11ed7acce7.pdf>

[30] ZMEK, J., 2008. *Časté chyby a poruchy nových betónových konštrukcií*. Dostupné na: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/cement-beton/caste-chyby-aporuchy-novych-betonovych-konstrukcii>

[31] HOŠEK, S., 2013. *Sanácia trhlín v betónových konštrukciách*. Časopis Stavebné materiály. Dostupné na: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/zaklady-a-hruba-stavba/hydroizolacie-zakladov/sanacia-trhlin-v-betonovych-konstrukciach>

[32] JAWJIT, W., KROEZE, C., SOONTARANUN, W. a HORDIJK, L. 2006. *An analysis of the environmental pressure exerted by the eucalyptus-based kraft pulp industry in Thailand*. Dostupné na <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/7926/1/XJ-06-011.pdf>

[33] PIZZOL, M., LAURENT, A., SALA, S., WEIDEMA, B. P., VERONES, F. a KOFFLER, C., 2017. *Normalisation and weighting in life cycle assessment: quo vadis?* International Journal of Life Cycle Assessment. Dostupné na: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/128949234/Pizzol_et_al_2016_Normalisation_and_Weighting_LCA_quo_vadis_IJLCA_preprint.pdf

[34] VENDITTI, R.A., 2016. *Normalization, Weighting and Aggregation to Single Score*. North Carolina State University. Dostupné na: <https://faculty.cnr.ncsu.edu/richardvenditti/wp-content/uploads/sites/24/2018/08/2016Lecture14NormalizationandWeightingSingleScore.pdf>

[35] PRADO, B., WENDER, B.A. a SEAGER, T.P. 2017. *Interpretation of comparative*

LCA: external normalization and a method of mutual differences. The International Journal of Life Cycle Assessment. Dostupné na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1281-3>

[36] OBE, R.K.D et al. 2018. *Sustainable construction materials for concrete: A question of responsible use*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Dostupné na: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/442/1/012001/pdf>

[37] MEIJER, E. 2014. *Weighting: applying a value judgement to LCA results*. PRÉ Sustainability. Dostupné na: <https://pre-sustainability.com/articles/weighting-applying-a-value-judgement-to-lca-results/>

[38] TORNAGHI, M.L, LOLI, A. a NEGRO, P. 2018. *Balanced Evaluation of Structural and Environmental Performances in Building Design*. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/2075-5309/8/4/52/htm>

[39] ŠILAROVÁ, Š. 2021. *Stavebnictví a druhotné surovinové zdroje*. ČVUT Fsv, Prednáška z predmetu YDSR.

[40] EKVALL, T., BJÖRKLUND, A., SANDIN, G., JELSE, K., LAGERGREN, J. a RYDBERG, M. 2020. *Modeling recycling in life cycle assessment*. Swedish Environmental Research Institute. ISBN 978-91-7883-226-2. Dostupné na: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2020_05_Modeling-recycling-in-life-cycle-assessment-1.pdf

Webové stránky:

[41] Ministerstvo životního prostředí, Dostupné na: www.mzp.cz

[42] Agenda 30, Dostupné na: www.cr2030.cz

[43] Envimat, Dostupné na: www.envimat.cz

[44] Environdec, Dostupné na: www.environdec.com

[45] Ebeton, Dostupné na: www.ebeton.cz

[46] One click LCA, Dostupné na: www.oneclicklca.com

[47] Den Braven, www.denbraven.sk

*Poznámka: Zdroje obrázkov a citácií sú uvedené priamo pod obrázkami, resp. pri citáciách ako poznámky pod čiarou.

Zoznam obrázkov:

Obrázok č. 2.3: Základné piliere UR	11
Obrázok č. 2.5: 17 cieľov v Agende 2030	14
Obrázok č. 3.2: Rámec hodnotenia životného cyklu	17
Obrázok č. 3.3.1: Stanovenie hraníc systému	19
Obrázok č. 3.3.2: Fázy životného cyklu	19
Obrázok č. 3.3.3: Výroba portlandského cementu	19
Obrázok č. 3.3.4: Ukážka dopadov	20
Obrázok č. 3.6: Ukážka loga EPD	21
Obrázok č. 3.7.1: Certifikáty SBToolCZ	22
Obrázok č. 3.7.2: Certifikát LEED	23
Obrázok č. 3.7.3: Certifikát BREEAM	24
Obrázok č. 3.9: Logo envimat	25
Obrázok č. 4.0.1: Životný cyklus betónovej stavby	26
Obrázok č. 4.1: Zloženie betónu	27
Obrázok č. 4.2: Posúdenie environmentálnych dopadov pomocou Envimat	28
Obrázok č. 4.3.1: Kategórie a návrhová životnosť stavieb	29
Obrázok č. 4.3.2: Účinky zaťaženia prostredia na betónové konštrukcie	30
Obrázok č. 4.3.3: Účinky zaťaženia prostredia na oceľové konštrukcie	30
Obrázok č. 4.3.4: Alkalicko-kremičitá reakcia	31
Obrázok č. 4.3.5: Stabilizácia základov pomocou injektáže	33
Obrázok č. 4.3.6: Stabilizácia základov pomocou injektáže	33
Obrázok č. 4.3.7: Zošívanie trhliny pomocou oceľovej spony	34
Obrázok č. 4.3.8: Sanácia železobetónového skeletu	34
Obrázok č. 4.4.1: Schéma 3x recyklovaného materiálu z hľadiska udržateľnosti .	36
Obrázok č. 4.4.2: Hranice životných cyklov pri metóde Simple cut-off	37
Obrázok č. 4.4.3: Hranice životných cyklov pri metóde Cut-off plus credit	37
Obrázok č. 4.4.4: Hranice životných cyklov pri metóde Allocation of material losses .	38
Obrázok č. 4.4.5: Hranice životných cyklov pri metóde Allocation to virgin material use	38
Obrázok č. 4.4.6: Hranice životných cyklov pri metóde 50/50	39
Obrázok č. 5.1.1: Schéma umiestnenia nadokenného prekladu	40
Obrázok č. 5.1.2: Statická schéma prekladu	41
Obrázok č. 5.4.1: Fázy dopadov a hranice systémov	51
Obrázok č. 5.4.2: Dopady na životné prostredie počas výrobných fáz	52
Obrázok č. 5.4.4.1: Proces galvanizácie a použitia ochranného náteru	58
Obrázok č. 5.4.4.2: PEI galvanizácie – Výroba/Používanie/Koniec životnosti	59
Obrázok č. 5.4.4.3: PEI náteru – Výroba/Používanie/Koniec životnosti	59
Obrázok č. 5.4.4.4: Porovnanie výsledkov LCA	59
Obrázok č. 5.6: Globálne normalizačné faktory	66

Zoznam tabuliek:

Tabuľka č. 5.1.1: Skladba podlahy + nosná konštrukcia stropu	41
Tabuľka č. 5.1.2: Zaťaženie od murovaného parapetu výšky 1 m	41
Tabuľka č. 5.1.3: Líniové zaťaženie pôsobiace na preklad pri zaťažovacej šírke 2,5 m	41
Tabuľka č. 5.3: Spotrebované množstvo materiálov	51
Tabuľka č. 5.4.2: Dopady na životné prostredie počas výrobných fáz	52
Tabuľka č. 5.4.4: Výsledná spotreba primárnych energií a emisie CO ₂	61
Tabuľka č. 5.6: Globálne normalizačné faktory	66
Tabuľka č. 5.7: Zvolené váhy jednotlivých dopadov	68

Zoznam grafov:

Graf č. 5.4.2.1: Spotreba primárnej energie	52
Graf č. 5.4.2.2: Potenciál globálneho otepľovania	53
Graf č. 5.4.2.3: Potenciál acidifikácie prostredia	54
Graf č. 5.4.2.4: Potenciál eutrofizácie prostredia	54
Graf č. 5.4.2.5: Potenciál ničenia ozónovej vrstvy	55
Graf č. 5.4.2.6: Potenciál tvorby prízemného ozónu	55
Graf č. 5.4.3: Emisie CO ₂ pre jednotlivé typy palív	57
Graf č. 5.4.4.1: Spotreba primárnej energie – vykurovanie	61
Graf č. 5.4.4.2: Potenciál globálneho otepľovania – vykurovanie	61
Graf č. 5.4.5.1: Environmentálne dopady – betón	62
Graf č. 5.4.5.2: Environmentálne dopady – oceľ	63
Graf č. 5.4.5.3: Environmentálne dopady – drevo	63
Graf č. 5.5: Environmentálne dopady fázy A1-A3	64
Graf č. 5.6.1: Interná normalizácia	65
Graf č. 5.6.2: Externá normalizácia	67
Graf č. 5.7.1: Vážené dopady – interná normalizácia	68
Graf č. 5.7.2: Vážené dopady – externá normalizácia	69
Graf č. 5.7.3: Celkové výsledky pre internú normalizáciu	69
Graf č. 5.7.4: Celkové výsledky pre externú normalizáciu	70
Graf č. 5.7.5: Porovnanie výsledkov	70

Zoznam použitých programov:

1. AutoCAD 2018
2. FIN EC 2020
3. Envimat
4. One Click LCA