



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

UHLÍKOVÁ STOPA ZEVO

WTE PLANT CARBON FOOTPRINT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Staňková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Krišpín

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav procesního inženýrství
Studentka:	Bc. Lucie Staňková
Studijní program:	Procesní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	Ing. Jan Krišpín
Akademický rok:	2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Uhlíková stopa ZEVO

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat hodnocením uhlíkové stopy budov a zařízení. Cílem práce je vytvořit výpočtový postup, kterým lze predikovat uhlíkovou stopu vzniklou v důsledku výstavby, provozu i likvidace budovy. Výpočtový postup bude modelově aplikován na posouzení uhlíkové stopy pro zadané ZEVO.

Cíle diplomové práce:

1. Literární rešerše hodnocení uhlíkové stopy budov za celý životní cyklus včetně odpovídající legislativy
2. Vytvoření zjednodušeného výpočtového postupu pro stanovení uhlíkové stopy budovy a souvisejícího technologického zařízení
3. Aplikace výpočtového postupu na zadaný případ ZEVO

Seznam doporučené literatury:

TAKANO, Atsushi, Stefan WINTER, Mark HUGHES a Lauri LINKOSALMI. Comparison of life cycle assessment databases: A case study on building assessment. *Building and Environment* [online]. 2014, 79, 20–30. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2014.04.025

LEWANDOWSKA, Anna, Andrzej NOSKOWIAK a Grzegorz PAJCHROWSKI. Comparative life cycle assessment of passive and traditional residential buildings' use with a special focus on energy-related aspects. *Energy and Buildings* [online]. 2013, 67, 635–646. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2013.09.002

RAZA, Muhammad Saleem, Shabir Hussain KHAHRO, Sheeraz Ahmed MEMON, Tauha Hussain ALI a Nafees Ahmed MEMON. Global trends in research on carbon footprint of buildings during 1971–2021: a bibliometric investigation. Environmental Science and Pollution Research [online]. 2021 [vid. 2021-09-22]. ISSN 0944-1344, 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-021-15291-6

KUITTINEN, Matti a Tarja HÄKKINEN. Reduced carbon footprints of buildings: new Finnish standards and assessments. Buildings and Cities [online]. 2020, 1(1), 182–197. ISSN 2632-6655. Dostupné z: doi:10.5334/bc.30

SOUST-VERDAGUER, Bernardette, Carmen LLATAS a Antonio GARCÍA-MARTÍNEZ. Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. Building and Environment [online]. 2016, 103, 215–227. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2016.04.014

BLENGINI, Gian Andrea. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. Building and Environment [online]. 2009, 44(2), 319–330. ISSN 03601323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2008.03.007

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

.....
prof. Ing. Petr Stehlík, CSc., dr. h. c.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Znalost uhlíkové stopy ZEVO je předpokladem pro snižování emitovaných skleníkových plynů. V práci je provedena rešerše hodnocení uhlíkové stopy, přičemž jsou následně použity principy pro výpočet uhlíkové stopy dle normy ČSN EN 15978 pro udržitelnost staveb za celý životní cyklus. Tato metodika je obohacena o uhlíkovou stopu technologického celku včetně příslušných procesů. Navržený výpočtový model je aplikován pro určení uhlíkové stopy ZEVO Evecont. Hlavní podíl na uhlíkové stopě ZEVO má fáze užívání vlivem oxidu uhličitého ve spalinách. Zásadní redukce uhlíkové stopy je možné dosáhnout začleněním technologie pro zachytávání oxidu uhličitého ze spalin (technologie CCS). Dosažené výsledky pro ZEVO jsou porovnány vůči skládce a teplu ze sítě CZT. Tato práce poskytuje nástroj, který lze aplikovat na další technologické celky v procesním průmyslu, čímž lze uhlíkovou stopu podrobně vypočítat a stanovit referenční hodnoty pro porovnávání nových projektů.

Abstract

The value of the carbon footprint of the WtE plant is necessary for reducing emitted greenhouse gases. In this paper, research on carbon footprint assessment is conducted, while the principles for calculating the carbon footprint according to EN 15978 standard for the sustainability of construction works through the whole life cycle are applied. This methodology is enriched with the technological unit's carbon footprint, including processes. The proposed computational model is applied to determine the carbon footprint of the WtE plant Evecont. The main contribution to the carbon footprint of the WtE plant is the use phase due to carbon dioxide in the flue gas. A substantial carbon footprint reduction can be achieved by incorporating technology to capture carbon dioxide from the flue gas (CCS technology). The results achieved for the WtE plant are compared against landfill and heat from the central heat supply system. This work provides a tool that can be applied to other process industry units, allowing the carbon footprint to be calculated in detail and benchmarks to be established for the comparison of new projects.

Klíčová slova

Uhlíková stopa, GWP, ZEVO, posuzování životního cyklu (LCA), ČSN EN 15978, emisní faktory

Key words

Carbon footprint, GWP, WtE plant, life cycle assessment (LCA), EN 15978, emission factors

Bibliografická citace

STAŇKOVÁ, Lucie. *Uhlíková stopa ZEVO* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139761>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Jan Krišpín.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato diplomová práce je mým původním dílem a vypracovala jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Kříspína. Vycházela jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a literárních zdrojů uvedených v této práci.

V Brně dne 19. 5. 2022

.....

Lucie Staňková

Poděkování

Velmi děkuji Ing. Janu Krišpínovi za inspirativní podněty, ochotu, cenné rady a připomínky k této práci. Vážím si času a úsilí, které věnoval vedení této diplomové práce.

Také děkuji kolegům ze společnosti EVECŮ Brno za příjemný pracovní kolektiv a zkušenosti, které jsem získala v průběhu svého působení v této společnosti. V souvislosti s touto prací děkuji za poskytnutí podkladů o ZEVO Evecont Ing. Martinu Krňávkovi za technologickou část, Ing. Tomáši Pařízkovi, Ph.D. a Michalu Foltýnovi za konstrukční část a Ing. Janu Hanusovi za poskytnuté rady.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům a svému snoubenci za podporu během studia.

Obsah

1	Glosář	7
2	Úvod	13
3	Motivace práce	14
3.1	Vymezení problému	14
3.2	Cíle práce	17
4	Ekonomický a legislativní rámec uhlíkové stopy	18
4.1	Ekonomická opatření	18
4.2	Mezinárodní klimatické dohody	19
4.3	Stávající legislativa EU	24
4.4	Stávající legislativa ČR	32
4.4.1	Legislativa ČR související s klimatickou neutralitou	32
4.4.2	Legislativa ČR související s hodnocením uhlíkové stopy	34
4.5	Technické normy	36
4.5.1	ČSN EN 15978	36
4.6	Chystaná legislativa v evropských státech	39
5	Potenciální způsoby kompenzace uhlíkové stopy	41
6	Přístupy k výpočtu uhlíkové stopy budov	43
6.1	Výpočet dle ČSN EN 15978	43
6.1.1	Účel posuzování	43
6.1.2	Specifikace předmětu používání	47
6.1.3	Funkční ekvivalent	47
6.1.3.1	Referenční studované období	48
6.1.3.2	Hranice systému	48
6.1.4	Model budovy	52
6.1.5	Výpočet indikátorů environmentálních dopadů	53
6.2	Přístup Finska	53
6.3	Přístup Velké Británie	55
6.4	GHG protokol	56
6.5	Porovnání přístupů hodnocení uhlíkové stopy	57
6.5.1	Zahrnuté typy budov	57
6.5.2	Časové hranice systému	58
6.5.3	Fyzické hranice systému	59
7	Zdroje dat pro hodnocení uhlíkové stopy	60
7.1	Databáze uhlíkové stopy	61

7.1.1	Zahraniční databáze	61
7.1.2	Tuzemská databáze	62
7.1.3	Výběr zdrojů dat	62
7.2	Zobecnování výsledků uhlíkové stopy	62
8	Vlastní výpočtový model a jeho aplikace	64
8.1	Obecné schéma výpočtového postupu	64
8.2	Aplikace postupu	64
8.2.1	Hranice systému	66
8.2.2	Výsledky	69
8.2.3	Validace emisního faktoru zemního plynu	72
8.2.4	Výsledky pro ZEVO s technologií CCS	73
8.2.5	Shrnutí výsledků	76
9	Diskuze	77
9.1	Porovnání ZEVO Evecont a skládky	77
9.2	Potenciální snížení uhlíkové stopy ZEVO Evecont	79
9.3	Uhlíková stopa ZEVO na SKO	80
9.4	Limity a možná rozšíření diplomové práce	82
10	Závěr	83
11	Seznam použitých zdrojů	85
12	Seznam použitých zkratk	90
13	Seznam obrázků	92
14	Seznam tabulek	94
15	Seznam příloh	95

1 Glosář

V této diplomové práci se objevují některé pojmy, které nejsou všeobecně známé, nebo v rozdílu jejich významů existují jen drobné nuance. Proto se autorka rozhodla ulehčit práci čtenářům přiložením glosáře ještě před samotný úvod práce. Seznam použitých zkratk je uvedený na konci práce.

<i>Pojem</i>	<i>Vysvětlení</i>
emise CO ₂	Pokud jsou udávány pouze emise CO ₂ v jednotkách hmotnosti CO ₂ , jedná opravdu jen o emitované množství oxidu uhličitého, což je zjednodušení a aproximace emisí skleníkových plynů, protože CO ₂ způsobuje zhruba tři čtvrtiny skleníkového efektu v atmosféře. Pokud je uvedena jednotka hmotnosti CO ₂ ekv. CO _{2e} nebo CO _{2eq} , jedná se o emise všech skleníkových plynů včetně metanu, oxidu dusného a dalších.
environmentální aspekt	Aspekt stavby, části stavby, procesů nebo provozů během životního cyklu, který může ovlivňovat životní prostředí, například spotřeba energie a toky materiálů, produkce a třídění odpadu, spotřeba vody, využívání půdy, emise do ovzduší [1].
environmentální dopad	Příznivá nebo nepříznivá změna v životním prostředí, která vyplývá z environmentálních aspektů [1].
Environmentální prohlášení o produktu (EPD)	Nástroj transparentní deklarace vlastností výrobku zákazníkovi. V dokumentu jsou uvedeny environmentální dopady výrobku. EPD nezaručuje, že je daný produkt šetrnější k životnímu prostředí, ale poskytuje zákazníkovi informace, které může srovnávat s jinými výrobci, což umožňuje provést volbu dle dopadů výrobku na životní prostředí. Systém je v současnosti dobrovolný, ale pro získání EPD musí být doložené informace ověřeny třetí stranou [2].
environmentální vlastnost	Vlastnost systému související s environmentálními dopady a aspekty [1].
klimatická neutralita	Dle EU se jedná o „hospodářství s nulovými čistými emisemi skleníkových plynů“ [3]. V tomto pojetí je totožná s uhlíkovou neutralitou. V jiném pojetí to může znamenat, že jsou v rovnováze i další příznivé a nepříznivé environmentální dopady.
potenciál globálního oteplování (GWP)	GWP představuje poměr energie infračerveného záření, kterou zachytí kilogram dané látky vypuštěné do atmosféry za určitou dobu (nejčastěji 100 let), k energii zachycené kilogramem emisí CO ₂ . GWP reflektuje také životnost plynu v atmosféře. Ekvivalentní hmotnost emisí oxidu uhličitého CO _{2e} se určuje na základě GWP [4].
uhlíková neutralita	Rovnováha mezi emisemi uhlíku a jeho pohlcováním z atmosféry do tzv. úložišť uhlíku. Pro dosažení čistých nulových emisí musí být celosvětové emise skleníkových plynů vyváženy zachycováním uhlíku. Uhlíkové úložiště je jakýkoli systém, který pohlcuje více uhlíku, než emituje. Hlavními přírodními zachytáči uhlíku jsou půda, lesy a oceány. Podle odhadů odstraňují mezi 9,5 a 11 gigatun CO ₂ ročně. Ovšem celosvětové emise za rok 2019 dosáhly 38 giga tun CO ₂ [5].
uhlíková stopa	Celkové emise všech skleníkových plynů způsobené přímo nebo nepřímo konkrétním člověkem, organizací, událostí nebo produktem. Je počítána jako suma všech emisí během celého životního cyklu produktu nebo služby [6]. Uvádí se v jednotkách hmotnosti CO _{2e} , CO ₂ ekv. nebo CO _{2eq} . V anglické literatuře může být označena jako „carbon footprint“ (uhlíková stopa) nebo pro zdůraznění celého životního cyklu jako „whole life carbon“, „life cycle carbon“ nebo také „cradle-to-grave carbon“ (uhlíková stopa od kolébky ke hrobu), popř. „global warming potential“ (potenciál globálního oteplování) [7].
WLC (whole life carbon)	Uhlíková stopa za celý životní cyklus (výrobku, služby).

2 Úvod

V poslední době hraje uhlíková stopa významnou roli v rozhodování o projektech, což zahrnuje nejen povolovací procesy státní správy, ale také rozhodnutí o udělení dotace či poskytnutí bankovních úvěrů. Vše dosud nasvědčuje tomu, že získá ještě větší důležitost v blízké budoucnosti. Určování uhlíkové stopy úzce souvisí s řešením změny klimatu. Strategii pro její zvládnutí lze rozdělit na adaptaci a mitigaci změny klimatu. Právě pro mitigaci, tj. zmírňování, změny klimatu, je důležité snižovat emitované množství skleníkových plynů do atmosféry, tedy uhlíkovou stopu. Díky schopnosti kvantifikovat uhlíkovou stopu pak lze nalézt příležitosti pro porovnání a efektivní redukci množství emitovaných skleníkových plynů.

Uhlíková stopa patří mezi environmentální dopady, které je vhodné posuzovat za celý životní cyklus projektu, výrobku nebo služby. K tomu slouží nástroj LCA (posuzování životního cyklu) pro hodnocení environmentálních dopadů výrobků a služeb za jejich životní cyklus. Životní cyklus lze rozdělit zejména na výrobu, výstavbu, užívání a konec životního cyklu (např. demolice), přičemž pro jednotlivé fáze lze vyhodnotit environmentální dopady, případně i další indikátory, například finanční náklady. LCA podporuje průmysl a zákonodárce v odpovědném rozhodování o produktech, procesech a vytváření strategií. Díky tomu se propojuje environmentální hledisko s ekonomickým, protože rozhodnutí mohou být podložena informacemi o dopadech na životní prostředí.

Tato práce používá principy pro výpočet uhlíkové stopy dle normy ČSN EN 15978 a rozšiřuje LCA staveb o hodnocení uhlíkové stopy pro technologický celek a související průmyslové procesy. Přínosem této práce je zjištění, které údaje je potřebné zařadit do výpočtu uhlíkové stopy včetně rozdělení na jednotlivé fáze životního cyklu. Výsledky výpočtu uhlíkové stopy mohou sloužit k úvahám, jak by se dala uhlíková stopa redukovat, potažmo jak se přiblížit k uhlíkové neutralitě.

Cílem práce je provést rešerši hodnocení uhlíkové stopy včetně odpovídající legislativy, vytvoření výpočtového modelu pro určení uhlíkové stopy a jeho aplikace na zadaný případ ZEVO (zařízení pro energetické využití odpadů).

3 Motivace práce

3.1 Vymezení problému

Změna klimatu je problém, kterým je ohroženo fungování lidské činnosti. Příčinou změny klimatu je s nejvyšší pravděpodobností nadměrné zvyšování antropogenních emisí skleníkových plynů, což se projevuje zesilováním přirozeného skleníkového efektu atmosféry [8]. Skleníkový plyn s nejvyšším podílem na radičním působení je oxid uhličitý [4]. Množství oxidu uhličitého v atmosféře v meziročním srovnání navyšuje [9], [10].

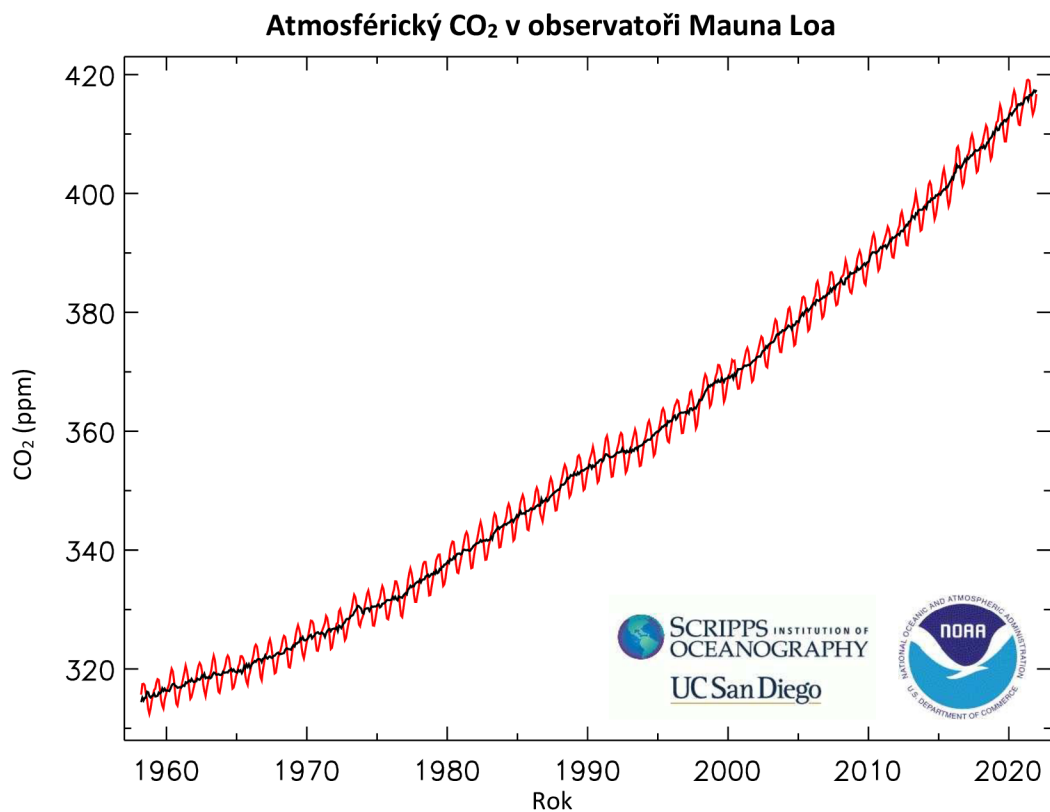
Měření změny množství CO₂ v atmosféře se provádí buď v observatořích, nebo ze vzorků ledu. Observatoře se nachází zejména v odlehlých lokalitách, které nejsou lokálně ovlivněné civilizací, takže slouží jako dobrý ukazatel celosvětových hodnot CO₂ v atmosféře [11]. Nejstarší observatoři pro měření CO₂ je Mauna Loa na Havaji, která funguje již od roku 1958 [12]. Pro určování koncentrace CO₂ pro starší období se používají vzorky ledu odebrané na Antarktidě. Takové vzorky obsahují dutiny vzduchu, ze kterých je možné určit množství skleníkových plynů [11].

Na obrázku 1 jsou zobrazeny výsledky měření z observatoře Mauna Loa. Na základě měření z observatoří se výpočtem určují globální emise CO₂, což je uvedeno na obrázku 2. Na obrázku se vyskytují hodnoty z observatoří Barrow, Mauna Loa, Americká Samoa a z jižního pólu. Na základě těchto hodnot je počítán denní světový průměr množství CO₂ v atmosféře [13]. Z obrázku vyplývá, že v observatoři Mauna Loa je naměřeno mírně vyšší množství CO₂, ale měření všech observatoří potvrzuje, že množství CO₂ v atmosféře narůstá. Dlouhodobý vývoj koncentrace CO₂ v atmosféře je zobrazen na obrázku 3.

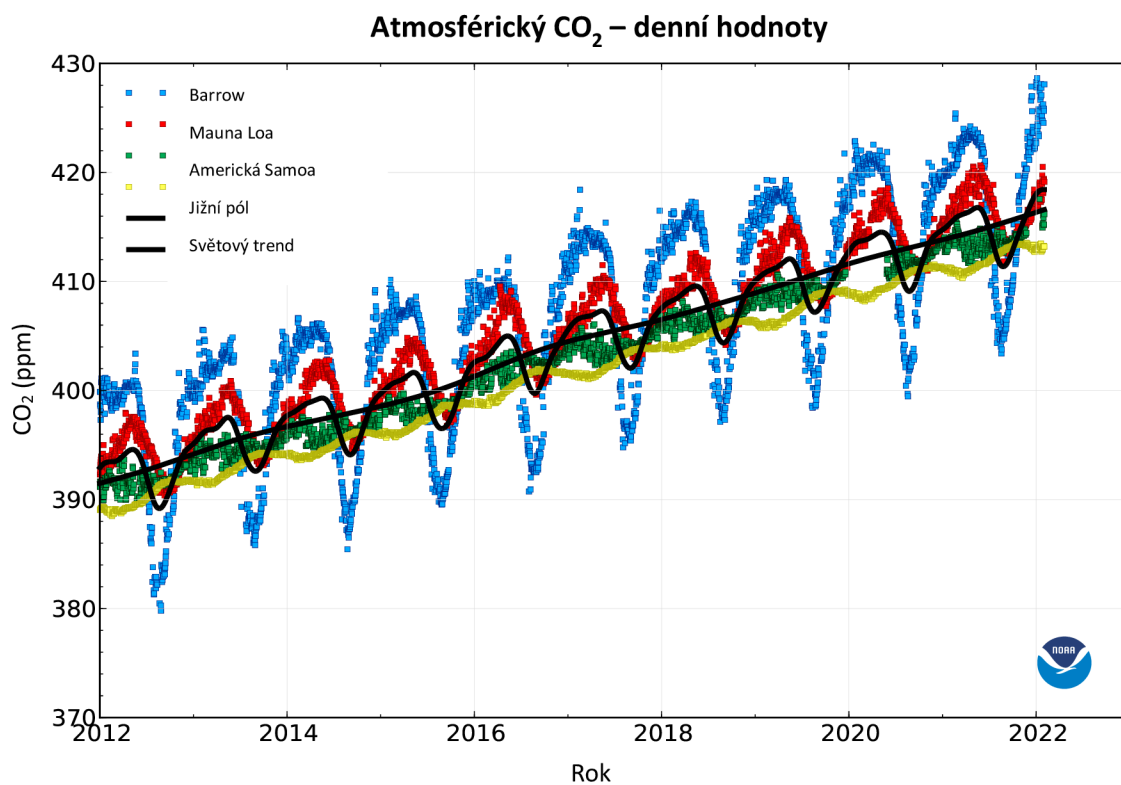
Přehled dalších skleníkových plynů včetně jejich potenciálu globálního oteplování (GWP) a podílu na radičním působení je uveden v tabulce 1. GWP je poměr energie infračerveného záření, kterou zachytí kilogram určité látky vypuštěné do atmosféry za určitou dobu (nejčastěji 100 let) vůči energii zachycené 1 kilogramem oxidu uhličitého. Hodnota GWP zohledňuje také životnost plynu v atmosféře. Skleníkový efekt spočívá v tom, že absorbované infračervené záření zemského povrchu by jinak odešlo do vesmíru, ale kvůli skleníkovým plynům se drží v atmosféře [4].

Vzhledem k tomu, že narůstá jistota, s jakou vědci prezentují informace o zesilování přirozeného skleníkového efektu, množství skleníkových plynů v atmosféře a podílu lidské činnosti na změně klimatu, narůstá také potřeba změnu klimatu řešit. To vede ke snaze se přizpůsobit proběhlým změnám (adaptace) a snižovat emise skleníkových plynů (mitigace). Skleníkové plyny jsou vyjádřené jako potenciál globálního oteplování (GWP¹).

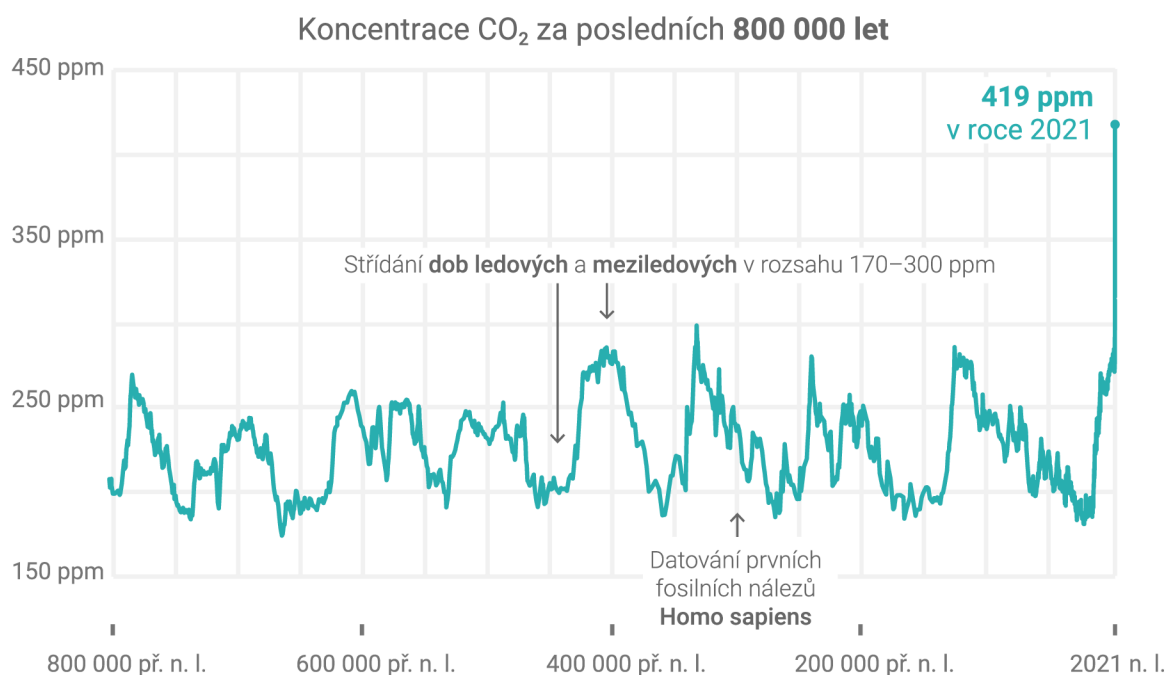
¹ Z anglického global warming potential.



Obrázek 1 Měsíční průměry množství CO₂ v observatoři Mauna Loa, leden 2022 [12]



Obrázek 2 Denní průměry množství CO₂, leden 2022 [13]



Obrázek 3 Vývoj koncentrace CO₂ v atmosféře za posledních 800 000 let [14]

Tabulka 1 Skleníkové plyny – GWP a podíl na radičním působení [4].

Název	Chemický vzorec	Životnost v atmosféře (roky)	GWP 100 let	Podíl na radičním působení	Zdroj / použití
oxid uhličitý	CO ₂	100-150	1	66 %	Spaliny z dopravy, při produkci elektřiny, v průmyslu
metan	CH ₄	12,4	28	16 %	Zpracování zemního plynu a ropy, chemický průmysl, zemědělství,
oxid dusný	N ₂ O	121	265	6 %	Zemědělství
R12	CCl ₂ F ₂	100	10 200	5 %	Již nepoužívané chladivo způsobující úbytek ozónu, nahrazeno R134a
R22	CHClF ₂	11,9	1 760	1,4 %	Chladivo používané v rozvojových zemích jako alternativa R11 a R12
R134a	CH ₂ FCF ₃	13,4	1 300	0,5 %	Chladivo postupně nahrazované s ohledem na vysoké GWP
R1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	10,5 dní	<1	-	Chladivo používané v automobilech
R14	CF ₄	50 000	6 630	0,1 %	Výroba optických vláken, chladivo pro nízké teploty
fluorid sírový	SF ₆	3 200	23 500	0,2 %	Nevodivé médium v elektrotechnice

Vzhledem k tomu, že narůstá jistota, s jakou vědci prezentují informace o zesilování přirozeného skleníkového efektu, množství skleníkových plynů v atmosféře a podílu lidské činnosti na změně klimatu, narůstá také potřeba změnu klimatu řešit. To vede ke snaze se přizpůsobit proběhlým změnám (adaptace) a snižovat emise skleníkových plynů (mitigace). Skleníkové plyny jsou vyjádřené jako GWP, přičemž k jeho výpočtu za celý životní cyklus slouží LCA.

Mezi hlavní výhody metodiky LCA pro určování uhlíkové stopy patří kvantifikace množství vypuštěných a ušetřených skleníkových plynů, zjištění souladu s legislativními požadavky, podpora informovaného rozhodnutí včetně vlivu uhlíkové stopy a snížení nákladů projektu díky zvýšené efektivitě použití materiálů a redukci odpadu [15]. Důležitost hodnocení celého životního cyklu spočívá v tom, že není upřednostňována redukce uhlíkové stopy v jedné fázi na úkor jiné fáze životního cyklu. Pokud by byl problém řešen izolovaně, tak by mohlo dojít k tomu, že například pro snížení uhlíkové stopy fáze užívání bude budova velmi izolovaná, aby nedocházelo k tepelným ztrátám, ale ve fázi výroby se může prokázat, že výroba a likvidace dodatečného materiálu na izolaci budovy způsobí vyšší uhlíkovou stopu, než je úspora uhlíkové stopy ve fázi užívání budovy.

3.2 Cíle práce

1. Literární rešerše hodnocení uhlíkové stopy budov za celý životní cyklus včetně odpovídající legislativy.
2. Vytvoření zjednodušeného výpočtového postupu pro stanovení uhlíkové stopy budovy a souvisejícího technologického zařízení.
3. Aplikace výpočtového postupu na zadaný případ ZEVO.

4 Ekonomický a legislativní rámec uhlíkové stopy

Ekonomický a legislativní rámec je důležitý pro pochopení souvislostí, proč je vhodné se zabývat hodnocením uhlíkové stopy, a jak mohou výsledky výpočtů uhlíkové stopy ovlivnit život občanů. Z hlediska ovlivňování občanů lze využít ekonomická a legislativní opatření či komunikační kampaň. Aby tyto snahy mohly být z technického hlediska efektivní, měly by být založeny na vědecky podložených informacích a co nejpřesnějších výpočtech. Zda se lidé nechají ovlivnit a budou chtít přispívat ke zvládnutí změny klimatu, je samozřejmě neméně důležité. Nicméně tato otázka náleží humanitním oborům, takže není dále v této práci rozebírána. V této kapitole je vysvětlena závislost ekonomických opatření na výpočtech uhlíkové stopy. Hodnocení uhlíkové stopy je provázané i s legislativními opatřeními pro zvládnutí změny klimatu. V legislativním rámci je uveden historický vývoj mezinárodních klimatických dohod, legislativa ČR, EU a technické normy související s hodnocením uhlíkové stopy.

4.1 Ekonomická opatření

Hodnocení uhlíkové stopy může sloužit jako podklad pro ekonomická opatření. Mezi nástroje pro zmírnění klimatické změny patří uhlíková daň, obchod s emisními povolenkami, poplatky, příspěvky a regulace [16]. Tato mitigační opatření jsou porovnána na základě zprávy Mezinárodního měnového fondu na obrázku 4.

TYP MITIGAČNÍHO OPATŘENÍ	JAKÝ JE ROZSAH OPATŘENÍ?	JEDNÁ SE O TRŽNÍ MECHANISMUS?	JAK SE OPATŘENÍ PROJEVUJE V PRAXI?	JAK JE PŘIJATELNÝ DOPAD NA CENU ENERGIÍ?	JSOU CENY PŘEDVÍDATELNÉ?	GENERUJE OPATŘENÍ PŘÍJEM DO STÁTNÍHO ROZPOČTU?	JAKÁ JE ADMINISTRATIVNÍ ZÁTĚŽ OPATŘENÍ?
UHLÍKOVÁ DAŇ	Široký při důsledném zavedení (v praxi může obsahovat výjimky)	Ano	Lidé a firmy mohou zvolit neefektivnější způsob snížení emisí	Vyšší ceny mohou vést k nižší společenské a politické přijatelnosti (lze kompenzovat přerozdělením příjmů)	Ano (pokud je stanoven vývoj výše uhlíkové daně)	Ano (ačkoli výjimky mohou vést k nižšímu příjmu)	Malá (lze využít existující daňové systémy, například pro spotřební daň)
OBCHOD S EMISNÍMI POVOLENKAMI	Široký při důsledném zavedení (v praxi se často týká pouze větších producentů skleníkových plynů)	Ano	Lidé a firmy mohou zvolit neefektivnější způsob snížení emisí	Vyšší ceny mohou vést k nižší společenské a politické přijatelnosti (lze kompenzovat přerozdělením příjmů)	Ne (pokud není doplněný minimální cenou povolenek)	Může (pokud jsou povolenky prodávány ve dražbě, ale i tak má menší potenciál)	Dodatečná (monitorování emisí a obchodního systému)
POPLATKY A PŘÍSPĚVKY	Omezený, zaměřený na některé klíčové oblasti	Ano	Lidé a firmy mohou volit efektivnější přístup pouze v rámci jednotlivých oblastí	Nižší nárůst cen je společensky a politicky přijatelnější	Ano (pokud je stanoven vývoj výše poplatků a příspěvků)	Ne (doporučované provedení je příjmově neutrální)	Dodatečná (například stanovení poplatků/příspěvků pro producenty energie)
REGULACE	Omezený, zaměřený na některé klíčové oblasti	Ne	Žádný automatický mechanismus	Nižší nárůst cen je společensky a politicky přijatelnější	Ne (cena je ovlivněna nepřímo, závisí na cenách technologií/energie apod.)	Ne	Dodatečná (například monitorování či prosazování emisních standardů v energetice)

O jakou vlastnost se jedná? ■ Pozitivní ■ Neutrální ■ Negativní

Obrázek 4 Srovnání mitigačních opatření [16]

Z obrázku vyplývá, že ze srovnávaných mitigačních opatření je neefektivnější uhlíková daň následovaná obchodem s emisními povolenkami. Výhodou je široký rozsah opatření, využití

tržního mechanismu a volnost lidí a firem v implementaci opatření. Rozdíl je zejména v předvídatelnosti ceny a administrativní zátěži. Uhlíková daň se jeví jako příznivější opatření, protože má předvídatelnou cenu a vzhledem k daňové povaze lze využít stávající daňové systémy, např. pro spotřební daně. Jedná se tedy o daňové zatížení emitentů fosilních paliv dle jejich uhlíkové stopy. Při obchodu s emisními povolenkami hrozí riziko vysoké volatility, protože firmy mohou s povolenkami volně obchodovat, ačkoliv celkové množství povolenek je stanoveno vládou. V tomto systému mohou firmy vypouštět skleníkové plyny pouze za předpokladu, že mají povolení, které odpovídá výši emisí [16]. Zatímco opatření se liší dle států, důsledky se projevují globálně. Proto nabývá na důležitosti koordinace světového úsilí.

Jedním z opatření, která mají nadnárodní přesah je uhlíkové clo, které by mělo zabránit tzv. úniku uhlíku, což znamená přesun energeticky náročných odvětví do států s mírnější regulací emisí skleníkových plynů. Takový přesun by vážně ohrozil celosvětové klimatické úsilí, proto např. EU zavádí mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích CBAD². Cílem je vytvořit ekologický mechanismus pro dovoz zboží, který stanoví spravedlivou cenu za vypouštěné skleníkové plyny a podpoří čistší průmysl mimo EU. Tímto se zabrání nahrazování výrobků z EU dovozem výrobků s vyšší uhlíkovou stopou z jiných zemí [17], což podporuje i konkurenceschopnost průmyslu EU. V první fázi se mechanismus týká zboží s vysokým rizikem úniku uhlíku, tj. cementu, železa a oceli, hliníku, hnojiv a elektřiny. Mechanismus CBAD bude plně zaveden od roku 2026, do roku 2025 bude probíhat přechodná fáze [18].

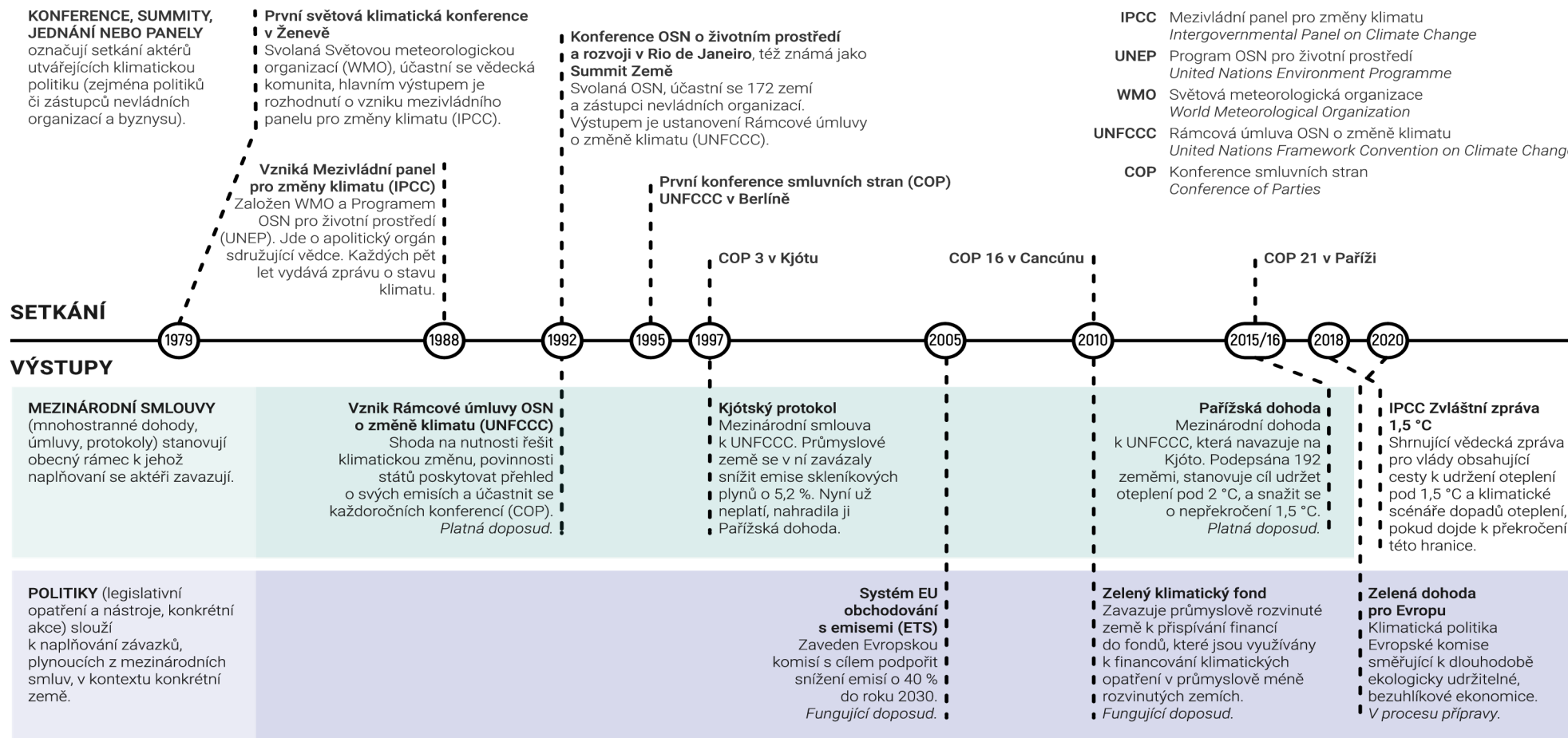
Ekonomická opatření velmi úzce souvisí s legislativou, protože právní opatření jsou často založena na hospodářském základu. Dále bude uveden přehled legislativy v rámci mezinárodních dohod, EU a ČR.

4.2 Mezinárodní klimatické dohody

Jak již bylo zmíněno, úspěšnost klimatického úsilí závisí na globální koordinaci, což se děje zejména prostřednictvím mezinárodních klimatických dohod. Časová osa důležitých milníků mezinárodních dohod je zobrazena na obrázku 5. **První světová klimatická konference** se konala v Ženevě, sídle Světové meteorologické organizace (WMO³), v roce 1979. Už tehdy byla změna klimatu mezi vědci hodnocena jako potenciálně závažný problém a domluvili se na vytvoření Světového klimatického programu pro rozvoj systémů předpovědí, informování a vytváření prognóz vývoje klimatu [19].

² Z anglického Carbon Border Adjustment Mechanism.

³ Z anglického World Meteorological Organisation.



Obrázek 5 Časová osa pro mezinárodní klimatické dohody [19]

Další spolupráce Světové meteorologické organizace s Environmentálním programem spojených národů (UNEP⁴) vedla z iniciativy Generálního shromáždění OSN až k vytvoření **Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC⁵)** v roce 1988 [20]. Tento panel by má zajistit objektivní hodnocení problému změny klimatu včetně vědeckých, technických a sociálně-ekonomických aspektů. Hodnocení je podáváno ve formě tzv. hodnotící zprávy, která se skládá ze čtyř částí [21]:

1. fyzikální podstata změn klimatu,
2. dopady změn klimatu, adaptace a zranitelnost,
3. mitigace změn klimatu,
4. souhrnná zpráva.

IPCC funguje dodnes. Bylo vydáno pět kompletních hodnotících zpráv a šestá hodnotící zpráva AR6 byla a bude vydána postupně dle částí v roce 2021 a 2022. Poslední část, shrnutí hodnotící zprávy, bude vydána v září 2022 [22].

Další mezinárodní úsilí o udržitelný rozvoj pokračovalo v roce 1992 **konferencí OSN o životním prostředí a rozvoji** v Rio de Janeiru, označované jako **Summit Země**. Výstupem setkání zástupců 172 států se staly tři dokumenty – Úmluva o biologické rozmanitosti, Úmluva o boji proti desertifikaci a Rámcová úmluva o změně klimatu. S tématem uhlíkové stopy nejvíce souvisí **Rámcová úmluva o změně klimatu – UNFCCC⁶**. Tato Úmluva si klade za cíl ochranu klimatického systému Země a omezení globálního oteplování [19] a vstoupila v platnost dne 21. 3. 1994 [23].

„V současné době má Úmluva 197 smluvních stran. Česká republika Úmluvu podepsala dne 13. 6. 1993 a ratifikovala ji dne 7. 10. 1993 (č. 80/2005 Sb.m.s.) jako v pořadí třicátá šestá strana.“ [23]

Úmluva je založena na čtyřech hlavních principech [23]:

1. principu mezigenerační spravedlnosti,
2. principu společné, ale diferencované odpovědnosti,
3. principu potřeby chránit náchylné části planety,
4. principu předběžné opatrnost.

Státy se přijetím Úmluvy zavázaly inventarizovat své emise a účastnit se každoročních **konferencí smluvních stran**, tzv. COP⁷. Tyto konference jsou nejvyšším správním orgánem Úmluvy, přičemž slouží k naplňování cílů prostřednictvím konkrétních právních úprav [19].

Na třetí konferenci COP3 v roce 1997 byl přijat **Kjótský protokol** k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu. Státy se zavázaly do konce prvního kontrolního období (2008-2012) snížit emise skleníkových plynů nejméně o 5,2 % oproti roku 1990. Poté byl koncem roku 2012 schválen dodatek o pokračování Protokolu pro druhé kontrolní období (2013-2020). Emise skleníkových plynů byly posuzovány jako GWP⁸ vyjádřený v množství ekvivalentu CO₂.

⁴ Z anglického United Nations Environment Programm.

⁵ Z anglického The Intergovernmental Panel on Climate Change.

⁶ Z anglického United Nations Framework Convention on Climate Change.

⁷ Z anglického Conference of the Parties.

⁸ Potenciál globálního oteplování, z anglického global warming potential.

Nicméně Protokol nebyl závazný pro rozvojové země, ani rozvíjející se ekonomiky (Čína, Indie, Brazílie), tudíž nebyl plně efektivní ve snižování celosvětových emisí skleníkových plynů [24].

„Českou republikou byl Protokol podepsán 23. 11. 1998 na základě usnesení vlády č. 669/1998 a ratifikován 15. 11. 2001 (č. 81/2005 Sb. m. s.). Protokol má celkem 192 smluvních stran.“ [24]

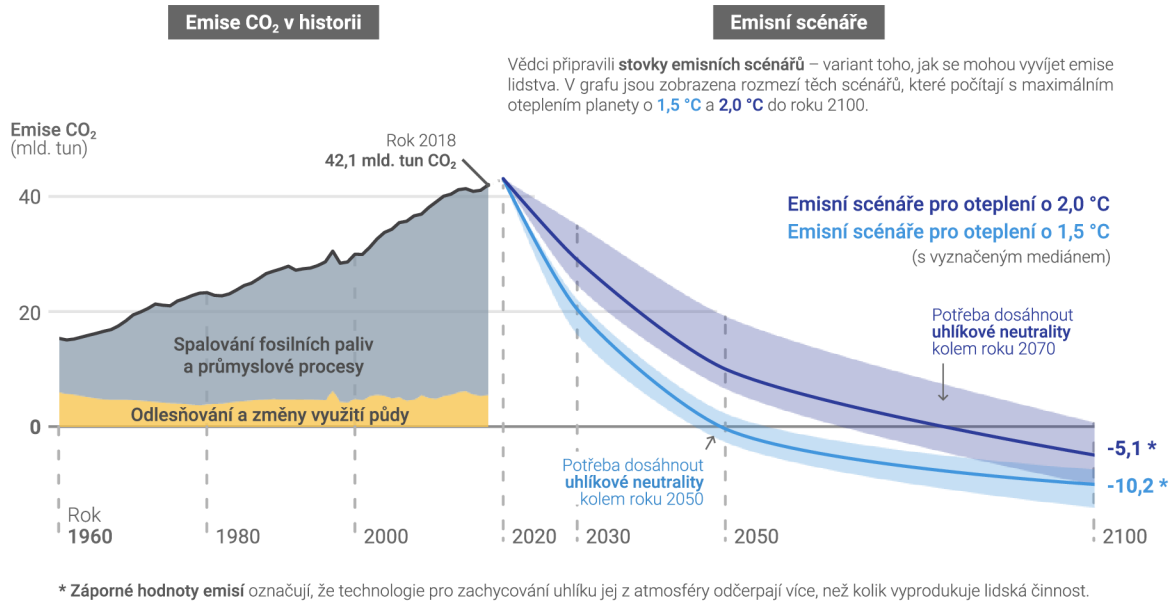
Konkrétní cíle přijaté v jednotlivých zemích na základě Kjótského protokolu se lišily a v konečném důsledku se závazky ke snížení emisí týkaly jen 36 zemí. Ačkoliv téměř všechny tyto země svoje závazky ke snížení emisí splnily, došlo v roce 2010 k nárůstu celosvětových emisí o 32 % oproti roku 1990. Protokol byl nahrazen po roce 2020 Pařížskou dohodou [25], která je platná doposud [19].

Pařížská dohoda vznikla v rámci 21. konference COP21 v Paříži v roce 2015 a je součástí Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu [19]. Pro naplnění dlouhodobého cíle ochrany klimatu je v Dohodě stanoven limit pro nárůst průměrné globální teploty výrazně pod hranici 2 °C ve srovnání s obdobím před průmyslovou revolucí, a ideálně se smluvní strany mají snažit docílit nárůstu menšího než 1,5 °C. Na rozdíl od Kjótského protokolu ukládá jak rozvinutým, tak i rozvojovým státům, povinnost si stanovit vnitrostátní redukci skleníkových plynů k dosažení cíle Dohody [25].

„V rámci Pařížské dohody se ČR jako člen EU přihlásila s ostatními členskými státy EU společně snížit do roku 2030 emise skleníkových plynů o nejméně 40 % ve srovnání s rokem 1990. Přistoupením k Dohodě a k tomuto závazku bude naplňovat společný cíl EU a jejich členských států, který byl přijat Evropskou radou jako součást závěrů Evropské rady k Rámcí politiky v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030 schválených dne 24. října 2014.“

Dohoda vstoupila v platnost již 4. listopadu 2016, tedy po necelém roce od jejího přijetí v Paříži. Smluvními stranami jsou státy ze všech pěti kontinentů světa a s výjimkou Ruské federace zahrnují všechny významné producenty emisí skleníkových plynů jako je například Čína a USA. Dohodu ratifikovaly také EU a všechny její členské státy. Aktuální počet ratifikací Pařížské dohody je zveřejněn na webové adrese. Česká republika se stala smluvní stranou Dohody dne 4. listopadu 2017.“ [25]

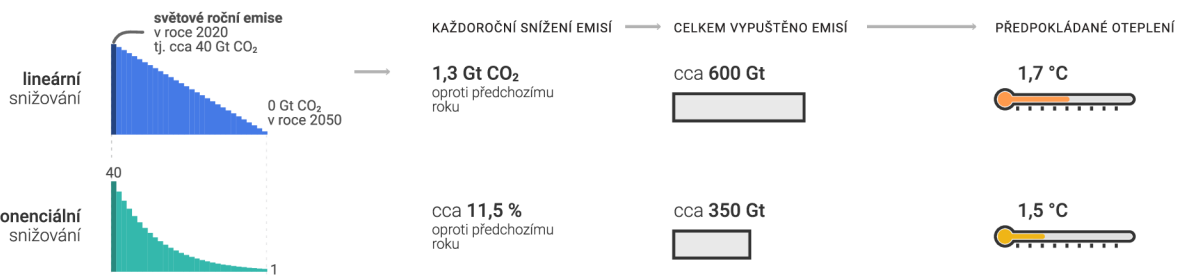
V roce 2018 IPCC vydala zvláštní zprávu jako vyjádření k cílům Pařížské dohody, psanou 91 autory ze 40 zemí a podpořenou více než 6000 vědeckými odkazy, z níž vyplývá, že negativní dopady oteplení o 2 °C a více by byly výrazně vyšší než při oteplení o méně než 1,5 °C [19]. Negativní dopady představují zejména překročení bodů zlomu planetárních mezí a kolaps některých ekosystémů, např. korálové útesy nepřežijí vyšší oteplení než 1,5 °C a již nyní dochází k úbytku korálových útesů – vysoká teplota v oceánech zapříčinila zánik poloviny Velkého bariérového útesu [26]. Dosud vypuštěné emise nezpůsobí oteplení vyšší než 1,5 °C. Dle nejvíce pravděpodobných emisních scénářů je třeba omezit emise skleníkových plynů na polovinu do roku 2030 ve srovnání s rokem 2018 a dosáhnout uhlíkové neutrality do roku 2050 pro maximální oteplení 1,5 °C [19], což je zobrazeno na obrázku 6. Dále je uveden scénář pro dosažení uhlíkové neutrality v roce 2070 a oteplení o 2 °C.



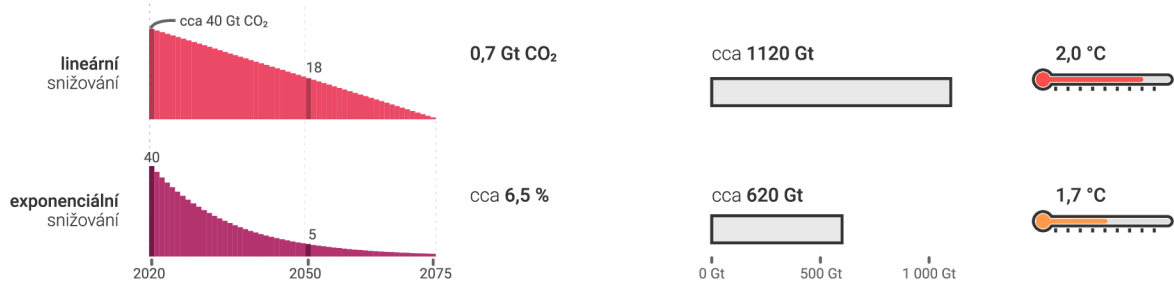
Obrázek 6 Emisní scénáře pro naplnění Pařížské dohody [27]

Při uvažování různých emisních scénářů není rozhodující rok dosažení uhlíkové neutrality, ale především celkové množství emitovaných skleníkových plynů. Na této myšlence je založen koncept uhlíkového rozpočtu, který dle určeného cíle oteplení předpovídá, kolik emisí ještě lze vypustit, aniž by byla překročena požadovaná míra oteplení [28]. Na obrázku 7 je srovnáno dosažení uhlíkové neutrality v roce 2050 a v roce 2070 při lineárním i exponenciálním snižování emisí. Ze srovnání vyplývá, že lineární snižování emisí od roku 2020 po dosažení uhlíkové neutrality v roce 2050 přináší stejné předpokládané oteplení jako exponenciální snižování emisí od roku 2020 po dosažení uhlíkové neutrality až v roce 2070.

Dosažení globální uhlíkové neutrality v roce 2050



Dosažení globální uhlíkové neutrality v roce 2075



Obrázek 7 Jak různé varianty snižování emisí ovlivní oteplení [28]

Z obrázku 7 lze dále usoudit, že je velmi pravděpodobné, že v budoucnu poroste poptávka po výpočtu uhlíkové stopy, protože jsou na její výši navázány jak politické závazky, tak míra globálního oteplení Země. Jednotlivé státy mají různé možnosti pro snižování emisí skleníkových plynů například vlivem hospodářské vyspělosti, jiné množství historicky vypuštěných emisí a také jiné projevy globálního oteplování na svém území. Snahou mezinárodních dohod je, aby se spravedlivě zapojil každý stát dle svých možností, proto je ponechána určitá míra volnosti v tom, jak přesně jednotlivé státy zajistí dodržení dohody. Mezinárodní klimatické dohody se promítají jak do legislativy EU, tak i do legislativy ČR.

4.3 Stávající legislativa EU

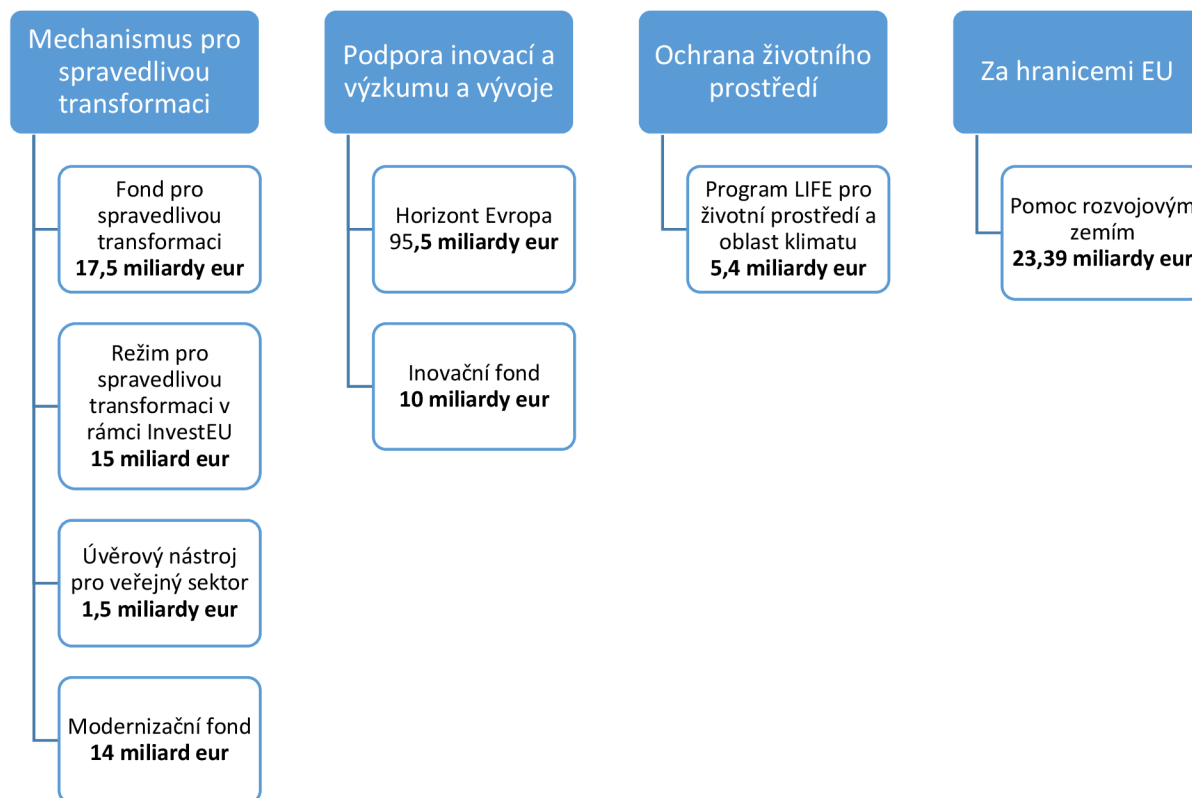
V rámci Evropské unie je kladen velký důraz na environmentální dopady lidské činnosti a jejich snižování, což vyvrcholilo ve snahu stát se prvním klimaticky neutrálním kontinentem [29], čemuž odpovídá mimo jiné i uhlíková neutralita. Aby EU dostala svým závazkům z mezinárodních dohod, stanovily členské státy EU závazné emisní cíle pro klíčová odvětví hospodářství. Přijaté právní předpisy související se změnou klimatu jsou poměrně ambiciózní, nicméně EU se podařilo naplnit cíle, které si stanovila v minulosti [30].

„Do roku 2017 snížila EU své emise o téměř 22 % ve srovnání s rokem 1990 a svého cíle v oblasti snížení emisí do roku 2020 dosáhla tři roky před plánovaným termínem. V prosinci 2020 vedoucí představitelé EU s ohledem na závazek EU zvýšit své ambice v oblasti klimatu v souladu s Pařížskou dohodou potvrdili závazný cíl EU spočívající v dosažení čistého snížení domácích emisí skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 55 % ve srovnání s rokem 1990, což je podstatné zvýšení oproti předchozímu cíli EU snížit emise do roku 2030 o 40 %.

V dubnu 2021 dosáhly Rada a Parlament předběžné dohody o evropském právním rámci pro klima, jehož úkolem je stanovit v právních předpisech cíl snížení emisí do roku 2030. Ministři EU dohodu přijali v červnu 2021.“ [30]

Ačkoliv plánované změny mohou být zpočátku bolestné, dle Evropské rady povedou k udržitelnému hospodářskému růstu, novým pracovním místům, lepšímu zdraví a životnímu prostředí občanů EU a přispějí k dlouhodobé globální konkurenceschopnosti hospodářství EU pomocí inovací v oblasti zelených technologií [30].

Důležitost přechodu ke klimatické neutralitě ilustruje i výše výdajů, které plynou na opatření v oblasti klimatu. EU se chystá dát alespoň 30 % celkových výdajů z dlouhodobého rozpočtu na období 2021-2027 a nástroje na oživení Next Generation EU na podporu projektů spojených s klimatem [30], což v aktuálním období odpovídá částce 550 miliard euro [31]. Tato částka bude rozdělena, jak je naznačeno na obrázku 8, do mechanismu pro spravedlivou transformaci, podpory inovací a výzkumu a vývoje, ochrany životního prostředí a pomoci rozvojovým zemím. Uvedené částky jsou odhadované výdaje do roku 2027 nebo 2030, přičemž pomoc rozvojovým zemím je uvedena za rok 2020.



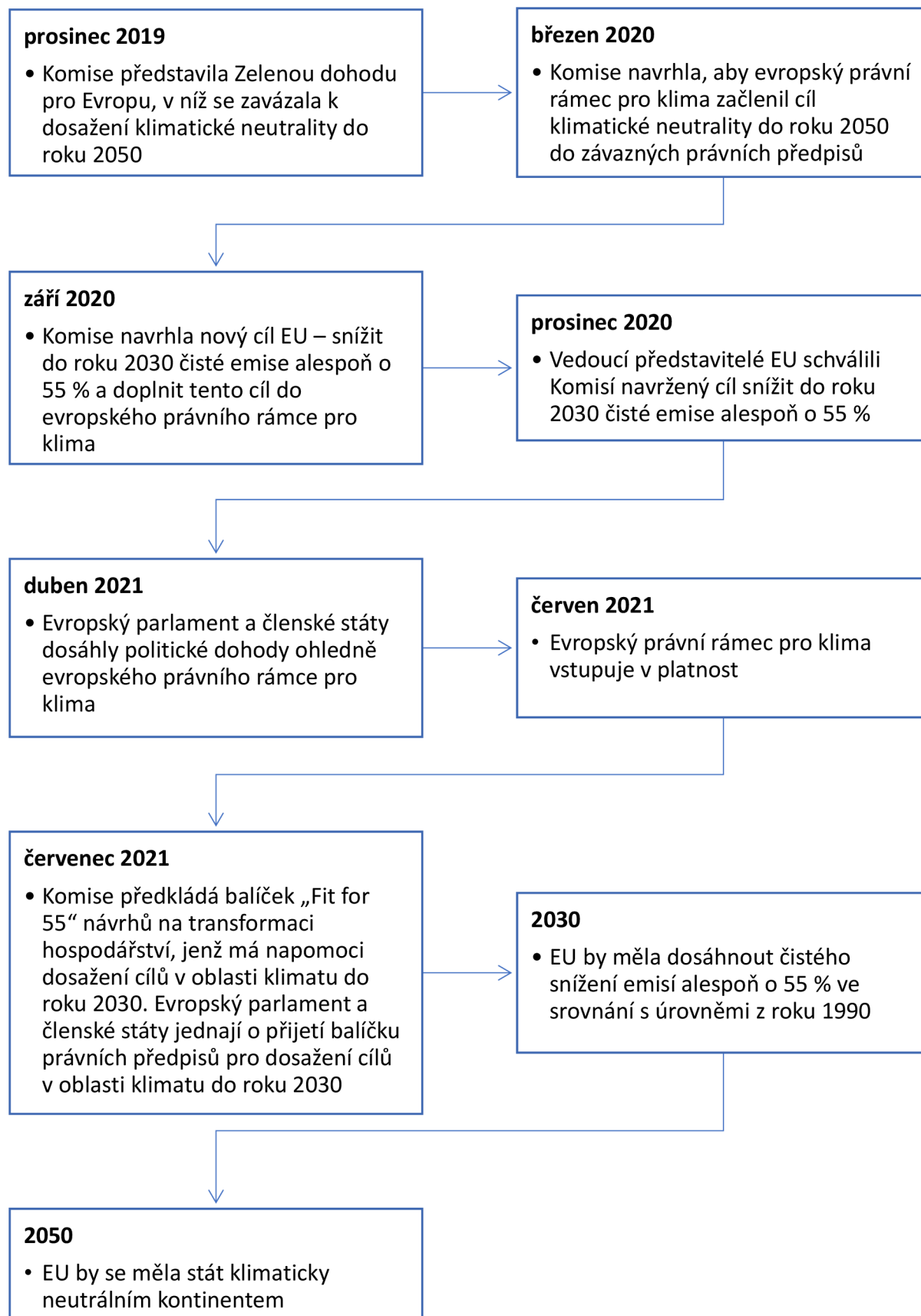
Obrázek 8 Výdaje EU na přechod ke klimatické neutralitě, vlastní vypracování dle [31]

Hlavním dokumentem, který se zabývá klimatickou neutralitou v EU je tzv. Zelená dohoda pro Evropu (European Green Deal) [32]. Jedná se o předlohu a plán, jak má EU realizovat své cíle v oblasti klimatu. Zelená dohoda pro Evropu udává, že všechna opatření a politiky EU by měly být v souladu s klimatickou neutralitou a hrát svoji úlohu. Proto je v Zeleně dohodě stanoven plán pro legislativní i nelegislativní iniciativy pro různá odvětví, mezi něž patří průmysl, doprava a mobilita, energetika a finance [30]. Na obrázku 9 jsou zobrazeny prvky Zelené dohody.



Obrázek 9 Prvky Zelené dohody pro Evropu [33]

Zelená dohoda pro Evropu urychlí a podpoří nutnou transformaci, přičemž ústředním motivem hospodářské politiky je udržitelnost a blahobyt občanů. Jedná se o způsob, jak změnit pohled na urgentní problém jako na jedinečnou příležitost [33]. Hlavní fáze realizace Zelené dohody pro Evropu jsou představeny na obrázku 10. Z časové osy vyplývá, že nejaktuálnějšími dokumenty jsou Evropský právní rámec pro klima a balíček Fit for 55.



Obrázek 10 Hlavní fáze realizace Zelené dohody pro Evropu, vlastní vypracování dle [34]

Ústředním prvkem Zelené dohody pro Evropu je Evropský právní rámec pro klima, označovaný také jako Evropský klimatický zákon⁹, jímž se politické závazky EU v oblasti klimatu staly právní povinností. Tímto právním předpisem je stanoven rámec pro opatření, jak mají členské státy EU postupně snižovat emise skleníkových plynů a ve finále dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050 [30]. Evropský právní rámec pro klima je zkrácený název pro *NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2021/1119 ze dne 30. června 2021, kterým se stanoví rámec pro dosažení klimatické neutrality a mění nařízení (ES) č. 401/2009 a nařízení (EU) 2018/1999* [35]. Díky právní závaznosti může tento právní předpis poskytnout evropským občanům i podnikům předvídatelnost, transparentnost i odpovědnost, kterou potřebují pro transformaci hospodářství [36]. Součástí tohoto nařízení je i závazek snížit čisté domácí emise¹⁰ skleníkových plynů do roku 2030 alespoň o 55 % ve srovnání s referenční hodnotou z roku 1990 [35]. Tento závazek má být dosažen díky implementaci balíčku „Fit for 55“ [37].

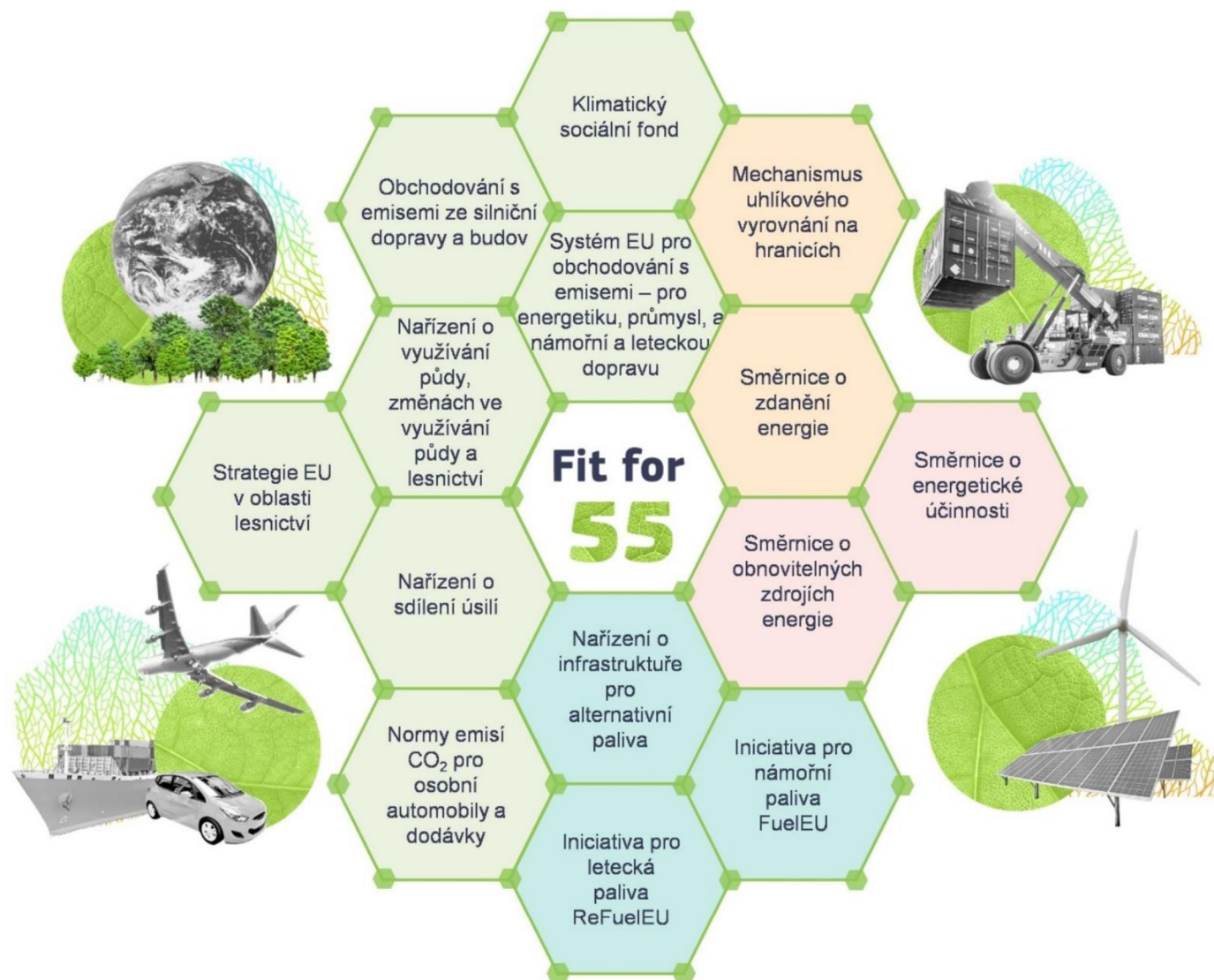
„Balíček „Fit for 55“ sestává ze souboru vzájemně propojených návrhů, které všechny směřují ke stejnému cíli, jímž je zajištění spravedlivé, konkurenceschopné a ekologické transformace do roku 2030 a dále. Tam, kde je to možné, se stávající právní předpisy upravují tak, aby byly ambicióznější, a v případě potřeby se předkládají nové návrhy. Balíček celkově posiluje osm stávajících právních předpisů a představuje pět nových iniciativ v řadě oblastí politiky a hospodářských odvětví: klimatu, energetiky a paliv, dopravy, budov, využívání půdy a lesnictví.

Legislativní návrhy jsou podloženy analýzou posouzení dopadů, která zohledňuje vnitřní propojenost celého balíčku. Analýza ukazuje, že přílišné spoléhání na posílené regulační politiky by vedlo ke zbytečně vysoké ekonomické zátěži, zatímco samotné stanovování cen uhlíku by neodstranilo přetrvávající selhání trhu a netržní překážky. Zvolená kombinace politik proto představuje důkladně promyšlenou rovnováhu mezi stanovením cen, cíli, normami a podpůrnými opatřeními.“ [38]

Nástroje balíčku „Fit for 55“ jsou uvedeny na obrázku 11 a obrázku 12. Balíček zahrnuje jak návrhy na úpravu stávajících směrnic a nařízení, tak i nové legislativní návrhy. Opatření by se dala rozčlenit na tržní mechanismy, cíle a regulace a podpůrná opatření. V rámci tržních mechanismů je řešeno obchodování s emisními povolenkami, uhlíkové vyrovnání na hranicích a zdanění energie. Cíle a regulace se týkají energetiky, dopravy a půdy a lesnictví. Do podpůrných opatření patří financování prostřednictvím vzniku Sociálního klimatického fondu a posílení Modernizačního fondu a Inovačního fondu.

⁹ Z anglického European Climate Law

¹⁰ Emise po odečtení propadů



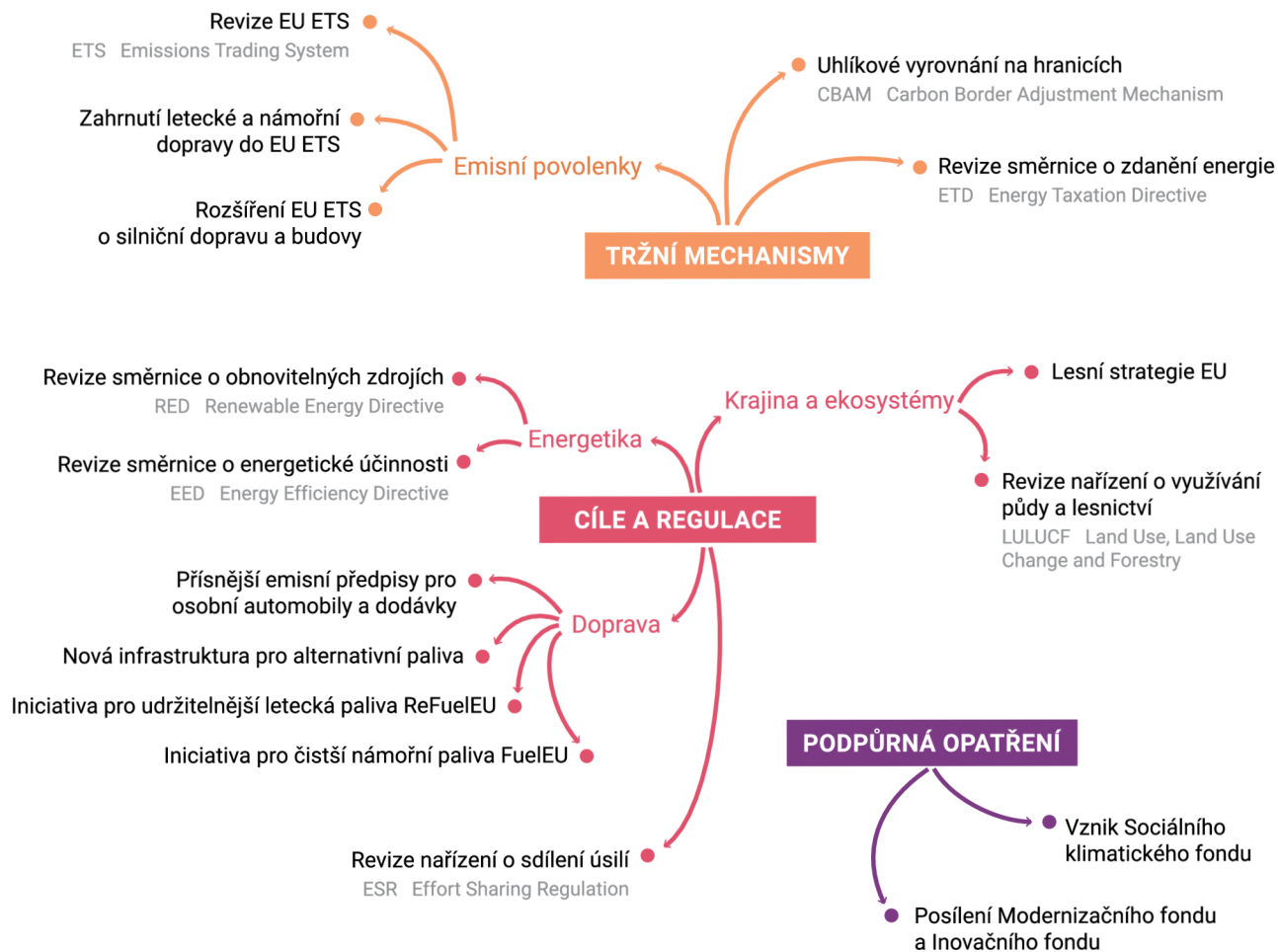
Obrázek 11 Nástroje balíčku „Fit for 55“ [33]

ŠIRŠÍ KONTEXT FIT FOR 55

- **2019 Zelená dohoda pro Evropu**
Evropská unie se hlásí k cíli klimatické neutrality do roku 2050.
- **2020–2021 Evropský klimatický zákon**
Evropský parlament a členské státy schvalují právní závaznost klimatické neutrality do roku 2050.
Evropští lídři schvalují návrh Komise na průběžný cíl snížit emise o 55 % do roku 2030 (oproti roku 1990).
- **2021 Fit for 55**
Evropská komise vytváří návrh souboru opatření, která by měla zajistit snížení emisí o 55 % do roku 2030.

PRINCIPY FIT FOR 55

- **Přiměřenost a účinnost opatření**
Široké využití tržních mechanismů a doplnění netržními opatřeními tam, kde by trh nefungoval efektivně.
- **Znečišťovatel platí**
Pokud firmy nesou náklady spojené s dopadem svých emisí, jsou motivovány k zavádění čistých technologií.
- **Solidarita**
Cílená a systematická podpora pro skupiny obyvatel, které mohou být opatřeními neúměrně zasaženy.



Obrázek 12 Opatření, širší kontext a principy „Fit for 55“ [37]



Obrázek 13 Přehled navrhovaných opatření v balíčku „Fit for 55“ [39]

Přehled navrhovaných opatření v balíčku „Fit for 55“ je popsán v infografice na obrázku 13. Aktuálně je balíček „Fit for 55“ vydán jako soubor legislativních návrhů Evropské komise, což znamená, že přesné znění reforem není právně závazné a balíček bude upravován dle jednání evropských institucí, zejména Evropského parlamentu a Rady Evropské unie. Je očekáváno, že jednání ohledně balíčku „Fit for 55“ bude trvat déle než dva roky, přičemž finální termín je stanoven na květen 2024, jelikož se budou konat volby do Evropského parlamentu [40]. Česká republika bude mít důležitou roli ve vyjednávání ve druhé polovině roku 2022, protože bude předsedat Radě EU [40]. Aktuální legislativa související se změnou klimatu je představena v následující kapitole.

4.4 Stávající legislativa ČR

Dle Ministerstva životního prostředí (MŽP) ČR s největší pravděpodobností změnu klimatu zapříčiňuje zvyšování přirozeného skleníkového efektu atmosféry. Toto zvyšování se děje jako důsledek antropogenní činnosti a nadměrného nárůstu emisí skleníkových plynů. Strategie pro zvládnutí změny klimatu v sobě zahrnuje mitigaci a adaptaci. Mitigace změny klimatu představuje efektivní snižování skleníkových plynů. Adaptace na změnu klimatu znamená přizpůsobení se měnícím se klimatickým podmínkám [8]. Toto pojetí odpovídá mezinárodnímu i evropskému přístupu. Pro legislativu ČR jsou zásadní povinnosti plynoucí z dokumentů, které ratifikovala na základě mezinárodních dohod nebo svého členství v EU. Mezi tyto dokumenty patří dříve zmíněná Rámcová úmluva OSN o změně klimatu, Kjótský protokol, Pařížská dohoda, Zelená dohoda pro Evropu a další závazky vyplývající z legislativy EU [41].

4.4.1 Legislativa ČR související s klimatickou neutralitou

Pro legislativu v oblasti životního prostředí má Česká republika sdílenou pravomoc s Evropskou unií. V praxi se to projevuje tak, že od vstupu ČR do EU, 1. května 2004, česká legislativa v oblasti životního prostředí vzniká transpozicí komunitárního práva EU, což podporuje jak společnou ochranu životního prostředí, tak sjednocení environmentálních standardů v rámci jednotného trhu EU. Sdílená pravomoc neomezuje ČR ve tvorbě a přijímání vlastní legislativy, avšak nesmí být v rozporu s komunitárním právem EU. Konkrétní obsah jednotlivých nařízení a směrnic má ČR příležitost ovlivnit jako člen Rady Evropské unie a také prostřednictvím svých europoslanců [42].

Směrování a cíle ČR v oblasti ochrany životního prostředí včetně snižování uhlíkové stopy jsou uvedeny v zastřešujícím strategickém dokumentu zvaném Státní politika životního prostředí České republiky 2030 s výhledem do 2050, zkráceně SPŽP 2030. Tento dokument byl schválen vládou ČR usnesením č. 21 dne 11. 1. 2021 a staví na dlouhodobém úsilí MŽP o ochranu životního prostředí. Rozebíraná témata se týkají životního prostředí a zdraví, klimaticky neutrálního a oběhového hospodářství, přírody a krajiny [43]. V SPŽP 2030 je také uveden přehled české legislativy, která souvisí s přechodem ke klimatické neutralitě. Jednotlivé zákony a vyhlášky jsou uvedeny v tabulce 2.

Dle SPŽP 30 při přechodu ke klimatické neutralitě hrají klíčovou roli „vlády prostřednictvím podpory investic do výzkumu, vývoje, produktových norem, dotací pro nově vznikající technologie šetrné k životnímu prostředí a jejich zavádění. Opatření, jako je zlepšování účinnosti energetických transformací paliv, zavádění nových materiálů a další technická

řešení, nebudou dostačující pro splnění unijních cílů v oblasti emisí a udržitelnosti. Pro dosažení klimatické neutrality je nutné, aby se do snižování emisí skleníkových plynů zapojila jak veřejnost, tak soukromý sektor. Vedle změn v energetice, průmyslu a zemědělství je proto podstatné, aby došlo k transformační změně společnosti, která může například prostřednictvím zodpovědného spotřebitelského chování docílit razantního snížení své uhlíkové stopy.“ [44]

Tabulka 2 Česká legislativa související s přechodem ke klimatické neutralitě [44].

Zákonů související s přechodem ke klimatické neutralitě

Zákon č. 73/2012 Sb., o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech

Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie.

Zákon č. 257/2014 Sb., kterým se mění zákon č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů, a další související zákony

Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)

Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií

Zákon č. 311/2006 Sb., o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pohonných hmotách)

Zákon č. 383/2012 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů

Vyhlášky související s přechodem ke klimatické neutralitě

Vyhláška č. 264/2020 Sb., o energetické náročnosti budov

Vyhláška č. 133/2010 Sb., o požadavcích na pohonné hmoty, o způsobu sledování a monitorování složení a jakosti pohonných hmot a o jejich evidenci (vyhláška o jakosti a evidenci pohonných hmot)

Vyhláška č. 257/2012 Sb., o předcházení emisím látek, které poškozují ozonovou vrstvu, a fluorovaných skleníkových plynů

Vyhláška č. 319/2019 Sb., o energetickém štítkování a ekodesignu výrobků spojených se spotřebou energie

Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby

Dle SPŽP 30 je zásadní dokument implementující cíl SPŽP v oblasti snižování emisí skleníkových plynů Politika ochrany klimatu [44], která byla schválena usnesením vlády č. 207 ze dne 22. března 2017 [45]. Vyhodnocení Politiky ochrany klimatu ČR proběhlo v roce 2021. Dle MŽP se s největší pravděpodobností podařilo v roce 2020 dosáhnout snížení emisí o 20 % vůči roku 2005. Cíle pro rok 2030 (snížení emisí o 30 % ve srovnání s rokem 2005) nelze dle prognózy dosáhnout při zachování stávajících politik a opatření. Odhaduje se, že pro naplnění cíle je třeba snížit emise o dodatečná 2,5 %. Pro indikativní cíl snížení emisí do roku 2050 o 80 % ve srovnání s rokem 1990 chybí vhodná trajektorie snižování emisí. ČR dosud nemá vypracované scénáře, které by uvažovaly dosažení klimatické neutrality [41]. Tudíž je pravděpodobné, že legislativa ČR bude vytvářet opatření pro intenzivnější mitigaci změny klimatu.

Výrazným prvkem v oblasti mitigace změny klimatu a snižování emisí je systém evropského obchodování s emisními povolenkami (EU ETS) [45]. Systém EU ETS zahrnuje více než 11 000 zařízení ze sektorů energetiky, výroby oceli a železa, cementu a vápna, celulózy a papíru, sklo-keramického průmyslu, chemického průmyslu, rafinérií a letecké přepravy ve 31 státech a pokrývá cca 2 mld. t CO₂ ročně [46]. „V ČR je EU ETS upraven zákonem č. 383/2012 Sb. Uvádí, na jaká zařízení se systém vztahuje a jaká jsou práva a povinnosti jejich provozovatelů. Provozovatelé monitorují své emise, vykazují je každoročně Ministerstvu životního prostředí a vyřazují za ně povolenky. Část povolenek dostanou provozovatelé bezplatně, zbytek si mohou koupit na trhu nebo v aukci. Povolenky existují a pohybují se na účtech v rejstříku povolenek, jehož národním správcem je OTE, a.s.“ [46]

Pro adaptaci na změnu klimatu je hlavním dokumentem Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR, která byla schválena v říjnu 2015 [45]. Strategie vzniká díky mezirezortní spolupráci pod koordinací MŽP vychází z Adaptační strategie EU [47], která obsahuje 3 hlavní specifické cíle [48]:

1. Zvýšení odolnosti členských států EU, jejich regionálních uskupení, regionů a měst.
2. Zlepšení informovanosti pro rozhodování o problematice adaptace na změnu klimatu.
3. Zvýšení odolnosti klíčových zranitelných sektorů vůči negativním dopadům změny klimatu.

V rámci ČR je adaptační strategie implementována prostřednictvím Národního akčního plánu adaptace na změnu klimatu [47]. Tento akční plán usiluje o řešení hlavních projevů změny klimatu v ČR, tj. dlouhodobého sucha, povodní a přivalových povodní, vydatných srážek, zvyšování teplot, extrémně vysokých teplot, extrémního větru a požárů vegetace. Plán specifikuje 108 adaptačních opatření rozčleněných do 322 konkrétních úkolů [49]. Implementací adaptačních plánů a opatření ČR naplňuje svoje závazky přijaté v rámci Rámcové uhlíkové dohody OSN o změně klimatu a Pařížské dohody [47].

4.4.2 Legislativa ČR související s hodnocením uhlíkové stopy

V přecházejícím textu byla stručně představena legislativa ČR související se změnou klimatu a snižováním emisí skleníkových plynů. Nyní je rozebrána souvislost legislativy ČR s hodnocením uhlíkové stopy. Při bližším zkoumání všech zákonů a vyhlášek z tabulky 2 bylo zjištěno, že v žádném právním předpisu není uveden postup pro hodnocení uhlíkové stopy.

Při dalším vyhledávání v právních předpisech bylo zjištěno, že nařízení vlády č. 565/2020 Sb. (Nařízení vlády o podmínkách poskytnutí kompenzací nepřímých nákladů pro odvětví, u kterých bylo zjištěno značné riziko úniku uhlíku v důsledku promítnutí nákladů spojených s emisemi skleníkových plynů do cen elektřiny) obsahuje tzv. emisní faktor CO₂, který je definován jako vážený průměr podílu CO₂ v elektrické energii vyrobené z fosilních paliv v jednotce t CO₂/MWh, přičemž jeho hodnota pro výrobu elektřiny v ČR je stanovena jako 0,85 t CO₂/MWh nebo 1,06 t CO₂/MWh [50].

Ministerstvo průmyslu a obchodu (MPO) ovšem na svých stránkách uvádí, že hodnoty emisních faktorů uvedené ve vyhláškách (např. ve vyhlášce č. 140/2021 Sb., o energetickém auditu [51]) sice slouží k prosazování státní politiky, ale pro výpočet reálné uhlíkové stopy podniků je doporučena jiná hodnota. Hodnoty se pohybují od 0,384 t CO₂/MWh (rok 2020) do

0,554 t CO₂/MWh (rok 2010). Pro výpočet je uvedena následující metodika: „*Primární energie fosilních paliv v daném roce vsazených (podle jednotlivých paliv) na výrobu elektřiny je násobena specifickými emisními faktory pro daná paliva (případně pro paliva příbuzná). Výsledná sumární hodnota je vydělena celkovou hrubou výrobou elektřiny v ČR. Emisní faktory CO₂ ze spalování fosilních paliv ve výpočtu vycházejí z metodiky IPCC 2006 a národních emisních faktorů. Ve výpočtu jsou OZE uvažovány jako CO₂ neutrální, tedy s nulovými emisemi. Jedná se o výpočet na základě podkladových dat Souhrnné energetické bilance ČR za rok 2020.*“ [52]

V tabulce 3 jsou uvedeny zjištěné hodnoty emisního faktoru v české legislativě a dle doporučení MPO. Tyto nesrovnalosti jsou blíže zkoumány ve vlastním výpočtu. Popsaná metodika MPO slouží jako odrazový můstek pro vlastní výpočty uvedené v příloze 1. Při zkoumání metodiky popsané pro rok 2018 [53] vyplynulo, že emisní faktor 0,86 t CO₂/MWh v příloze č. 8 k vyhlášce č. 140/2021 Sb. [51] je určen za předpokladu, že veškerá elektrická energie na území ČR byla v roce 2018 vyrobena z fosilních paliv. Při uvážení obnovitelných zdrojů jako CO₂ neutrální vychází emisní faktor jako 0,47 t CO₂/MWh. Ve vlastním výpočtu dále bylo zjištěno, že při uvážení emisních faktorů obnovitelných zdrojů je emisní faktor elektřiny za rok 2018 0,51 t CO₂/MWh. Dále byl proveden výpočet emisních faktorů pro roky 2014–2020 dle zdrojů pro hrubou výrobu elektrické energie, přičemž jejich průměr vychází jako 0,46 t CO₂/MWh a tato hodnota byla používána pro další výpočty.

Tabulka 3 Odlišnosti hodnot pro emisní faktor elektřiny.

Zdroj	Účel	Emisní faktor elektřiny [t CO ₂ /MWh]
Článek na webu MPO [52]	reálná uhlíková stopa podniků	0,384 (rok 2020)
Příloha č. 8 k vyhlášce č. 140/2021 Sb. [51]	prosazování státní politiky	0,86
Nařízení vlády č. 565/2020 Sb. [50]	finanční kompenzace vlivu skleníkových plynů na cenu elektřiny – výrobky specifikované v příloze č. 2	0,85
Nařízení vlády č. 565/2020 Sb. [50]	finanční kompenzace vlivu skleníkových plynů na cenu elektřiny – výrobky nespecifikované v příloze č. 2	1,06

Mimoto se objevuje terminologie emisní faktor ve vyhlášce č. 415/2012 Sb. (Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší) ve významu měrné výrobní emise typické pro určitou skupinu stacionárních zdrojů. Jsou stanoveny limity pro SO₂, NO_x, TZL a CO, přičemž jejich hodnoty jsou aktualizovány ve věstníku MŽP. Zde je ovšem důležité si uvědomit, že zmíněné látky mají sice neblahý vliv na životní prostředí, ale jejich vliv na skleníkový efekt je zanedbatelný. V tabulce 1 lze ověřit, že tyto látky nepatří mezi hlavní skleníkové plyny. Významný skleníkový plyn je oxid dusný, který ale není uveden samostatně, pouze jako součást NO_x. Dá se tedy shrnout, že informace v tomto zákoně slouží k jiným účelům než pro určení potenciálu

globálního oteplování vlivem skleníkových plynů, takže nejsou užitečné pro hodnocení uhlíkové stopy.

4.5 Technické normy

Některé výše zmíněné právní předpisy staví na snižování emisí skleníkových plynů a opírají se o výsledky výpočtu uhlíkové stopy, nicméně není v nich popsán postup hodnocení uhlíkové stopy. Vzhledem k tomu, že právní předpisy bývají psány obecně, je výhodné pro praktický výpočet využít technické normy, které mnohdy poskytují návod pro realizaci legislativních opatření. Závaznost norem přitom závisí na jejich vztahu k právním předpisům. České technické normy, označované jako ČSN, nejsou obecně závazné, což je uvedeno v § 4 Zákona o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů [54]. Závaznost technických norem ale může vyplývat ze smluv nebo z odkazů na normy v právních předpisech.

Pokud pro nějakou oblast existují technické normy, jejich dodržení by mělo sloužit jako záruka dostatečné odborné úrovně. S hodnocením uhlíkové stopy za celý životní cyklus souvisí technické normy ohledně energetiky, životního cyklu, environmentálního prohlášení o produktu a samozřejmě výpočtu uhlíkové stopy, jejichž výběr technických norem je uveden v tabulce 4.

Z přehledu v tabulce 4 je patrné, že s hodnocením uhlíkové stopy budov souvisí celá řada technických norem. Pro cíle této diplomové práce je nejdůležitější norma ČSN EN 15978, protože je v ní uveden postup, jak vypočítat uhlíkovou stopu staveb. Souvislost této normy s ostatními normami je uvedena v následující podkapitole a postup výpočtu uhlíkové stopy dle této normy je rozebrán v kapitole 6 Přístupy k výpočtu uhlíkové stopy budov, konkrétně podkapitole 6.1 Výpočet dle ČSN EN 15978.

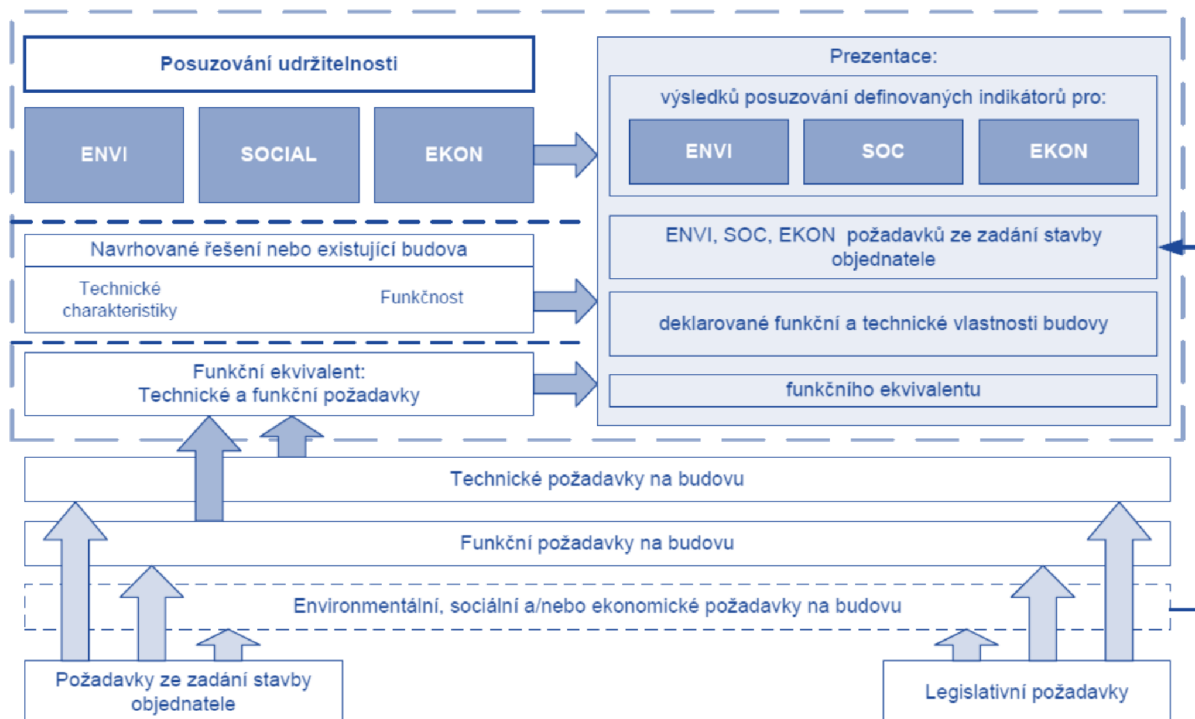
4.5.1 ČSN EN 15978

Norma ČSN EN 15978 si klade za cíl poskytnout výpočtová pravidla pro hodnocení environmentálních vlastností nových a existujících budov. Tato norma patří do souboru evropských norem, jejichž cílem je podpora kvantifikace přínosu posuzovaných budov udržitelné výstavby a udržitelného rozvoje [1]. Udržitelnost v pojetí norem se skládá zejména z environmentálních, sociálních a ekonomických faktorů. Koncept posuzování udržitelnosti budov je graficky znázorněn na obrázku 14.

Hodnocení environmentálních dopadů je tedy pouze jedna ze složek posuzování udržitelnosti, protože je nutné zohlednit i sociální a ekonomické vlastnosti budovy. Těmito dalšími vlastnostmi se zabývají jiné normy, jejichž souvislost s normou ČSN EN 15978 je zobrazena na obrázku 15. Obsah obrázku odpovídá pracovnímu programu technické komise CEN/TC 350, která se zabývá udržitelností staveb [1]. Z obrázku mj. vyplývá, že obecným rámcem pro posuzování staveb se zabývá norma ČSN EN 15643-1, která je společná pro navazující normy environmentálních, sociálních i ekonomických vlastností budovy. Norma ČSN EN 15978 tedy aplikuje obecná pravidla uvedená na rámcové úrovni v normě ČSN EN 15643-1. Vstupní údaje pro výpočet dle normy ČSN EN 15978 mohou být převzaty z výpočtů na základě normy ČSN EN 15804, podle které se zpracovává Environmentální prohlášení o produktu.

Tabulka 4 Výběr souvisejících norem pro hodnocení uhlíkové stopy, vlastní zpracování dle [1] a [55].

<i>Označení normy</i>	<i>Oblast využití</i>
ČSN EN 15217	Energetická náročnost budov – Metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov
ČSN EN 15251	Vstupní parametry vnitřního prostředí pro návrh a posouzení energetické náročnosti budov s ohledem na kvalitu vnitřního vzduchu, tepelného prostředí, osvětlení a akustiky
ČSN EN 15603	Energetická náročnost budov – Celková potřeba energie a definice energetických hodnocení
ČSN EN 15643	Udržitelnost ve výstavbě – Rámec pro posuzování budov a inženýrských staveb
ČSN EN 15804	Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů
ČSN EN 15942	Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Formát komunikace mezi podniky
ČSN EN 15978	Udržitelnost staveb – Posuzování environmentálních vlastností budov – Výpočtová metoda
ČSN EN ISO 14040	Vypracování studie LCA (produktu, služby nebo technologie) a určení environmentálních indikátorů
ČSN EN ISO 14040	Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova
ČSN EN ISO 14044	Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice
ČSN ISO 14025	Environmentální značky a prohlášení – Environmentální prohlášení typu III – Zásady a postupy
ČSN ISO 14064	Výpočet uhlíkové stopy organizace
ČSN ISO 14067	Skleníkové plyny – Uhlíková stopa produktů – Požadavky a směrnice pro kvantifikaci
ČSN ISO 21930	Udržitelnost ve výstavbě – Environmentální prohlášení o stavebních produktech
TNI CEN/TR 15941	Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Metodologie výběru a použití generických dat



Obrázek 14 Koncept posuzování udržitelnosti budov [1]

Úroveň návrhu	Požadavky uživatele a právních předpisů				
	Integrovaná kvalita budovy				
	Environmentální vlastnosti	Sociální vlastnosti	Ekonomické vlastnosti	Technické vlastnosti	Funkční vlastnosti
Rámcová úroveň	EN 15643-1 Posuzování udržitelnosti budov – Obecný rámec			Technické charakteristiky	Funkčnost
	EN 15643-2 Rámec pro environmentální vlastnosti	EN 15643-3 Rámec pro sociální vlastnosti	EN 15643-4 Rámec pro ekonomické vlastnosti		
Úroveň budovy	EN 15978 Posuzování environmentálních vlastností WI 003 Použití EPD	prEN 16309 Posuzování sociálních vlastností	WI 017 Posuzování ekonomických vlastností		
Úroveň produktu	EN 15804 Environmentální prohlášení o produktu EN 15942 Formát komunikace mezi podniky CEN/TR 15941	viz poznámka dole	viz poznámka dole		
	POZNÁMKA V současnosti jsou technické informace související s některými sociálními a ekonomickými vlastnostmi zahrnuty v rámci ustanovení EN 15804 tak, aby byly součástí EPD.				

Obrázek 15 Normy pro integrovanou kvalitu budovy [1]

4.6 Chystaná legislativa v evropských státech

Z mnoha indikátorů vyplývá, že se legislativa zaměřená na posuzování uhlíkové stopy bude zpříšňovat. V následující tabulce 5 je uveden přehled chystaných legislativních změn pro posuzování a redukci uhlíkové stopy pro vybrané evropské státy.

Tabulka 5 Přehled chystaných změn legislativy posuzování uhlíkové stopy ve stavebnictví, dle [56].

Země	Překlad názvu právního předpisu	Chystané změny
Dánsko	Národní strategie pro udržitelnou výstavbu	Stanovení požadavků na výpočet uhlíkové stopy pro nové budovy je očekávané do roku 2023, přičemž pro nové budovy bude stanovena prahová hodnota 12 kgCO ₂ e/m ² /rok pro budovy nad 1000 m ² od roku 2023. Poté se limit rozšíří na všechny budovy, nejpozději od roku 2025.
Finsko	Reformovaný zákon o územním plánování a stavebním řádu	Environmentální prohlášení o produktu (EPD) se stanou ještě přísnější, jelikož posouzení uhlíkové stopy bude požadováno pro všechny nové budovy, zhruba od roku 2025. Dle typu budovy budou stanoveny limity pro zabudovaný uhlík.
Švédsko	Klimatické prohlášení pro budovy	Klimatické prohlášení, zahrnující vliv produktové fáze, bude povinné pro všechny nové budovy. Je preferováno EPD pro určení dopadu uhlíkové stopy produktů. Pokud budou použita obecná data, musí pocházet z národní databáze klimatického prohlášení.
Francie	Environmentální předpisy	Posuzování uhlíkové stopy bude povinné pro všechny nové budovy s přísnými limity, které by měly být zavedeny do roku 2024 a postupně dále snižovány až do roku 2030, kdy je očekáván pokles o 30-40 %.
Velká Británie	Londýnský plán	Hodnocení uhlíkové stopy je povinné pro hlavní výstavbu, nicméně je doporučeno pro všechny typy nových projektů. GLA (Greater London Authority – orgán veřejné správy Londýna) doporučuje používat odhady dle EPD všude, kde je to možné.

Z uvedené tabulky vyplývá, že výpočet uhlíkové stopy je relativně nová oblast lidské činnosti, a zatím není stanovena jednotná metodika. Ba naopak přesné legislativní požadavky zatím nejsou stanoveny ani na úrovni států [56]. Jak již bylo zmíněno, v rámci ČR bude hlavní výzvou určit plán trajektorie pro snižování emisí skleníkových plynů a dosažení klimatické neutrality, přičemž se dá očekávat, že tyto snahy povedou i k dalším legislativním krokům v oblasti klimatu i výpočtu uhlíkové stopy. Na úrovni EU je pravděpodobné, že dojde v blízké době k implementaci balíčku „Fit for 55“, tudíž bude dán ještě větší důraz na klimatické cíle EU a další snižování uhlíkové stopy.

Zpříšňování předpisů ohledně uhlíkové stopy budov za celý životní cyklus může být výzvou pro firmy působící ve stavebnictví, obzvlášť pro firmy působící na mezinárodní úrovni, pokud by se používané metodiky posuzování v různých zemích lišily [7]. Evropský rámec pro udržitelné budovy, zvaný Level(s) si klade za cíl harmonizovat hodnocení udržitelnosti napříč členskými zeměmi EU [57]. Rámec se zaměřuje na umožnění srovnatelnosti a dostupnosti údajů. Srovnatelnosti údajů lze dosáhnout například sjednocením referenčního studovaného období, stejnými jednotkami a fázemi životního cyklu. Ukazatele Level(s) také mohou být využity jako podklad pro legislativu na evropské a národní úrovni pro posuzování uhlíkové stopy budov za celý životní cyklus. [7].

Význam rámce Level(s) tkví v tom, že objasňuje a zužuje rozsah normy ČSN EN 15978 o posuzování environmentálních vlastností budov. Dále se očekává, že Level(s) pomohou propojit cíle EU a národní cíle v oblasti klimatu. Level(s) jasně indikuje, zda daná budova odpovídá národním klimatickým cílům pro zastavěné prostředí [7]. Level(s) je nástroj pro posuzování a podávání zpráv o udržitelnosti budov, přičemž je založen na oběhovém hospodářství, v souladu s dalšími iniciativami EU o udržitelnosti. Bohužel je aktuálně tento nástroj spuštěn pouze pro rezidenční a kancelářské budovy, a ještě není plně funkční.

Level(s) slouží jako most mezi iniciativou Zelená dohoda pro Evropu v oblasti udržitelných budov a reálným provozem budov v rámci EU. Rámec Level(s) také přispěl k vytvoření návrhu revize Směrnice o energetické náročnosti budov (EPBD¹¹), aby do posouzení nových budov byla zahrnuta uhlíková stopa za celý životní cyklus. Dále jsou data podkladem pro hodnocení veřejných zakázek a přidělování udržitelných financí (Taxonomie) [58].

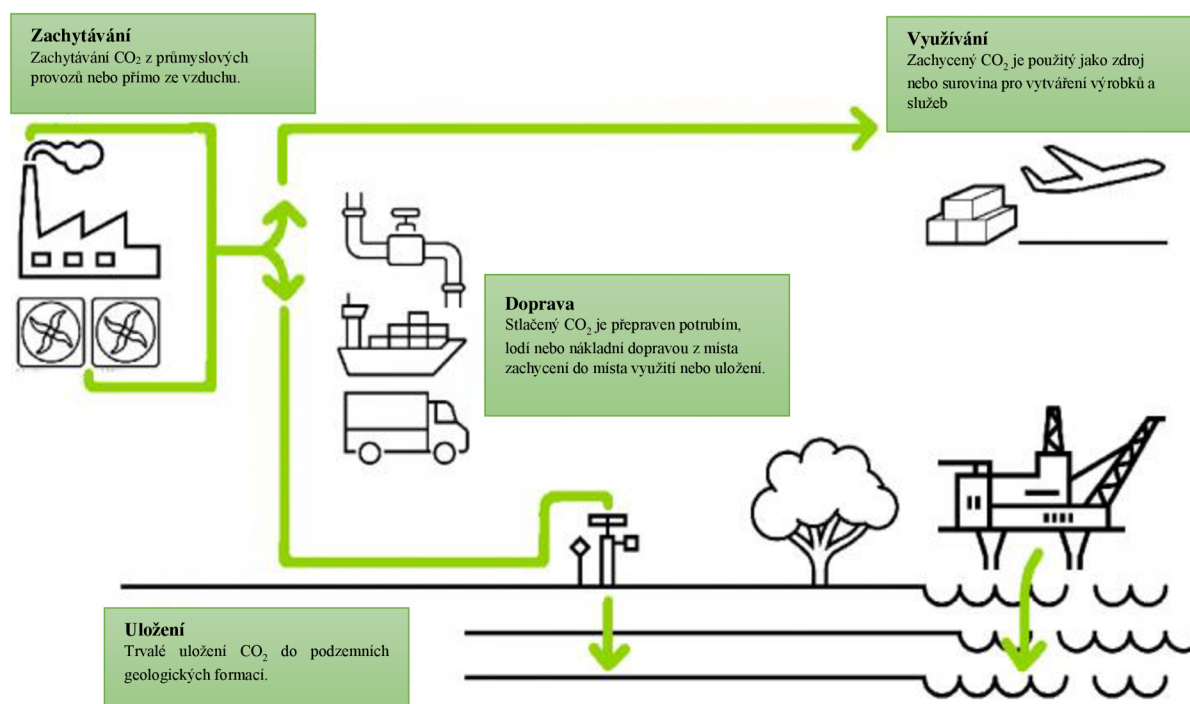
¹¹ Z anglického Energy Performance of Buildings Directive.

5 Potenciální způsoby kompenzace uhlíkové stopy

V této kapitole jsou nastíněny způsoby kompenzace uhlíkové stopy, protože je pravděpodobné, že budou využívány pro ZEVO. Ačkoliv by mělo být v budoucnu udržitelné používat pouze obnovitelné zdroje energie bez dodatečné kompenzace uhlíkové stopy, při současné úrovni technologií toto řešení není dosažitelné. Dle Evropské komise je nutné pro dosažení klimatických cílů EU do roku 2050 přidat další opatření pro snižování uhlíkové stopy, čímž je zejména zachytávání, využívání a ukládání uhlíku [59].

Zachytávání a využívání oxidu uhličitého se označuje jako technologie CCU¹², zatímco zachytávání a uložení oxidu uhličitého jako technologie CCS¹³. Mimo to existuje také bioenergetické zachytávání a uložení oxidu uhličitého BECCS¹⁴.

Existují sektory, které jsou energeticky více náročné. Mezi ně patří například rafinerie, výroba cementu, železa a oceli, celulózy a papíru. V těchto sektorech probíhají technologické procesy, pro které se zatím nepodařilo najít nebo v dostatečné míře aplikovat alternativy s nízkou uhlíkovou stopou. Díky zachycení, používání a skladování uhlíku je možné snížit negativní dopady emisí z těchto sektorů [59]. Na následujícím obrázku 16 je zobrazen obecný princip fungování technologií CCS a CCU. Zachycený oxid uhličitý je dopraven buď do místa využití (jako zdroj nebo surovina) nebo do místa trvalého uložení do podzemních geologických formací.



Obrázek 16 Princip fungování CCS a CCU [59]

¹² Z anglického Carbon Capture and Usage.

¹³ Z anglického Carbon Capture and Storage.

¹⁴ Z anglického Bio-Energy Carbon Capture and Storage.

ZEVO se řadí mezi technologické celky se spalovacím procesem, přičemž hlavním zdrojem uhlíkové stopy je oxid uhličitý, který vzniká při spalování odpadu. Řešením pro výrazné snížení uhlíkové stopy může být zařazení technologie CCS, CCU nebo BECCS [57]. Zda k takovému kroku v budoucnu opravdu dojde, zřejmě závisí na tom, jak přísně bude sankcionována produkce skleníkových plynů, a jak bude finančně dostupné vybudovat zařízení pro CCS nebo CCU.

Dalším významným faktorem je uvažování klimatických benefitů ZEVO. Dle studie čtyř významných společností v sektoru odpadů¹⁵ z roku 2018 má sektor odpadového hospodářství čisté emise 13 Mt CO₂ ekv. Díky ušetřeným emisím, kterým je zamezeno díky využití odpadu, se odhaduje, že čisté emise v roce 2035 budou záporného charakteru, tj. klimatické přínosy budou převyšovat náklady. Konkrétně se čisté emise odhadují jako -137 Mt CO₂ ekv. nebo dokonce -283 Mt CO₂ ekv. Tímto způsobem může sektor odpadů přispívat k naplňování cílů Pařížské dohody [60].

Úspory emisí v sektoru odpadového hospodářství vyplývají zejména z recyklace železných kovů a hliníků, čímž se šetří emise na výrobu primárních materiálů. Dalšího přínosu lze dosáhnout omezením skládkování organického odpadu, jako je papír a bioodpad, čímž dojde k odvrácení rozkladu organických částí na metan [60].

¹⁵ Evropské federace pro odpadové hospodářství (FEAD), Evropské konfederace spaloven (CEWEP), RDF Industry Group, Nizozemské odpadové asociace (DWMA)

6 Přístupy k výpočtu uhlíkové stopy budov

Rámcovým postupem výpočtu uhlíkové stopy budov se zabývá evropská norma EN 15978 [1] a také dokumenty vydané v rámci jednotlivých států, například Ministerstvem životního prostředí Finska [61] a Královským institutem diplomovaných znalců ve Velké Británii [62]. Alternativním přístupem je GHG protokol [63]. Přístupy Finska a Velké Británie byly vybrány pro svoji podrobnou interpretaci normy EN 15978. V této kapitole jsou rozebrány doporučované postupy a případné odlišnosti.

Nejpodrobněji je popsána norma ČSN EN 15978, protože z ní vychází další přístupy. Informace o přístupech k výpočtu uhlíkové stopy budov jsou důležité pro návrh a zpracování vlastního výpočtu, takže mají přímou návaznost na praktickou část této diplomové práce. Je důležité porozumět účelu posuzování, sledu doporučovaných kroků výpočtu, hranicím systému a rozdělení životního cyklu na jednotlivé moduly. O tyto informace se bude opírat i vlastní výpočet uhlíkové stopy ZEVO. Díky znalosti hranic systému je možné stanovit hranice systému ve vlastním výpočtovém modelu, z čehož vyplývá, jaké podklady jsou potřebné k provedení výpočtu. Znalost modulů životního cyklu umožňuje výpočet uhlíkové stopy rozčlenit a zařadit k odpovídajícím modulům.

6.1 Výpočet dle ČSN EN 15978

V normě ČSN EN 15978 je stanovena výpočtová metoda pro posouzení environmentálních vlastností budovy, která vychází z posuzování životního cyklu (LCA), přičemž vstupní data mohou být čerpána z environmentálních prohlášení o produktu (EPD). Norma se zabývá následujícím [1]:

- popisem předmětu posuzování,
- hranicí systému platnou na úrovni budovy,
- postupem pro inventarizační analýzu,
- seznamem indikátorů a postupy pro jejich výpočet,
- požadavky na prezentaci výsledků při vytváření zpráv a jejich sdělováním,
- požadavky na vstupní data pro výpočet.

Uhlíková stopa, udávaná jako GWP v kg CO₂ ekv., patří mezi indikátory popisující environmentální dopady, které jsou řešeny v normě. Postup posuzování environmentálních vlastností, který je v normě aplikován, je zobrazen na obrázku 17. Popsané kroky zajistí shromáždění potřebných informací, jejich zpracování dle normy a dokončení výpočtu. Jednotlivé kroky odpovídají kapitolám 6-13 v normě [1].

6.1.1 Účel posuzování

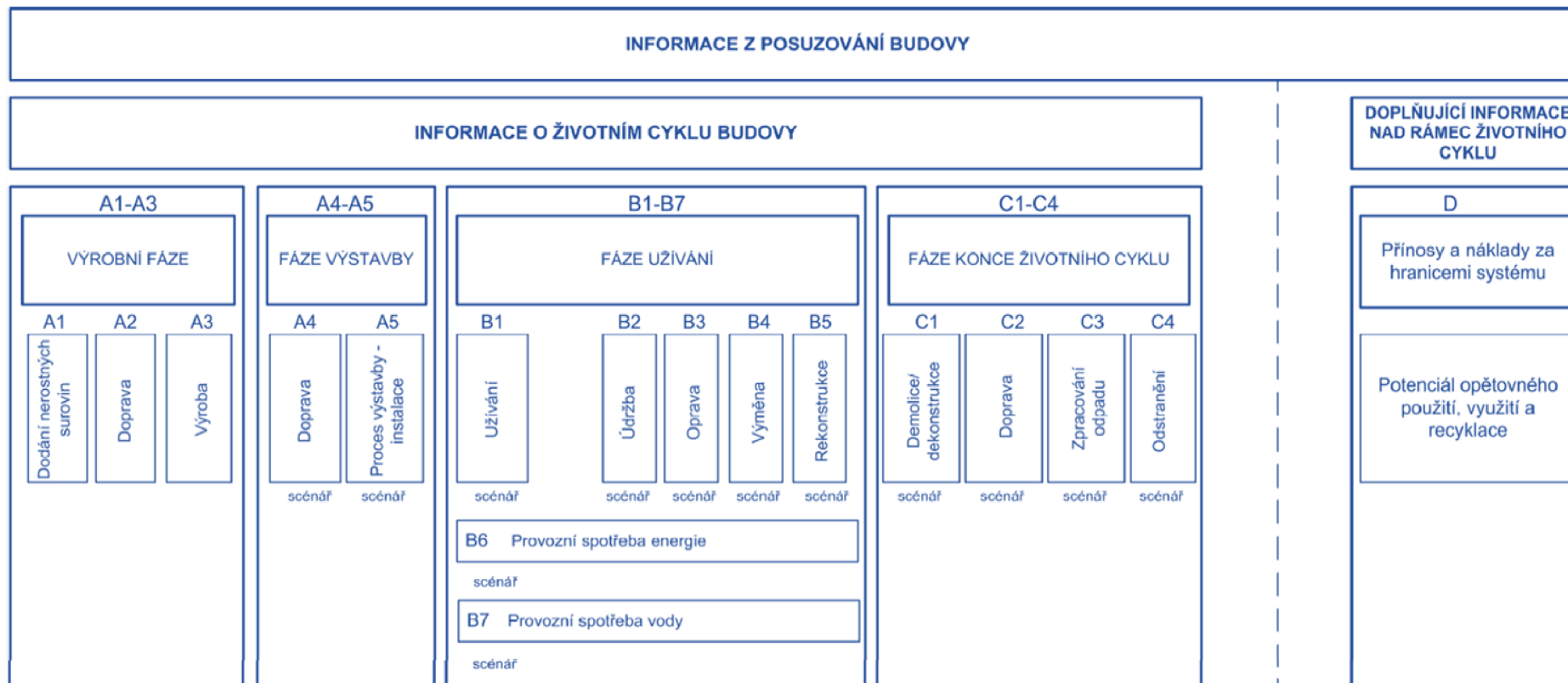
Cílem posuzování je určení environmentálních vlastností. Před zahájením výpočtu musí být stanoven rozsah posuzování dle předpokládaného využití, čímž je určena požadovaná úroveň podrobností vstupních dat. Výpočtová metoda však zůstává stále stejná. V normě jsou uvedeny následující možnosti využití výsledků výpočtu [1]:

- podpora během rozhodování, např. porovnání environmentálních vlastností různých variant návrhu; renovace, rekonstrukce nebo nové konstrukce; zjištění potenciálu pro vylepšení environmentálních vlastností;
- prohlášení o vlastnostech pro naplnění požadavků právních předpisů;
- dokumentace vlastností pro certifikaci, prohlášení o environmentálních vlastnostech, značení štítkem, marketing;
- podpora vývoje politik.



Obrázek 17 Vývojový diagram procesů pro posuzování environmentálních vlastností [1]

Důležitou součástí výpočtu je rozdělení dopadů na jednotlivé moduly životního cyklu, které jsou uvedeny na obrázku 18. Tyto fáze životního cyklu budov budou blíže popsány v rámci rozebírání hranic systému. Ve výpočtovém modelu jsou obsaženy všechny předchozí i následné procesy nutné k zajištění funkce budovy, od těžby surovin až po jejich odstranění, včetně přesahů za hranice systému jak na začátku a v průběhu, tak i na konci životního cyklu budovy.



Obrázek 18 Moduly životního cyklu budovy [1]

Pro lepší názornost je uveden ilustrační obrázek 19, pro který může sloužit jako legenda obrázek 18.



Obrázek 19 Ilustrační obrázek životního cyklu budovy [15]

6.1.2 Specifikace předmětu používání

V normě je uvedeno, že „předmětem posuzování je budova včetně základů a venkovních úprav v rámci ohraničení pozemku budovy v průběhu celého životního cyklu. Ohraničení charakterizující pozemek musí být konzistentní s popisem a předpokládaným využitím budovy.“ [1] Dle této definice se dá k budově přiřadit i technologický celek, kterým je právě ZEVO posuzované v této práci. Naopak předmětem posuzování nejsou trvalé stavby mimo pozemek, např. infrastruktura související s dodávkami vody nebo energie [1].

6.1.3 Funkční ekvivalent

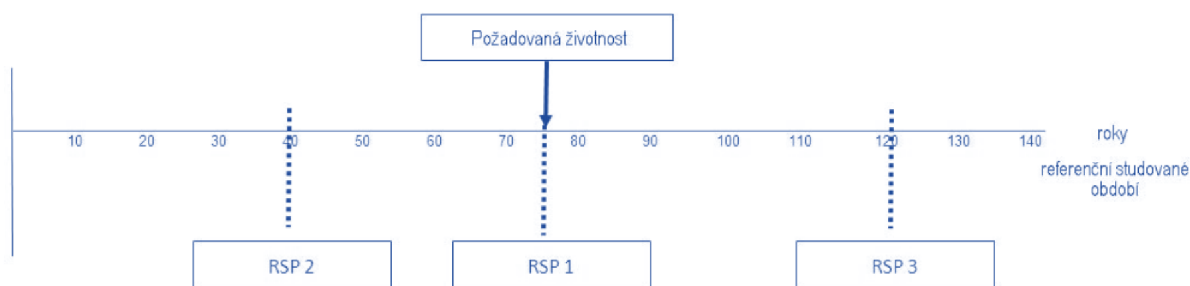
Pro specifikaci budov je důležitý tzv. funkční ekvivalent budovy, protože díky funkční ekvivalenci mohou být budovy transparentně porovnávány. Funkční ekvivalent obsahuje minimálně následující informace [1]:

- typ budovy (administrativní, továrna),
- technické a funkční požadavky (vyplývající z právních předpisů nebo z požadavků objednatele),
- způsob užívání (např. obsazenost),
- požadovaná životnost.

Pokud nelze použít funkční ekvivalent, např. existují varianty návrhu pro různé typy budov na stejném pozemku, lze porovnat budovy dle společné referenční jednotky. Tou může být například kg CO₂ ekv. na m², za rok, na jednoho zaměstnance, za místnost a rok, za m² a rok apod. [1]

6.1.3.1 Referenční studované období

Dalším důležitým parametrem v normě ČSN EN 15978 je referenční studované období (RSP¹⁶). Hodnota RSP se nejdříve volí jako požadovaná životnost (ReqSL¹⁷) a případné odchylky od této hodnoty musí být odůvodněny. Možné vztahy referenčního studovaného období a požadované životnosti jsou zobrazeny na obrázku 20.



Obrázek 20 Referenční studované období a požadovaná životnost [1]

V nejjednodušší variantě výpočtu je hodnota pro referenční studované období shodná s požadovanou životností, tzn. $RSP/ReqSL = 1$. Pokud je RSP kratší než ReqSL, tak je nutno snížit hodnoty dopadů pro moduly B a D, jak je uvedeno na obrázku 21, přičemž faktor násobení je poměr $RSP/ReqSL$. Pokud je RSP delší než ReqSL, tak je nutné přidat scénáře pro rekonstrukci nebo demolici a výstavbu ekvivalentní nové budovy [1].

Vypočítané hodnoty pro výrobní fázi (moduly A1, A2, A3), fázi výstavby (moduly A4, A5) a fázi na konci životního cyklu (moduly C1, C2, C3, C4) jsou vždy nezávislé na hodnotě délky RSP. Oproti tomu pro dopady fáze užívání hraje roli, jak dlouho je budova používána, tedy RSP, proto jsou moduly B1-B7 upraveny, jak bylo popsáno výše.

Přínosy a náklady za hranicemi systému (modul D) se také mohou lišit dle RSP, pokud jsou odvozené z provozu budovy, což odpovídá modulu D_B [1]. Jako příklad lze uvést provozování fotovoltaické elektrárny, která by dodávala elektřinu do sítě. Jedná se o přínos za hranicí budovy, proto by se exportovaná elektřina vyčíslila v modulu D. Konkrétně se zařazení dá specifikovat jako modul D_B , protože celkové množství exportované energie závisí na délce provozu budovy, tj. za předpokladu, že energie bude exportována po stejnou dobu jako je provozována budova.

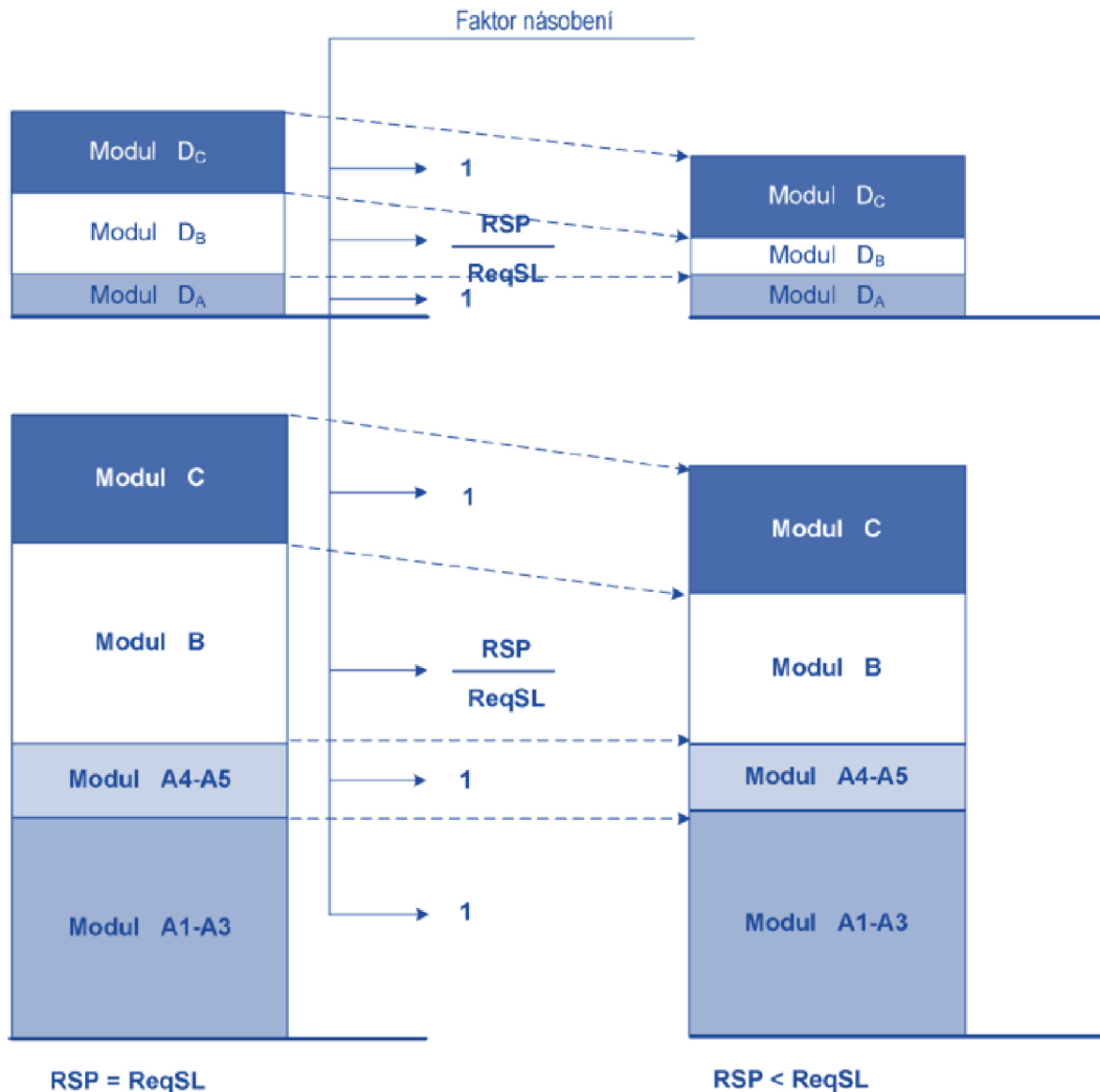
6.1.3.2 Hranice systému

Obecně se hranice systému dělí na fyzické a časové. Fyzické hranice systému určují, které části budov budou zahrnuty do posuzování. Stanovením časových hranic systému jsou určeny procesy, které jsou zahrnuty ve výpočtovém modelu. Pro novou budovu musí být v modelu obsažen celý životní cyklus, tj. moduly A, B, C, viz obrázek 18. Pro existující budovu musí být brány v úvahu všechny fáze související se zbývajícím životností (moduly B) a fáze konce životního cyklu budovy (moduly C).

¹⁶ Z anglického Reference study period.

¹⁷ Z anglického Required service life.

Moduly A1 až C4 souvisí s procesy a činnostmi, které se uskutečňují v rámci hranice systému budovy. V modulu D jsou zařazeny čisté přínosy vlivem exportované energie a druhotných surovin, druhotných paliv nebo druhotných výrobků vznikajících z opětovného použití, recyklace a energetického využití za hranicemi systému (mimo budovu) [1]. Hranice modulů jsou dále popsány níže.



Obrázek 21 Způsob úpravy kvantifikovaných dopadů pro RSP kratší než ReqSL [1]

V rámci **výrobní fáze** (moduly A1, A2, A3) jsou obsaženy procesy tzv. „od kolébky po bránu“ pro materiály a služby použité při výstavbě. Jedná se zejména o těžbu nerostných surovin (**A1**), dopravu materiálu (**A2**) a výrobu součástek a sestav (**A3**). Přesná pravidla jsou uvedena v normě ČSN EN 15804 (Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů), která se zabývá tvorbou EPD [1].

Fáze výstavby (moduly A4, A5) pokrývá procesy od brány výroben stavebních výrobků až po dokončení stavebních prací. Skládá se z dopravy na a ze staveniště (modul A4) a instalace stavby (modul A5) [1].

V modulu **A4** je řešena doprava materiálů a výrobků z a na staveniště včetně skladování a distribuce a také doprava stavebního zařízení (jeřáby, lešení). Do uhlíkové stopy (či jiného environmentálního dopadu) jsou zahrnuty i ztráty při přepravě, např. poškozené nebo ztracené výrobky [1].

V modulu **A5** musí být započteny následující procesy [1]:

- zemní práce a terénní úpravy,
- skladování včetně zjištění potřebných podmínek,
- doprava v rámci staveniště,
- dočasné práce pro výstavbu,
- výroba a zpracování výrobků na staveništi,
- vytápění, chlazení, větrání, úprava vlhkosti atd. v průběhu výstavby,
- instalování výrobků do budovy včetně pomocných materiálů nezahrnutých v EPD výrobku, např. bednění vyřazené na konci projektu,
- spotřeba vody na chlazení stavebních strojů nebo úklid staveniště,
- procesy nakládání s odpady ze staveniště včetně přepravy ze staveniště,
- výroba, přeprava a nakládání s odpady týkající se výrobků a materiálů ztracených v průběhu procesu výstavby a instalace.

Fáze užívání (moduly B1-B7) představuje období provozu budovy, tj. od dokončení stavebních prací až po dekonstrukci nebo demolici budovy. Pro fázi užívání jsou hodnoceny stavební výrobky a služby pro ochranu, udržování, změny nebo regulaci stavby, mezi což spadá např. vytápění, chlazení, osvětlení, zásobování vodou, doprava uvnitř budovy (výtahy), zajištění úklidu, provozu a výměny přístrojů [1].

V rámci fáze užívání mají být posouzeny dopady a aspekty integrovaného technického zařízení budovy a vybavení, které přímo souvisí s budovou. Jde o výrobky pevně spojené s budovou, jejichž demontáž nebo výměna by způsobila nutnost stavební činnosti. Naopak z posouzení jsou vyřazeny spotřebiče, vybavení, příslušenství a zařizovací předměty, které s budovou přímo nesouvisí. Avšak tyto dopady mohou být určeny a prezentovány odděleně. Jedná se například o zábavní elektroniku, pračky, ledničky, sporáky, vařiče, kancelářskou elektroniku a průmyslové vybavení [1].

Modul **B1** se týká užívání instalovaných výrobků a pokrývá dopady a aspekty vyplývající z očekávaných podmínek užívání prvků budovy. Jako příklad lze uvést uvolňování látek z fasády, střechy, podlahové krytiny a dalších vnitřních i vnějších povrchů [1].

Modul **B2** se zabývá údržbou, přičemž zahrnuje související náčiní i procesy. Do této skupiny se řadí výroba a přeprava komponent a pomůcek používaných při údržbě, všechny úklidové procesy v interiéru nebo exteriéru budovy, všechny procesy pro udržení funkčních i technických vlastností konstrukce budovy a integrovaných technických zařízení budovy včetně zajištění estetické kvality prvků interiéru i exteriéru budovy. Jedná se například o nátěr

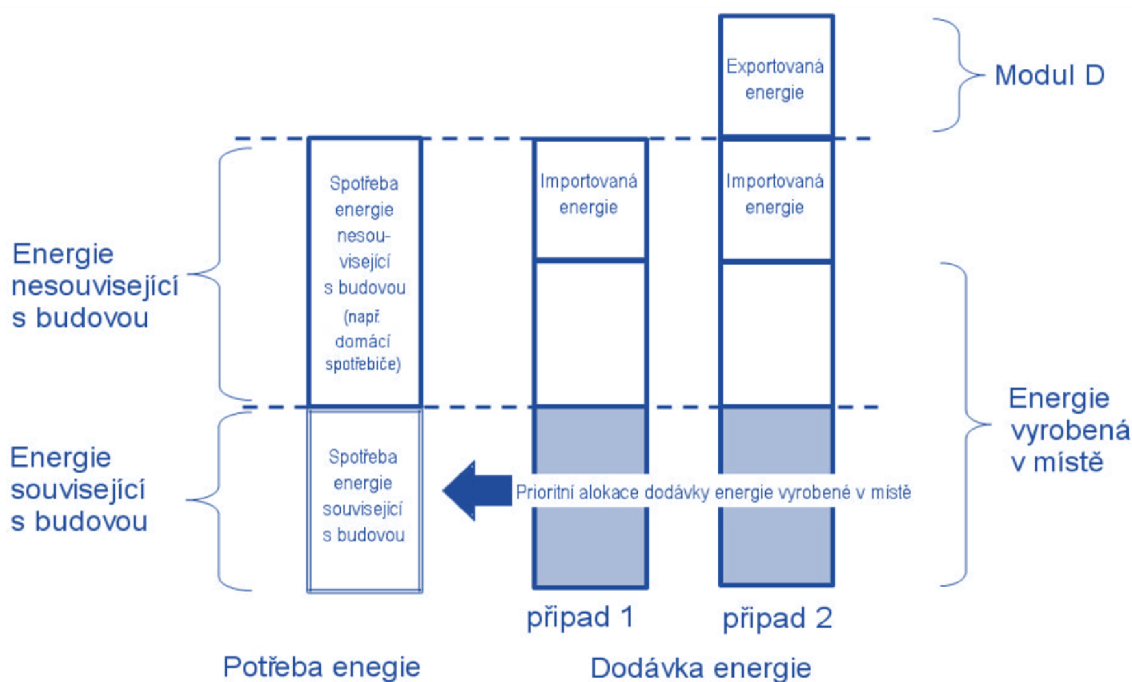
okenních rámců a dveří, kontrolu a údržbu kotle a výměnu filtrů rekuperační nebo klimatizační jednotky [1].

Modul **B3** zahrnuje opravu (během fáze užívání budovy) a všechny procesy s ní spojené. Jedná se o výrobu opravovaných součástí a pomocných výrobků, přepravu včetně ztracených materiálů, proces opravy, nakládání s odpady z odstraněných prvků a pomocných výrobků, popř. fáze konce životního cyklu odstraněných částí. V modulu **B4** je řešena výměna prvků budov analogicky k modulu B3. Modul **B5** se zabývá rekonstrukcí a pojetí hranic systému je velmi podobné modulům B3 a B4 [1].

Modul **B6** je určen pro provozní spotřebu energie, tj. energii spotřebovanou integrovanými technickými zařízeními budovy během jejího provozu, což souvisí s [1]:

- vytápěním,
- dodávkou teplé vody,
- klimatizací,
- větráním,
- osvětlením,
- pomocnou energií pro čerpadla, regulační systém a automatizaci,
- dalšími integrovanými technickými zařízeními budovy (např. výtahy, bezpečnostní instalace, komunikační systémy).

V modulu B6 je určena jak energie importovaná pro potřeby budovy, tak energie exportovaná do jiných budov nebo distribuční energetické sítě, např. do elektrické nebo tepelné sítě. Na obrázku 22 je naznačena alokace provozní energie. Energie vyrobená v místě je přednostně určena pro spotřebu energie související s budovou. Nedostatek energie je pokryt importem, zatímco přebytek energie je exportován.



Obrázek 22 Alokace vyrobené, importované a exportované energie v rámci budovy [1]

Do posouzení v modulu B6 jsou zahrnuty všechny jednotky pro výrobu energie na pozemku budovy, např. fotovoltaické články, větrné mlýny, tepelná čerpadla a plynové kotle. Do modulu B6 je také zahrnuta environmentální zátěž pro výrobu exportované energie. Vzhledem k tomuto faktu je uvažováno, že exportovaná energie opouští hranici systému bez environmentální zátěže a je uvedena jako čistý environmentální přínos exportované energie za hranici systému budovy v modulu D.

K modulu B7 je přiřazena provozní spotřeba vody při běžném provozu budovy. Jedná se o procesy zajišťující pitnou vodu, užitkovou vodu, teplou vodu, zavlažování, vodu pro vytápění, chlazení, větrání a zvlhčování, popř. další zařízení jako fontány, bazény a sauny. Voda, která souvisí s budovou nepřímo (např. myčky nádobí, pračky) musí být uvedena zvlášť, pokud je zahrnuta do posuzování.

Fáze konce životního cyklu (moduly C1-C4) začíná vyřazením budovy z provozu a končí, až jsou z místa stavby odstraněny všechny komponenty a materiály k odstranění určené, čímž je místo stavby připraveno pro budoucí opětovné použití.

Modul C1 je charakterizován dekonstrukcí budov včetně demontáže a demolice. Modul C2 je vymezen přepravou na místo odstraňované budovy včetně přepravy odpadu na a z místa zpracování. Jedná se o dopady z přepravy až do stavu, kdy tzv. odpad přestává být odpadem. Dle normy jsou veškeré stavební výrobky, materiály a stavební prvky opouštějící budovu nejprve považovány za odpad. Stav, kdy odpad přestává být odpadem může nastat, pokud využitý materiál, výrobek nebo stavební prvek:

- je běžně používán pro specifické účely (funkce výrobku, materiálu, vstup pro výrobu jiného výrobku či energie),
- je tržně poptáván, což je rozpoznatelné např. pozitivní hospodářskou hodnotou,
- splňuje technické požadavky pro specifické účely a vyhovuje stávajícím právním předpisům a normám pro výrobky,
- nezpůsobuje svým využitím celkově nepříznivé dopady na životní prostředí nebo lidské zdraví.

Modul C3 zahrnuje opětovné použití, využití nebo recyklaci, tj. zpracování odpadu. Modul C4 se zabývá environmentálními náklady pro odstranění materiálů (neutralizace, spalování, skládkování apod.). Jakékoliv environmentální přínosy z exportované energie musí být uvedeny v modulu D, přičemž mohou být založeny na průměrné existující technologii, současné praxi nebo čistých dopadech. Čisté dopady vznikají při recyklaci, což je definováno jako jakýkoliv proces využití, při kterém je odpad znovu zpracováván na výrobky, materiály nebo látky (ať už pro původní či jiné účely). Když je primární výroba nahrazena recyklací, tak se čisté dopady určí jako dopady spojené s procesem recyklace snížené o dopady výroby nahrazovaného primárního produktu.

6.1.4 Model budovy

Model budovy slouží ke kvantifikaci hmotnostních a energetických toků. Budova je rozdělena na:

- součásti (všechny stavební prvky, komponenty, výrobky a materiály),

- související procesy (doprava, výstavba, údržba, oprava, výměna, procesy na konci životního cyklu),
- provozní spotřeby (energie, voda).

Úroveň detailů závisí na cíli, rozsahu posuzování a dostupnosti dat. V normě je uveden přehled fyzických charakteristik, mezi něž patří např. základy, stěny, okna apod, které by měly být zahrnuty v modelu. K fyzickým charakteristikám je dále nutno přidat charakteristiky časové, např. referenční studované období, životnost, frekvence výměny, pracovní dobu a způsob využívání. Časové charakteristiky jsou vypracovány do scénářů, které buď vychází z předpokladů, nebo ze skutečných informací o fázích výstavby, provozu, konce životního cyklu i nákladech a přínosech nad rámec systému budovy.

6.1.5 Výpočet indikátorů environmentálních dopadů

V normě je uvedeno sedm indikátorů popisujících environmentální dopady:

- potenciál globálního oteplování,
- potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy,
- potenciál acidifikace půdy a vody,
- potenciál eutrofizace,
- potenciál tvorby fotochemických oxidantů přízemního ozonu,
- potenciál úbytku zdrojů surovin pro prvky,
- potenciál úbytku zdrojů surovin pro fosilní paliva.

Pro tuto diplomovou práci je klíčový indikátor potenciálu globálního oteplování (GWP), který má jednotku kg CO₂ ekv. Jedná se v podstatě o uhlíkovou stopu budovy za celý životní cyklus, kterou lze vypočítat pomocí následující rovnice:

$$GWP_i = a_{1,i} \times GWP_{a1,i} + a_{2,i} \times GWP_{a2,i} + a_{3,i} \times GWP_{a3,i} + \dots + a_{N,i} \times GWP_{aN,i} \quad (1)$$

kde příslušné symboly mají následující význam:

GWP_i potenciál globálního oteplování vyčíslený pro modul i budovy,

$a_{n,i}$ hrubé množství výrobku nebo služby n použitých v modulu i budovy
($n=1,2,3,\dots, N$),

$GWP_{aN,i}$ potenciál globálního oteplování výrobku nebo služby n , použitých v modulu i budovy ($n=1,2,3,\dots, N$).

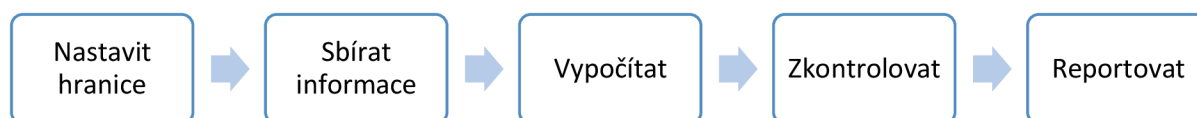
Ostatní indikátory se počítají analogicky, nicméně v této diplomové práci nebudou předmětem posuzování.

6.2 Přístup Finska

Finsko chce dosáhnout uhlíkové neutrality do roku 2035, tedy ještě o 15 let dříve než plánuje EU. Posuzování životního cyklu budov má ve Finsku dlouhou tradici a nový dokument ministerstva životního prostředí Finska o metodě pro výpočet uhlíkové stopy na ni navazuje. Metodika výpočtu vychází z přístupu Evropské komise vyjádřeného na platformě Level(s),

evropských norem o udržitelných stavbách EN 15643, EN 15978 a EN 15804 (které již byly dříve zmíněny v kapitole 4.5 Technické normy), a vědeckých poznatků [61]. Nicméně zatím se jedná o pilotní verzi metodiky, která může být dle zpětné vazby upravena.

Hlavní fáze výpočtu dle přístupu Finska jsou uvedeny na obrázku 23. Popis metodiky je členěn na výpočet uhlíkové stopy materiálů, energie, dopravy a výstavby. Princip je velmi podobný normě ČSN EN 15978. Hlavní odlišností oproti normě ČSN EN 15978 a běžným LCA postupům je koncept tzv. carbon handprint¹⁸, což je možné chápat jako prospěšnou uhlíkovou stopu. Carbon handprint zahrnuje klimatické benefity během životního cyklu budov, které by nenastaly, pokud by projekt neexistoval. Jako příklad lze uvést ušetřené emise skleníkových plynů díky opětovnému použití částí budovy nebo recyklaci (modul D), přebytek obnovitelné energie vyrobené na pozemku nebo v budově (modul B), biogenní uhlík uložený ve staveních materiálech a atmosférický oxid uhličitý, který se váže během životního cyklu budovy (moduly A-C).

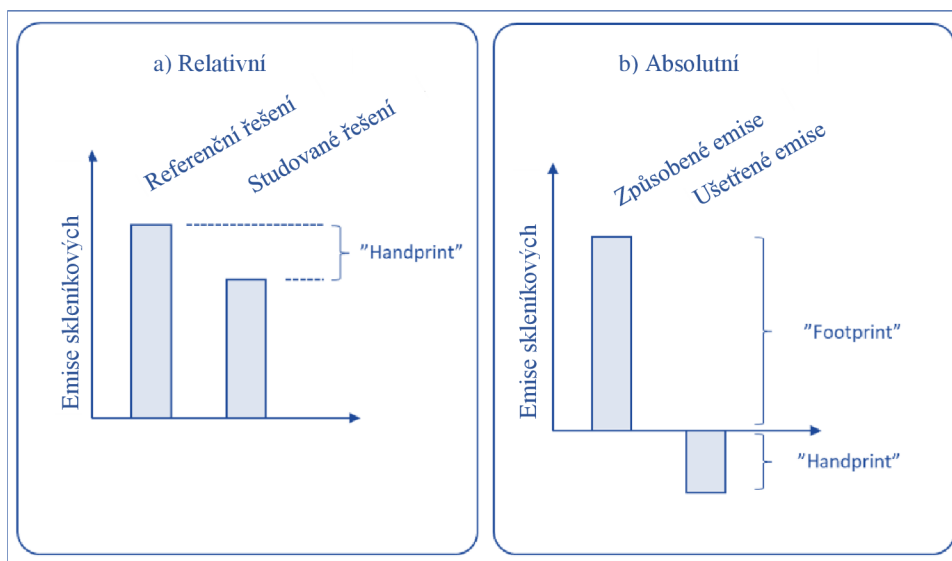


Obrázek 23 Kroky výpočtu uhlíkové stopy za celý životní cyklus dle přístupu Finska [61]

Výstupy posuzování životního cyklu budov jsou uhlíková stopa (carbon footprint) a prospěšná uhlíková stopa (carbon handprint). Údaje za celý životní cyklus se podělí vytápěnou plochou budovy a délkou referenčního studovaného období. Uhlíková stopa je vyjádřena jako celé kladné číslo v jednotkách $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{rok}$. Prospěšná uhlíková stopa je uvedena jako celé záporné číslo v jednotkách $\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2/\text{rok}$. Ovšem tyto údaje mají být uváděny odděleně a v žádném případě se nemají odečítat. Mimo to lze uvést i další environmentální či sociální dopady, nicméně jejich výčet není explicitně vyjádřen.

Existují dva přístupy, jak se dá uvažovat prospěšná uhlíková stopa, což je znázorněno na obrázku 24. Dle přístupu a) relativní handprint je hodnoceno jako redukce vůči běžné praxi na trhu nebo jinému referenčnímu řešení. Nevýhodou tohoto přístupu je, že dané referenční řešení je platné pouze v okamžiku posuzování a vzhledem ke dlouhému životnímu cyklu budov se referenční hodnota může stát zastaralou. Proto je ve finském přístupu použit koncept b) absolutní handprint, kde jsou způsobené emise reportovány jako footprint (uhlíková stopa) a ušetřené emise jako handprint (prospěšná uhlíková stopa).

¹⁸ Doslovný překlad je uhlíkový otisk ruky.



Obrázek 24 Relativní a absolutní „handprint“ (prospěšná uhlíková stopa) [64]

6.3 Přístup Velké Británie

Profesionální prohlášení o posuzování uhlíkové stopy za celý životní cyklus vydaný Královským institutem diplomovaných znalců Velké Británie si klade za cíl konkretizovat požadavky normy ČSN EN 15978 a napomoci k její interpretaci a praktické implementaci. Toto profesionální prohlášení lze aplikovat na všechny typy budov včetně infrastrukturních staveb. Základní postup výpočtu je popsán na obrázku 25.



Obrázek 25 Kroky výpočtu uhlíkové stopy za celý životní cyklus dle přístupu Velké Británie [62]

Přístup Velké Británie se značně podobá normě ČSN EN 15978, ze které vychází. Oproti normě se mimo uhlíkovou stopu pro jednotlivé moduly životního cyklu navíc zavádí pojem zabudovaný uhlík, který je vysvětlen v tabulce 6.

Tabulka 6 Zabudovaný uhlík dle přístupu Velké Británie [62].

Označení uhlíkové stopy	Vysvětlení
zabudovaný uhlík po výstavbu	Z anglického „embodied carbon to practical completion“, lze označit jako PC-CO ₂ e. Zahrnuje fáze životního cyklu A1-A5 [62].
zabudovaný uhlík za celý životní cyklus	Z anglického „embodied carbon over the life cycle“, lze označit jako LC-CO ₂ e. Zahrnuje fáze životního cyklu A1-A5, B1-B5, C1-C4 [62].
uhlík za celý životní cyklus	Z anglického „whole life carbon“, lze označit jako WL-CO ₂ e. Zahrnuje fáze životního cyklu A, B, C a D, přičemž by měly být reportovány odděleně [62].

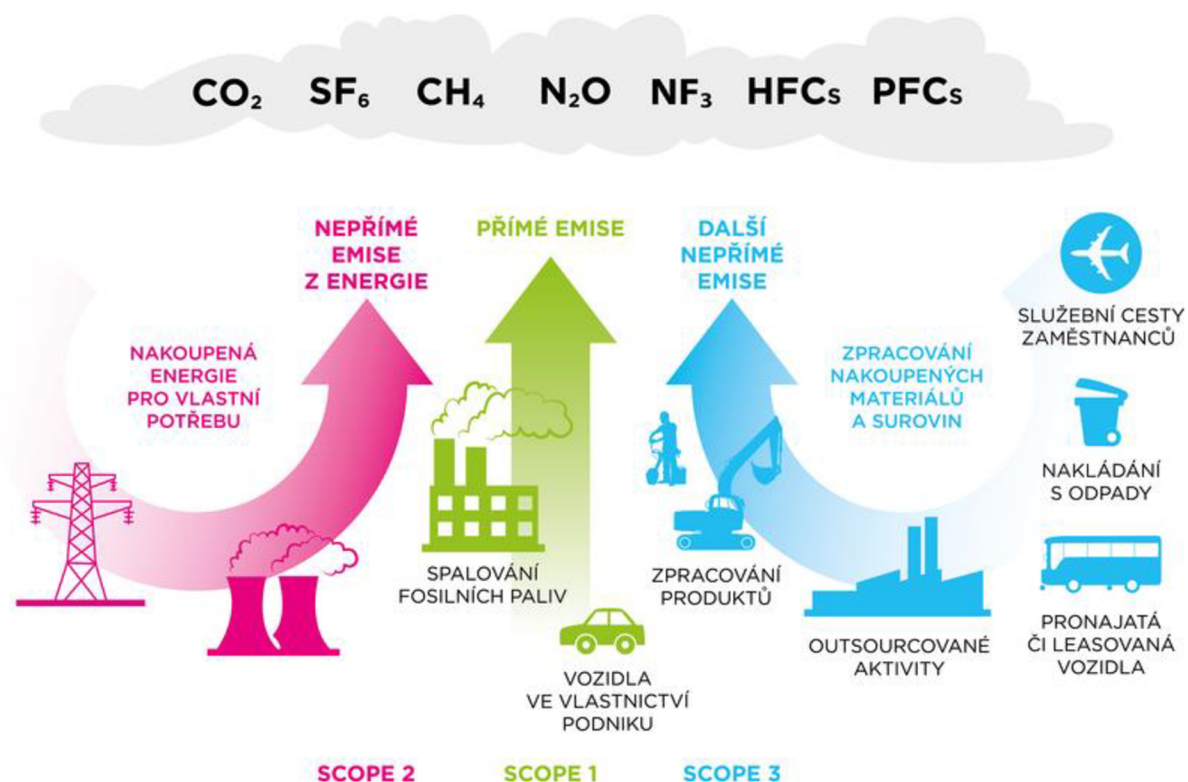
6.4 GHG protokol

GHG protokol je alternativní přístup k řízení emisí skleníkových plynů, který je aplikovatelný pro určení uhlíkové stopy firem. Dle GHG Protokolu jsou emise skleníkových plynů rozděleny do tří skupin, tzv. Scope [65], [66].

Scope 1 označuje přímé emise, které vznikají v důsledku aktivit podniku, mezi něž patří spalování fosilních paliv v dopravních prostředcích podniku a stacionární zdroje emisí z technologií vlastněných podnikem, např. z kotlů, ze zpracování odpadu či čistíren odpadních vod [63].

Scope 2 zahrnuje nepřímé emise z energie, které jsou spojeny s nákupem energie, tudíž nevznikají přímo v podniku, ale jsou důsledkem činnosti podniku. Podnik tyto zdroje přímo nekontroluje, ale má zásadní vliv na jejich velikost [63].

Scope 3 doplňuje další nepřímé emise, jenž vznikají ze zdrojů mimo kontrolu i vlastnictví podniku a nejsou uvedeny ve Scope 2. Jedná se například o cestování letadlem na služební cestu, uložení odpadu na skládku či využití služeb třetích stran. Tato oblast emisí není zcela přesně vymezená, což vede k tomu, že jsou výsledky napříč podniky porovnatelné jen v omezené míře [63]. Tento přístup je uveden pouze z informativních důvodů, ale nebude použit pro členění vlastního modelu.



Obrázek 26 Schématické znázornění emisí skleníkových plynů dle GHG Protokolu [63]

6.5 Porovnání přístupů hodnocení uhlíkové stopy

V této podkapitole jsou shrnuty stejné prvky i rozdíly přístupů k hodnocení uhlíkové stopy. Toto shrnutí je užitečné pro tvorbu vlastního výpočtového modelu, protože stejné prvky budou zachovány, zatímco u rozdílů bude provedeno zamyšlení nad volbou přístupu. Postup v normě ČSN EN 15978 je napsán obecně, zatímco dokumenty WLC Finska a Velké Británie konkretizují některé volitelné parametry výpočtu, což vede k určitým odlišnostem.

Norma ČSN EN 15978, přístup Finska i Velké Británie používají stejné členění životního cyklu, tj. fáze A, B, C, D a příslušné moduly A1-A5, B1-B7, C1-C4 a D. Účel posuzování i rozsah jsou podobné. Hodnocení je aplikovatelné jak pro existující, tak pro nové budovy. Rozdíly jsou shrnuty v tabulce 7.

Tabulka 7 Porovnání rozdílů v ČSN EN 15978, přístupu k WLC Finska a Velké Británie [1], [61], [62].

	ČSN EN 15978	WLC Finsko	WLC Velká Británie
Míra konkretizace	Obecné principy výpočtu bez konkrétních hodnot koeficientů	Konkrétní data pro uhlíkovou stopu systémů budovy, typická měrná data uhlíkové stopy některých modulů, data prognózy dekarbonizace elektřiny, tepla a chlazení	Odhadovaná životnost částí budovy, typická dopravní vzdálenost
Členění dokumentu	Moduly životního cyklu	Materiály, energie, doprava a výstavba	Moduly životního cyklu
Jednotka uhlíkové stopy	kg CO ₂ ekv., popř. referenční jednotka kg CO ₂ ekv. na m ² , za rok, na jednoho zaměstnance, za místnost a rok, za m ² a rok apod.	kgCO ₂ e/m ² /rok	kg CO ₂ e pro celkový výsledek a dle typu projektu normalizace, např. kgCO ₂ e/m ² , kgCO ₂ e/m ³ , kgCO ₂ e/km, kgCO ₂ e/kWh
Vzorec pro výpočet GWP	Uveden	Neuveden	Neuveden
Vykazování klimatických přínosů	Modul D	„Carbon handprint“ pro klimatické přínosy během životního cyklu, modul D pro přínosy po skončení životního cyklu budovy	Modul D
Výpis, co není zahrnuto do posouzení	Explicitně neuvedeno	Uvedeno	Explicitně neuvedeno

6.5.1 Zahrnuté typy budov

Srovnání zahrnutých typů budov je uvedeno v tabulce 8. Severské státy do posuzování budov zahrnují i průmyslové objekty. Dle platformy Evropské komise pro posuzování udržitelnosti budov, Level(s), zatím spadají do hodnocení pouze rezidenční a kancelářské budovy. To může implikovat, že posuzování průmyslových budov zatím není třeba řešit, ale opak je pravdou. Dle Evropské federace pro odpadové hospodářství (FEAD) bude posouzení ZEVO rozhodující v tom, zda bude zařazeno do systému obchodování s emisními povolenkami EU ETS [67].

V současnosti je zařazení či nezařazení ZEVO do EU ETS předmětem diskuzí a bude nutné provést podrobnější posouzení dopadů ZEVO na celý řetězec nakládání s odpady. Termín pro vypracování posouzení dopadů ZEVO je dle návrhu Evropského parlamentu stanoven do 31. prosince 2025. Dle závěrů posouzení může následovat začlenění ZEVO do EU ETS k 1. lednu 2028. FEAD upozorňuje, že energetické využívání odpadů hraje klíčovou roli pro cirkulární ekonomiku, jelikož bezpečně zpracovává odpady, jejichž vzniku nelze předcházet a nelze je recyklovat. ZEVO dále šetří emise CO₂ ve srovnání s elektřinou a teplem vyráběných z fosilních paliv [67].

Tabulka 8 Porovnání zahrnutých typů budov do posuzování životního cyklu dle konceptů severských států a EU [64].

	Rodinný dům	Rezidenční	Kancelářské	Maloobchody a restaurace	Školy	Nemocnice	Hotely	Průmyslové	Sportovní
Dánsko	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Finsko	?	x	x	x	x	x	x	x	x
Island	?	x	x	x	x	x	x	x	x
Norsko	?	x	x	x	x	x	x	x	x
Švédsko	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Level(s)		x	x						

Význam zkratk: x = zahrnuto, ? = zvažováno

6.5.2 Časové hranice systému

Časové hranice systému určují, které fáze životního cyklu budovy jsou zahrnuty do modelu, což je znázorněno v tabulce 9. Dle podrobnosti lze dělit posouzení životního cyklu na LCA screening, zjednodušené LCA a kompletní LCA. LCA screening zahrnuje fáze A1, A2, A3, B6 a B7. Zjednodušené LCA obsahuje vše předchozí a navíc ještě B4, C3, C4 a D. Kompletní LCA samozřejmě obsahuje všechny fáze životního cyklu [68].

Tabulka 9 Porovnání časových hranic systémů životního cyklu dle posuzování a konceptů severských států a EU [64].

	Výroba			Výstavba		Užívání							Konec životního cyklu				Za hranicí systému
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Dánsko	x	x	x						x		x				x	x	
Finsko	x	x	x	x	x			x	x		x		x	x	x	x	x
Island	x	x	x	x	x			?	?	?	?	?			x	x	
Norsko	x	x	x	?	?			?	?	x	x						
Švédsko*	x	x	x	x	x												
Level(s)	L1	L1	L1	L2	L2	L2	L2	L2	L1	L1	L1	L2	L2	L2	L1	L1	L1

Význam zkratk: x = zahrnuto, ? = zvažováno, L1, L2, L3 = úrovně posuzování 1, 2, 3

*Švédsko připravuje novou legislativu, dle které bude zahrnut celý životní cyklus.

6.5.3 Fyzické hranice systému

Fyzické hranice systému se týkají prvků budov, které jsou zahrnuty do posuzování životního cyklu. Porovnání hranic systémů dle různých přístupů je uvedeno v tabulce 10.

Tabulka 10 Porovnání fyzických hranic systémů životního cyklu dle posuzování a konceptů severských států a EU [64].

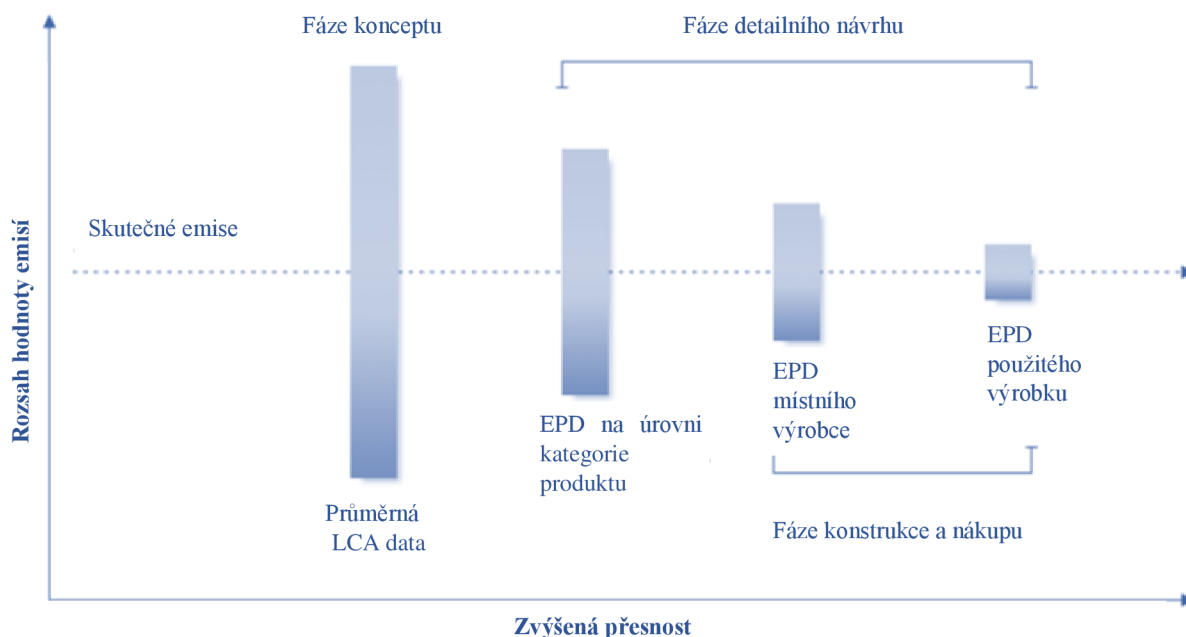
		Dánsko	Finsko	Norsko	Švédsko	Level(s)
Substruktura	Základy	x	x	?	x	x
	Suterénní stěny	x	x	?	x	x
	Konstrukce přízemí	x	x	x	x	x
Konstrukce	Vnější stěny	x	x	x	x	x
	Nosný rám	x	x	x	x	x
	Vnější dveře	x	x	x	x	x
	Okna	x	x	x	x	x
	Vnitřní stěny	x	x	x	x	x
	Podlahy	x	x	x	x	x
	Stropy	x	x	x	x	x
	Střecha	x	x	x	x	x
	Schody a rampy	x	x		x	x
Systémy budovy	Vodovodní systém	x	x			x
	Kanalizační systém		x			x
	Elektrický systém	x	x			x
	Systém vytápění	x	x			x
	Chladicí systém	x	x			x
	Ventilační systém	x	x			x
	Dopravní systém					x
	Datový systém					x
	Systém požární ochrany					x
Dodatečné úpravy	Vnější povrchové úpravy	x		?		x
	Vnitřní povrchové úpravy	x		?		x
	Pevný nábytek		x			x
	Nábytek					
Vnější	Balkony	x	x			x
	Vegetace					
	Chodníky		x			x

Význam zkratk: x = zahrnuto, ? = zvažováno

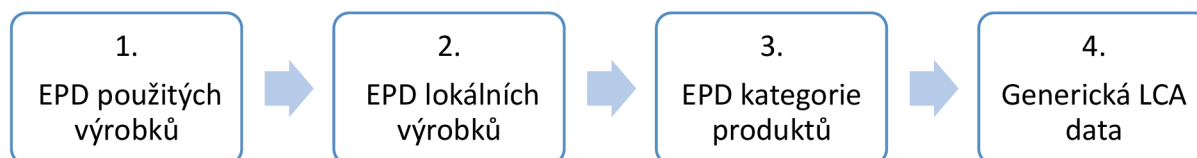
7 Zdroje dat pro hodnocení uhlíkové stopy

Z předcházející literární rešerše vyplynulo, že pro výpočet uhlíkové stopy je nutné znát zejména množství použitých entit a k nim příslušné GWP. Použitými entitami jsou myšleny použité výrobky, služby, procesy a provozní látky související s projektem. Potenciál globálního oteplování (GWP) lze chápat také jako měrnou uhlíkovou stopu, tedy množství skleníkových plynů, které bylo vyprodukováno na kus výrobku, kilogram materiálu, jednotkovou operaci, kilogram provozní látky, ujetý kilometr apod. Tato data bývají také označována jako emisní faktory (EF). V zásadě lze zdroje dat GWP rozdělit na generická data a specifická data výrobku.

Generická, průměrná LCA data, lze nalézt v databázích, zatímco specifická data výrobku jsou zaznamenána v tzv. Environmentálním prohlášení o produktu (EPD). Porovnání přesnosti dat je zobrazeno na následujícím obrázku 27. Z tohoto porovnání lze vyvodit, že specifická data jsou přesnější, tudíž preferovaným zdrojem dat pro GWP jsou EPD použitých výrobků. Naopak generická data slouží jako zdroj v případě, že se nepodařilo sehnat přesnější zdroj. Pořadí, v jakém je vhodné zjišťovat data je uvedeno na obrázku 28.



Obrázek 27 Závislost přesnosti dat dle typu zdroje dat, přeloženo dle [15]



Obrázek 28 Preferovaný zdroj dat pro zjištění GWP

Věřohodnosti EPD přispívá ověření informací třetí stranou, avšak v současnosti je sestavování a používání EPD založeno na bázi dobrovolnosti [2], takže ne všichni výrobci jsou do tohoto systému zapojeni. Z toho vyplývá potřeba hledat data o GWP u podobných výrobků, popř.

využít databáze s průměrnými LCA daty, které vychází z odhadů uhlíkové stopy produktu od různých výrobců.

7.1 Databáze uhlíkové stopy

7.1.1 Zahraniční databáze

Pro určení uhlíkové stopy produkční fáze, tzv. od kolébky po bránu, je nutné znát použité materiály, jejich množství a způsob zpracování. Existuje několik databází, kde lze nalézt zobecněná data pro jednotlivé materiály a procesy. Databáze vznikají z komerčních důvodů i jako národní otevřené databáze. Mezi komerční LCI databáze patří například GaBi a ecoinvent, do národních otevřených databází spadá IBO, CFP a Synergia. Zmíněné databáze byly popsány a porovnávány v rámci vědeckého článku [69]. Přehled nejdůležitějších informací ze srovnání je uveden v následující tabulce 11.

Tabulka 11 Přehled databází pro LCA [69].

Název databáze	GaBi	Ecoinvent	IBO	CFP	Synergia
Organizace	PE International	Swiss Centre for Life Cycle Inventories	IBO Austrian Institute for Healthy and Ecological Building GmbH	Japan Environmental Management Association for Industry/Advanced Industrial Science And Technology	Finnish Institute of Environment
Země	Německo	Švýcarsko	Rakousko	Japonsko	Finsko
Primární zdroj dat	Průmyslová data, literatura, další databáze (ELCD ¹⁹ , IBU ²⁰ , atd.)	Průmyslová data, literatura	Průmyslová data, literatura, další databáze (ecoinvent, atd.)	Statistická data, literatura	Průmyslová data, literatura
Typ databáze	Komerční (LCI)	Komerční (LCI)	Švýcarsko	Otevřená (LCIA)	Otevřená (LCIA)
Počet dat pro stavební materiály	Zhruba 600	Zhruba 540	334	Zhruba 130	54
Geografické určení	Německo nebo Evropa	Švýcarsko nebo Evropa	Rakousko a sousední země	Japonsko	Finsko
Časové určení	Roční průměr (2005 – 2011)	Roční průměr (2000 – 2007)	Není specifikováno, použita aktuální data	Roční průměr, hlavně r. 2000	Roční průměr, hlavně r. 2000

¹⁹ Evropská referenční databáze životního cyklu (European reference Life cycle Database)

²⁰ Institut Bauen und Umwelt e.V.

Technologické určení	Standard aktuálně používané technologie	Standard aktuálně používané technologie nebo BAT	Průměr aktuálně používané technologie	Průměr aktuálně používané technologie	Průměr aktuálně používané technologie
Elektrický mix	Národní / regionální průměrný mix	Národní / regionální průměrný mix	Evropský / regionální průměrný mix	Národní průměrný mix	Národní / průmyslový průměrný mix
Hranice systému	Jasně vymezené	Jasně vymezené	Jasně vymezené	Jasně vymezené	Jasně vymezené

7.1.2 Tuzemská databáze

V podmínkách ČR je nejpropracovanější databází envimat, která prozatím vychází z databáze ecoinvent, avšak její tvůrci usilují o spolupráci s místními výrobci a dodavateli pro doplnění přesnějších dat. Výrobci a dodavatelé mohou do databáze vložit environmentální data svých produktů, pokud byla určena na základě metodiky Environmentálního prohlášení o produktu (EPD) [70]. Díky tomu budou v budoucnu stavební produkty lépe porovnatelné.

Databáze envimat poskytuje informace o ekonomických i technických parametrech. Mezi hodnocené environmentální parametry patří spotřeba primární energie, potenciál globálního oteplování, potenciál okyselování prostředí, potenciál tvorby přízemního ozónu, potenciál ničení ozonové vrstvy a potenciál eutrofizace prostředí. Z technických parametrů udává databáze součinitel tepelné vodivosti [70].

7.1.3 Výběr zdrojů dat

Pro řešení praktické části byly zjišťovány zejména EPD od výrobků prodávaných na území ČR. Vzhledem k tomu, že pouze malá část výrobců uvádí EPD, bylo nutné používat i generická data z databáze. Nejprve byla prozkoumána databáze envimat, která ovšem obsahovala pouze některé výrobky. Pro generická data je použit software One Click LCA, který obsahuje běžně používané materiály pro budovy a studentská verze je pro vypracování závěrečných prací zdarma. Generická data však vychází z více zdrojů, protože některé chemikálie jsou typické pro provoz ZEVO, nikoliv běžných budov.

7.2 Zobecňování výsledků uhlíkové stopy

Vědecké studie se při hodnocení uhlíkové stopy neshodují v tom, která fáze má největší vliv na produkci emisí oxidu uhličitého. Zatímco dle [71] je za největší podíl zodpovědná fáze užívání, dle [7] je tato fáze zanedbatelná a naopak zásadní vliv má zabudovaný uhlík. Absence vědeckého konsenzu svědčí o tom, že se v této problematice obecné závěry značně liší, a tudíž je nutné alespoň prozatím každý případ vyhodnocovat samostatně pro konkrétní podmínky a předpoklady.

Ačkoliv se dříve předpokládalo, že největší podíl uhlíkové stopy připadá na fázi užívání, novější studie poukazují na to, že zabudovaný uhlík může způsobovat dvakrát až čtyřikrát vyšší uhlíkovou stopu [7], což se dá vysvětlit velkým důrazem evropské legislativy na energetickou efektivitu během provozu budov. Pro zajištění lepších vlastností během provozu může být

použito větší množství materiálů a služeb, čímž narůstá zabudovaný uhlík absolutně i relativně vůči ostatním fázím životního cyklu. Tohle lze ilustrovat například na použití více vrstev izolace budovy. Pokud je budova lépe izolována, nebude docházet k tak velkým ztrátám energie, ale na druhou stranu bude spotřebováno více materiálu, což odpovídá vyššímu zabudovanému uhlíku. Výhledově je kladen důraz na posuzování dopadů celého životního cyklu budovy, nikoliv pouze fáze užívání, jako tomu bylo doposud.

Pro znázornění toho, že je důležité interpretovat výsledky pouze v kontextu zavedených předpokladů, lze uvést příklad porovnání dřevěných nebo zděných pasivních a tradičních domů. Dle [71] provozní fáze v dlouhodobém horizontu způsobuje největší environmentální dopad za celý životní cyklus obytných budov. Studie především upozorňuje na důležitost charakteru energetického mixu výroby elektrické energie pro vyhodnocení provozní fáze životního cyklu. Jsou porovnány pasivní a konvenční domy buď dřevěné, nebo zděné. Pro energetický mix Polska z roku 2013 vykazuje nejhorší dopad na životní prostředí pasivní zděný dům, dále pasivní dřevěný dům, poté tradiční zděný dům a nejmenší dopad způsobuje tradiční dřevěný dům. Tento výsledek je velmi překvapivý, protože pasivní domy mají 3,6 krát menší spotřebu energie než tradiční domy. Ale vzhledem k tomu, že veškerým zdrojem energie pro pasivní dům je elektřina, tak dopad na životní prostředí během provozu silně závisí na zdrojích elektrické energie. Pro Polsko v době studie 90 % energetického mixu tvořilo uhlí. Naopak porovnání stejných domů při uvažování energetického mixu Německa nebo Dánska vyšlo v pořadí od nejhoršího dopadu jako: konvenční zděný, konvenční dřevěný, pasivní zděný a pasivní dřevěný dům. Nelze tedy obecně tvrdit, zda jsou lepší pasivní nebo tradiční domy.

8 Vlastní výpočtový model a jeho aplikace

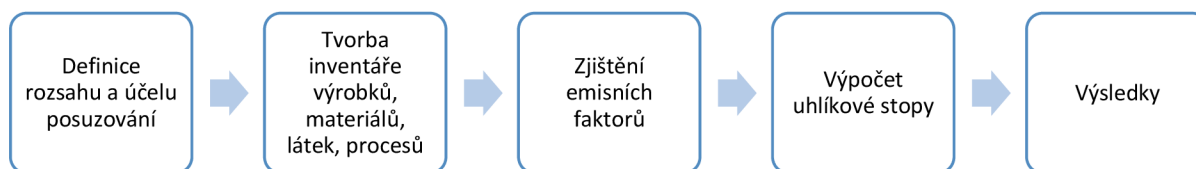
V této kapitole je popsán výpočtový model jak obecně, tak z pohledu aplikace na konkrétní zadaný případ ZEVO.

8.1 Obecné schéma výpočtového postupu

Na obrázku 29 je uveden postup pro výpočet uhlíkové stopy budovy a technologických zařízení za celý životní cyklus. Pod definicí rozsahu si lze představit fáze životního cyklu, které budou zahrnuty do výpočtu. Účel posuzování může být pro rozhodování o různých variantách projektu, informativní, pro certifikaci, pro naplnění legislativních požadavků, pro výběr zhotovitele apod. Dále je třeba stanovit funkční jednotku, ke které jsou vztaženy výsledky.

Nejnáročnějším krokem postupu je extrakce dat, která se skládá z tvorby inventáře a zjištění emisních faktorů. V inventáři by měly být obsaženy informace o použitých výrobcích, materiálech, provozních látkách a procesech. Tento inventář se nazývá LCI²¹. Pro tyto zjištěné entity je dále zapotřebí najít nebo vypočítat emisní faktory. Přednostně by měla být použita EPD výrobků, dále je možno využít generická data z databází. Tvorbu této databáze lze pojmenovat jako LCIA²² [66].

Nakonec lze přistoupit k samotnému výpočtu a prezentaci výsledků. Výpočet se provádí dle rovnice (1), množství entit se tedy vynásobí příslušnými emisními faktory. Výsledky je vhodné prezentovat dle fází životního cyklu, případně dle fyzických charakteristik, tj. dle částí budovy a technologického příslušenství.



Obrázek 29 Blokové schéma výpočtového postupu

8.2 Aplikace postupu

Rozsah výpočtu zahrnuje stanovení GWP pro ZEVO za celý životní cyklus. Účel posuzování je stanovení hodnoty GWP pro informativní účely a jako základ pro případné budoucí porovnání uhlíkové stopy s jinými způsoby nakládání a likvidace odpadu. Funkční jednotka je 1 tuna zpracovaného odpadu.

Extrakce dat je provedena prostřednictvím zjišťování dat o projektu ZEVO Evecont a hledání příslušných emisních faktorů. Vzhledem k tomu, že se na projektu podílelo mnoho subdodavatelů, má společnost EVECO Brno k dispozici informace o dodávkách větších celků, nikoli však k jednotlivým výrobkům. Z tohoto důvodu je navržen postup vytvoření inventáře výrobků, materiálů, provozních látek a procesů. Nejprve je zjišťován seznam zařízení, která jsou uvedena v nabídkách. Poté jsou použity 3D modely basic designu Evecontu vytvořené

²¹ Z anglického Life Cycle Inventory.

²² Z anglického Life Cycle Impact Assessment.

v softwaru SOLIDWORKS, dle nichž je možné stanovit množství materiálů na použítá zařízení. Spotřeba provozních látek a energie byla zjištěna z modelů technologického oddělení firmy. Souhrnně se je vytvořen inventář vstupů za celý životní cyklus, tzv. LCI, přičemž zahrnuje prvky uvedené v kapitole 8.2.1 Hranice systému.

Dalším krokem je hledání emisních faktorů. Přednostně jsou použita EPD materiálů a chemických látek. Vzhledem k tomu, že není známo, kteří výrobci dodali materiál, tak je použit medián hodnoty lokálních výrobců. Pokud nebyla taková hodnota nalezena, byla použita hodnota ze softwaru One Click LCA, případně byla hledána generická data v odborných studiích. Přehled zdrojů pro emisní faktory ZEVO je uveden v tabulce 12. Některé emisní faktory byly zjištěny vlastním výpočtem. Výpočet emisního faktoru elektřiny je uveden v příloze 1 této práce. Výpočet množství oxidu uhličitého ve spalinách dle stechiometrie je uveden jako příloha 2. Inventář emisních faktorů použitých materiálů, LCIA, je uveden jako příloha 3.

Tabulka 12 Zdroje EF pro ZEVO.

<i>Použitý zdroj EF</i>	
A1-A3, A4, C1-C4	EPD použitých materiálů, zejména betony, oceli a keramické vyzdívky
A5, C1	EF dle zastavěné plochy – One Click LCA
B1	Spalování odpadu, reakce čištění spalin – stechiometrické výpočty EPD sorbentů, vědecké články – močovina, soda bikarbona, aktivní uhlí Doprava odpadu – počet km
B2-B5	Určeno proporcionálně dle finančních nákladů na spotřebovaný materiál během užívání v porovnání se vstupní investicí
B6	EF elektřiny vlastním výpočtem dle zdrojů v ČR a celkové produkce elektřiny EF zemního plynu dle One Click LCA i vlastního stechiometrického výpočtu spalování
B7	EF pitné vody a odpadní vody dle One Click LCA
C4	EF odstraněného odpadu – škvára, popílek dle One Click LCA
D	EF exportovaného tepla – studie FEAD

Spalování odpadu je zjednodušeno na výpočet spalování uhlíku obsaženém v odpadu. Dle firemních dat je zjištěno složení odpadu, které provedla Zkušební laboratoř Most přímo pro vzorek odebraný z odpadu dávkovaného do ZEVO Evecont. Jedná se o drcený plast v kombinaci s průmyslovým odpadem zejména z koberců. Dle analýzy dávkovaný odpad obsahuje 59,43 % uhlíku. Pro spalování uhlíku platí následující rovnice:



Pro výpočet je využita odhadovaná hodnota zpracovaného odpadu za 25 let životnosti, přičemž poměr uhlíku je uvažován jako konstantní. Pro výpočet hmotnosti vzniklého oxidu uhličitého je aplikován následující vzorec pro látkové množství:

$$n = \frac{m}{M} \quad (3)$$

kde je:

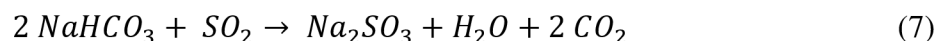
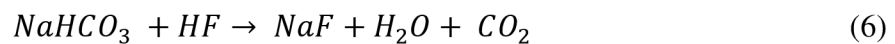
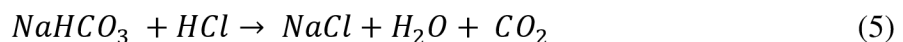
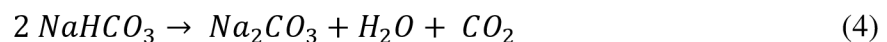
n látkové množství [mol],

m hmotnost [g],

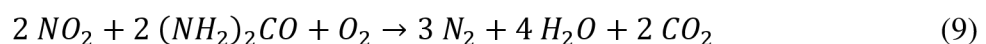
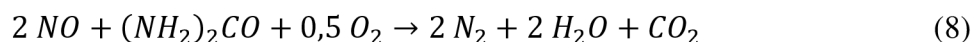
M molární hmotnost [g/mol].

Další skleníkové plyny nejsou uvažovány, protože se předpokládá, že ve spalinách nebude vypouštěn ani metan, ani oxid dusný. Ostatní plyny ve spalinách mají marginální nebo nepřímý vliv na uhlíkovou stopu, proto nejsou zahrnuty do výpočtu. Oxid uhličitý není produkován jen při spalovacím procesu, ale také během čištění spalin. K výraznému uvolnění oxidu uhličitého v daném ZEVO dochází při reakcích hydrogenuhličitanu sodného a reakcích močoviny.

Reakce pro hydrogenuhličitan sodný:



Reakce pro močovinu:



Výpočet vzniklého oxidu uhličitého byl opět proveden dle látkového množství, k nahlédnutí v příloze 2.

8.2.1 Hranice systému

Hranice systému lze rozdělit na časové a fyzické charakteristiky systému. Do časových hranic patří fáze životního cyklu a do fyzických hranic patří části budovy a technologického zařízení. V rámci časových hranic je zahrnut celý životní cyklus, přičemž v tabulce 13 jsou uvedena potřebná data pro výpočet GWP v dané fázi životního cyklu. V tabulce 14 jsou uvedeny fyzické hranice systému ZEVO.

Tabulka 13 Časové hranice systému ZEVO.

<i>Potřebná vstupní data</i>	
A1-A3, A4, C1-C4	Hmotnost použitých materiálů, zejména betony, oceli a keramické vyzdívky
A5, C1	Zastavěná plocha
B1	Podíl uhlíku ve vstupním odpadu, množství zpracovaného odpadu Reakce čištění spalin – při kterých vzniká oxid uhličitý Spotřeba sorbentů, např. močovina, soda bikarbona, aktivní uhlí Doprava odpadu – počet km
B2-B5	Množství výrobků na údržbu, opravu, výměnu, rekonstrukci – lze nahradit finančními náklady v porovnání se vstupní investicí
B6	Množství spotřebované energie – elektřina, zemní plyn
B7	Množství spotřebované pitné vody a produkce odpadní vody
C4	Množství odstraněného odpadu – škvára, popílek
D	Množství exportované energie – elektřina, teplo

Tabulka 14 Fyzické hranice systému ZEVO.

<i>Sestava</i>	<i>Podsestavy</i>
Terén	Jímka přívodu pitné vody Kanalizační jímka Potrubí pitné vody Kanalizace Zpevněná plocha
Dávkování paliva + spalovací z.	Hydraulický dávkovač Zavážení odpadu Podpěra o silo Dopravník Opláštění sila Sestava drtič Vložka sila Spalovací zařízení
Kontejner a parní kotel	Kontejner kotle Kotel Rozvod výstupu páry z kotle Rozvod odkalu z kotle Rozvod odluhu z kotle Hadice odvodnění jímky kotle

<i>Sestava</i>	<i>Podsestavy</i>
Čištění spalin	Čištění spalin: kontejner Potrubní kontaktor I Ekonomizér PBS Potrubní kontaktor IIa Expandér odluhu Plnicí box se šnekem na NaHCO ₃ Mikrodávkoč NaHCO ₃ Plnicí box se šnekem na aktivní uhlí Mikrodávkoč aktivního uhlí Kontaktory nosná konstrukce Nosná konstrukce kontaktoru do ekonomizéru Nosná konstrukce kontaktoru do filtru Rozvod přepadu expandéru Expandér odluhu Ekonomizér PBS Potrubní kontaktor IIa Ventilátor spalovacího vzduchu I Rozvod výtlaku ventilátoru prim. vzduchu Rozvod výtlaku ventilátoru sek. vzduchu I-I Ventilátor spalovacího vzduchu 2 Rozvod výtlaku ventilátoru sek. vzduchu I Rozvod sání ventilátoru sekundárního vzduchu II-I Ventilátor spalovacího vzduchu Rozvod výtlaku ventilátoru sekundárního vzduchu II Směšovací modul IBC tank Nádrž s čerpadlem DeNOx
Elektrorozvodna + AMS	
Skříň na plynové láhve	
Plošina měřicí tratě	
Výměník tepla vratky NV	Ocelové části Patka deskového výměníku
Rozvod páry	
Rozvod napájecí vody (NV)	
Rozvod bypassu horkovodu	
Rozvod pitné vody	
Rozvod zemního plynu	
Rozvod tlakového vzduchu	

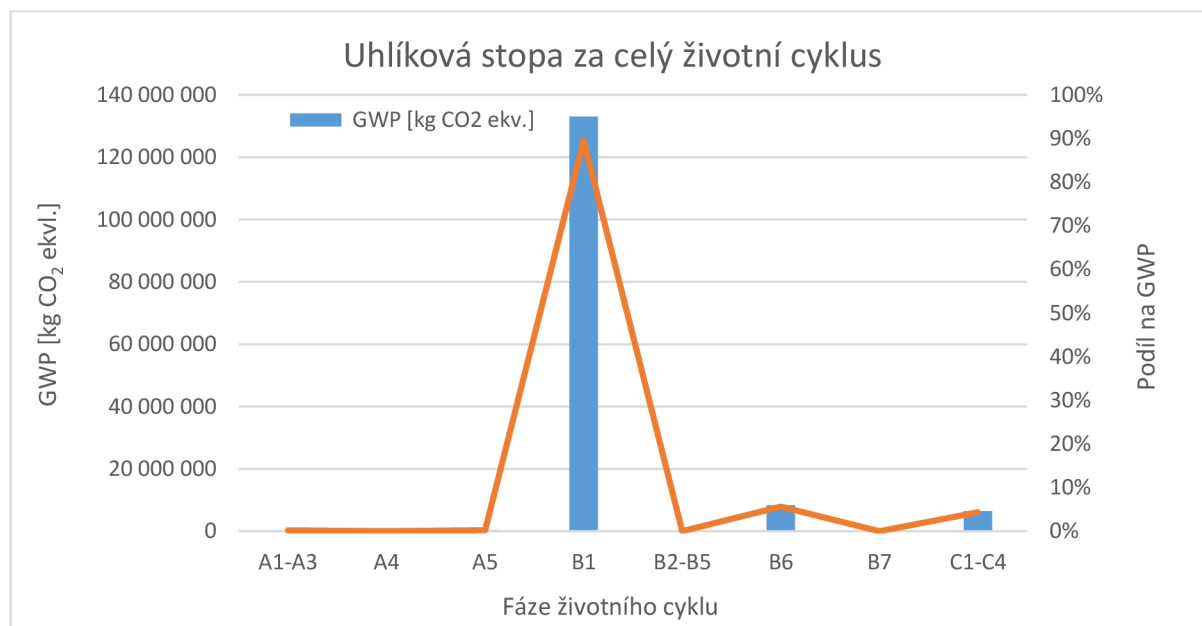
Naopak nebyly uvažovány stávající budovy, potrubí, a plynovody, přístřešek zauhlování a demistanice. Ačkoliv jsou tyto prvky součástí konstrukčních modelů kvůli správné dispozici, není jejich existence vázaná na projekt ZEVO Evecont.

8.2.2 Výsledky

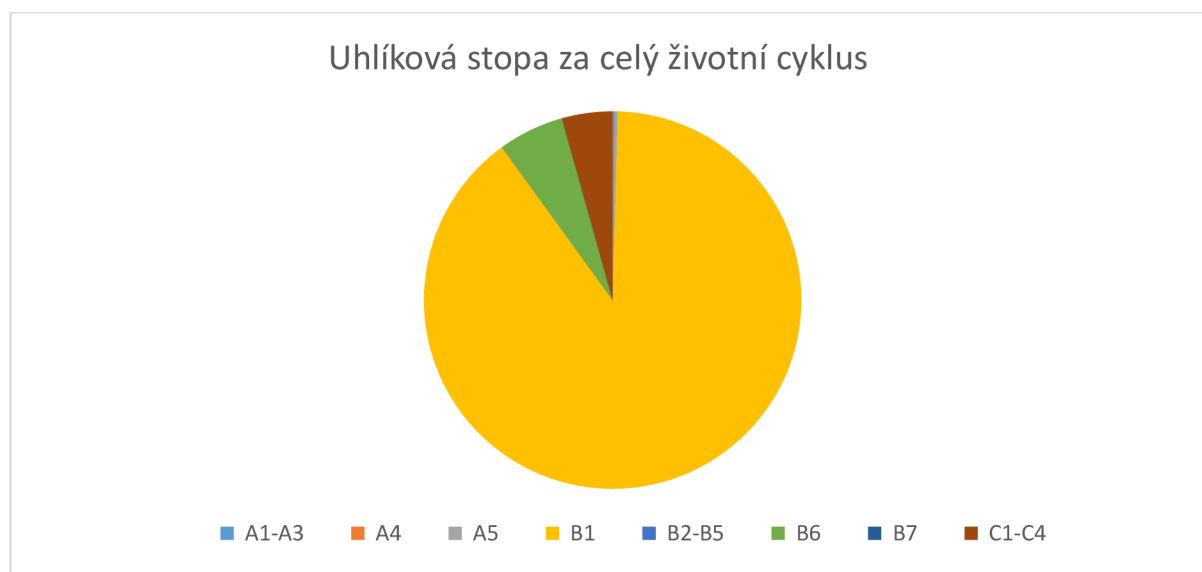
V této části jsou prezentovány výsledky pro ZEVO Evecont. Bližší rozbor a implikace plynoucí z výsledků jsou uvedeny v kapitole Diskuze. V tabulce 15 jsou uvedeny výsledky pro jednotlivé fáze životního cyklu ZEVO Evecont. Z grafů na obrázcích 30 a 31 je zřejmé, že největší vliv na uhlíkovou stopu má fáze B1 (užívání), dále B6 (spotřeba energie) a C1-C4 (konec životního cyklu). Pro modul B1 hraje roli zejména množství oxidu uhličitého ve spalinách, pro modul B6 spotřebovaný zemní plyn na podporu spalování, pro fázi C množství odstraněného popílku jako nebezpečného odpadu.

Tabulka 15 Výsledky uhlíkové stopy za celý životní cyklus ZEVO Evecont.

	<i>Výroba</i>			<i>Výstavba</i>		<i>Užívání</i>				<i>Konec životního cyklu</i>	<i>Celkem WIC</i>	<i>Za hranicí systému</i>
	<i>A1 A2 A3</i>	<i>A4</i>	<i>A5</i>	<i>B1</i>	<i>B2 B3 B4 B5</i>	<i>B6</i>	<i>B7</i>	<i>C1 C2 C3 C4</i>	<i>A B C</i>	<i>D</i>		
GWP [kg CO2 ekv.]	289 778	17 285	348 382	133 087 590	37 480	8 343 818	1 065	6 448 845	148 574 245	-59 174 569		
podíl na GWP	0,195 %	0,012 %	0,234 %	89,576 %	0,025 %	5,616 %	0,001 %	4,340 %				

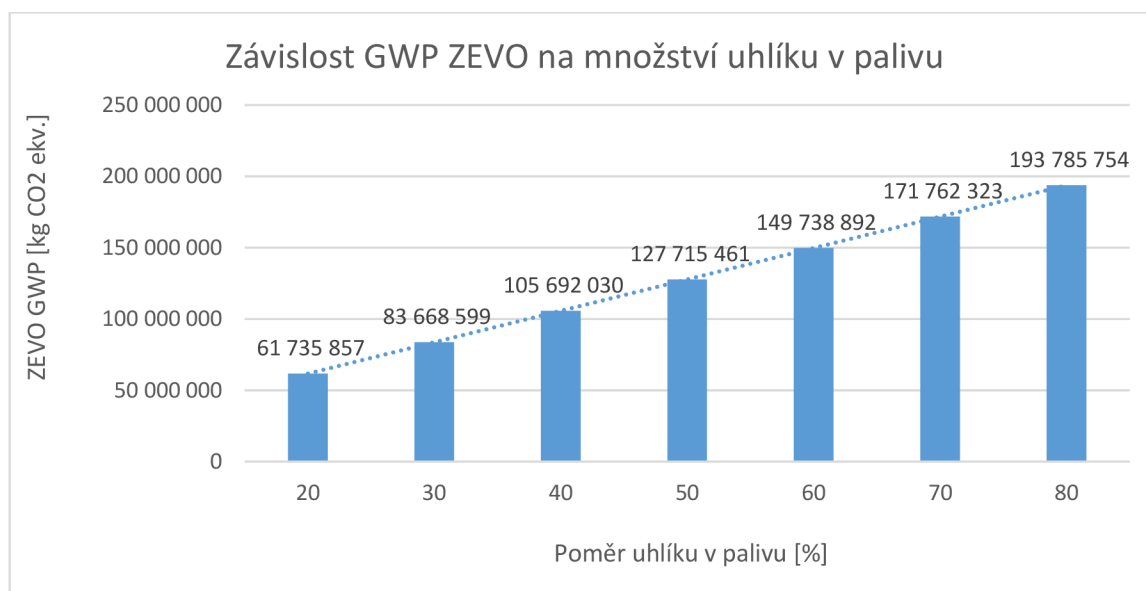


Obrázek 30 Sloupcový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont

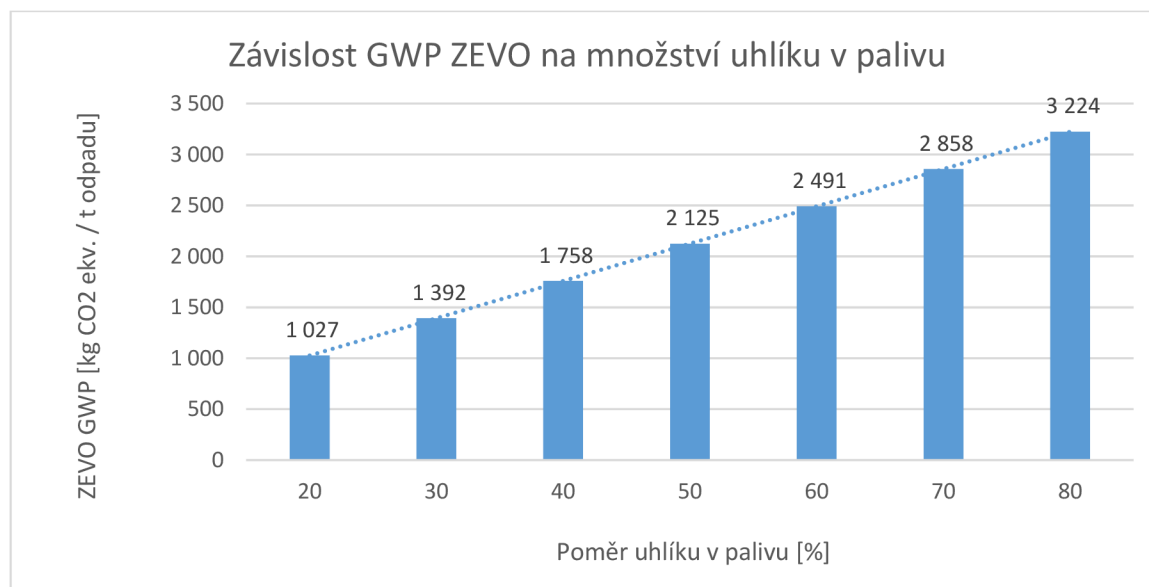


Obrázek 31 Koláčový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont

Vzhledem ke značnému vlivu množství uhlíku v palivu je provedena parametrická citlivost výsledné uhlíkové stopy ZEVO Evecont na parametru poměru uhlíku ve vstupním palivu – odpadu. Dle rozboru paliva provedeného Zkušební laboratoří Most je ve vstupním odpadu 59,43 % uhlíku. Závislost uhlíkové stopy ZEVO Evecont pro poměr uhlíku v palivu 20 až 80 % je zobrazena na obrázcích 32 a 33. Při změně poměru uhlíku z 20 na 80 % se výsledná uhlíková stopa ZEVO přibližně ztrojnásobí. Závislost je lineární.



Obrázek 32 Závislost GWP ZEVO Evecont [kg CO₂ ekv.] na poměru uhlíku v palivu

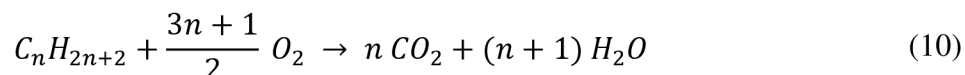


Obrázek 33 Závislost GWP ZEVO Evecont [kg CO₂ ekv./t odpadu] na poměru uhlíku v palivu

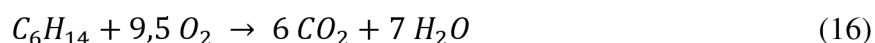
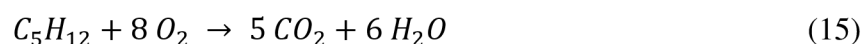
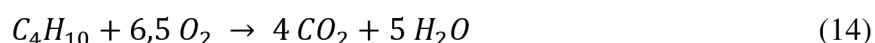
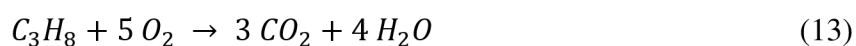
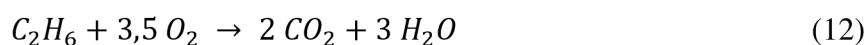
8.2.3 Validace emisního faktoru zemního plynu

Vzhledem k tomu, že emisní faktor zemního plynu je převzat z One Click LCA jako 2,33 kg CO₂ ekv./m³ a tato hodnota má značný vliv na výsledek modulu spotřeby energie (B6), který tvoří druhou nejvyšší část uhlíkové stopy, je provedena validace emisního faktoru pomocí stechiometrických rovnic spalování zemního plynu.

Obecně lze spalování alkanů popsat jako:



Při dosazení pro metan, etan, propan, butan, pentan a hexan vypadají rovnice následujícím způsobem:



Látkové množství lze určit dle vztahu:

$$n = \frac{V}{V_m} \quad (17)$$

kde je:

n látkové množství [mol],

V objem [dm³],

V_m molární objem [dm³/mol].

Výpočet je uveden v příloze 2. Množství oxidu uhličitého uvolněného při spalování zemního plynu vychází jako 1,99 kg CO₂/m³ zemního plynu. Převzatá hodnota 2,33 kg CO₂ ekv./m³ zohledňuje také transport zemního plynu a je uvedena v jednotce ekvivalentu oxidu uhličitého, takže zahrnuje všechny skleníkové plyny. Na základě výpočtu v příloze 2 je tedy rozhodnuto, že převzatá hodnota může být použita.

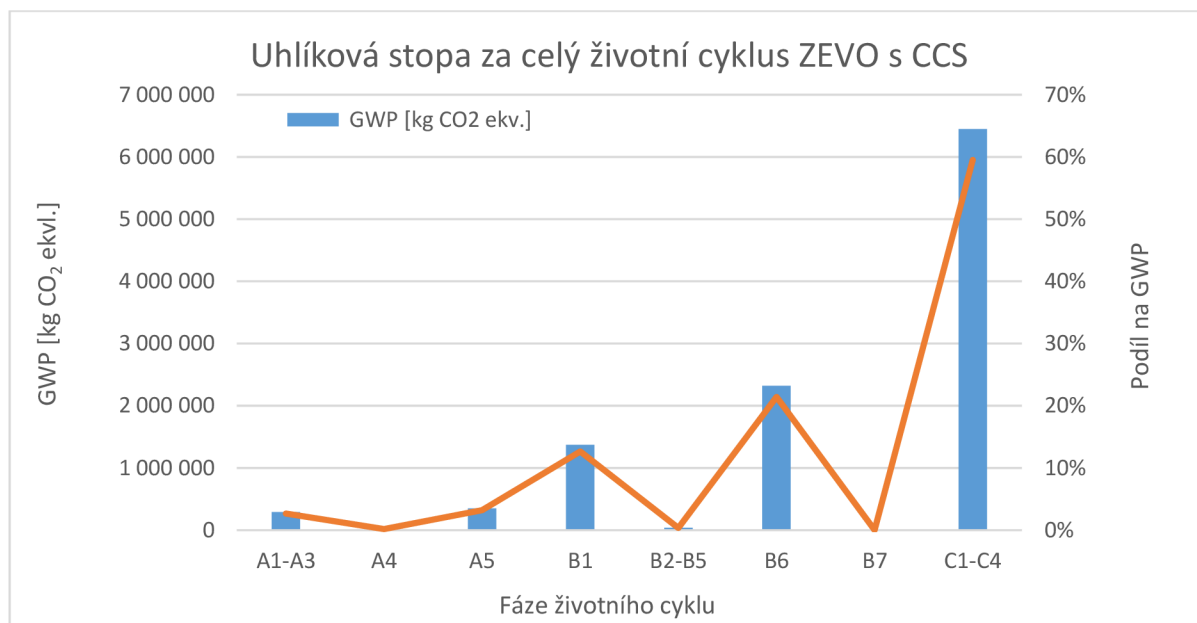
8.2.4 Výsledky pro ZEVO s technologií CCS

Pro zjištění možné úpory vzniklé začleněním technologií pro zachytávání uhlíku je provedena úprava výpočtu. Je uvažováno zachytávání oxidu uhličitého ze spalin, který vznikl spalováním odpadu a během procesu čištění spalin – kalcinací NaHCO_3 a reakcemi močoviny. Dále byl snížen emisní faktor zemního plynu z $2,33 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./m}^3$ na $0,33 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./m}^3$ (uvažován pouze vliv transportu zemního plynu, vliv spalování nulový). Ostatní proměnné ve výpočtu jsou zachovány.

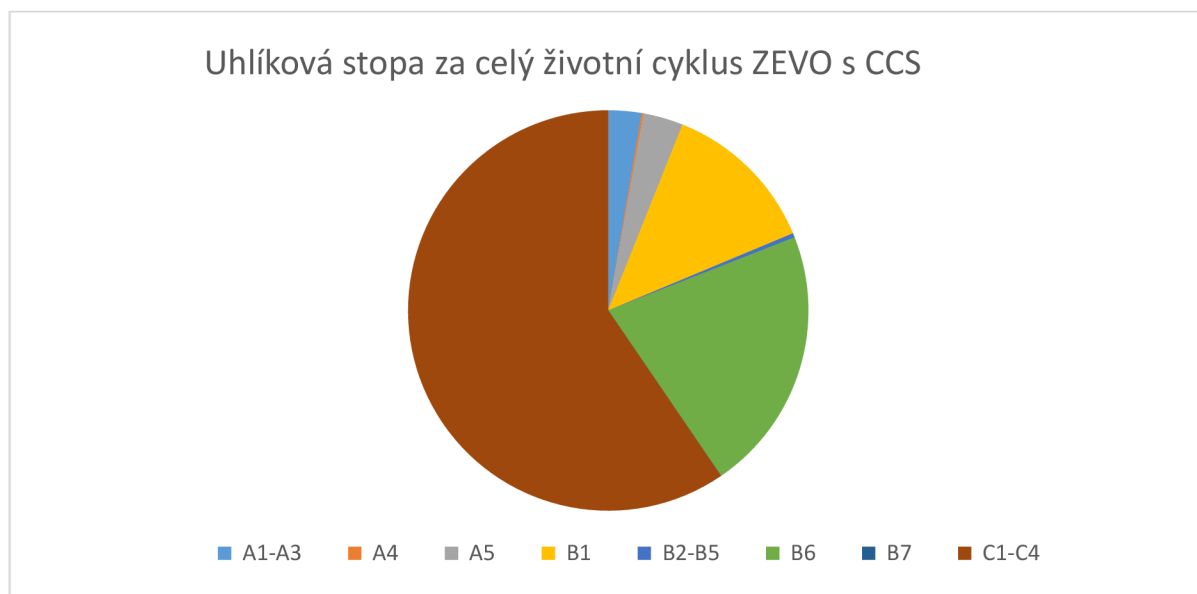
Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 16 a v grafech na obrázcích 34 a 35. Největší vliv na uhlíkovou stopu má v tomto případě fáze C (konec životního cyklu), dále modul B6 (spotřeba energie) a modul B1 (užívání). V modulu B1 už není zahrnuta uhlíková stopa oxidu uhličitého ve spalinách, ale zůstává vliv spotřebovávaných sorbentů (močovina, soda bikarbona, aktivní uhlí) a doprava odpadu během provozu ZEVO.

Tabulka 16 Výsledky uhlíkové stopy za celý životní cyklus ZEVO Evecont s CCS.

	Výroba			Výstavba				Užívání				Konec životního cyklu	Celkem WIC	Za hranicí systému				
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	A B C	D
GWP [kg CO ₂ ekv.]	289 778	17 285	348 382	1 371 045	37 480	2 320 963	1 065	6 448 845	10 834 844	- 59 174 569								
podíl na GWP	2,675 %	0,160 %	3,215 %	12,654 %	0,346 %	21,421 %	0,010 %	59,520 %										

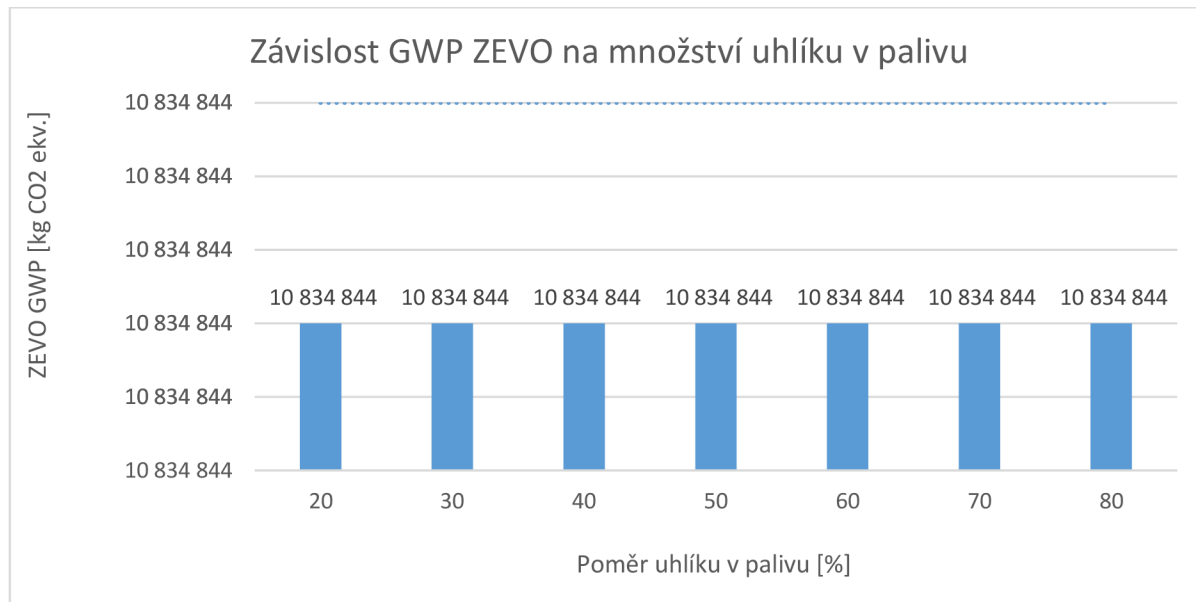


Obrázek 34 Sloupcový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont s CCS

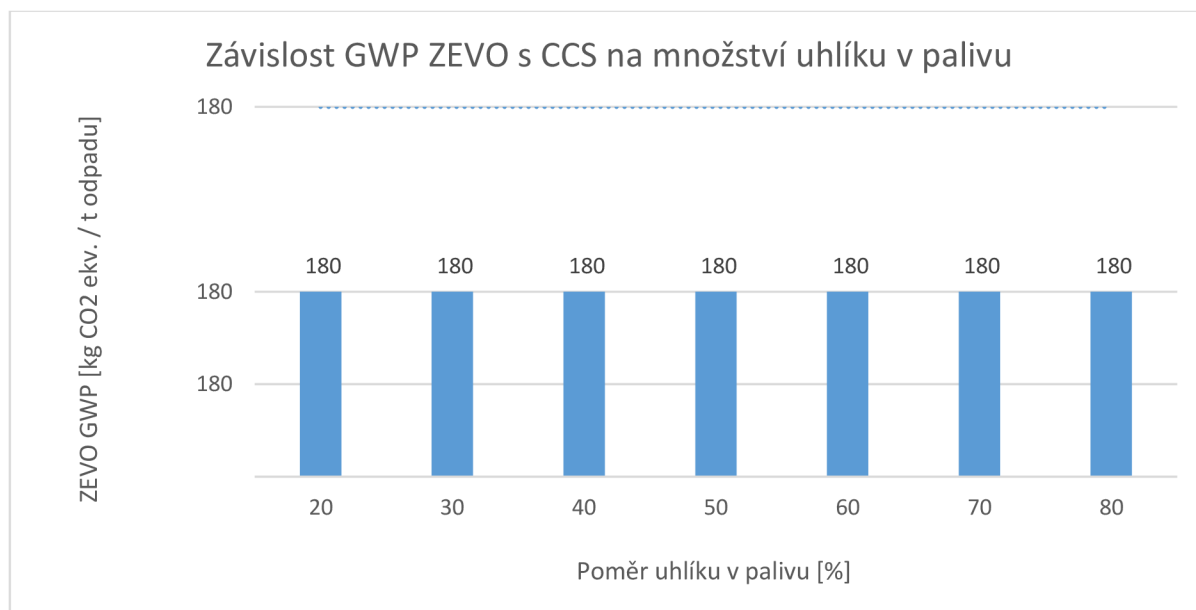


Obrázek 35 Koláčový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont s CCS

Na grafech zobrazených na obrázcích 36 a 37 je provedena parametrická citlivost vlivu poměru uhlíku v palivu na uhlíkovou stopu ZEVO Evecont s CCS. Za předpokladu, že je oxid uhličitý ze spalin zachycen, se uhlíková stopa ZEVO vzhledem k poměru uhlíku v palivu nemění.



Obrázek 36 Závislost GWP ZEVO Evecont s CCS [kg CO2 ekv.] na poměru uhlíku v palivu



Obrázek 37 Závislost GWP ZEVO Evecont s CCS [kg CO2 ekv./t odpadu] na poměru uhlíku v palivu

8.2.5 Shrnutí výsledků

Následující tabulka shrnuje výsledky předchozích dvou variant a je přidána třetí varianta, ve které je uvažováno, že emisní faktor zemního plynu a elektřiny je nulový. Tato hypotetická varianta je uvedena pro úvahy, zda má smysl měnit hořáky na plazmový hořák a přecházet na zdroje elektrické energie s nízkou uhlíkovou stopou, viz Diskuze.

Tabulka 17 Porovnání uhlíkové stopy ZEVO Evecont pro základní variantu, technologii CCS a nulovou spotřebu energie.

	<i>Jednotka</i>	<i>Základní varianta</i>	<i>Přidání technologie CCS</i>	<i>Nulová spotřeba energie</i>
GWP ZEVO celkem	kg CO ₂ ekv.	148 574 245	10 834 844	140 230 427
GWP ZEVO na t odpadu	kg CO ₂ ekv./t odpadu	2 472	180	2 333
GWP ZEVO na výrobu tepla	kg CO ₂ ekv./MJ	0,1498	0,0109	0,1414

9 Diskuze

Jedním z cílů této práce je určit uhlíkovou stopu ZEVO Evecont, které spaluje plastový odpad. V této kapitole jsou porovnány výsledky uhlíkové stopy zadaného ZEVO s výsledky jiných studií a také s alternativní možností nakládání s odpadem. Pro ZEVO Evecont se využívá drcený plast a průmyslový odpad, který nelze využít materiálově. Jako alternativní možnost je proto uvažováno umístění odpadu na skládku, přičemž množství tepla, které exportuje ZEVO, by bylo získáno z jiných zdrojů.

Dále je provedeno zamyšlení o potenciální úspoře uhlíkové stopy ZEVO Evecont a proveden odhad uhlíkové stopy pro ZEVO, které spaluje SKO místo plastového odpadu. Nakonec je věnována pozornost limitům a možným rozšířením této diplomové práce.

9.1 Porovnání ZEVO Evecont a skládky

Data potřebná k porovnání uhlíkové stopy ZEVO jsou uvedena v následující tabulce 18. Z tabulky vyplývá, že uhlíková stopa ZEVO silně závisí na vstupním odpadu. Zatímco pro SKO se pohybuje okolo 400 kg CO₂ ekv. na tunu odpadu, pro plasty se pohybuje v rozmezí 1600 až 3000 kg CO₂ ekv. na tunu odpadu. Vlastní výpočet pro ZEVO Evecont vychází jako 2 472 kg CO₂ ekv. na tunu odpadu, což se jeví jako realistický výsledek pro ZEVO, které zpracovává plasty.

Pro porovnání se skládkou byla zvolena průměrná uhlíková stopa skládek PP, LDPE a HDPE, protože mají zadanému ZEVO Evecont nejbližší uhlíkovou stopu při zapracování v ZEVO. U plastů PET se předpokládá, že budou vytrženy pro materiálové využití, tudíž jsou vyřazeny z porovnání. Uhlíková stopa průměru PP, LDPE a HDPE při skládkování je 285 kg CO₂ ekv. na tunu odpadu. V tabulce 19 je uvedené množství ušetřené uhlíkové stopy, přičemž celkově údaj zahrnuje uhlíkovou stopu tepla, které by bylo vyrobeno jiným způsobem, uhlíkovou stopu odpadu uloženého na skládku a přínosy (modul D), které uvádí výrobci použitých materiálů.

Celkově vychází ušetřená uhlíková stopa díky ZEVO Evecont jako -76 284 934 kg CO₂ ekv. Oproti tomu ZEVO Evecont za celý svůj životní cyklus vyprodukuje uhlíkovou stopu 148 574 245 kg CO₂ ekv. Z porovnání uhlíkové stopy tedy vychází, že z čistě tohoto hlediska se nevyplatí zpracovávat plastový odpad v ZEVO a bylo by lepší odpad uložit na skládku a teplo vyrábět jiným způsobem. Ovšem kritérium uhlíkové stopy není jediné kritérium při rozhodování, jak naložit s odpadem. Z environmentálního hlediska je potřeba posoudit i zbývající environmentální dopady²³. Dále je potřeba zohlednit ekonomické a bezpečnostní faktory. Zatímco v ZEVO je spalovací proces pod kontrolou a spaliny jsou čištěny, na skládkách často vznikají požáry, při kterých jsou uvolňovány nebezpečné látky ze spalin do atmosféry. V případě požáru skládky navíc dochází k neřízené produkci CO₂, která může výsledný rozdíl mezi ZEVO a skládkou významně snižovat.

Pro zajímavost bylo určeno, jaké množství uhlíku by mohlo být ve vstupním palivu, aby produkovaná uhlíková stopa ZEVO Evecont za celý životní cyklus byla stejná jako množství

²³ Dle normy ČSN EN 15 978 se jedná o potenciál úbytku stratosférické ozonové vrstvy, acidifikace půdy a vody, eutrofizace, tvorba fotochemických oxidantů přízemního ozonu, úbytek zdrojů surovin pro prvky a pro fosilní paliva [1].

uhlíkové stopy alternativního řešení – uložení odpadu na skládku a získání tepla jinde. K tomuto výpočtu sloužila tabulka v příloze 4 a metodou lineární interpolace bylo zjištěno, že je tento poměr uhlíku v palivu 26,6 %. Z omezeného úhlu pohledu, pouze dle uhlíkové stopy, tedy vyplývá závěr, že pro poměr uhlíku menší než 26,6 % se vyplatí plastový odpad zpracovávat v ZEVO. Ovšem pro plastový odpad jsou typické vyšší hodnoty poměru uhlíku v palivu.

Tabulka 18 Uhlíková stopa ZEVO a skládek [60], [72].

<i>Položka</i>	<i>GWP, 100 let</i>	<i>GWP, 20 let</i>
	kg CO ₂ ekv./t odpadu	kg CO ₂ ekv./t odpadu
ZEVO Slovensko	382	-
Studie FEAD: ZEVO – SKO	489	489
Studie FEAD: ZEVO – PET	2029	2029
Studie FEAD: ZEVO – PP	2533	2533
Studie FEAD: ZEVO – LDPE	2994	2994
Studie FEAD: ZEVO – HDPE	2994	2994
Studie FEAD: ZEVO – PS	1731	1731
Studie FEAD: ZEVO – PVC	1605	1605
Vlastní výpočet ZEVO Evecont	2 472	-
Skládka Slovensko	875	-
Studie FEAD: Skládka – SKO	617	1801
Studie FEAD: Skládka – PET	205	205
Studie FEAD: Skládka – PP	254	254
Studie FEAD: Skládka – LDPE	300	300
Studie FEAD: Skládka – HDPE	300	300
Studie FEAD: Skládka – PS	316	316
Studie FEAD: Skládka – PVC	165	165

Tabulka 19 Ušetřená uhlíková stopa díky ZEVO Evecont.

	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>	<i>EF</i>	<i>Jednotka</i>	<i>GWP</i>
					kg CO ₂ ekv.
Exportované teplo	991 760 000	MJ/provoz	0,0596	kg CO ₂ ekv./MJ	-59 108 896
Skládka	60 107	t/provoz	285	kg CO ₂ ekv./t odpadu	-17 110 364
Použité výrobky na stavbu					-65 673
Celkem					-76 284 934

9.2 Potenciální snížení uhlíkové stopy ZEVO Evecont

Zamyšlení nad snížením uhlíkové stopy ZEVO Evecont vychází z výsledků uhlíkové stopy jednotlivých fází životního cyklu. Zdaleka nejvyšší má uhlíkovou stopu modul užívání (B1), zejména vlivem vysokého podílu oxidu uhličitého ve vznikajících spalínách. Jedná se o téměř 90 % z celkové uhlíkové stopy. Druhou nejvyšší uhlíkovou stopu (5,6 %) má spotřeba energie (B6), do které spadá zemní plyn a elektrická energie. Na třetím místě je fáze konce životního cyklu (C1-C4) s podílem 4,3 % z celkové uhlíkové stopy, což souvisí zejména s odstraněním popílku jako nebezpečného odpadu. Uhlíkovou stopu lze tedy začít snižovat od fází s největším vlivem.

Podstatné snížení uhlíkové stopy ZEVO Evecont by bylo možné dosáhnout zavedením technologie pro zachytávání oxidu uhličitého, např. CCS. Zamyšlení nad možnou úsporou uhlíkové stopy při zavedení technologie CCS pro ZEVO Evecont je provedeno v tabulce 20. Z tabulky vyplývá, že aby mělo ZEVO Evecont stejnou uhlíkovou stopu jako alternativní řešení (uložení plastového odpadu na skládku a produkce tepla jinde), musí začlenit zařízení CCS, které je schopno zachytit alespoň 53,5 % oxidu uhličitého ze spalin. Pokud se zadaří zachytit více než 95,4 % oxidu uhličitého ze spalin, znamená to z hlediska uhlíkové stopy výhodnější variantu než samotné skládkování. V takovém případě je možné ZEVO Evecont nazvat jako zařízení s uhlíkově neutrální produkcí tepla.

Další možností snížení uhlíkové stopy je snížení uhlíkové stopy spotřeby energie, tj. zemního plynu a elektřiny. Byl proveden výpočet hypotetické varianty, že emisní faktor zemního plynu i elektřiny je nulový, aby bylo zjištěno, jaké maximální úspory lze dosáhnout ve spotřebě energie. Výsledky jsou prezentovány v tabulce 17. Z tabulky vyplývá, že vliv na celkovou uhlíkovou stopu je velmi malý ve srovnání s přínosem, jakého může být dosaženo zavedením technologie CCS. Z tohoto pohledu nehraje příliš velkou roli, zda budou hořáky fungovat na zemní plyn, plazmu nebo zelený vodík. Stejně tak příliš neovlivní celkovou uhlíkovou stopu, pokud se elektřina vyrábí z obnovitelných zdrojů místo klasického energetického mixu ČR.

Doporučení pro další výzkum směřuje k technologiím CCS, CCU a BECCS. Lze očekávat, že zachycená uhlíková stopa bude představovat významně větší přínos než dodatečná uhlíková

stopa z výstavby nového zařízení. Ve stávající variantě jsou uvažovány hmotnosti materiálů celkem jako 1 561 093 kg, ale přesto se jedná jen o 0,2 % z celkové uhlíkové stopy ZEVO Evecont. Jako předmět dalšího výzkumu lze doporučit zkoumání technologií pro zachytávání oxidu uhličitého jak z hlediska realizovatelnosti, tak z hlediska možného profitabilního využití.

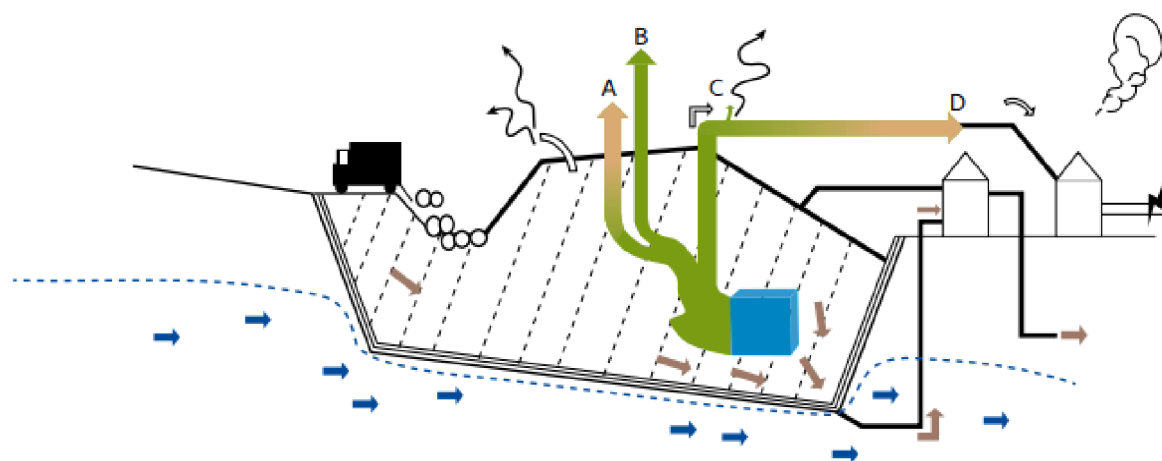
Tabulka 20 Úspora GWP a potřebná účinnost technologie CCS.

	<i>Hodnota</i>	<i>Jednotka</i>
Původní GWP ZEVO Evecont	148 574 245	kg CO ₂ ekv.
GWP ZEVO Evecont s CCS	10 834 844	kg CO ₂ ekv.
Možná úspora GWP	137 739 401	kg CO ₂ ekv.
Potřebná úspora pro GWP skládky + tepla	72 354 985	kg CO ₂ ekv.
Potřebná účinnost CCS pro GWP skládky + tepla	53,5	%
Potřebná úspora pro GWP skládky	131 463 881	kg CO ₂ ekv.
Potřebná účinnost CCS pro GWP skládky	95,4	%

9.3 Uhlíková stopa ZEVO na SKO

Lze si povšimnout v tabulce 18, že uhlíková stopa SKO zpracovaného v ZEVO je značně nižší než pro plasty, zatímco uhlíková stopa SKO na skládce je vyšší než pro plast. Vysvětlení lze najít v nižším množství uhlíku a vyšším množství metanu tvořeného z SKO oproti plastovému odpadu. Množství uhlíku v odpadu výrazně ovlivňuje, kolik oxidu uhličitého se uvolní do spalin při zpracování v ZEVO. Pro skládky je typické uvolňování oxidu uhličitého a metanu, což je popsáno na obrázku 38.

Vzhledem k velkým odlišnostem SKO a plastů byl vypracován také odhad uhlíkové stopy ZEVO pro SKO. V modifikovaném modelu bylo uvažováno poloviční množství exportovaného tepla, změněna hodnota poměru uhlíku v palivu a emisní faktor pro ušetřené emise při skládkování SKO. Ostatní proměnné byly v modelu zachovány. Výsledek tohoto odhadu je v tabulce 21. Při srovnání s tabulkou 22 je patrné, že ušetřená uhlíková stopa (-74 459 695 kg CO₂ ekv.) převažuje vyprodukovanou uhlíkovou stopu (72 747 572 kg CO₂ ekv.). Pro tyto předpoklady bylo vypočítáno, že SKO by mohl mít poměr v uhlíku v palivu 25,8 %, aby se rovnala vyprodukovaná uhlíková stopa úspore GWP při uložení odpadu na skládku a získání tepla jiným způsobem. Pro obsah uhlíku v palivu nižší než 25,8 % je tedy z hlediska uhlíkové stopy výhodnější SKO zpracovat v ZEVO.



- Legenda:**
- A: skládkový plyn oxidovaný v krycí vrstvě a uvolněný do atmosféry – CO₂
 - B: skládkový plyn difundující do atmosféry – CO₂ a CH₄
 - C: netěsnost v systému sběru skládkového plynu – CO₂ a CH₄
 - D: skládkový plyn spalovaný v plamenech nebo spalovaný v turbíně nebo kotli – CO₂

Obrázek 38 Zdroje skleníkových plynů na skládce odpadů [73]

Tabulka 21 Odhadovaná ušetřená uhlíková stopa díky ZEVO na SKO.

	<i>Množství</i>	<i>Jednotka</i>	<i>EF</i>	<i>Jednotka</i>	<i>GWP</i> kg CO ₂ ekv.
Exportované teplo	495 880 000	MJ/provoz	0,0596	kg CO ₂ ekv./MJ	-29 554 448
Skládka	60 107	t/provoz	746	kg CO ₂ ekv./t odpadu	-44 839 573
Použité výrobky na stavbu					-65 673
Celkem					-74 459 695

Tabulka 22 Odhad uhlíkové stopy ZEVO na SKO.

	<i>Jednotka</i>	<i>ZEVO na SKO</i>
GWP ZEVO celkem	kg CO ₂ ekv.	72 747 572
GWP ZEVO na t odpadu	kg CO ₂ ekv./t odpadu	1 210
GWP ZEVO na výrobu tepla	kg CO ₂ ekv./MJ	0,1467

9.4 Limity a možná rozšíření diplomové práce

V této práci je proveden výpočet uhlíkové stopy, který může být aplikován na průmyslové budovy včetně souvisejících technologických zařízení a procesů. Hlavním limitem práce je používání tabulkových dat, která jsou použita k vlastnímu výpočtu. Nicméně výpočet pro uhlíkovou stopu fáze s největším vlivem (užívání B1; 89,6 %) byl proveden vlastním výpočtem dle stechiometrie. Dále byl ověřen stechiometrickým výpočtem emisní faktor zemního plynu a elektřiny, což tvoří druhou nejvyšší uhlíkovou stopu (B6; 5,6 %) v rámci ZEVO Evecont.

Pro získání přesnějšího výsledku uhlíkové stopy je nutné znát přesný způsob nakládání s popílkem jako nebezpečným odpadem (C1-C4; 4,3 % celkového GWP), přesnou náročnost výstavby (A5; 0,2 % GWP), přesné množství a typ použitých výrobků a jejich EPD (A1-A3; 0,2 % GWP), přesný rozsah údržby, opravy, výměny a rekonstrukce (B2-B5; 0,03 % GWP), přesnou vzdálenost dopravy a vozidel (A4; 0,01 % GWP) a také podrobnosti nakládání s vodou (B7; 0,001 % GWP).

Lze shrnout, že více než 95 % z celkové uhlíkové stopy ZEVO Evecont je určeno výpočtem založeným na stechiometrickém výpočtu a vlastním emisním faktorem elektřiny pro ČR. Zbývající část je vypočítána dle nalezených emisních faktorů v softwaru One Click LCA nebo EPD výrobců.

Pro ověření převzatých dat je dále možné ověřit generická data v dalším softwaru pro posuzování životního cyklu (LCA), např. Ecoinvent, Gabi nebo SimaPro. Environmentální prohlášení o produktu je možné dále zkoumat dle norem o EPD, např. ČSN EN 16757 (Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – pravidla produktové kategorie pro beton a betonové prvky) a ČSN EN 16485 (Kulatina a řezivo – Environmentální prohlášení o produktu – Pravidla kategorizace výrobků ze dřeva a na bázi dřeva pro použití ve stavebnictví).

V budoucnu pravděpodobně budou přibývat výrobci, kteří poskytují EPD, což usnadní výpočet uhlíkové stopy. Generická data budou logicky postupně nahrazována místními a specifickými daty. Limitem výpočtu uhlíkové stopy ZEVO jsou také dostupné podklady o projektu. Pro rigorózní výpočet uhlíkové stopy výrobní fáze je třeba znát přesné množství použitých výrobků včetně jejich EPD. Je otázkou, zda toto mírné navýšení přesnosti převáží komplikace spojené s dodatečnou potřebou dokumentace, která bude narážet na následné změny při výstavbě i samotném provozu.

Pro porovnání uhlíkové stopy ZEVO a skládky je hlavním limitem přesnost údaje ohledně uhlíkové stopy skládky. Pro lepší přesnost je vhodné vědět, jaké je složení skládkovaného odpadu a kolik skleníkových plynů ze skládky uniká. Ovšem tato práce si klade za cíl poskytnout referenční hodnotu uhlíkové stopy ZEVO, které využívá plast, takže výsledky porovnání se skládkou mají ryze orientační charakter.

Rozšíření této práce se nabízí zejména v aplikaci výpočtového modelu na výpočet uhlíkové stopy pro jakékoliv jiné zařízení v procesním průmyslu.

10 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, jakým způsobem lze provést hodnocení uhlíkové stopy ZEVO včetně zjištění související legislativy, vytvoření obecného výpočtového modelu a následné aplikace modelu na výpočet uhlíkové stopy ZEVO Evecont. Jako další přínos práce bylo provedeno porovnání ZEVO se skládkou a návrh na snížení uhlíkové stopy ZEVO Evecont.

Z literární rešerše vyplynulo, že na hodnotě vypočítané uhlíkové stopy jsou závislá ekonomická i legislativní opatření, protože většina států světa se přihlásila ke snižování emisí skleníkových plynů. Ovšem není pevně stanoveno, jakým způsobem se má uhlíková stopa určit. Například v české legislativě se objevuje emisní faktor elektřiny jako 1,06 t CO₂/MWh, avšak MPO na svých stránkách uvádí, že pro výpočet reálné uhlíkové stopy doporučuje použít za rok 2021 hodnotu 0,394 t CO₂/MWh. Různé emisní faktory pro elektřinu potvrdily, že výpočet uhlíkové stopy je poměrně nová oblast, která ještě nemá přesně definovaná a sjednocená pravidla, přičemž samotná hodnota je významně zkreslena politickými rozhodnutími, dle kterých jsou některé zdroje CO₂ považovány za neutrální. Vlastním výpočtem byla hodnota určena jako 0,46 t CO₂ ekv./MWh.

V rámci navrženého výpočtového modelu byl představen postup výpočtu uhlíkové stopy za celý životní cyklus a jeho aplikace. Na příkladu ZEVO Evecont byla popsána extrakce potřebných dat jak o projektu ZEVO, tak emisních faktorů potřebných k výpočtu. Z prezentovaných výsledků vyplývá, že největší uhlíkovou stopu má fáze užívání (B1), která produkuje 89,6 % celkové uhlíkové stopy, zejména vlivem obsahu oxidu uhličitého ve vznikajících spalínách. Dalších 5,6 % uhlíkové stopy tvoří spotřeba energie ve formě zemního plynu a elektřiny. Fáze konce životního cyklu (C1-C4) zastupuje 4,3 % celkové uhlíkové stopy, přičemž je způsobena hlavně likvidací popílku jako nebezpečného odpadu. Ostatní fáze životního cyklu mají jednotlivě vliv menší než 0,25 %. Z výsledku tedy vyplývá, že zanedbatelný příspěvek k uhlíkové stopě má výstavba (A5), použité výrobky na budovu a technologická zařízení (A1-A3), údržba, oprava, výměna a rekonstrukce (B2-B5), vzdálenost dopravy (A4) a také nakládání s vodou (B7).

Výsledkem výpočtu ZEVO Evecont je také referenční uhlíková stopa ZEVO, které zpracovává plasty. Tato hodnota byla určena jako 2 472 kg CO₂ ekv. a může sloužit k dalšímu porovnávání. Tato hodnota odpovídá rozsahu hodnot pro uhlíkovou stopu ZEVO na plastový odpad dle studie FEAD [60]. V přepočtu na produkci tepla má ZEVO Evecont uhlíkovou stopu 0,15 kg CO₂ ekv./MJ, přičemž pro teplo z jiného zdroje lze uvažovat uhlíkovou stopu 0,06 kg CO₂ ekv./MJ. Cílem ZEVO je ovšem nejen produkce tepla, ale také bezpečné odstranění odpadu.

V této práci je také provedeno porovnání ZEVO Evecont s uložením plastů na skládku a získání tepla ze soustavy CZT s uhlíkovou stopou 0,06 kg CO₂ ekv./MJ. Z porovnání vyplývá, že čistě z hlediska uhlíkové stopy se nevyplatí plastový odpad zpracovávat v ZEVO Evecont bez aplikace systému CCS. Energetické využití odpadu je dle GWP výhodnější, pokud je obsah uhlíku v odpadu nižší než 26,63 %. Pro ZEVO na SKO vychází tento poměr jako 25,8 %. Pro vytvoření závěru je ovšem nutné zvážit další environmentální, ekonomické a bezpečnostní faktory. Závěry o uhlíkové stopě mohou hrát významnou roli zejména v případě zařazení ZEVO do systému obchodování s emisními povolenkami.

Hlavním limitem této práce je přejímání některých dat, například emisních faktorů oceli. Jako zdroj dat byla použita buď databáze softwaru One Click LCA pro generická data nebo EPD výrobců pro specifická data. Ovšem více než 95 % z celkové uhlíkové stopy ZEVO Evecont bylo určeno výpočtem založeným na stechiometrickém výpočtu a vlastním emisním faktoru elektřiny pro ČR. Pro fáze životního cyklu s největším vlivem (B1 a B6) byla tedy vypočítána uhlíková stopa užitím vlastních hodnot emisních faktorů.

Ukázalo se, že pro určení uhlíkové stopy ZEVO není největší výzvou samotný výpočet, ale extrakce potřebných dat, tedy upřesnění zadání a zjištění příslušných emisních faktorů. Komplikacím při extrakci dat o budově nebo technologickém celku by se do budoucna dalo předejít podrobnými konstrukčními podklady. Čím podrobněji jsou známy použité materiály konkrétních výrobců, tím přesněji lze vypočítat uhlíkovou stopu. Lze očekávat, že budou přibývat výrobci, kteří poskytují Environmentální prohlášení o svých produktech, takže v ideálním případě bude možné použít emisní faktory přímo pro výrobky použité na daném projektu. Možná zpřesnění výpočtu uhlíkové stopy ovšem kladou vysoké nároky na administrativu a dokumentaci použitých výrobků a v celkovém porovnání tvoří zanedbatelný podíl na celkové uhlíkové stopě ZEVO, např. pro ZEVO Evecont pouze 0,2 %.

Z výsledků ZEVO Evecont lze vyvodit, že rozhodující vliv na uhlíkovou stopu technologického celku má oxid uhličitý uvolněný ve spalínách, spotřeba zemního plynu, elektřiny a tvorba nebezpečného odpadu. Pro zjednodušený výpočet uhlíkové stopy technologického celku se spalováním teoreticky stačí vypočítat vliv těchto parametrů, přičemž je pokryta většina uhlíkové stopy. Předpokládá se však legislativní oddělení uhlíkové stopy fáze výroby a fáze užívání. Tato práce poskytuje nástroj, který lze aplikovat na další technologické celky v procesním průmyslu, čímž lze uhlíkovou stopu podrobně vypočítat a ověřit, v jakých průmyslových odvětvích převažuje význam fáze užívání či výrobní fáze projektů. Tímto způsobem je možné následně stanovit referenční hodnoty, vůči kterým lze porovnávat nové projekty.

Uhlíkovou stopu ZEVO Evecont je možné snížit zejména snížením vypouštěného oxidu uhličitého ve spalínách. Další výzkum by tedy měl směřovat k praktické realizaci technologií pro zachytávání oxidu uhličitého, mezi něž patří CCS, CCU a BECCS. Tyto technologie mají v ideálním případě potenciál snížit uhlíkovou stopu ZEVO Evecont až o 93 %. Jedná se tedy o velký potenciál snížení skleníkových plynů s přihlédnutím k tomu, že i pro další zařízení se spalovacími procesy lze uhlíkovou stopu oxidu uhličitého ve spalínách odhadovat za rozhodující.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 15978. Udržitelnost staveb - Posuzování environmentálních vlastností budov - Výpočtová metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 2012.
- [2] „Environmentální prohlášení o produktu | CENIA“. <https://www.cenia.cz/spolecenska-odpovednost/epd/> (viděno 18. duben 2022).
- [3] „Klimatická neutralita“. <https://www.consilium.europa.eu/cs/topics/climate-neutrality/> (viděno 20. květen 2022).
- [4] „Expertní stanovisko AV ČR 2/2020: Planeta ve skleníku“. Viděno: 1. únor 2022. [Online]. Dostupné z: https://www.avcr.cz/export/sites/avcr.cz/cs/veda-a-vyzkum/avex/files/2020-02_.pdf
- [5] „Uhlíková neutralita. Dosáhneme jí do roku 2050? | Zpravodajství | Evropský parlament“, 7. říjen 2019. <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190926STO62270/uhlikov-a-neutralita-dosahneme-ji-do-roku-2050> (viděno 20. květen 2022).
- [6] Center for Sustainable Systems, University of Michigan, „Carbon Footprint Factsheet, Pub. No. CSS09-05.“ 2021.
- [7] European Commission. Directorate General for Environment., Level(s), Putting whole life carbon into practice. LU: Publications Office, 2021. Viděno: 20. březen 2022. [Online]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2779/79139>
- [8] MŽP ČR, „Změna klimatu“, Ministerstvo životního prostředí, 11. srpen 2008. https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu (viděno 21. leden 2022).
- [9] M. Liu, J. Wu, X. Zhu, H. He, W. Jia, a W. Xiang, „Evolution and variation of atmospheric carbon dioxide concentration over terrestrial ecosystems as derived from eddy covariance measurements“, Atmospheric Environment, roč. 114, s. 75–82, srp. 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.05.026.
- [10] D. A. Stainforth, S. C. Chapman, a N. W. Watkins, „Mapping climate change in European temperature distributions“, Environ. Res. Lett., roč. 8, č. 3, s. 034031, zář. 2013, doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034031.
- [11] European Commission a Climate Action DG, Naše planeta, naše budoucnost: Společně proti změně klimatu. Luxembourg: Publications Office, 2015.
- [12] N. US Department of Commerce, „Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases“. <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/mlo.html#mlo> (viděno 1. únor 2022).
- [13] N. US Department of Commerce, „Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases“. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/gl_trend.html (viděno 2. únor 2022).
- [14] Fakta o klimatu, „Vývoj koncentrace CO₂ v atmosféře“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/koncentrace-co2> (viděno 7. únor 2022).
- [15] „Start a conversation with One Click LCA“. <https://oneclicklca.drift.click/building-lca-ebook> (viděno 15. prosinec 2021).
- [16] Fakta o klimatu, „Srovnání mitigačních opatření“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/mitigacni-opatreni-mmf> (viděno 7. únor 2022).
- [17] „Zavedení uhlíkového cla na dovoz do EU s cílem zvýšit globální klimatické ambice | Zpravodajství | Evropský parlament“, 10. březen 2021. <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/press-room/20210304IPR99208/zavedeni->

- uhlikoveho-cla-na-dovoz-do-eu-s-cilem-zvysit-globalni-klimaticke-ambice (viděno 7. únor 2022).
- [18] European Commission a Directorate-General for Taxation and Customs Union, Carbon border: adjustment mechanism. 2021. Viděno: 7. únor 2022. [Online]. Dostupné z: https://op.europa.eu/publication/manifestation_identifier/PUB_KP0521215ENN
- [19] „Mezinárodní klimatické dohody“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/svetove-dohody> (viděno 7. únor 2022).
- [20] MŽP ČR, „Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC)“, Ministerstvo životního prostředí, 13. říjen 2008. https://www.mzp.cz/cz/mezivladni_panel_pro_zmenu_klimatu (viděno 10. únor 2022).
- [21] Fakta o klimatu, „Co jsou zprávy IPCC a jak vznikají?“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/explainery/zpravy-ipcc> (viděno 10. únor 2022).
- [22] „Reports — IPCC“. <https://www.ipcc.ch/reports/> (viděno 10. únor 2022).
- [23] MŽP ČR, „Rámcová úmluva OSN o změně klimatu“, Ministerstvo životního prostředí, 1. září 2016. https://www.mzp.cz/cz/ramcova_umluva_osn_zmena_klimatu (viděno 10. únor 2022).
- [24] MŽP ČR, „Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu“, Ministerstvo životního prostředí, 23. prosinec 2019. https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol (viděno 10. únor 2022).
- [25] MŽP ČR, „Pařížská dohoda“, Ministerstvo životního prostředí, 7. březen 2016. https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda (viděno 10. únor 2022).
- [26] „Proč je oteplení o více než 1,5 °C problém? [1/3]“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/body-zlomu-1> (viděno 13. únor 2022).
- [27] Fakta o klimatu, „Emisní scénáře pro naplnění Pařížské dohody“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/emisni-scenare-pariz> (viděno 13. únor 2022).
- [28] Fakta o klimatu, „Jak různé varianty snižování emisí ovlivní oteplení“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/koncept-cesty-k-neutralite> (viděno 13. únor 2022).
- [29] Evropská komise, „Zelená dohoda pro Evropu“, Evropská komise - European Commission. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_cs (viděno 19. únor 2022).
- [30] Evropská rada, „Změna klimatu: jaké kroky EU podniká“. <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/climate-change/> (viděno 19. únor 2022).
- [31] Evropská rada, „Jak EU financuje přechod ke klimatické neutralitě?“, 2021. <https://www.consilium.europa.eu/cs/infographics/financing-climate-transition/> (viděno 19. únor 2022).
- [32] Evropská komise, Co je Zelená dohoda pro Evropu?. LU: Publications Office, 2019. Viděno: 19. únor 2022. [Online]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2775/7046>
- [33] SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, EVROPSKÉ RADĚ, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ Zelená dohoda pro Evropu. 2019. Viděno: 10. únor 2022. [Online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>
- [34] Evropská komise, „Realizace Zelené dohody pro Evropu“, Evropská komise - European Commission. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs (viděno 21. únor 2022).
- [35] Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2021/1119 ze dne 30. června 2021, kterým se stanoví rámec pro dosažení klimatické neutrality a mění nařízení (ES) č. 401/2009 a nařízení (EU) 2018/1999 („evropský právní rámec pro klima“), roč. 243. 2021. Viděno: 21. únor 2022. [Online]. Dostupné z: <http://data.europa.eu/eli/reg/2021/1119/oj/ces>

- [36] European Commission. Directorate General for Communication., The European climate law. LU: Publications Office, 2020. Viděno: 21. únor 2022. [Online]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2775/790913>
- [37] Fakta o klimatu, „Co je Fit for 55“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/fit-for-55> (viděno 19. únor 2022).
- [38] SDĚLENÍ KOMISE EVROPSKÉMU PARLAMENTU, RADĚ, EVROPSKÉMU HOSPODÁŘSKÉMU A SOCIÁLNÍMU VÝBORU A VÝBORU REGIONŮ „Fit for 55“: plnění klimatického cíle EU pro rok 2030 na cestě ke klimatické neutralitě. 2021. Viděno: 21. únor 2022. [Online]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A52021DC0550>
- [39] Fakta o klimatu, „Fit for 55: přehled navrhovaných opatření“, Fakta o klimatu. <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/fit-for-55-opatreni> (viděno 10. březen 2022).
- [40] „Q&A: How ‘Fit for 55’ reforms will help EU meet its climate goals“, Carbon Brief, 20. červenec 2021. <https://www.carbonbrief.org/qa-how-fit-for-55-reforms-will-help-eu-meet-its-climate-goals> (viděno 21. únor 2022).
- [41] MŽP ČR, „Politika ochrany klimatu v České republice“, Ministerstvo životního prostředí, 22. únor 2021. https://www.mzp.cz/cz/politika_ochrany_klimatu_2017 (viděno 24. únor 2022).
- [42] MŽP ČR, „ČR a Evropská unie“, Ministerstvo životního prostředí, 15. srpen 2008. https://www.mzp.cz/cz/cr_eu (viděno 22. únor 2022).
- [43] MŽP ČR, „Státní politika životního prostředí ČR“, Ministerstvo životního prostředí, 15. srpen 2008. https://www.mzp.cz/cz/statni_politika_zivotního_prostredi (viděno 22. únor 2022).
- [44] Kolektiv autorů, Státní politika životního prostředí České republiky 2030 s výhledem do 2050, 1. vydání. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2021.
- [45] MŽP ČR, „Ochrana klimatu a energetika“, Ministerstvo životního prostředí, 28. srpen 2008. https://www.mzp.cz/cz/ochrana_klimatu_energetika (viděno 24. únor 2022).
- [46] MŽP ČR, „Emisní obchodování“, Ministerstvo životního prostředí, 11. srpen 2008. https://www.mzp.cz/cz/emisni_obchodovani (viděno 24. únor 2022).
- [47] MŽP ČR, „Adaptace na změnu klimatu“, Ministerstvo životního prostředí, 16. říjen 2008. https://www.mzp.cz/cz/adaptace_na_zmenu_klimatu (viděno 24. únor 2022).
- [48] MŽP ČR, „Adaptační strategie EU“, Ministerstvo životního prostředí, 9. říjen 2008. https://www.mzp.cz/cz/adaptacni_strategie_eu (viděno 24. únor 2022).
- [49] MŽP ČR, „Národní akční plán adaptace na změnu klimatu“, Ministerstvo životního prostředí, 27. leden 2017. https://www.mzp.cz/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu (viděno 24. únor 2022).
- [50] Nařízení vlády č. 565/2020 Sb. o podmínkách poskytnutí kompenzací nepřímých nákladů pro odvětví, u kterých bylo zjištěno značné riziko úniku uhlíku v důsledku promítnutí nákladů spojených s emisemi skleníkových plynů do cen elektřiny. 2021. [Online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-565/zneni-20220301>
- [51] Vyhláška č. 140/2021 Sb., o energetickém auditu. [Online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-140>
- [52] „Emisní faktor CO₂ z výroby elektřiny za léta 2010–2021 | MPO“. https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/elektrina-a-teplo/emisni-faktor-co2-z-vyroby-elektriny-za-leta-2010_2021--260559/ (viděno 6. květen 2022).
- [53] „Stanovení (výpočtu) t CO₂/MWh pro elektřinu (0,860), uvedeného v příloze č. 8 vyhlášky č. 140/2021 Sb. | MPO“. <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/ministerstvo/aplikace-zakona-c-106-1999-sb/informace-zverejnovane-podle-paragrafu-5-odstavec-3-zakona/stanoveni-vypoctu-t>
-

- co2-mwh-pro-elektrinu-0-860--uvedeneho-v-prilozce-c--8-vyhlasky-c--140-2021-sb---261404/ (viděno 20. květen 2022).
- [54] Zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. In: Sbírka zákonů. 1997, Částka č. 6/1997 Sb.
- [55] „Posuzování životního cyklu". <https://lcastudio.cz/cs/domov/> (viděno 27. říjen 2021).
- [56] „EPD-Ebook-UPDATED-310821-revised-1.pdf". Viděno: 15. prosinec 2021. [Online]. Dostupné z: <https://www.oneclicklca.com/wp-content/uploads/2021/03/EPD-Ebook-UPDATED-310821-revised-1.pdf>
- [57] European Commission, „Level(s)". https://ec.europa.eu/environment/levels_en (viděno 20. březen 2022).
- [58] European Commission, „How Level(s) applies to you". https://ec.europa.eu/environment/levels/lets-meet-levels/how-levels-applies-you_en (viděno 20. březen 2022).
- [59] European Commission, „Carbon capture, use and storage". https://ec.europa.eu/clima/eu-action/carbon-capture-use-and-storage_en (viděno 21. leden 2022).
- [60] „CO2 Study: Higher Climate Benefits Thanks to the European Waste Management Sector", FEAD - European Waste Management Association. <https://fead.be/position/co2-study-higher-climate-benefits-thanks-to-the-european-waste-management-sector/> (viděno 25. březen 2022).
- [61] M. Kuittinen, „Method for the whole life carbon assessment of buildings". Ministry of the Environment, 20. září 2019. Viděno: 15. listopad 2021. [Online]. Dostupné z: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/161796>
- [62] Royal Institution of Chartered Engineers, Whole life carbon assessment for the built environment. 2017.
- [63] „Vybrané pojmy v oblasti uhlíkové stopy | CI2, o.p.s." <https://ci2.co.cz/cs/vybrane-pojmy-v-oblasti-uhlikove-stopy> (viděno 3. únor 2022).
- [64] M. Kuittinen a T. Häkkinen, „Reduced carbon footprints of buildings: new Finnish standards and assessments", Buildings and Cities, roč. 1, č. 1, s. 182–197, čer. 2020, doi: 10.5334/bc.30.
- [65] M. S. Raza, S. H. Khahro, S. A. Memon, T. H. Ali, a N. A. Memon, „Global trends in research on carbon footprint of buildings during 1971–2021: a bibliometric investigation", Environmental Science and Pollution Research, čvc. 2021, doi: 10.1007/s11356-021-15291-6.
- [66] G. A. Blengini, „Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy", Building and Environment, roč. 44, č. 2, s. 319–330, úno. 2009, doi: 10.1016/j.buildenv.2008.03.007.
- [67] „CO2 emissions in waste-to-energy plants: the way forward", FEAD - European Waste Management Association. <https://fead.be/position/co2-emissions-in-waste-to-energy-plants-the-way-forward/> (viděno 25. březen 2022).
- [68] B. Soust-Verdager, C. Llatas, a A. García-Martínez, „Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments", Building and Environment, roč. 103, s. 215–227, čvc. 2016, doi: 10.1016/j.buildenv.2016.04.014.
- [69] A. Takano, S. Winter, M. Hughes, a L. Linkosalmi, „Comparison of life cycle assessment databases: A case study on building assessment", Building and Environment, roč. 79, s. 20–30, zář. 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.04.025.
- [70] „Metodika envimatu", Metodika envimatu, 2021 2010. <http://envimat.cz/metodika/>
- [71] A. Lewandowska, A. Noskowiak, a G. Pajchrowski, „Comparative life cycle assessment of passive and traditional residential buildings' use with a special focus on energy-related

- aspects", *Energy and Buildings*, roč. 67, s. 635–646, pro. 2013, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.09.002.
- [72] „Aká je uhlíková stopa odpadu? Vypočítali ju pre slovenské mestá“, ODPADY-PORTAL.SK. <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/106416/aka-je-uhlikova-stopa-odpadu-spocitali-emisie-z-odpadu-v-najvacsich-slovenske-mesta.aspx> (viděno 1. prosinec 2021).
- [73] J. LE MOUX a A. HERRMANN, „Protocol for the quantification of greenhouse gases emissions from waste management activities“. *Entreprises pour l'Environnement*, 2008.

12 Seznam použitých zkratek

<i>Zkratka</i>	<i>Význam</i>
B2B	označení ekonomických vztahů mezi firmami (business to business)
BAT	nejlepší dostupné techniky (Best available techniques)
CBAM	mechanismus uhlíkového vyrovnání na hranicích (carbon border adjustment mechanism)
CCS	zachycování a ukládání oxidu uhličitého (carbon capture and storage)
CCU	zachycování a využívání oxidu uhličitého (carbon capture and utilisation)
CO₂	oxid uhličitý
COP	konference smluvních stran (Conference of the Parties)
CZT	centrální zásobování teplem
ČR	Česká republika
EF	emisní faktor
EIO	ekonomický vstup-výstup (economic input-output)
EPD	Environmentální prohlášení o produktu
EU	Evropská unie
EU ETS	Evropský systém pro obchodování s emisemi (European Union Emissions Trading Scheme)
GHG	skleníkový plyn (greenhouse gas)
GWP	potenciál globálního oteplování (global warming potential)
HDPE	polyethylen o vysoké hustotě
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu (The Intergovernmental Panel on Climate Change)
LCA	posouzení životního cyklu (life cycle assessment)
LCI	inventář životního cyklu (life cycle inventory)
LCIA	posouzení dopadů životního cyklu (life cycle impact assessment)

LDPE	polyethylen o nízké hustotě
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OSN	Organizace spojených národů
PET	polyethylentereftalát
PP	polypropylen
PS	polystyren
PVC	polyvinylchlorid
Sb.	Sbírka zákonů
Sb. m. s.	Sbírka mezinárodních smluv
SKO	směsný komunální odpad
SPŽP	Státní politika životního prostředí
UNEP	Environmentální program spojených národů (United Nations Environment Programme)
UNFCCC	Rámcová úmluva o změně klimatu (United Nations Framework Convention on Climate Change)
WLC	whole life carbon
WMO	Světová meteorologická organizace (World Meteorological Organization)
ZEVO	zařízení pro energetické využití odpadů

13 Seznam obrázků

Obrázek 1 Měsíční průměry množství CO ₂ v observatoři Mauna Loa, leden 2022 [11].....	15
Obrázek 2 Denní průměry množství CO ₂ , leden 2022 [12]	15
Obrázek 3 Vývoj koncentrace CO ₂ v atmosféře za posledních 800 000 let [13].....	16
Obrázek 4 Srovnání mitigačních opatření [15]	18
Obrázek 5 Časová osa pro mezinárodní klimatické dohody [18]	20
Obrázek 6 Emisní scénáře pro naplnění Pařížské dohody [26].....	23
Obrázek 7 Jak různé varianty snižování emisí ovlivní oteplení [27]	23
Obrázek 8 Výdaje EU na přechod ke klimatické neutralitě, vlastní vypracování dle [30]	25
Obrázek 9 Prvky Zelené dohody pro Evropu [32]	26
Obrázek 10 Hlavní fáze realizace Zelené dohody pro Evropu, vlastní vypracování dle [33]..	27
Obrázek 11 Nástroje balíčku „Fit for 55“[33].....	29
Obrázek 12 Opatření, širší kontext a principy „Fit for 55“[36]	30
Obrázek 13 Přehled navrhovaných opatření v balíčku „Fit for 55“ [38]	31
Obrázek 14 Koncept posuzování udržitelnosti budov [6]	38
Obrázek 15 Normy pro integrovanou kvalitu budovy [6].....	38
Obrázek 16 Princip fungování CCS a CCU [58]	41
Obrázek 17 Vývojový diagram procesů pro posuzování environmentálních vlastností [6]	45
Obrázek 18 Moduly životního cyklu budovy [6]	46
Obrázek 19 Ilustrační obrázek životního cyklu budovy [14].....	47
Obrázek 20 Referenční studované období a požadovaná životnost [6]	48
Obrázek 21 Způsob úpravy kvantifikovaných dopadů pro RSP kratší než ReqSL [6].....	49
Obrázek 22 Alokace vyrobené, importované a exportované energie v rámci budovy [6].....	51
Obrázek 23 Kroky výpočtu uhlíkové stopy za celý životní cyklus dle přístupu Finska [60] ..	54
Obrázek 24 Relativní a absolutní „handprint“ (prospěšná uhlíková stopa) [63].....	55
Obrázek 25 Kroky výpočtu uhlíkové stopy za celý životní cyklus dle přístupu Velké Británie [61]	55
Obrázek 26 Schématické znázornění emisí skleníkových plynů dle GHG Protokolu [62]	56
Obrázek 27 Závislost přesnosti dat dle typu zdroje dat, přeloženo dle [14]	60
Obrázek 28 Preferovaný zdroj dat pro zjištění GWP	60
Obrázek 29 Blokové schéma výpočtového postupu	64
Obrázek 30 Sloupcový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont70	

Obrázek 31 Koláčový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont.	70
Obrázek 32 Závislost GWP ZEVO Evecont [kg CO ₂ ekv.] na poměru uhlíku v palivu	71
Obrázek 33 Závislost GWP ZEVO Evecont [kg CO ₂ ekv./t odpadu] na poměru uhlíku v palivu	71
Obrázek 34 Sloupcový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont s CCS	74
Obrázek 35 Koláčový graf podílu jednotlivých fází na celkovém GWP pro ZEVO Evecont s CCS	74
Obrázek 36 Závislost GWP ZEVO Evecont s CCS [kg CO ₂ ekv.] na poměru uhlíku v palivu	75
Obrázek 37 Závislost GWP ZEVO Evecont s CCS [kg CO ₂ ekv./t odpadu] na poměru uhlíku v palivu.....	75
Obrázek 38 Zdroje skleníkových plynů na skládce odpadů [72]	81

14 Seznam tabulek

Tabulka 1 Skleníkové plyny – GWP a podíl na radiačním působení [4].	16
Tabulka 2 Česká legislativa související s přechodem ke klimatické neutralitě [43].	33
Tabulka 3 Odlišnosti hodnot pro emisní faktor elektřiny.	35
Tabulka 4 Výběr souvisejících norem pro hodnocení uhlíkové stopy, vlastní zpracování dle [6] a [54].	37
Tabulka 5 Přehled chystaných změn legislativy posuzování uhlíkové stopy ve stavebnictví, dle [55].	39
Tabulka 6 Zabudovaný uhlík dle přístupu Velké Británie [61].	55
Tabulka 7 Porovnání rozdílů v ČSN EN 15978, přístupu k WLC Finska a Velké Británie [6], [60], [61].	57
Tabulka 8 Porovnání zahrnutých typů budov do posuzování životního cyklu dle konceptů severských států a EU [63].	58
Tabulka 9 Porovnání časových hranic systémů životního cyklu dle posuzování a konceptů severských států a EU [63].	58
Tabulka 10 Porovnání fyzických hranic systémů životního cyklu dle posuzování a konceptů severských států a EU [63].	59
Tabulka 11 Přehled databází pro LCA [68].	61
Tabulka 12 Zdroje EF pro ZEVO.	65
Tabulka 13 Časové hranice systému ZEVO.	67
Tabulka 14 Fyzické hranice systému ZEVO.	67
Tabulka 15 Výsledky uhlíkové stopy za celý životní cyklus ZEVO Evecont.	69
Tabulka 16 Výsledky uhlíkové stopy za celý životní cyklus ZEVO Evecont s CCS.	73
Tabulka 17 Porovnání uhlíkové stopy ZEVO Evecont pro základní variantu, technologii CCS a nulovou spotřebu energie.	76
Tabulka 18 Uhlíková stopa ZEVO a skládek [59], [71].	78
Tabulka 19 Ušetřená uhlíková stopa díky ZEVO Evecont.	79
Tabulka 20 Úspora GWP a potřebná účinnost technologie CCS.	80
Tabulka 21 Odhadovaná ušetřená uhlíková stopa díky ZEVO na SKO.	81
Tabulka 22 Odhad uhlíkové stopy ZEVO na SKO.	81

15 Seznam příloh

Příloha 1: Výpočet emisního faktoru elektřiny

Příloha 2: Stechiometrické výpočty

Příloha 3: Emisní faktory použitých materiálů

Příloha 4: Výpočet uhlíkové stopy ZEVO Evecont základní varianta

Příloha 5: Výpočet uhlíkové stopy ZEVO Evecont s technologií CCS

Příloha 6: Výpočet uhlíkové stopy ZEVO Evecont

Příloha 7: Odhad uhlíkové stopy ZEVO na SKO