

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Ing. Matthias Marcel Jean Arnould

Autoreferát dizertačnej práce

Príspevok k metodológii výpočtu emisnej stopy demolovaných budov.
na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

v doktorandskom študijnom programe:

3659 Teória a konštrukcie pozemných stavieb

v študijnom odbore:

stavebníctvo

Forma štúdia:

denná

Miesto a dátum:

V Bratislave dňa 31.5.2022

Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra architektúry

Predkladateľ:

Ing. Matthias Marcel Jean Arnould

Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava

Školiteľ:

doc. Ing. arch. Jarmila Húsenicová, PhD.

Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava

Oponenti:

prof. RNDr. Ivona Škultétyová, PhD.

Katedra zdravotného a environmentálneho inžinierstva
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava

doc. Ing. arch. Henrich Pifko, CSc.

Ústav ekologickej a experimentálnej architektúry
Fakulta architektúry a dizajnu STU v Bratislave
Námestie slobody 19
812 45 Bratislava

doc. Ing. arch. Jana Gregorová, PhD.

Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11
810 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný: 29. júla 2022

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa 26.08.2022 o 13.00 h.

na Katedre architektúry, Stavebnej fakulte, STU v Bratislave (knižnica Katedry architektúry).

.....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
Dekan Stavebnej fakulty

Abstrakt

Ochrana životného prostredia sa stáva témou súčasnosti a spôsob, akým sa nám podarí s touto otázkou vysporiadať priamo ovplyvní obraz budúcnosti. Je nevyhnutné sledovať, ako sa vyvíja náš pohľad na produkciu, mapovanie a znižovanie emisií v stavebnom sektore. V práci sa venujeme špecifickej oblasti, a to metodológii rekonštrukcie celoživotnej emisnej stopy demolovaných budov.

Podľa dokumentu Správa o celkovom stave pre rok 2020 predstavoval stavebný priemysel až do 37% z celosvetových emisií (Global CCS, 2021). Zlepšovanie energetickej efektívnosti nových aj existujúcich budov je hlavnou stratégiou štátov, ktoré sa usilujú o znižovanie uhlíkovej stopy. Pokiaľ sa však jedná o zabudované vplyvy, pomer ich dopadu na životné prostredie je v porovnaní s prevádzkovými vplyvmi z roka na rok väčší. Ťažba, spracovanie, výroba a distribúcia stavebných materiálov, výstavba budovy, užívanie budovy a jej demolácia alebo demontáž, predstavujú podľa normy EN 15978 štyri fázy životného cyklu budov ('EN 15978', 2011). Práca sa venuje metodológii rekonštrukcie celoživotnej emisnej stopy (CO₂ekv) demolovaných budov aplikovanej na prípadovej štúdií dvoch búraných škôl vo Fínsku. Dopad budovy na životné prostredie počas celého životného cyklu bol vypočítaný na základe primárnych dát dodaných vykonávateľom demolačných prác a sekundárnych dát uvádzaných fínskou národnou databázou emisií pre stavebníctvo. Súčasťou výpočtu je aj dopad fázy D (benefity a záťaže za hranicami systému LCA) na životné prostredie. Výpočet zohľadňuje dva scenáre likvidácie odpadu - bez spätného získavania energie a so spätným získavaním energie. Práca tiež porovnáva materiály použité v predmetných budovách z hľadiska dopadov na životné prostredie v jednotlivých fázach a zdôrazňuje význam zabudovanej energie pri navrhovaní environmentálne šetrných budov.

Kľúčové slová: celoživotné emisie budov, posudzovanie životného cyklu, fáza konca životného cyklu budov, zabudované emisie

Abstract

Environmental protection is becoming a topic of the present, and the way we deal with this issue will directly affect the picture of the future. It is essential to monitor how our views on production, mapping and emission reduction in the construction sector are evolving. In this work we focus on a specific area, namely the methodology of reconstruction of the lifetime emission footprint of demolished buildings.

According to the 2020 Overall Report, the construction industry accounted for up to 37% of global emissions (Global CCS, 2021). Improving the energy efficiency of both new and existing buildings is a major strategy for countries working to reduce their carbon footprint. However, when it comes to built-in impacts, the ratio of their impact on the environment is higher compared to operational impacts from year to year. The extraction, processing, production and distribution of building materials, the construction of a building, the use of a building and its demolition or dismantling represent four phases of the life cycle of buildings according to EN 15978 ('EN 15978', 2011). The work deals with the methodology of reconstruction of the lifetime emission footprint (CO₂eq) of demolished buildings applied to a case study of two demolished schools in Finland. The impact of the building on the environment throughout its life cycle was calculated on the basis of primary data provided by demolition contractors and secondary data provided by the Finnish National Emissions Database for Construction. The calculation also includes the impact of phase D (benefits and burdens beyond the LCA system) on the environment. The calculation takes into account two waste disposal scenarios - without energy recovery and with energy recovery. The work also compares the materials used in the buildings in terms of environmental impact in each phase and emphasizes the importance of built-in energy in the design of environmentally friendly buildings.

Key words: whole life carbon footprint of buildings, life cycle assessment, end-of-life stage, embodied emissions

Obsah

1	Úvod	2
2	Predmet a ciele práce	3
2.1	Predmet práce	3
2.2	Ciele práce	3
3	Etapy výskumu	3
3.1	Analýza	3
3.2	Primárne a sekundárne dáta	4
3.3	Nastavenie rámca LCA	5
3.4	Výsledky	7
3.4.1	Akumulácia emisií počas celého životného cyklu	7
3.4.2	Emisie podľa fáz životného cyklu	8
3.4.3	Emisie prínosov a nákladov za hranicami systému	10
3.4.4	Emisie podľa materiálu	12
3.4.5	Emisie podľa materiálu - alternatívny variant s drevom na miesto betónu.	13
3.4.6	Zabudované a prevádzkové emisie	15
4	Záver	16
4.1	Naplnenie cieľov práce	16
4.2	Odborný prínos dizertačnej práce pre teóriu	18
4.3	Odborný prínos dizertačnej práce pre prax	19
4.4	Vedecký prínos (aplikovaná veda)	20
	Vybraný zoznam použitej literatúry	21
	Publikačná činnosť autora súvisiaca z dizertačnou prácou	22
	Doposiaľ nepublikovaná činnosť autora súvisiaca z dizertačnou prácou	22
	Zverejnené výstupy v oblasti umeleckej a architektonickej činnosti - závažné umelecké a architektonické diela, výkony a podujatia	223

1 Úvod

V súčasnosti sa kladie veľký dôraz na znižovanie emisií pri návrhu nových stavieb alebo obnove stavieb existujúcich. Snaha a diskurz sa týkajú predovšetkým znižovania primárnych energií. Tento celosvetový trend je ovplyvnený globálnym znečisťovaním životného prostredia našej Zeme so zreteľom na prebiehajúcu zmenu klímy. Príčinou je naša konzumná spoločnosť, nárast populácie ako aj zvyšovanie životného štandardu. Európska únia a jej členské štáty sa snažia určitými opatreniami zredukovať toto znečisťovanie a hľadajú možné riešenia, ktoré by spomalili tento nárast. Európska únia zaviazala členské štáty, aby po roku 2020 stavali všetky novostavby s takmer nulovou potrebou energie. Jedná sa však o tak rozsiahlu problematiku, že sa týka všetkých profesijných oblastí v stavebníctve, od architektúry po technológie. Pri efektívnej spolupráci všetkých špecialistov, ktorý by v návrhu zohľadňovali ekonomickú, sociálnu, aj environmentálnu stránku projektu je možné výrazne redukovať primárnu energiu. Jednou z hlavných prekážok je súčasný model svetovej ekonomiky. Zaužívaný model lineárnej ekonomiky sa ukazuje ako neudržateľný a je preto treba hľadať iné, udržateľnejšie alternatívy, ktoré narastajúcu krivku spotreby spomalia alebo dokonca zrazia. Jedným z modelov, ktorý sa vo všetkých druhoch priemyslu pomaly pokúša nahrádzať súčasný systém je model cirkulárnej ekonomiky. V architektonickej praxi nie je zatiaľ zaužívaný a jedná sa len o akési fragmenty či pokusy o jeho čiastkovú aplikáciu v podobe spätného získavania energie zo stavebných materiálov, ich recyklovania alebo opätovného používania.

U developerov je vzhľadom na nastavené kritériá verejného obstarávania zvykom prikláňať sa k stavebným riešeniam lacným, s vysokým ziskom z predaja, ale zároveň dostatočne esteticky atraktívnym pre kupujúcich. Estetika prevláda nad etikou. Tento prístup však nie je udržateľný, nakoľko investora náklady na prevádzku, životnosť, či environmentálna stránka projektu nezaujímajú. Avšak v niektorých západných a severských krajinách sa stretávame s riešeniami, ktoré sa javia ako mimoriadne efektívne a možné sa nimi inšpirovať aj v našich podmienkach. Hlavou zo stratégií je udržiavanie energetických a materiálových tokov v jednom obehu s cieľom minimalizovať potrebu primárnych vstupov a tvorbu odpadu. Prevádzkové a zabudované vplyvy v budovách sa vďaka účinnému modelu cirkulárnej ekonomiky dajú efektívne minimalizovať. Každá fáza životného cyklu budov má potenciál mať menší dopad na životné prostredie. Najväčšia pozornosť bola doposiaľ venovaná znižovaniu prevádzkových nákladov a dopadov na životné prostredie práve fáze prevádzky (B1-B7). Viaceré požiadavky boli pretavené do prísnych regulatív, ktoré platia pre všetky stavby nie len v Európskej únii, ale aj na našom území. Benefity cirkulárnej ekonomiky ako opätovné používanie a recyklácia materiálov, spätné získavanie energií z odpadových materiálov, viazanie uhlíka z atmosféry a ďalšie, nie je jednoduché exaktne posudzovať celoplošne. Navyše, s nedostatkom dát pre výpočet zvyšných fáz (A, C, D), sú presnejšie hodnoty dopadov budov na životné prostredie takmer nemožné dosiahnuť. Jednou z menej prebádaných disciplín je rekonštrukcia celoživotnej emisnej stopy demolovaných budov. Pre potreby porovnávania metodológií výpočtov dopadu budov na životné prostredie je nutné tieto metodológie zdokonaľovať. Schopnosť objektívneho porovnávania emisnej stopy zastaralých budov s novo navrhovanými je schopnosťou mapovania ľudského progresu.

2 Predmet a ciele práce

2.1 Predmet práce

Predmetom práce je výpočet a príspevok k metodológii rekonštrukcie celoživotnej emisnej stopy (CO₂ekv) demolovaných budov aplikovanej na prípadovej štúdií dvoch búraných škôl vo Fínsku. Práca sa zameriava na problematiku doposiaľ menej skúmanú nie len na Slovensku, ale aj vo svete. Náročnosť tejto otázky netkvie v schopnosti úspešne celoživotnú emisnú stopu demolovanej budovy vypočítať, ale aj v možnosti dáta porovnávať. Posudzovanie dopadov jednotlivých fáz voči sebe navzájom alebo rôznych alternatív týchto fáz je obzvlášť náročnou disciplínou, ktorá vyžaduje požívanie vhodnej metodiky. Predmetom práce je aj skúmanie primárnych a sekundárnych dát používaných pri výpočte celoživotnej emisnej stopy demolovaných budov.

2.2 Ciele práce

Hypotéza 1: Rekonštrukcia celoživotných emisií demolovaných budov je možná aj bez potreby zachovalej alebo dodatočne vypracovanej projektovej dokumentácie.

Cieľ práce 1: Vytvoriť a aplikovať metodológiu rekonštrukcie emisií demolovaných budov aj bez potreby zachovalej alebo dodatočne vypracovanej projektovej dokumentácie na prípadovej štúdií.

Hypotéza 2: Pri objektoch starších, predstavujú prevádzkové emisie výrazne vyšší podiel emisií ako emisie zabudované. Dnes však už nástroje na znižovanie prevádzkových emisií celkom dobre poznáme.

Cieľ práce 2: Na základe výpočtu celoživotných emisií na prípadovej štúdií navrhnúť všeobecné odporúčania pre znižovanie zabudovaných emisií vo všetkých fázach životného cyklu budov.

Hypotéza 3: Jedným z cieľov nového stavebného zákona je znižovanie SDO a zvýšenie podielu recyklovanej a opätovne použitej zložky SDO na konci životného cyklu budov. Jedným z hlavných nástrojov na dosiahnutie tohto cieľa má byť selektívna demolácia.

Cieľ práce 3: Overiť, za akých okolností je naplnenie týchto cieľov v praxi možné.

3 Etapy výskumu

3.1 Analýza

Jednou z kľúčových priorít Európskej únie je dosiahnutie uhlíkovej neutrality do roku 2050. Až do roku 2000 sa záujem tohto sektora z veľkej časti zameriaval na hodnotenie a znižovanie prevádzkovej energie, t. j. energie použitej na vykurovanie, chladenie, osvetlenie a používanie budovy. V dôsledku tejto pozornosti boli stavebné predpisy neustále obnovované, a vyžadovali, aby boli budovy energeticky účinnejšie investovaním do hrubších a kvalitnejších vrstiev izolačných materiálov alebo prechodom na účinnejšie zdroje energie. Predpokladalo sa, že budova postavená do roku 2000, má pomer 1:10 medzi zabudovanou energiou a prevádzkovou energiou počas hypotetického 50-ročného životného cyklu. Do začiatku roku

2020 sa tento pomer zmenil bližšie na 1:1. Za posledných desať rokov sa tak pozornosť presunula z vplyvov prevádzkovej fázy na dopady celého životného cyklu, vrátane všetkých fáz od počiatkovej výroby až po koniec životnosti. Navyše, keďže pokroky vo výrobe čistejšej energie poskytli príležitosť čoraz viac oddeľovať prevádzkovú spotrebu energie v budovách od CO₂ekv, súčasné posudzovanie celoživotného vplyvu budov sa zameriava skôr na emisie ako na energiu. Rozlišovať zdroje energie už nestačí len pre fázu prevádzky, ale aj pre zvyšok fáz životného cyklu budov.

Štúdia predstavuje prístup k rekonštrukcii prevádzkovej energie počas celého životného cyklu budov. Rekonštrukcia si vyžaduje údaje o prevádzkovej spotrebe energie a spotrebe vody z obmedzeného počtu rokov. V prípadovej štúdii tieto údaje pokrývajú niekoľko posledných rokov prevádzky. Celoživotná spotreba energie sa rekonštruje pomocou metodiky heat degree days a s tým spojené emisie uhlíka sa vyhodnocujú s prihliadnutím na vývoj emisií od 50. rokov 20. storočia po súčasnosť. Základným predpokladom pre uplatnenie metodiky rekonštrukcie celoživotných emisií budov sú primárne dáta z fázy konca životného cyklu budov (C). Analýzy fáz C a D podľa normy EN 15978 ('EN 15978', 2011) a podľa technickej správy od Európskej komisie (Gervasio and Dimova, 2018) boli potrebné na zvolenie postupu rekonštrukcie emisií. Bohužiaľ, norma EN 15978 vie poskytnúť len základný rámec a krátke všeobecné odporúčania, no nedokáže slúžiť ako plnohodnotná literatúra na vytvorenie rekonštrukcie. Podrobnejšie sú fázy popísané v technickej správe od Európskej komisie.

3.2 Primárne a sekundárne dáta

Prípadová štúdia tejto práce predstavuje rekonštrukciu emisnej stopy počas celého života pre školu z 50. rokov 20. storočia, ktorá bývala umiestnená vo fínskom meste Vantaa. Mesto Vantaa ako vlastníč nehnuteľnosti rozhodlo, že budovy budú zbúrané do začiatku roka 2021. Hlavným dôvodom demolácie bola lokačná zastaranosť školy. Mestská štruktúra sa zmenila tak, že hlavné cesty tvorili križovatku, rozdelili oblasť a ponechali školský komplex s priemyselnými oblasťami oddelenými od zvyšku mesta. Škola postupne prichádzala o žiakov, ktorí by ju navštevovali, a tak stratila svoj účel.

Primárne údaje na posúdenie celoživotných emisií zaznamenal dodávateľ demolácií. Dáta potom nebolo nutné získavať modelovaním školy technológiou BIM podľa zachovanej dokumentácie. Dokumentácia slúžila len na prehľad základných informácií o objekte a priebežnú kontrolu. Podľa dostupných informácií a podľa obhliadky stavieb pred demoláciou, dokumentácia ani nebola plne totožná so samotnou realizáciou. Z dokumentácie sa zachovali predovšetkým pôdorysy, ktoré sú vyobrazené nižšie. Primárne údaje získané od dodávateľa demolácie nerozlišujú medzi dátami z budovy 1 a budovy 2, preto boli hodnoty uhlíkovej stopy vypočítané pre oba objekty spolu, ako keby išlo o jeden objekt.

informácia	budova 1 adresa: Isontammentie 15	budova 2 adresa: Isontammentie 17
rok výstavby	1964	1955
zastavaná plocha v m ²	5 582	2 415
zastavaný objem v m ³	20 070	8 230
nadzemné + podzemné podlažia	4 + 0	2 + 1
základy + nosný systém	betón	betón
konštrukcia obvodovej steny	betón	tehla
strešná krytina	asfalt	škridla

Tab. 1 Podrobnosti projektu zbúraných školských budov 1 a 2 v meste Vantaa, vo Fínsku



Obr. 1 Fotografie zbúranej školy v meste Vantaa pred demoláciou (2020) - zľava budova 1, sprava budova 2 (fotografia, Tuomas Hirvonen)

Primárne dáta pre výpočet uhlíkovej stopy boli zaznamenané priamo počas procesu demolácie škôl súkromným dodávateľom demolácií. Potrebne údaje boli vyznačené v špeciálne vytvorenom formulári preddemolačného auditu ako súčasť projektu CIRCUIT, ktorý je zosúladený s dokumentom usmernenia EÚ pre preddemolačný audit (European Commission, 2018), rámcovým dokumentom DG GROW (Market and Grow, 2020), usmerneniami dokumentu fínskeho ministerstva životného prostredia, audit pred prestavbou ('Pre-redevelopment audit - Code of Practice', 2017) a dokument s usmerneniami podľa projektu PARADE (Scheuer *et al.*, 2019). Tento formulár je určený na dokumentáciu výsledkov prieskumu preddemoláciou budovy. Je určený na účely demolácie celej stavebnej konštrukcie, čiastočnú demoláciu alebo demoláciu spojenú s opravou alebo renováciou. Ak je na tom istom mieste niekoľko budov, každá sa dokumentuje v samostatnom formulári.

Hodnoty a faktory uhlíkovej stopy pre každú z fáz alebo materiálov boli získané z novej online databázy CO2data.fi (*Emissions database for construction*), ktorá poskytuje objektívne údaje o vplyve stavebných výrobkov používaných vo Fínsku, ako je uhlíková stopa, efektívnosť materiálov, recyklovateľnosť a ďalšie.

3.3 Nastavenie rámcu LCA

Analýza údajov na prípadovej štúdii školských budov bola vykonaná v rámci metódy výpočtu environmentálnej výkonnosti budovy predpísanej v EN 15978 ('EN 15978', 2011). Výpočet uhlíkovej stopy pokrýva všetky fázy životného cyklu: výrobná fáza, fáza výstavby, fáza užívania a fáza konca životného cyklu budovy. Niektoré z metodických predpokladov boli vytvorené pomocou fínskej národnej metódy, ako sú napríklad hodnoty uhlíkovej stopy pre vzdelávací typ budovy pre výstavbu (A5) ('Report – Process - Construction site (A5)', 2021) a opravy a výmeny (B3, B4) (Oy *et al.*, 2021).

Fázy životného cyklu budovy rozlišujúce medzi praktikami so spaľovaním a bez spaľovania boli uvažované ako dva rozdielne scenáre, ktoré priamo ovplyvnili hodnoty z fázy odstraňovania (C4) a prínosy a náklady za hranicami systému (D). Vo Fínsku je energetické zhodnocovanie odpadu na vzostupe, preto je skládkovanie komunálneho odpadu, ako aj stavebného odpadu vhodného na spaľovanie čoraz zriedkavejšie. Čoraz viac sa spaľuje stavebný odpad a je dôležité pochopiť, aký dopad má rozhodnutie z pohľadu uhlíkovej stopy budov počas celého ich života. Energia získaná z materiálov, ktoré boli vhodné na spaľovanie, nebola prezentovaná v tomto dokumente, pretože výpočet sa zameriava len na alternatívy uhlíkovej stopy pri zneškodňovaní (C4) a opätovné použitie, zhodnocovanie a recyklačný potenciál (D). Fázy užívania (B1) a údržby (B2) uhlíkovej stopy boli zanedbané z dôvodu nedostatku primárnych údajov alebo ich zanedbateľnosti.

výrobná fáza	fáza výstavby	fáza užívania					fáza konca životného cyklu				prínosy a náklady za hranicami systému			
fáza, doprava, výroba (A1-A3)	doprava (A4) výstavba (A5)	zanedbané – užívanie (B1)	zanedbané – údržba (B2)	oprava a výmena (B3,B4)	renovácia (B5)	prevádzková sp. energie (B6)	prevádzková sp. vody (B7)	demolácia (C1)	doprava (C2)	spracovanie odpadu (C3)	odstránenie, so spaľovaním (C4)	odstránenie, bez spaľovania (C4)	potenciál opät. použ., využitia a recyklácie, so spaľovaním (D)	potenciál opät. použ., využitia a recyklácie, bez spaľovania (D)

Tab. 2 Uvažované fázy a časti fáz životného cyklu budovy rozlišujúc medzi praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

Primárne dáta zbierané dodávateľom búracích prác sa vzťahovali predovšetkým na fázu konca životného cyklu budovy. Metodológia rekonštrukcie celoživotných emisií vychádza práve z dát z tejto fázy. Prvotná analýza vstupných údajov a výpočet preto najskôr prebehli pre fázu konca životného cyklu. Tieto dáta sa neskôr premietli do ďalších fáz životného cyklu budov. Analýza údajov bola vykonaná v rámci metódy výpočtu environmentálnej výkonnosti budovy predpísanej v EN 15978 ('EN 15978', 2011) a pre ľahšiu orientáciu sa ďalej uvádza v bežnom poradí (A1-D). Po implementácii metodických predpokladov z fínskej databázy a ďalšej špecifikácií metodiky rekonštrukcie pre našu prípadovú štúdiu vznikla nasledujúca štruktúra.

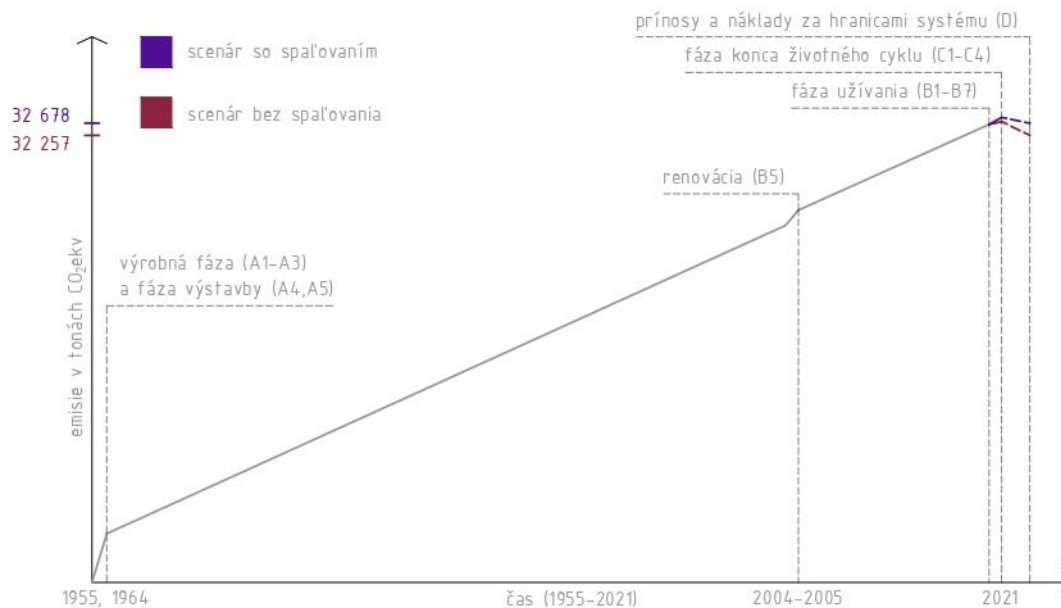
výrobná fáza	ťažba, doprava, výroba (A1-A3)	materiály
fáza výstavby	doprava (A4)	vzdialenosť
	výstavba (A5)	zemné práce
		výstavba (školské zariadenie)
		stabilizačné práce
fáza užívania	oprava a výmena (B3, B4)	služby (školské zariadenie)
	renovácia (B5)	odhad (20% z A1-A3)
	prevádzková sp. energie (B6)	chladenie
		vykurovanie
	elektrika	
prevádzková sp. vody (B7)	voda	
fáza konca životného cyklu	demolácia (C1)	vzdialenosť
		voda
		elektrika
	doprava (C2)	vzdialenosť
	spracovanie odpadu (C3)	materiály
odstránenie odpadu (C4)	materiály - 2 scenáre	
prínosy a náklady za hr. systému	potenciál opät. použ. využ. a recykl. (D)	materiály - 2 scenáre

Tab. 3 Štruktúra výpočtu celoživotných emisií pre prípadovú štúdiu školy vo Fínsku

3.4 Výsledky

3.4.1 Akumulácia emisií počas celého životného cyklu

Graf nižšie ukazuje akumuláciu emisií počas celej životnosti budov školy. Emisná stopa výrobnej fázy (A1-A3) a fázy výstavby (A4,A5) predstavuje počiatkový nárast počas krátkeho časového obdobia. Počiatkový bod je označený rokmi 1955 a 1964, pretože vo výpočte sa postupovalo tak ako keby sa jednalo o jeden objekt. Uhlíková stopa fázy užívania (B1-B7) je znázornená ako mierne stúpajúca čiara s prudkým nárastom v rokoch 2004 až 2005 predstavujúcim renováciu (B5). Hrot sa objavuje približne v 2/3 priemerného veku budov. Emisná stopa fázy konca životného cyklu budov (C1-C4) je vyobrazená na časovej osi v roku 2021 ako dve rôzne trajektórie, ktoré rozlišujú dva scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania. Trajektórie potom pokračujú s klesajúcim trendom, ktorý zobrazuje negatívnu hodnotu uhlíkovej stopy pre prínosy a náklady za hranicami systému (D).

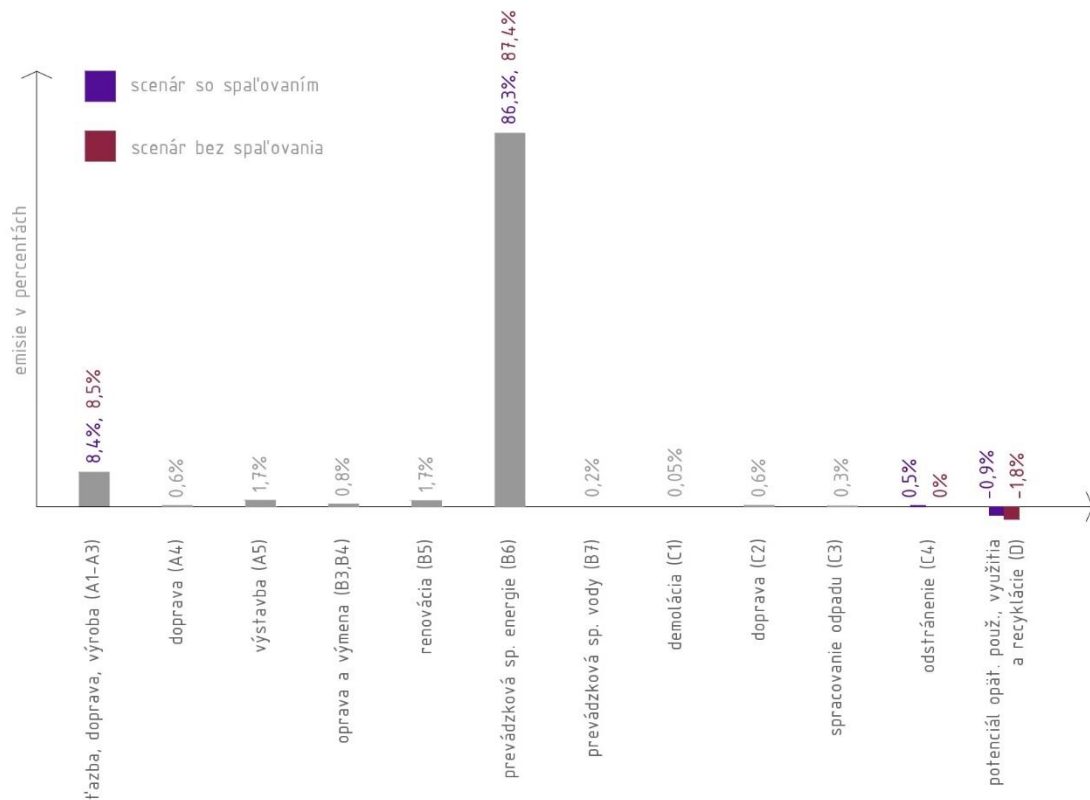


Obr. 2 Akumulácia emisií počas celého života budov školy v meste Vantaa vo Fínsku

Pri pohľade na výsledné hodnoty oboch scenárov môžeme konštatovať, že pre našu stavbu sú hodnoty výsledných emisií podobné. Hodnota celkových emisií scenára s praktikami so spaľovaním je po zaokrúhlení o 421 ton CO₂ekv väčšia ako hodnota scenára bez spaľovania, čo predstavuje navýšenie o 1,29%. Podiel hmotnosti SDK vhodného na účely spätného získavania energie z celovej hmotnosti SDK je v našom prípade len 1,5%. V prípade šetrnejšieho spôsobu selektívnej demolácie mohol byť tento podiel vyšší o SDK vhodný na účely spätného získavania energie v kategóriách odpadu zmiešaný odpad a iný stavebný odpad. Platí teda, že pri scenári so spaľovaním sa celoživotná emisná stopa navýšila.

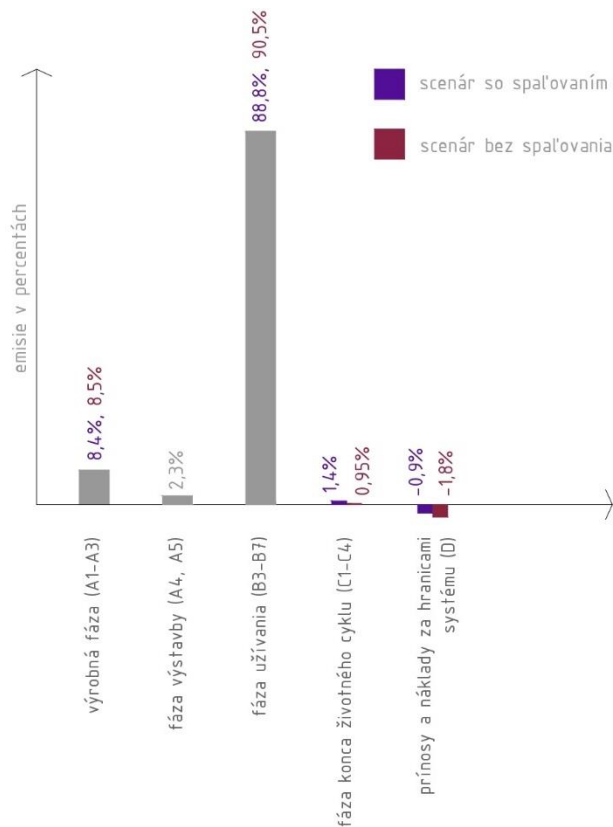
3.4.2 Emisie podľa fáz životného cyklu

Na obrázku nižšie sú vyobrazené emisie podľa jednotlivých častí fáz životného cyklu rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania. Vyobrazené nie sú len zanedbávané fázy - fáza užívania (B1) a fáza údržby (B2). Fáza prevádzkovej spotreby energie (B6) má na svedomí najväčší objem emisií predstavujúci 86,3 až 87,4% závislosti od scenára. Fáza ťažby, dopravy, výroby (A1-A3) má na svedomí 8,4 až 8,5% z celkových emisií. Potenciál opätovného použitia, využitia a recyklácie predstavuje negatívnu hodnotu -0,9 až -1,8%.



Obr. 3 Emisie podľa jednotlivých častí fáz životného cyklu v percentách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

Pri pohľade na emisie podľa jednotlivých fáz životného cyklu v percentách vidíme, že fáza užívania predstavuje 88,8 - 90,5% z celkových emisií budov. Skladby obvodového plášťa boli dimenzované na malý odpor, čo malo za následok veľké úniky tepla počas celého života stavby. Teploty v meste Vantaa bývali v lete menej extrémne, takže chladiacou jednotkou budovy nedisponovali. Nakoľko zimy v meste Vantaa bývajú pomerne chladné a dlhé, najvyššiu spotrebu predstavovala spotreba energie na vykurovanie. V našom podnebí by boli tepelné straty a potreba vykurovania pri rovnakej skladbe obvodového plášťa pravdepodobne menšia.

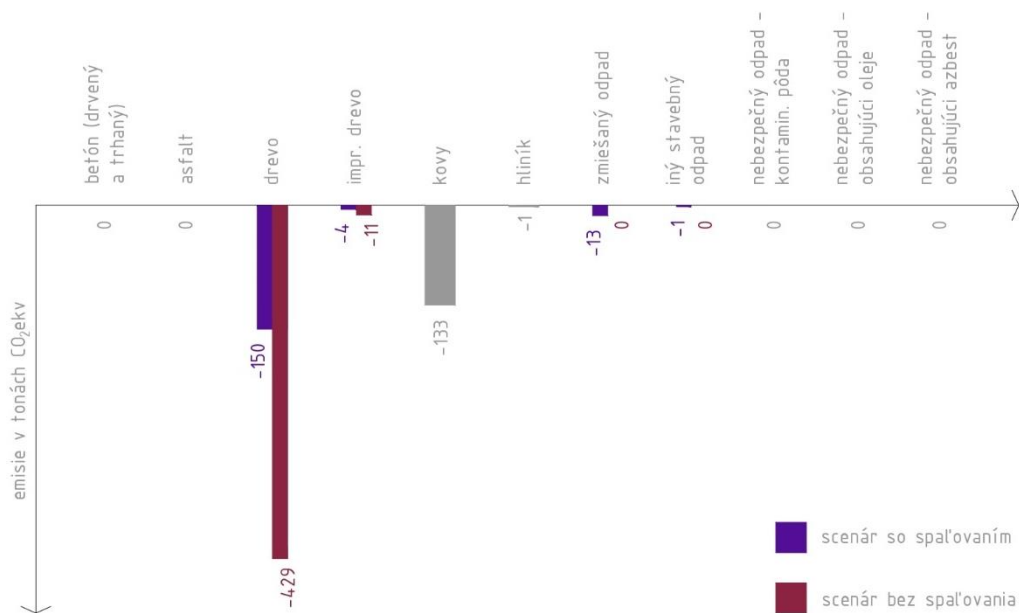


Obr. 4 Emisie podľa jednotlivých fáz životného cyklu v percentách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

Prínosy a náklady za hranicami systému (D) prípadovej štúdie predstavujú 0,9 až 1,8 % z celkových emisií budov. Podstata týchto hodnôt a ich priblíženie je vysvetlené v ďalšej kapitole.

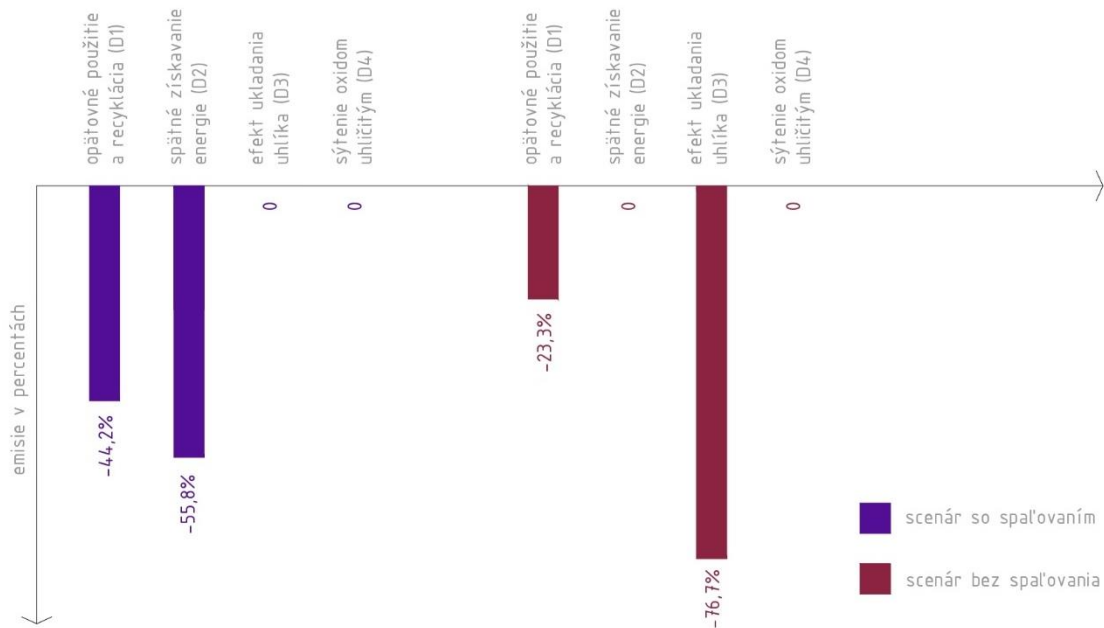
3.4.3 Emisie prínosov a nákladov za hranicami systému

Pri výpočte emisií pre prínosy a náklady za hranicami systému mali hodnotu len tieto materiály: drevo, impregnované drevo, kovy, hliník, zmiešaný odpad a iný stavebný odpad. Hodnota emisií sa menila pre horľavé materiály v závislosti od scenára, pričom pre kovy a hliník bola hodnota konštantná. Scenár bez spaľovania má na svedomí menej emisií ako scenár so spaľovaním. Podľa fínskej národnej databázy scenár bez spaľovania uvažuje s tým, že horľavé materiály, ktoré neboli použité na spätné získavanie energie, budú obsahovať zabudovaný uhlík navždy. Realita však taká nie je a materiály ako je drevo časom degradujú. Štatistiky hovoria aj o tom, že viac ako polovica vyťaženého dreva sa do piatich rokov spáli. Najšetrnejším spôsobom je tieto horľavé materiály obsahujúce zabudovaný uhlík udržiavať čo najdlhšie v obehu opätovným používaním. Ďalšou z možností je zabudovaný uhlík napríklad z dreva iba pretaviť do inej schránky, kde uhlík vydrží dlhšie a degradácia časom stráca tým pádom svoj vplyv. Hlavným procesom takéhoto procesu v prírode je prirodzený rozklad dreva, kde vďaka hubám a baktériám uhlík z dreva prechádza chemickými reakciami do pôdy, kde zostáva zabudovaný prakticky navždy.



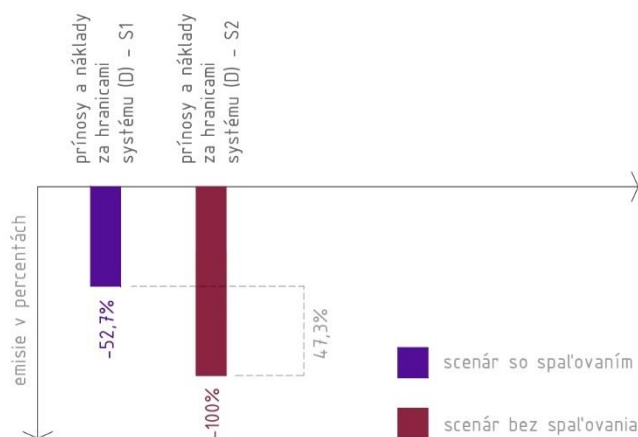
Obr. 5 Emisie prínosov a nákladov za hranicami systému v tonách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

Pri fáze D - prínosy a náklady za hranicami systému fínska národná databáza emisií pre stavebníctvo rozlišuje štyri možnosti znižovania zabudovaných emisií. Jedná sa o opätovné používanie a recyklovanie materiálov (D1), spätné získavanie energie (D2), efekt ukladania uhlíka (D3) a sýtenie oxidom uhličitým (D4). Hodnoty CO₂ ekv týchto možností sú udávané v záporných hodnotách, čiže celkovú emisnú stopu budovy znižujú. Keďže metodológia podliehala spôsobu uvádzania hodnôt vo fínskej databáze, výpočet zohľadňuje tieto štyri možnosti znižovania zabudovaných emisií. Nižšie vidíme emisie prínosov a nákladov za hranicami systému podľa časti fáz v percentách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania. Pri scenári so spaľovaním tvorí opätovné použitie a recyklácia (D1) 44,2%, pri scenári bez spaľovania 23,3%. Efekt ukladania uhlíka (D3) je prítomný len pri scenári bez spaľovania a prevyšuje hodnoty spojené s energetickým zhodnocovaním pri scenári so spaľovaním. Sýtenie oxidom uhličitým (D4) sa podľa fínskej národnej databázy pre naše materiály a procesy nevyskytovalo.



Obr. 6 Emisie prínosov a nákladov za hranicami systému podľa časti fáz v percentách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

Na obrázku nižšie vidíme porovnanie emisií prínosov a nákladov za hranicami systému v percentách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania. Rozdiel predstavuje viac ako 47%. Negatívna emisná hodnota podľa národnej databázy pre drevo je -1,7 kgCO₂ekv/kg pre efekt ukladania uhlíka (D3) a -0,595 kgCO₂ekv/kg pre spätné získavanie energie (D2). Pomer samotných týchto hodnôt (pre iné materiály sa hodnoty líšia) je 1:0,35. Keby porovnávalme len emisné hodnoty pre efekt ukladania uhlíka (D3) a pre spätné získavanie energie (D2), rozdiel by bol pre drevo až 65%.

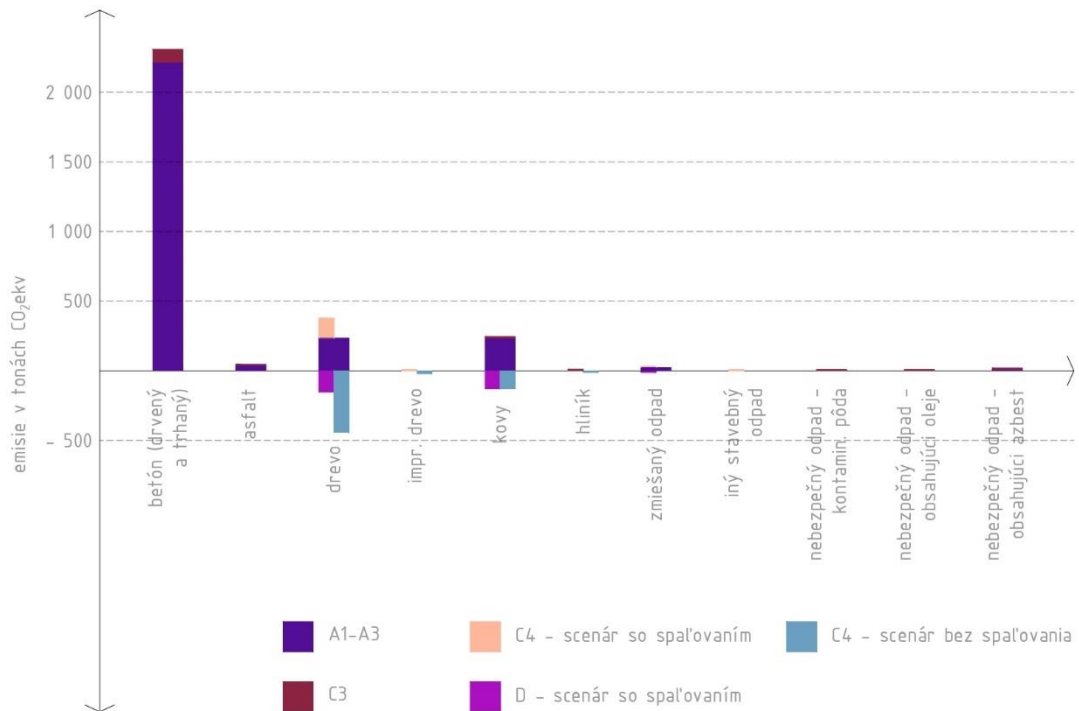


Obr. 7 Porovnanie emisií prínosov a nákladov za hranicami systému v percentách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

3.4.4 Emisie podľa materiálu

Národná databáza emisií pre stavebníctvo nerozlišovala hodnoty pre betón drvený a trhaný, tak boli tieto materiály spojené do jedného. Pri pohľade na obrázok nižšie je jasné, že najväčší podiel emisií v tonách CO₂ekv predstavuje zložka drevného a trhaného betónu - spolu. Emisná

stopa výrobnéj fázy (A1-A3) betónu ďaleko prevyšuje emisnú stopu fázy konca životného cyklu (C1-C4), čo je spôsobené práve energeticky náročnými procesmi ťažby, spracovania a výroby betónových prvkov. Ďalšími významnými materiálovými kategóriami sú drevo a kovy. Drevo a impregnované drevo vykazuje aj negatívne emisné hodnoty. Pri scenári bez spaľovania dokonca negatívne hodnoty prevyšujú a to takmer dvojnásobne. Pri scenári so spaľovaním sa emisie spojené s prínosmi a nákladmi za hranicami systému (D) takmer rovnajú emisiám z fázy odstránenia odpadu (C4). Rozdiel je v tomto scenári teda tvorený len hodnotou emisnej stopy výrobnéj fázy (A1-A3). V prípade kovov v oboch scenároch prevyšujú dvojnásobne emisné stopy kladné v porovnaní s ich prínosmi a nákladmi za hranicami systému (D).



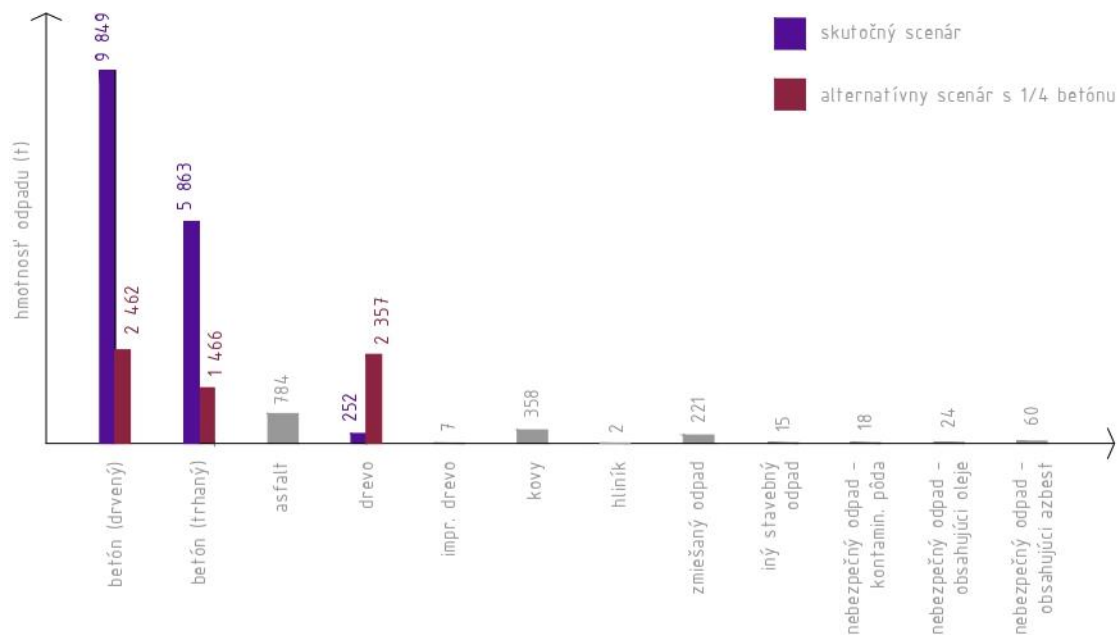
Obr. 8 Emisie vybraných fáz životného cyklu v tonách podľa jednotlivých materiálov rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

Jedným z cieľov tejto práce je na základe výpočtu celoživotných emisií na prípadovej štúdií navrhnúť všeobecné odporúčania pre znižovanie zabudovaných emisií vo všetkých fázach životného cyklu budov. Betón (drvený a trhaný) samotný je zodpovedný za 2 294 t CO₂ekv, čo predstavuje 84,8% z celkového súčtu emisií, za ktoré sú priamo zodpovedné materiály pre scenár 1 a 100,4% pre scenár 2. V ďalšej kapitole preskúmavame výsledky alternatívneho scenára, kde by boli 3/4 betónu nahradené drevom, s cieľom poukázať na výhody spojené s environmentálnou šetrnosťou týchto materiálov voči zmene klímy.

3.4.5 Emisie podľa materiálu - alternatívny variant s drevom na miesto betónu.

Na základe pozorovaní z príspevku Porovnanie betónovej a drevenej školy – skúšky na základe uhlíkovej stopy bolo pre alternatívny variant uvažovaná len 1/4 z pôvodného objemu betónu a zvyšné 3/4 objemy boli uvažované ako nahradené drevom (Moisio and Huuhka, 2021). Zmeny v objemoch dreveného nosného systému a pôvodného betónového nosného systému

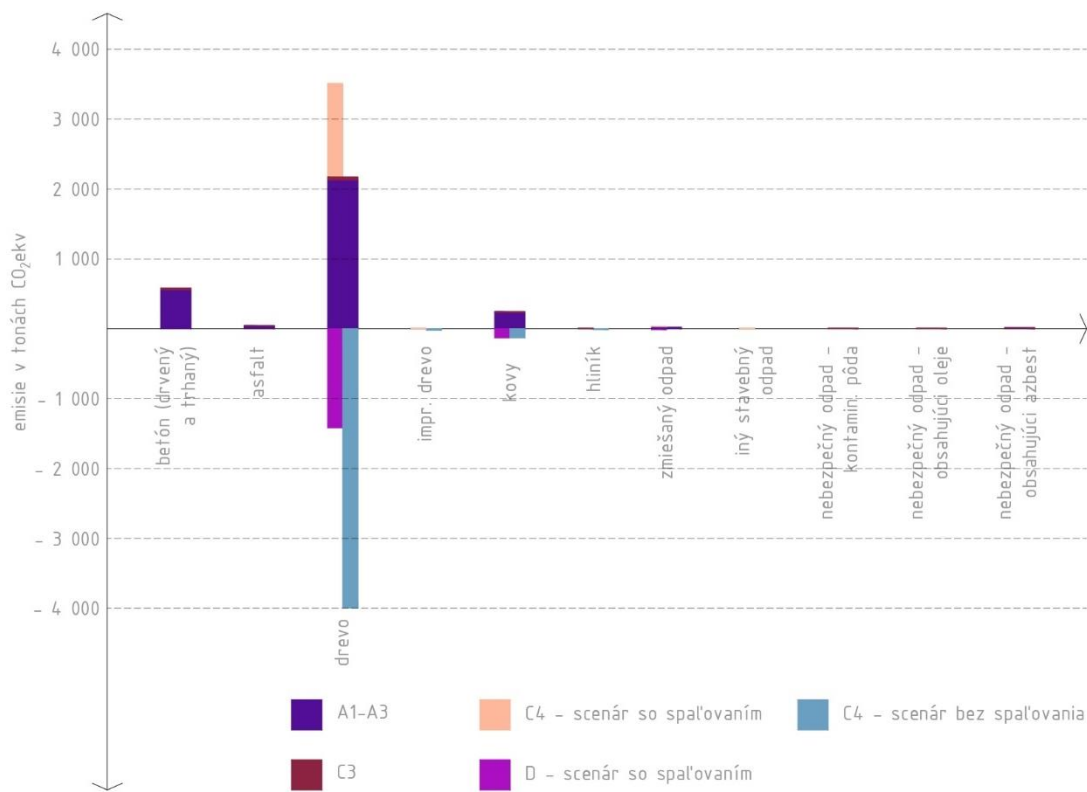
z dôvodu zjednodušenia výpočtu zanedbávame. Uvažovaná objemová hmotnosť pre betón je 2500 kg/m^3 , pre drevo 500 kg/m^3 . Pri úprave hmotností materiálov v pomere k ich objemovým hmotnostiam vidíme nasledujúce zmeny:



Obr. 9 Hmotnosti materiálov podľa jednotlivých kategórií stavebných odpadov pre skutočný aj alternatívny scenár

Výsledky je opäť nutné interpretovať pre oba scenáre - so spaľovaním a bez spaľovania zvlášť. Pri prvom scenári sa emisie z fázy odstraňovania odpadu (C4) spaľovaním rovnajú prínosom a nákladom za hranicami systému (D), a tak celkový výsledok predstavuje súčet emisných hodnôt výrobnéj fázy (A1-A3) všetkých materiálov. Emisná hodnota, za ktorú sú priamo zodpovedné materiály, je kladné číslo: $2\,868 \text{ t CO}_2\text{ekv}$.

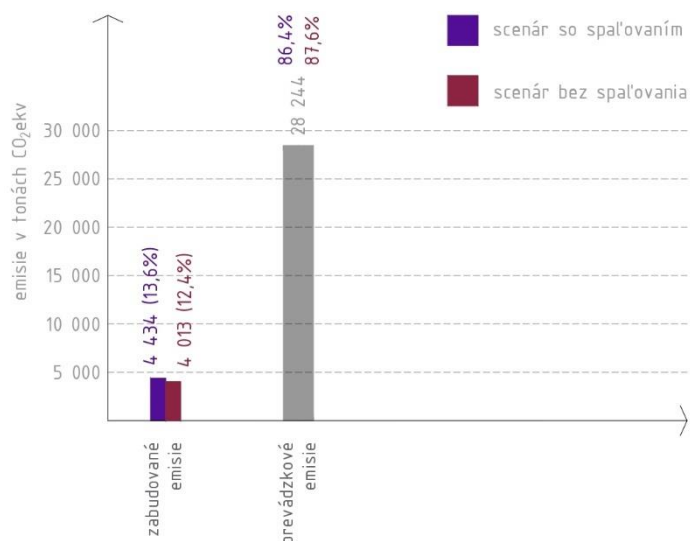
Pri scenári bez spaľovania sú prínosy a náklady za hranicami systému (D) výraznejšie. Záporné emisné hodnoty fázy D ďaleko prevyšujú kladné emisné hodnoty z iných fáz. Emisná hodnota, za ktorú sú priamo zodpovedné materiály, je záporné číslo: $-1\,078 \text{ t CO}_2\text{ekv}$.



Obr. 10 Emisie vybraných fáz životného cyklu v tonách podľa jednotlivých materiálov rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania - pre skutočný aj alternatívny scenár

3.4.6 Zabudované a prevádzkové emisie

Podľa neziskovej organizácie Architektúry 2030 bude do roku 2050 zodpovedať za zabudované CO₂ekv takmer polovica celkových nových emisií zo stavebníctva (Embodied carbon, Shepley Bulfinch, 2020). Staršie objekty, akými sú aj skúmané objekty školy vo Fínsku, majú tento podiel výrazne nižší. Na výpočet tohto pomeru je potrebné najskôr vypočítať emisie za celý život stavby ako súčet hodnôt emisií jednotlivých fáz životného cyklu. Tie treba následne rozdeliť podľa fáz v závislosti od toho, ktoré reprezentujú zabudované a ktoré prevádzkové emisie. Rozdelenie fáz je priblížené v kapitole 2.5.3 Porovnanie prevádzkových a zabudovaných emisií.



Obr. 11 Podiel zabudovaných emisií v tonách rozlišujúc scenáre s praktikami so spaľovaním a bez spaľovania

Pre oba skúmané scenáre sú podiely približne rovnaké. Zabudované emisie predstavujú 13,6 - 12,4% a prevádzkové 86,4 - 87,6%. Tieto výsledky korešpondujú so všeobecne dostupnými informáciami ohľadom podielu zabudovaných emisií v objektoch z minulého storočia. Zabudované vplyvy však predstavujú čoraz významnejší podiel spotreby energie, nakoľko sa zvyšuje prevádzková účinnosť novo navrhovaných budov (David Benjamin, 2017). Preto sa v tejto práci venujeme analýze a výpočtu zabudovaných vplyvov viac.

4 Záver

4.1 Naplnenie cieľov práce

Cieľ práce 1: Vytvoriť a aplikovať metodológiu rekonštrukcie emisií demolovaných budov aj bez potreby zachovalej alebo dodatočne vypracovanej projektovej dokumentácie na prípadovej štúdií.

Cieľ práce 1 je možné označiť za hlavný. Kapitoly Metodika výpočtu fáz životného cyklu a Výsledky opisujú spôsob aplikovania metodológie rekonštrukcie emisnej stopy demolovaných budov. Zachované fragmenty projektovej dokumentácie boli uvedené v kapitole Predmet prípadovej štúdie. Cieľom bolo projektovú dokumentáciu pre účely výpočtu nepoužívať a uskutočniť výpočet len na základe primárnych dát poskytnutých dodávateľom demolačných prác, čo možno považovať sa splnené.

Cieľ práce 2: Na základe výpočtu celoživotných emisií na prípadovej štúdií navrhnuť všeobecné odporúčania pre znižovanie zabudovaných emisií vo všetkých fázach životného cyklu budov.

Fázy prevádzkovej spotreby energie (B6) a prevádzkovej spotreby vody (B7) predstavujú prevádzkové emisie. Zvyšné fázy reprezentujú zabudované emisie a energie - počiatkové energie (IE), opakujúce sa energie (REE) a demolačné energie (DE). Znižovať tieto emisie je možné vďaka opatreniam vyplývajúcim z pohľadu na spôsob ich výpočtu.

Pre výrobnú fázu (A1-A3), spracovanie odpadu (C3), odstránenie odpadu (C4) a prínosy a náklady za hranicami systému (D) platí, že za ich emisnú hodnotu sú priamo zodpovedné zvolené materiály a procesy ich spracovania s nimi spojené. Analýza dopadov jednotlivých materiálov v týchto fázach poukazuje na možnosti znižovania emisií. Procesy ťažby, výroby, spracovania a odstraňovania jednotlivých materiálov sa zdokonaľujú a časom sa stávajú energeticky efektívnejšími. Nájdú sa však aj závody, ktoré nepoužívajú najmodernejšie a energeticky efektívnejšie techniky a je preto dobré o týchto podnikoch dopredu vedieť. Pri rekonštrukcií emisií demolovaných budov si môžeme dovoliť pracovať s fázou D, avšak pri návrhu novej budovy musíme na prínosy a náklady za hranicami systému nahliadať s rezervou. Nakoľko budova má celý život ešte pred sebou, nevieme časti tejto fázy hodnotiť ako definovaný scenár.

Pre fázy doprava (A4), výstavba (A5), demolácia (C1) a doprava (C2) platí, že ich emisná stopa závisí od prekonávaných vzdialeností a záťaže jednotlivých prostriedkov na životné prostredie.

Tieto dopady sa dajú znižovať správnym nastavením zmlúv s jednotlivými realizačnými stranami a návrhom, ktorý uvažuje s najkratšími dopravnými vzdialenosťami a najmenšou spotrebou energie pre jednotlivé stavebné a demolačné procesy. Zmluvy na odber energie pri výstavbe alebo búraní s akcentom na environmentálnu šetrnosť tiež vplývajú na celkové znižovanie emisií niektorých fáz. Mesto Vantaa napríklad ponúkalo možnosť environmentálne šetrnejšieho odberu elektrickej energie, no dodávateľ búracích prác si túto možnosť nevybral.

Z pohľadu celoživotného cyklu budovy je nutné budovy navrhovať tak, aby ich nebolo treba zbúrať niekoľko generácií. Emisie spojené s fázami opravy a výmeny (B3, B4) a renováciou (B5) sa dajú redukovať tiež v návrhovej časti, kedy stavbu navrhujeme tak, aby mierka týchto potrebných zásahov bola čo najmenšia a potrebná len ojedinele. Prípadná renovácia by však mala byť jednoduchá, energeticky nenáročná a opäť predlžujúca životnosť stavby na dlhé obdobie. Stavba by mala tiež uvažovať s nepredvídateľnými okolnosťami, kde by bolo nutné budovu zbúrať, zredukovať, dostavať alebo presunúť. Tieto procesy by mali byť možné a mali by byť energeticky čo najmenej náročné.

Cieľ práce 3: Jedným z cieľov nového stavebného zákona je znižovanie SDO a zvýšenie podielu recyklovanej a opätovne použitej zložky SDO na konci životného cyklu budov. Jedným z hlavných nástrojov na dosiahnutie tohto cieľa má byť selektívna demolácia. Cieľom práce bolo overiť, za akých okolností je naplnenie týchto cieľov v praxi možné.

Vláda v roku 2022 schválila novelu zákona o odpadoch z dielne Ministerstva životného prostredia SR. Táto reforma je nevyhnutnou súčasťou Plánu obnovy a odolnosti SR a zavádza selektívnu demoláciu stavieb – vrátane systému kontroly pred a po demolácii. Popri povinnosti selektívnej demolácie sa taktiež zavádza jednoduchý spôsob auditu pred demoláciou formou ohlásenia orgánu štátnej správy odpadového hospodárstva, v ktorého územnom obvode sa budú búracie práce uskutočňovať a následne po ich skončení údaje, ktorých rozsah bude ustanovený vykonávacím predpisom, má za cieľ zabezpečiť kontrolu prípravy selektívnej demolácie, ako aj jej dodržanie. Samotná ohlasovacia povinnosť sa viaže k začiatku fyzického vykonávania demolácie a k jej fyzickému ukončeniu. Vo vykonávacom predpise, ktorého návrh je aj súčasťou materiálu v NR SR, sa zavádzajú minimálne požiadavky na oddeľovanie odpadov a materiálov zo stavieb. V prílohe č. 1 - Návrh vyhlášky Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky z roku 2022, o stavebnom odpade a odpade z demolácií, sú uvedené navrhované formuláre pre spomínané ohlášky - Ohlásenie pred realizáciou demolačných prác a Ohlásenie po realizácii demolačných prác. Bohužiaľ, vo formulári Ohlásenia pred realizáciou demolačných prác sa opäť uvádzajú len predpokladané údaje o kódoch a množstvách SDO a spôsobe ich spracovania. Odhad naďalej nemusí vykonávať špecializovaný audítor. Vo svojej podstate sa vo veci evidencie predmetných dát pred demoláciou nič zásadné nemení oproti súčasnému stavu.

Preddemolačný audit je povinným nástrojom vo väčšine európskych krajín. Slovensko je jednou z mála krajín, kde povinným nie je. Preddemolačný audit správnej kvality dokáže zvýšiť celkovú kvalitu stavby a jej zabudovaného potenciálu. Je overeným nástrojom, ktorý sa najčastejšie používa ako pre rekvizita selektívnej demolácie. Je nutné zabezpečiť kvalitnú šablónu tohto nástroja a kvalitného audítora, ktorých na stavebnom trhu nemusí byť veľa. Evidencia formou

formulára a jednoduchej fotodokumentácie musí byť jednoduchá, prístupná a ľahko digitalizovateľná. Preddemolačný audit by mal byť zároveň prepojitelný so subjektami, ktoré by o samotnú selektívnu demoláciu alebo časť z nej mohli mať záujem. Vypracovanie preddemolačného auditu v dostatočnom predstihu môže vytvoriť aj nové ekonomické príležitosti v duchu obehového hospodárstva. Podobným dokumentom ako je preddemolačný audit je aj predrenovačný audit, ktorý je na Slovensku tiež ojedinelým.

4.2 Odborný prínos dizertačnej práce pre teóriu

Teoretický prínos v oblasti architektúry

V kapitole 1.3 Príklady aplikácie obehového hospodárstva v architektonickej praxi sú prezentované dva výnimočné príklady environmentálne šetrnej architektúry z praxe. Vytvorená medziodborová spolupráca dánskej spoločnosti Lendager Group uľahčuje identifikáciu trvalo udržateľných potenciálov pre firmy, verejnú správu, architektov a iné organizácie a ponúka riešenia v súlade s cirkulárnou ekonomikou na mieru (*ARC — Lendager Group, 2022*). Rotor je belgická spoločnosť, ktorá v duchu cirkulárnej ekonomiky skúma prostredie materiálového toku a dopadového hospodárstva v Belgicku a okolí. Okrem projektov v oblasti architektúry v roku 2016 spustili platformu Rotor DC (od deconstruction), ktorá slúži na predaj a nákup zachránených stavebných výrobkov. Súčasťou platformy je mapa Opalis, obsahujúca podrobné informácie a obrázky všetkých predajcov recyklovaných stavebných materiálov a konštrukcií v Belgicku a niektorých častiach Francúzska a Holandska (*Projects | Rotor, 2022*). Obe spoločnosti sú jedinečné a so svojimi ekonomickými modelmi môžu slúžiť ako príklady pre teoretické modely cirkulárneho dizajnu v architektonickej praxi.

Metodológia rekonštrukcie celoživotných emisií bola vykonaná na prípadovej štúdií dvoch objektov školského komplexu vo fínskom meste Vantaa. Práca opisuje urbanistické vzťahy a situáciu za akej bolo nutné objekty zbúrať, približuje dispozičné a materiálové riešenie objektov a prostredníctvom preddemolačného auditu dokumentuje všetky materiálové substancie. Formulár preddemolačného auditu obsahuje tieto kategórie: podrobnosti o projekte, teoretická štúdia, terénny prieskum, inventár nebezpečných prvkov, inventár prvkov vhodných aj nevhodných na opakované použitie. Teoretické vedomosti v oblasti cirkulárneho dizajnu vieme pre novú výstavbu, renováciu a koniec životného cyklu rozšíriť o dáta evidované vo formulári preddemolačného auditu.

Teoretický prínos v oblasti stavebného zákona a zákona o odpadoch

Práca analyzuje súčasný stav stavebného zákona a zákona o odpadoch ako aj novely týchto zákonov, ktoré v čase písania dizertačnej práce prechádzali pripomienkovaním. Nastavenie cieľov noviel zákona má za úlohu priblížiť nás k štandardu vyspelých európskych krajín, no k ich naplneniu bez účinných nástrojov nemusí dôjsť. Najdôležitejšími cieľmi sú zvýšenie recyklácie stavebných a demolačných odpadov, predchádzanie vzniku týchto odpadov a zrýchlenie prechodu na obehové hospodárstvo (*Odpady-portal, 2022*). Práca poukazuje na kladné stránky noviel aj na ich nedostatky. Jedným z hlavných nedostatkov je absencia povinného zavedenia preddemolačného auditu.

Práca používajúce preddemolačný audit približuje nie len v prostredí Fínska, ale aj jeho možnú aplikáciu v prostredí Slovenska. Nový formulár preddemolačného auditu vyvíjaného ako súčasť európskeho projektu CIRCUIT bol po prvý krát použitý v praxi na prípadovej štúdií demolovaného komplexu škôl vo Fínsku. Výhody a nevýhody navrhovaného preddemolačného auditu pre projekt CIRCUIT boli zaznamenané nižšie.

Pohľad na novo vyvíjaný formulár preddemolačného auditu a jeho použitie v praxi je možné považovať za teoretický prínos, ktorý by vedel pomôcť pri tvorbe a pripomienkovaní nového stavebného zákona a zákona o odpadoch. V prílohe č. 1 - Návrh vyhlášky Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky z roku 2022, o stavebnom odpade a odpade z demolácií, sú uvedené navrhované formuláre pre ohlášky - Ohlásenie pred realizáciou demolačných prác a Ohlásenie po realizácii demolačných prác. Bohužiaľ, vo formulári Ohlásenia pred realizáciou demolačných prác sa opäť uvádzajú len predpokladané údaje o kódoch a množstvách SDO a spôsobe ich spracovania. Odhad naďalej nemusí vykonávať špecializovaný audítor. Vo svojej podstate sa vo veci evidencie predmetných dát pred demoláciou nič zásadné nemení oproti súčasnému stavu.

Teoretický prínos v oblasti vývoja preddemolačného auditu vo Fínsku

Vyvíjaný preddemolačný audit bol po prvý krát použitý na konkrétnej prípadovej štúdií. Dodávateľ demolačných prác formulár pravidelne vyplňal a na záver ho odovzdal. Dodávateľ zároveň odovzdal spätnú väzbu na formulár, ktorá bola v práci vyhodnotená a ktorá slúži na jeho zlepšenie. Analýzy a závery boli odovzdané autorom vyvíjaného formulára preddemolačného auditu. Výhody a nevýhody navrhovaného preddemolačného auditu podľa projektu CIRCUIT sú uvedené v predchádzajúcej kapitole.

Teoretický prínos v oblasti vývoja databázy emisií pre stavebníctvo

Fínska národná databáza emisií pre stavebníctvo bola po prvý krát spustená začiatkom roku 2021. Odvtedy bola niekoľko krát aktualizovaná predovšetkým na základe pripomienok výskumného tímu z Fakulty zabudovaných vplyvov z Tampere univerzity, pod ktorého vedením prebehol výpočet na prípadovej štúdií. Fínske ministerstvo životného prostredia je zodpovedné za online databázu a v priebehu výpočtu bolo nutné s touto inštitúciou úzko spolupracovať. Tento prínos je možné považovať za teoretický ako aj praktický.

4.3 Odborný prínos dizertačnej práce pre prax

Zodpovednosť autora pri návrhu nového architektonického diela

Už po skončení návrhovej časti stavieb sme zodpovední za takmer 100 % emisií, ktoré sa vo všetkých fázach tejto budovy vyprodukujú. Objem emisií z týchto 100% však môže byť väčší aj menší a tak sa návrhová časť stáva najdôležitejším článkom pre redukciu emisií v stavebníctve. Do návrhovej časti sa zapájajú rôzne subjekty a v závislosti od rozsahu sa líši aj dĺžka a náročnosť návrhového procesu. Podľa publikácie *The business case for circular buildings* má profesia architekta (spolu s poradcami a konzultantmi) prvenstvo pokiaľ ide o ekonomickú, environmentálnu a sociálnu hodnotu v rozhodovacom procese (Bates *et al.*, 2021). Dizertačná práca poukazuje aj na veľké rozdiely pri scenároch s rozdielnymi materiálmi

či procesmi. Pokiaľ si jednotlivé subjekty budú týchto rozdielov vedomé, umožní to v procese rozhodovania väčšie zastúpenie udržateľnejších konceptov.

Všeobecné závery pre prax na Slovensku priamo vyplývajúce z rekonštrukcie celoživotných emisií na prípadovej štúdií

Na základe skúsenosti s prípadovou štúdiou vieme vyvodiť niekoľko všeobecných záverov, ktoré vedia napomôcť k znižovaniu produkcie skleníkových plynov. Závery sú rozdelené do niekoľkých bodov, ktoré sú podrobne popísané v dizertačnej práci.

1. Vyžadovať zodpovedný prístup autora
2. Nebúrať, ale obnovovať
3. Aplikovať cirkulárny dizajn
4. Navrhovať pre dlhovekosť
5. Uvažovať so všetkými fázami životného cyklu
6. Zavádzať predemolačný audit do praxe
7. Venovať pozornosť aj zabudovaným emisiám
8. Vedieť rozpoznávať materiály s nižšou zabudovanou energiou
9. Zapájať do návrhového procesu odborníkov s cieľom znižovania dopadov stavieb na životné prostredie
10. Spomínať kultúrnu hodnotu existujúcej substancie

4.4 Vedecký prínos (aplikovaná veda)

Na základe rešerše je možné konštatovať, že témou rekonštrukcie emisií sa zaoberá minimum príspevkov. Aj napriek aktuálnosti je skúmaná téma v príspevkoch väčšinou spomínaná len okrajovo a metodológia rekonštrukcie emisií prezentovaná nebýva vôbec. Aplikovanú vedu v rámci vedeckého prínosu možno vnímať prostredníctvom aplikácie nových teoretických a praktických poznatkov na prípadovej štúdií. Na prípadovej štúdií sa podarilo overiť závery vyplývajúce z teoretickej časti dizertačnej práce. Výsledky rekonštrukcie emisií boli spracované do šiestich podkapitol: Akumulácia emisií počas celého životného cyklu, Emisie podľa fáz životného cyklu, Emisie prínosov a nákladov za hranicami systému, Emisie podľa materiálu, Emisie podľa materiálu - alternatívny variant s drevom na miesto betónu a Zabudované a prevádzkové emisie. Každá z podkapitol prezentuje čiastkové výsledky a dopomáha tak k interpretácii celkového pohľadu na tému rekonštrukcie emisií demolovaných budov na prípadovej štúdií.

Práca umožňuje používanie vstupných dát, metodologie aj výsledkov na ďalší výskum či vzájomné porovnávanie výskumov. Rekonštrukciu emisií je možné opakovať na inej prípadovej štúdií za predpokladu, že pri výpočte budeme zohľadňovať alternovanie nových vstupných údajov vzhľadom na polohu, rozlohu, poskytnuté vstupné dáta, vek budovy a pod. Kapitola Metodika výpočtu fáz životného cyklu zdôvodňuje a upozorňuje na spomínanú kauzalitu.

Vybraný zoznam použitej literatúry

Oy, S. T. et al. (2021), Raportti 20413576-701, 358(0). s. 18.

Pre-redevelopment audit - Code of Practice (2017), s. 1–25.

Report – Process - Construction site (A5). (2021), s. 1–11.

Scheuer, C. et al. (2019). Pre-demolition audit - overall guidance document: PARADE. Best practices for Pre-demolition Audits ensuring high quality RAW materials, Physical Education and Sport for Children and Youth with Special Needs Researches – Best Practices – Situation. Edited by G. Balint et al., s. 343–354. doi: 10.2/JQUERY.MIN.JS.

Bates, A. et al. (2021). The business case for circular buildings. s. 49.

Gervasio, H. and Dimova, S. (2018). Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings, EUR 29123 EN, Publications Office of the EU, 2018, ISBN: 978-92-79-79973-0. s. 109.

Market, I. and Grow, D. G. (2020). Strategic Plan 2020-2024, s. 1–38.

Moisio, M. and Huuhka, S. (2021). Comparison of a concrete and wooden school – examinations based on carbon footprint. s. 25.

EN 15978. EUROPEAN STANDARD (2011). s. 60.

European Commission (2018). Guidelines for the waste audits before demolition and renovation works of buildings. UE Construction and Demolition Waste Management, Ref. Ares(2018)4724185 - 14/09/2018, (4724185), s. 37.

Global CCS (2021). Global Status Report 2021. s. 105.

David Benjamin (2017) Embodied Energy and Design. Available at: https://www.enbook.sk/catalog/product/view/id/2507973?gclid=CjwKCAjwyo36BRAXEiwA24CwGV9wMJ3yMRlgBje1ohmUz1k8aNQPsI7IMb0Zwu7tmMWdl6-wYVg9JhoC_koQAvD_BwE (Accessed: May 2020).

Embodied carbon, Shepley Bulfinch (2020). Available at: <https://www.shepleybulfinch.com/embodied-carbon-why-does-it-matter/> (Accessed: August 2020).

Emissions database for construction (2022). Available at: <https://www.co2data.fi/> (Accessed: March 2022).

Odpady-portal, 2022 (2022). Available at: <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/106539/stavebny-odpad-caka-reforma-ministerstvo-chce-stavebnikom-ulozit-nove-povinnosti.aspx> (Accessed: March 2022).

Projects | Rotor (2022). Available at: <http://rotordb.org/en/projects> (Accessed: August 2020).

Publikačná činnosť autora súvisiaca z dizertačnou prácou

ARNOULD, M. Potenciál cirkulárnej ekonomiky v architektúre 21. storočia. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering*. Bratislava: Spektrum STU, Október 2019, s. 250-255. ISBN 978-80-227-4972-5.

ARNOULD, M. Textilný odpad a jeho využitie v súčasnom stavebnom priemysle. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering*. Bratislava: Spektrum STU, Október 2020, s. 314-319. ISBN 978-80-227-5052-3

ARNOULD, M. -- HÚSENICOVÁ, J. Potreba posudzovania zabudovaných vplyvov pri výstavbe a obnove bytových domov. In *Komplexná obnova bytových domov 2020*. Bratislava: Združenie pre podporu obnovy bytových domov, November 2020, s. 14-17. ISBN 978-80-973813-1-8.

ARNOULD, M. Posudzovanie dopadov fázy konca životného cyklu budov na životné prostredie. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering*. Bratislava: Spektrum STU, Október 2021, s. 277-283. ISBN 978-80-227-5150-6.

ARNOULD, M. -- PILAŘ, P. -- GAŽOVÁ, L. Urban Acupuncture - Small-scale Interventions to Transform the Larger Urban Context of Piešťany. In *12th Architecture in Perspective 2020*. Ostrava: Proceedings of the International Conference = Sborník příspěvků z mezinárodní konference. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Október 2020, s. 184-187. ISBN 978-80-248-4450-3.

Doposiaľ nepublikovaná činnosť autora súvisiaca z dizertačnou prácou

6. ARNOULD, M. Využitie textilného odpadu v stavebnom priemysle 21. storočia. In *Juniorstav 2021*. Brno: Spektrum STU, Vysoké učení technické v Brně, December 2020. (*Odmietnutý príspevok.*)

7. ARNOULD, M. -- HUUHKA, S. - SALMIO, E., Reconstructing the whole life carbon footprint of school buildings in Vantaa, Finland. In *Resources, Conservation & Recycling. The Impact factor 10.204*. (*Plánované podanie September 2022.*)

Zverejnené výstupy v oblasti umeleckej a architektonickej činnosti - závažné umelecké a architektonické diela, výkony a podujatia

Názov: Wedge in Motion - ocenený súťažný architektonický návrh - UIA-CBC 2019,

Inštitúcia: Union International des Architectes (UIA)

Umiestnenie: Aiyuan, Čína

Dátum zverejnenia umeleckého výstupu: 21. 08. 2019,

Kategória: ZYX,

Percentuálny podiel: 75%

Názov: Wedge in Motion (29. 05. 2020 - 30. 06. 2020 : Bratislava, Slovensko)

Inštitúcia: Spolok architektov Slovenska (SAS)

Umiestnenie: Bratislava, Slovensko

Dátum zverejnenia umeleckého výstupu: 29. 05. - 30. 06. 2020

Kategória: ZZV,

Percentuálny podiel: 100%

Názov: Lávka cez Chorvátske rameno, Lávka č. 1 - súťažný návrh č. 1 / 3. cena

Inštitúcia: Metropolitný inštitút Bratislavy (MIB)

Umiestnenie: Bratislava, Slovensko

Dátum zverejnenia umeleckého výstupu: 21. 7. 2021

Kategória: ZVV,

Percentuálny podiel: 16%

Názov: Turistická útulňa Jozefa Maka - víťazný súťažný návrh / 1.-3. miesto

Inštitúcia: KST Hikemates

Umiestnenie: Bratislava, Slovensko

Dátum zverejnenia umeleckého výstupu: 12. 08. 2021

Kategória: ZVV,

Percentuálny podiel: 45%

V Bratislave dňa 31.5.2022

.....
Ing. Matthias M. J. Arnould