



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

HODNOCENÍ PŘÍRODNÍCH A RECYKLOVANÝCH SUROVIN A MATERIÁLŮ V BUDOVÁCH

ASSESSMENT OF NATURAL AND RECYCLED MATERIALS IN BUILDINGS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

ING. ZUZANA STRÁNSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

DOC. ING. JIŘÍ SEDLÁK, CSC.

BRNO 2018

Bibliografická citace

STRÁNSKÁ, Zuzana. *Hodnocení přírodních a recyklovaných surovin a materiálů v budovách*. Brno, 2018. 119 s., 13 s. příl., příl. CD. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Sedlák, CSc.

Abstrakt

Posuzování životního cyklu LCA (Life-Cycle Assessment) je analytická metoda hodnocení environmentálních dopadů výrobků, služeb a technologií. Při hodnocení touto metodou se bere ohled na celý životní cyklus produktu. Environmentální dopady produktů jsou hodnoceny na základě posouzení vlivu materiálových a energetických toků, které si hodnocený produktový systém vyměňuje s životním prostředím. Environmentální dopady produktového systému jsou vždy stanoveny ve vztahu k funkci výrobku či služby a umožňují tak srovnání mezi alternativami.

Jedním z nejdůležitějších důvodů volby tématu této disertační práce byl stále rostoucí zájem veřejnosti, a to nejen té odborné, o dopady výstavby a užívání domů na životní prostředí a tím i na lidský organismus.

Vzhledem k tomu, že se v současné době problematikou environmentálního hodnocení budov v České republice zabývá poměrně málo odborníků a vědeckovýzkumných pracovišť byla disertační práce zaměřena na rozšíření poznání v oblasti hodnocení environmentálních dopadů stavebních materiálů a budov metodikou hodnocení životního cyklu (LCA). Pro řešení disertační práce byly stanoveny čtyři základní problémy: stanovení environmentálních dopadů vybraných materiálů chybějících v dostupných databázích, sestavení modelu životního cyklu hodnocených budov, stanovení nejvhodnější funkční jednotky pro hodnocení bytných budov a stanovení doporučeného obsahu protokolu o LCA analýze budovy.

Hlavní část disertační práce se zabývá posuzováním životních cyklů obytných budov. Detailní model životního cyklu vybrané obytné budovy byl vytvořen na základě dostupných podkladů a databází. Tento LCA model „od kolébky po kolébku“ byl následně optimalizován pro velké množství scénářů životního cyklu za účelem zjištění významnosti vlivu jednotlivých proměnných na celkové environmentální dopady budovy. Získané znalosti z této analýzy byly aplikovány na modely životních cyklů dalších budov a byla sestavena doporučená podoba protokolu o LCA analýze budovy. Dále pak byla stanovena doporučení pro vhodnou volbu funkčního ekvivalentu při hodnocení obytných budov metodikou LCA s ohledem na účel studie.

LCA model „od kolébky po bránu“ tepelné izolace z rostlinných vláken byl sestavován postupně, tak jak byla získávána inventarizační data. Následně byl

optimalizován a byla navržena opatření pro snížení jeho environmentálních dopadů. Stejně tak byl sestaven model výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního materiálu, který je prozatím ve fázi vývoje a u kterého byla zjišťována citlivost výsledků environmentálních dopadů na objem předpokládané roční produkce.

Abstract

Life-Cycle Assessment (LCA) is an analytic method for evaluation of environmental impacts of products, services and technologies. It is associated with all the stages of a product's life. The environmental impacts are evaluated on the basis of material and energetic flows, which are in influence with the environment. These impacts are always determined in the relation with the function of the product or the service and so it is possible to compare them with the other alternatives.

One of the most important reasons why I have chosen this dissertation thesis subject was the growing public interest in impacts of the building constructions on the environment and human organism.

Only a few experts and scientific research centres deal with the problem of environmental impacts of the buildings in the Czech Republic so the main goal of this thesis is to help with a spreading a knowledge about it. There are four main problems to solve in the thesis: determination of environmental impacts of selected materials which are missing in available databases, creation of life cycle models of evaluated buildings, determining the most appropriate functional unit and determining the contents of the recommended LCA protocol for building analysis.

In the first phase of the thesis there was built a detailed life cycle model of the reference building on the basis of available documents and databases. This "cradle to cradle" LCA model was then optimized for a large number of life cycle scenarios to determine the significance of the impact of individual variables on the overall environmental impact of the building. The knowledge gained from this analysis was applied to the lifecycle models of other buildings and then there was assembled the recommended form of the LCA protocol. In the final stage, the results of the environmental impacts were quantified on the different functional units which were used for determining the appropriate form.

The LCA model "from cradle to gate" of the fiber thermal isolation was assembled sequentially as the inventory data was obtained. Then it was optimized and was found the measures to reduce its environmental impacts. Similarly there was assembled a model for the production of thermal insulating blocks of composite material, which is currently in the development phase and which is sensitive to environmental impact results to the projected annual production.

Klíčová slova

Environmentální dopady, kategorie dopadu, posuzování životního cyklu (LCA), charakterizační model, funkční jednotka, hranice systému, obytné budovy.

Key words

Environmental impacts, Impact category, Life-Cycle Assessment, Functional unit, System boundary, Residential buildings.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem disertační práci nazvanou „Hodnocení přírodních a recyklovaných surovin a materiálů v budovách“ zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje, ze kterých jsem čerpala.

V Brně, dne 26. 1. 2018

.....
Ing. Zuzana Stránská

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří mě v mé práci podporovali, zejména svému synovi Radimovi a jeho otci Ing. Jaromíru Sochorovi za jejich ohleduplnost a motivaci. Kolegům z Ústavu pozemního stavitelství bych poděkovala za příjemné prožití mého doktorského studia, zejména Ing. Karlu Struhalovi.

Za cenné rady a odborné připomínky děkuji svému školiteli doc. Ing. Jiřímu Sedlákovi, CSc.

V neposlední řadě patří mé poděkování Ing. Petru Hlavsovi, doc. Ing. Karlu Šuhajdovi, Ph.D. a Ing. arch. Mojmíru Hudcovi za poskytnutí projektové dokumentace k modelovaným objektům, bez nichž by tato disertační práce nevznikla. RNDr. Dlahovi děkuji za pomoc při pochopení funkčních vztahů v životním prostředí.

Děkuji!

V Brně, dne 26. 1. 2018

.....
Ing. Zuzana Stránská

OBSAH

1. Úvod.....	10
2. Teoretické pozadí práce.....	12
2.1 Metoda LCA	12
2.1.1 Definice cílů a rozsahu	15
2.1.2 Inventarizační analýza	19
2.1.3 Posouzení dopadů životního cyklu	20
2.1.4 Interpretace	23
2.2 Kategorie dopadu a indikátor kategorie dopadu	24
2.3 Charakterizační modely.....	25
2.3.1 CML-IA	25
2.3.2 EDIP	25
2.3.3 TRACI.....	26
2.3.4 Eco-indicator 99.....	26
2.3.5 EPS 2000	26
2.3.6 Ecofaktor	27
2.3.7 IMPACT 2002+	27
2.3.8 ReCiPE	27
2.4 Environmentální značení a prohlášení	28
2.4.1 Environmentální značení TYP I	28
2.4.2 Environmentální značení TYP II	29
2.4.3 Environmentální prohlášení TYP III	29
2.5 Databáze procesů pro LCA	30
2.6 Software pro sestavování LCA.....	32
3. Environmentální hodnocení obytných budov v ČR a ve světě	33
3.1 LCA studie v zahraničí	34
3.2 Environmentální hodnocení budov a stavebních materiálů v ČR.....	36
4. Cíl práce.....	37
4.1 Vytyčení cílů.....	37
5. Zvolené metody zpracování	39
5.1 Literární rešerše	39
5.1.1 Analýza charakterizačních modelů a normalizace pro posouzení	39
5.1.2 Sběr dat pro posouzení	40
5.2 Sestavení modelu výrobní fáze životního cyklu Iněné izolace.....	40
5.3 Sestavení modelu výrobní fáze životního cyklu tepelné izolace z kompozitního plastu	41
5.4 Sestavení modelů životního cyklu hodnocených budov	41
5.5 Statistická analýza výsledků hodnocených budov.....	41
6. Výsledky jednotlivých metod zpracování.....	44

6.1	Posouzení výroby lněné tepelné izolace z hlediska dopadů na životní prostředí.....	44
6.1.1	Popis výroby lněné tepelné izolace.....	44
6.1.2	Inventarizace výroby lněné tepelné izolace	50
6.1.3	Vyhodnocení environmentálních dopadů lněné tepelné izolace	51
6.1.4	Rekapitulace a závěr	56
6.2	Posouzení vlivu výroby tvarovky z tepelně izolačního kompozitního plastu na životní prostředí	57
6.2.1	Popis výroby tvarovek z kompozitního plastu	57
6.2.2	Inventarizace vstupních a výstupních procesů výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu	62
6.2.3	Vyhodnocení environmentálních dopadů tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu	63
6.2.4	Citlivostní analýza.....	65
6.2.5	Rekapitulace a závěr	66
6.3	Hodnocení rodinných domů metodikou LCA.....	67
6.3.1	Hodnocené budovy.....	68
6.3.2	Zdroje dat	72
6.3.3	Referenční studované období.....	73
6.3.4	Hranice systému.....	73
6.3.5	Seznam indikátorů použitých pro posouzení a vyjádření výsledků ...	82
6.3.6	Scénáře životního cyklu hodnocených budov	82
6.3.7	Vyhodnocení environmentálních dopadů rodinných domů	83
6.3.8	Rekapitulace a závěr	96
6.4	Vhodnost funkční jednotky/ekvivalentu	97
6.5	Protokol o LCA studii obytné budovy.....	98
7.	Výsledky disertační práce a zjištěné poznatky	100
7.1	Shrnutí závěrů z hodnocení výrobní fáze životního cyklu tepelné izolace z lněných vláken	100
7.2	Shrnutí závěrů z hodnocení výrobní fáze životního cyklu tepelné izolace z kompozitního plastu	101
7.3	Shrnutí závěrů z hodnocení životního cyklu vybraných reálných staveb	102
7.4	Závěry pro technickou praxi	103
7.5	Možnosti dalšího výzkumu	103
8.	Použitá literatura a zdroje.....	105
9.	Seznam použitých zkratk a symbolů	114
10.	Seznam tabulek, obrázků a grafů.....	116
11.	Seznam příloh	119
11.1	Tištěné	119
11.2	Na CD	119

1. Úvod

Možnosti naší planety a tím i životního prostředí jsou omezené. Ať už ji chápeme jako zdroj surovin, místo a funkce potřebné k životu nebo jako prostor pro ukládání odpadů a znečištění všeho druhu. A proto se v posledních letech stále častěji skloňují termíny jako „udržitelnost“, „dopady na životní prostředí“, „globální oteplování“ a „komplexní hodnocení výrobků a služeb“. Podrobně se o problematice limitů planety zmiňují např. [1] a [2].

Ekologická výstavba se mnohokrát zužuje jen na otázku používání ekologických, zdravotně nezávadných stavebních materiálů nebo jen na energeticky úsporná opatření [3]. Což je jen částečným řešením problému. Při hodnocení vlivu budovy na životní prostředí je třeba posoudit celý životní cyklus od těžby surovin pro výrobu materiálů použitých na stavbu, až po odstranění stavby na konci její životnosti a případnou recyklaci materiálů, aby nedocházelo pouze k přesouvání environmentálních problémů do jiných částí životního cyklu. Při návrhu budovy by se tedy projektant neměl zaměřit pouze na to či bude stavba z ekologických materiálů a jaké množství energetických zdrojů se spotřebuje při jejím provozu, ale měl by také brát v úvahu vliv provozu stavby na okolní prostředí (např. systém vytápění a nakládání s vodou), kvalitu vnitřního mikroklima a v neposlední řadě také ekonomickou náročnost provozu budovy.

Přitom je potřeba brát ekologické požadavky na výstavbu jako rozšíření „klasických“ požadavků, ne jako novou definici navrhování. Ekologicky orientované návrhy by měly vycházet z účelu objektu a spojením všech požadavků (technických, provozních, normativních, hygienických i individuálních požadavků uživatele) by mělo dojít k optimálnímu konceptu návrhu.[3]

Jak uvádí [4], ekodesign je jedním z velmi důležitých preventivně zaměřených dobrovolných regulačních nástrojů environmentální politiky na ochranu životního prostředí. Preventivní zaměření ekodesignu je dáno tím, že požadavek na snížení negativního dopadu výrobku na životní prostředí je zařazen již do samotného začátku úvah o výrobku, čili že se jedná o nejpreventivnější a jak praxe ukazuje i nejekonomičtější přístup ke snižování negativních vlivů výrobků na životní prostředí.

Charakter a množství odebraných i dodaných látek do životního prostředí a jejich negativní dopad na něj se nejčastěji stanovuje metodou posuzování životního cyklu LCA (Life-Cycle Assessment) výrobku. Tato metoda patří mezi nejvýznamnější informační nástroje environmentální politiky. Aplikace LCA jsou zaměřeny na zlepšení environmentálních dopadů hodnoceného produktu. A to buď přímou cestou a nebo nepřímým způsobem prostřednictvím ovlivňování chování na trhu, či prostřednictvím zjištění možností zlepšení. [5]

Počátek hodnocení environmentálních dopadů se často dává do souvislosti s ropnou krizí [3,6,7], ale jsou zde snahy již z dřívějších dob např. kniha „Limits to Growth“ vydaná v roce 1972 poukazuje na problém spojený s plýtváním zdrojů. První studie LCA prováděné mezi lety 1969 – 1972 byly všechny o obalech a odpadovém hospodářství. Nicméně ropná krize byla pro vývoj LCA důležitá, protože vedla ke zvýšení zájmu o tuto metodu. [5]

Stavebnictví a průmyslová výroba stavebních materiálů jsou považovány za odvětví, které se řadí mezi přední znečišťovatele životního prostředí. Z toho důvodu je potřebné shromažďovat informace o životním cyklu stavebních materiálů, výrobků i staveb jako takových. Zároveň je nutné monitorovat stav životního prostředí. Dále je důležité informace a závěry z výzkumů na toto téma šířit mezi projektanty a investory.

2. Teoretické pozadí práce

2.1 Metoda LCA

LCA je analytická metoda hodnocení potenciálních environmentálních dopadů spjatých s životním cyklem určitého výrobku, služby, technologie, obecně produktu. Životní cyklus produktu začíná získáváním obnovitelných a neobnovitelných surovin a energetických zdrojů z prostředí. Pokračuje výrobou potřebných materiálů a výrobou produktů. Následuje využívání produktu spotřebitelem a životní cyklus produktu končí jeho odstraněním. [6,8]

Metoda vznikla v USA z metody REPA (Resource and Environmental Profile Analysis), kdy se na základě analýzy nákladů a užitků posuzovaly výrobky z hlediska spotřeby přírodních zdrojů a energie. První LCA studie byla pro společnost Coca-Cola, kterou realizoval Midwes Research Institute (MRI) v roce 1969. Studie REPA začalo provádět Franklin Associates začátkem 70. let.

V Evropě se studie LCA používali koncem 70tých let především v Německu a Švýcarsku při výběru nápojových obalů. V roce 1979 byla založena Společnost pro environmentální toxikologii a chemii (Society for Environmental Toxicology and Chemistry – SETAC). SETAC se zaměřuje na rozvoj a sjednocení metodiky LCA.

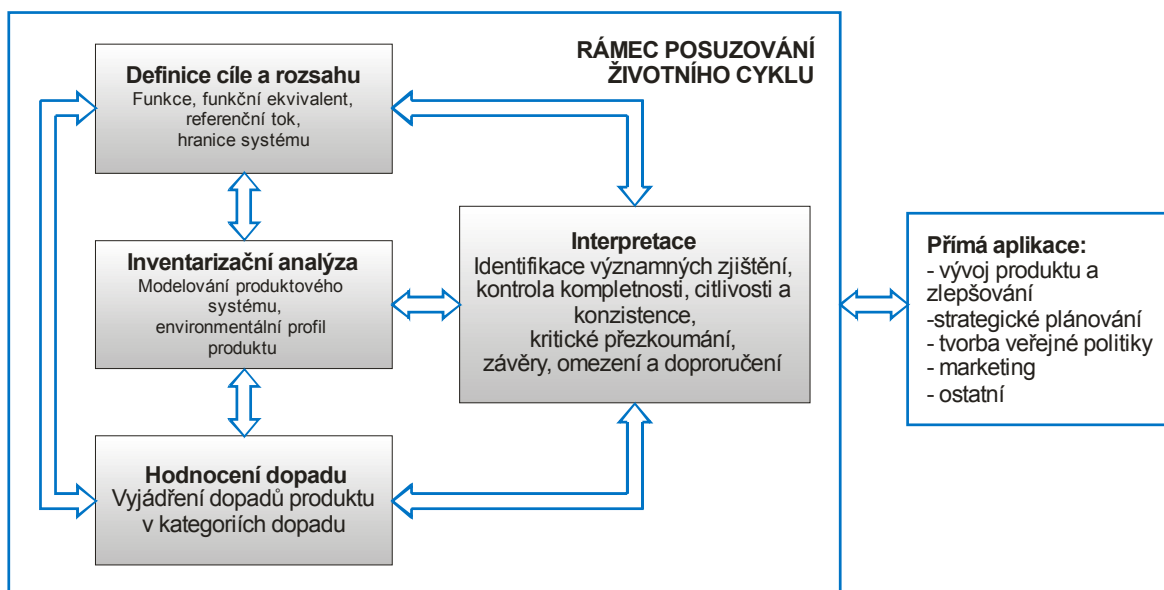
Na aplikaci LCA zejména v rozvojových zemích se zaměřuje program OSN pro životní prostředí UNEP (the United Nations Environmental Programme). Pod záštitou tohoto programu se konají mezinárodní workshopy na tematiku LCA.

Metodikou LCA se zabývají následující normy:

- 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 P ISO TS 14048: Environmentální management – Posuzování životního cyklu - Formát a dokumentace údajů;
- ČSN P CEN ISO/TS 14071: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Procesy kritického přezkoumání a kompetence posuzovatele: Dodatečné požadavky a směrnice k ISO14044:2006;
- ČSN ISO 14025: Environmentální značky a prohlášení - Environmentální prohlášení typu III - Zásady a postupy;

- ČSN EN 15804+A1: Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu - Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů;
- ČSN EN 15643-2: Udržitelnost staveb – Posuzování udržitelnosti budov – Část 2: Rámec pro posuzování environmentálních vlastností;
- ČSN EN 15978: Udržitelnost staveb – Posuzování environmentálních vlastností budov – Výpočtová metoda;
- ČSN ISO 21930: Udržitelnost ve výstavbě – Environmentální prohlášení o stavebních produktech.

LCA studie sestává ze čtyř základních fází: definice cíle a rozsahu, inventarizace, hodnocení dopadů a interpretace. Jednotlivé fáze LCA využívají výsledky ostatních fází. Interaktivní přístup uvnitř a mezi fázemi přispívá k ucelenosti a konzistenci studie a předkládaných výsledků [8].



Obr. 1: Schéma fází metodiky LCA [autor].

Posouzení životního cyklu budovy může mít následující předpokládaná využití:

- podpora při procesu rozhodování (např. porovnání environmentálních vlastností různých variant návrhu, renovace, rekonstrukce a/nebo nové konstrukce; zjištění potenciálu pro vylepšení environmentálních vlastností);
- prohlášení o vlastnostech s ohledem na požadavky právních předpisů;

- dokumentace environmentálních vlastností budovy, která se použije např. pro certifikaci, prohlášení o environmentálních vlastnostech, značení štítkem, marketing;
- podpora vývoje politik.

Podle toho zda se hodnotí celý životní cyklus produktu nebo pouze jeho části lze LCA studie rozdělit do několika druhů:

- **od kolébky do hrobu** (cradle-to-grave), která představuje hodnocení všech fází životního cyklu (od těžby surovin až po fázi likvidace);
- **od kolébky po bránu** (cradle-to-gate), kdy se hodnotí fáze od těžby surovin po okamžik kdy výrobek opouští bránu továrny – před transportem ke spotřebiteli, toto hodnocení bývá často základem k environmentálnímu prohlášení o produktu (EPD) a nezahrnuje fáze užívání a odstranění výrobku;
- **od kolébky do kolébky** – výroba v otevřené smyčce (cradle-to-cradle nebo open loop production), které se používá v případě, kdy na konci životnosti výrobku je proces recyklace při níž vznikají nové výrobky;
- **od brány po bránu** (gate-to-gate);
- **od zdroje po kola** (well-to-wheel), která se používá při přepravě pohonných látek a vozidel, často se užívá k posouzení celkové spotřeby energie nebo účinnosti přeměny energie.

Pokud je hodnocen celý životní cyklus výrobku (cradle-to-grave případně cradle-to-cradle) nedochází k přesouvání zátěže životního prostředí mezi jednotlivými etapami životního cyklu a díky tomu je možné učinit významná zjištění, která vedou k efektivním opatřením.

Daní za komplexnost metody je její značná pracnost a finanční náročnost, která je způsobená především nutností sběru značného množství dat. Metoda je neustále rozvíjena a jsou vytvářeny a rozšiřovány databáze a příslušné software.

LCA analýza má široké použití a rozsah analýzy je stanoven definovanými hranicemi systému, což umožňuje porovnání LCA studií shodného produktu pouze se studií se stejně definovanými hranicemi produktového systému, kvalitou údajů, alokačními pravidly i použitou metodou pro hodnocení dopadů. Proto by měl být kladen velký důraz na transparentnost studií a podrobné podávání zpráv z analýzy.

Dále je nutné přihlídnout ke geografické závislosti studie – studie vypracované např. v Evropě nelze aplikovat v Austrálii, aniž by byly vzaty v úvahu příslušné místní odlišnosti (např. energetický mix). Další omezení LCA studie plyne z choulostivosti, případně úplného utajení některých dat výrobců a jiných subjektů zapojených do životního cyklu posuzovaného předmětu. Z toho vyplývá úskalí LCA studií určených k prezentaci veřejnosti a to komerční citlivost. Značná část LCA studií tudíž není zveřejněna a jedná se o interní zprávy společnosti.

Téměř přirozeným problémem LCA metodiky, jak uvádí [5] je, že žádný člověk provádějící LCA studii nemůže být technický odborník na všechny technologie zastoupené v posuzovaném životním cyklu produktu. [6] považuje za nezbytné chemicko-technologické vzdělání zpracovatele těchto studií.

Metoda LCA neposuzuje reálné, ale potenciální dopady. Ekonomické a sociální aspekty jsou v LCA zahrnuty pouze jako základ pro vážení. LCA neřeší hodnocení rizik.

2.1.1 Definice cílů a rozsahu

V této části LCA studie se rozhoduje co a za jakým účelem bude posuzováno. Norma ČSN EN ISO 14044 klade důraz na to, aby cíl a rozsah studie byl jasně definován a v souladu se zamýšlenou aplikací. Výsledky LCA studie nemohou být prezentovány bez definice cílů, rozsahu a účelu hodnocené studie. Definicí cílů studie se rozumí jednoznačné stanovení zamýšleného použití, důvodů provádění studie, podmínky platnosti studie a to kdo a jak bude používat data v ní uvedená.

Rozsahem studie se míní úroveň detailů a s tím spojené požadavky na použitá data (např. agregovaná či specifická data) a také referenční studované období.

Další specifikací modelování, která se v této části studie stanovuje je funkční jednotka. Funkční jednotka určuje funkci produktu a to jak tato funkce bude kvantifikována. Environmentální dopady hodnoceného produktu jsou vztaženy k funkční jednotce a tím umožňují srovnání s alternativním produktem plnícím stejnou funkci.

Hranice systému identifikují, do jaké míry jsou specifické procesy nebo produkty zahrnuty nebo vyloučeny z analýzy. Hranice systému se určují ve vztahu k přírodnímu systému, geografickým hranicím, časovému horizontu, výrobnímu kapitálu a personálu (zda zahrnout výrobní linky a potřeby zaměstnanců), ostatním produktům životního cyklu a alokacím.

Environmentální dopady jsou v metodice LCA hodnoceny ve vztahu k definovaným problémům životního prostředí zvaným kategorie dopadu. K dispozici jsou již doporučené seznamy dopadů, které zahrnují např. využívání zdrojů (obnovitelných i neobnovitelných), globální oteplování, acidifikaci a eutrofizaci. Zvolené dopady určují parametry pro data, která budou shromažďována ve fázi inventarizační analýzy LCIA. Je možné zvolit některou z existujících metodik hodnocení a pak je v rámci správné interpretace nutné uvádět všechny kategorie dopadu, které zvolená metodika obsahuje (aby nedocházelo k nesprávné interpretaci).

V praxi se setkáváme s tím, že v průběhu provádění studie je potřeba udělat další rozhodnutí, která nejsou patrná hned na začátku. U studií, které zahrnují kritické posouzení, musí být v této části stanoveno jakým způsobem bude provedeno.

2.1.1.1 Funkční jednotka a funkční ekvivalent

V porovnávaných studiích jsou málokdy srovnávané produkty naprosto totožné. Nemusí být ve stejné kvalitě, nebo jeden z produktů může mít další funkce. Pak je nutné zvolit funkci, která je relevantní k požadovanému cíli studie. Cílem posouzení může být např. rozhodnutí zda postavit novou budovu nebo rekonstruovat budovu stávající. To komplikuje definici funkční jednotky, obzvláště je-li obtížně popsitelná čísly. [5]

U posuzování komplikovanějších produktových systémů, kde by musela být hodnocena kombinace více funkčních jednotek se používá funkční ekvivalent. Dle normy ČSN EN 15978 je funkční ekvivalent definován jako kvantifikované funkční požadavky a/nebo technické požadavky na budovu nebo montovaný systém (část stavby) použité jako základ pro srovnání. Environmentální dopady jsou tedy vztaženy k velikosti funkce výrobku a nikoli k výrobku samotnému.

Funkční jednotka/ekvivalent odpovídá referenčnímu toku, ke kterému jsou vztaženy všechny modelované toky posuzovaného systému. Referenčním tokem se nazývají veškeré výstupy z procesů v daném produktovém systému, kterých je zapotřebí k naplnění funkce vyjádřené funkční jednotkou/ekvivalentem [8].

U porovnávání dvou produktů musí být stejné funkční jednotky/ekvivalenty, ale referenční tok se může lišit. Jak bylo již výše zmíněno, je třeba aby porovnávané systémy měly odpovídající metodologické úvahy o hranicích systému, kvalitě

údajů, alokačních postupech a posuzování dopadů. Jestliže má být studie použita pro porovnávací tvrzení přístupné veřejnosti, pak zainteresované strany musí provést kritické přezkoumání [10].

2.1.1.2 Referenční studované období

Každá LCA studie musí mít jasně definovaný časový rozsah platnosti studie, který je vztážen k charakteristice produktového systému (např. životnost či doba trvání environmentálních dopadů). Porovnání studií s rozdílným časovým rozsahem může vést k nesprávným závěrům.

Výchozí hodnotou pro referenční studované období musí být dle normy ČSN EN 15978 požadovaná životnost budovy (požadovanou objednatelem, nebo platnými předpisy). Tato norma zároveň uvádí, že se může referenční studované období lišit od požadované životnosti v závislosti na předpokládaném využití posouzení nebo požadavcích právních předpisů nebo vnitrostátních pokynů. I tak se hodnoty dopadů vypočítají nejprve pro požadovanou životnost.

2.1.1.3 Hranice systému

Jak již bylo výše zmíněno, hranice systému určují, které procesy budou brány v úvahu pro daný předmět posuzování. Procesem se rozumí operace přeměňující vstupy na výstupy. Všechny procesy podílející se na jednotlivých fázích životního cyklu produktu tvoří jeden celek nazývaný produktový systém. V ideálním případě má být produktový systém modelován takovým způsobem, aby vstupy a výstupy byly na jeho hranici elementárními toky. Elementární toky představují materiál nebo energii vstupující/vystupující do/z posuzovaného systému ze životního prostředí bez předchozí/následné přeměny člověkem [8].

Stanovení hranic systému zásadně ovlivní náročnost a výsledky LCA studie. Kritéria pro zahrnutí či vyřazení vstupů a výstupů z hodnocení (cut-off criteria) musí být jasně popsána. Nezahrnutí jakéhokoliv procesu či stádia životního cyklu musí být logicky zdůvodnitelné a ve studii vysvětlené. V praxi se používají převážně kritéria hmotnostní, energetická a kritéria založená na environmentální závažnosti.

Hranice systému se mohou na základě významných zjištění v průběhu zpracování studie měnit. Pokud byly v rámci studie vyloučeny určité části

produktového systému, je třeba provést analýzu citlivosti ke změně přijatých předpokladů.

Informace z posuzování budovy														
Informace o životním cyklu														Doplňující informace nad rámec životního cyklu
Výrobní fáze			Fáze výstavby		Fáze užívání					Fáze konce životního cyklu				Přínosy a náklady za hranicemi systému
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Dodání nerostných surovin	Doprava	Výroba	Doprava	Procesy výstavby – instalace	Užívání	Údržba	Oprava	Výměna	Rekonstrukce	Demolice / dekonstrukce	Doprava	Zpracování odpadu	Odstranění	Potenciál opětovného použití, využití a recyklace
					B6	Provozní spotřeba energie								
					B7	Provozní spotřeba vody								

Obr. 2: Rozdělení modulových informací pro různé fáze životního cyklu budovy [dle ČSN EN 15978].

Norma ČSN EN 15978 přiřazuje procesy ovlivňující environmentální vlastnosti budovy k modulům reprezentujícím jednotlivé fáze životního cyklu budov. Uspořádání modulů odpovídá modulární struktuře informací z EPD pro stavební výrobky, procesy a služby dle EN 15804. Procesy se přiřazují k modulům dle toho, kdy se zapojují do životního cyklu budovy. Pro nově budované stavby platí, že hranice systému musí obsahovat všechny fáze životního cyklu. Pro stávající budovu platí, že hranice systému musí zahrnovat všechny fáze reprezentující zbývající životnost a fáze konce životního cyklu budovy.[9]

2.1.1.4 Scénář životního cyklu

Scénářem se nazývá soubor předpokladů a informací týkajících se očekávaného sledu možných budoucích událostí [9]. Scénáře slouží pro kompletní popis posuzovaného předmětu např. v případě proměnných referenčních studovaných období, životnosti, pracovní době a způsobu užívání. Jednotlivé scénáře musí být podrobně popsány v dokumentaci analýzy. Pokud se v průběhu posuzování objeví nové informace, mělo by dojít k zpřesnění jednotlivých scénářů.

2.1.2 Inventarizační analýza

Inventarizační analýza LCI (Life Cycle Inventory) představuje sběr a kvantifikaci vstupů a výstupů studovaného produktového systému pro všechny fáze životního cyklu. Vstupní data zahrnují všechny přírodní zdroje, zatímco výstupní data zahrnují produkty, druhotné produkty, odpady, emise do ovzduší, vypouštění do vody a půdy a jiné formy výměny s životním prostředím (např. ztráty tepla) [12].

Inventarizační analýza zahrnuje:

- sestavení modelu toků (procesní postupový diagram), podle systémových hranic stanovených ve fázi definice cíle a rozsahu; který zobrazuje činnosti zahrnuté v analyzovaném systému a toky mezi těmito aktivitami;
- sběr dat pro všechny aktivity v hodnoceném systému (např. suroviny, energetické zdroje, výrobky, pevný odpad, emise do vzduchu a vody) a jejich dokumentaci;
- výpočet množství zdrojů a emisí znečišťujících látek (environmentálních zátěží) hodnoceného systému ve vztahu k funkční jednotce respektive k referenčnímu toku. [5]

Tato fáze LCA je velmi komplikovaná vzhledem k faktu, že mnoho procesů produkuje více než jeden produkt. Environmentální zatížení řešených procesů může být alokováno, tzn. rozděleno mezi jeho různé výrobky.

Data pro procesy získávání surovin a výroby materiálů se nejčastěji použijí generická z dostupných databází. Data pro proces výroby produktu se mohou získat buď přímo od výrobce, nebo je opět možné použít databáze. Pro procesy užívání produktu lze některé údaje získat od výrobců (např. životnost, četnost oprav, vedlejší vstupy a výstupy nutné k provozu). Sběr dat pro sestavení studie

LCA by měl pokud možno zahrnovat i data od spotřebitelů často získávaná sociologickým průzkumem. Jejich individuální chování oproti teoretickým předpokladům může značně ovlivnit výsledky studie. Data pro procesy vznikající ve stadiu likvidace konkrétního produktu jsou velmi těžko vyjádřitelná, vzhledem k tomu, že většina způsobů odstranění zpracovává současně více druhů produktů. Z toho důvodu se často používají průměrná data.

Výsledky inventarizace jsou většinou prezentovány ve formě tabulky.

2.1.2.1 Alokace

Výsledkem většiny průmyslových procesů je více než jeden produkt a často se k výrobě produktu používá recyklovaných materiálů. Tyto procesy jsou sdíleny s jinými produktovými systémy. Potřeba alokace nastává pokud potřebujeme vyjádřit environmentální dopad ve vztahu k funkci pouze jednoho z produktů. Alokace je postup rozdělení environmentálních dopadů způsobem, který odráží vlastní fyzikální nebo jiné vzájemné vztahy mezi různými produkty, např. dle počtu produktů, hmotnosti produktů nebo dle ekonomické hodnoty výrobků.

Jelikož alokace zanáší do studie LCA prvek nejistoty, je třeba zvolené metody pro každý případ odůvodnit. Kdykoliv se zdá, že lze použít několik možných postupů alokace, musí se provést analýza citlivosti, aby se prokázaly důsledky odchylky od zvoleného přístupu. [6, 13]

Pokud to jde, má se alokace vyloučit tak, že:

- jednotkový proces, který má být alokovan, se rozdělí na dva či více nižších procesů a shromažďování vstupních a výstupních údajů se provede ve vztahu k těmto nižším procesům;
- výrobní systém (hranice systému) se rozšíří tak, aby zahrnul dodatečné funkce týkající se vedlejších produktů. [13]

Více informací o alokacích je možné se dočíst v [5, 6, 10, 14].

2.1.3 Posouzení dopadů životního cyklu

LCIA (Life Cycle Impact Assessment) má pět fází, z toho jsou první tři povinné a další dvě dobrovolné (norma ČSN EN ISO 14040 a 14044 uvádí navíc výběr kategorií dopadu, indikátorů kategorie a charakterizačních modelů jako samostatnou povinnou fázi).

Nejprve se provede klasifikace neboli přiřazení výsledků z inventarizace (elementárních toků) k jednotlivým kategoriím dopadu (podle toho jaký vliv mají na životní prostředí).

V dalším kroku tzv. charakterizaci se vypočítají relativní příspěvky z emisí a spotřeby zdrojů pro každou kategorii dopadu. Výpočty jsou založeny na vědeckých modelech řetězce příčin a následků v přírodním systému.

Následující „normalizace“ je vztažení výsledků z charakterizace k referenční hodnotě. Normalizace porovnává výsledky kategorií dopadu s celkovými důsledky v dané oblasti, pro kterou se normalizace provádí. Seskupování je třídění výsledků charakterizace do jedné či více skupin.

Vážení je vyjadřování významnosti kategorií dopadu s ohledem na ekonomicko-sociální hlediska [6]. Váhové faktory zahrnují preference společnosti (nebo určité skupiny či jednotlivce) a proto se v jednotlivých zemích liší a někdy se liší i v rámci jedné země. [12] Vážení dává možnost jednoduchého vyhodnocování, díky tomu, že různé dopady vyjadřuje tak, že je možné jejich hodnoty sečíst a porovnávat jedno výsledné číslo. Vážení nesmí být použito v porovnávacích studiích LCA, které mají být veřejně publikované. Dalším volitelným prvkem LCIA je analýza kvality údajů LCIA.

Kategorie dopadu, indikátory kategorie, nebo charakterizační modely by měly být založeny na mezinárodní dohodě nebo schváleny kompetentním mezinárodním orgánem. Nemělo by docházet k jejich dvojnásobnému započítávání, pokud to není požadováno v definici cíle a rozsahu, například když studie zahrnuje jak lidské zdraví, tak karcinogenitu.

Do této části LCA patří také kontrola údajů, a ta se provádí analýzou závažnosti, analýzou neurčitosti a analýzou citlivost. Více viz [10].

Dále jsou podrobněji popsány jednotlivé fáze posouzení dopadů životního cyklu. Bližší informace je možné nalézt např. v [5, 15]

2.1.3.1 Charakterizace

Charakterizace spočívá v převodu výsledků klasifikace na společnou jednotku dané kategorie dopadu. K tomu slouží charakterizační faktory, které vyčíslují, jak silně se daná látka podílí na rozvoji určitého problému v životním prostředí.

Soubor charakterizačních modelů převádí hodnoty velikostí elementárních toků na indikátory všech kategorií dopadu, které jsou v metodice LCIA uvažovány.

Většina metodik LCIA používá velmi podobný výběr kategorií dopadu, ale často se liší ve způsobu, jak dopady jednotlivých elementárních toků charakterizují, tedy jaké volí charakterizační modely. Vzájemné porovnání výsledků kategorií dopadu získaných odlišnými charakterizačními modely je zavádějící a vede k nesprávné interpretaci. Charakterizační model každého indikátoru kategorie dopadu by měl mít vědeckou a technickou platnost a měl by být založen na snadno identifikovatelném empirickém pozorování.

Metodiky LCIA bývají založené buď na midpointové či na endpointové charakterizaci. Dále existují metodiky LCIA, které jsou kombinací těchto dvou druhů charakterizace. Jejich principem je provedení charakterizace na úrovni midpointů, a tím získání výsledků midpointových indikátorů kategorií dopadu a následně se tyto výsledky seskupí do menšího počtu endpointových kategorií dopadu. Více o midpointech a endpointech v kapitole 2.2 o kategoriích dopadu.

2.1.3.2 Normalizace

Normalizací se rozumí vztahování výsledku indikátoru kategorie dopadu k referenční informaci. Referenční informací mohou být například celkové vstupy a výstupy v dané oblasti, nebo vstupy a výstupy v základním scénáři produktového systému. V podstatě se jedná o převedení výsledků indikátorů kategorie dopadu na bezrozměrné hodnoty a tím umožnění lepšího porozumění relativního významu každého výsledku indikátoru ve zkoumaném produktovém systému. Normalizace může být nápomocná např. při:

- kontrole nekonzistence;
- poskytování a komunikaci informací o relativním významu výsledků indikátoru a
- přípravě na dodatečné postupy, jako je seskupování, vážení nebo interpretace životního cyklu [10].

2.1.3.3 Vážení

Vážení je vyjadřování významnosti kategorií dopadu s ohledem na ekonomicko-sociální hlediska. Vážením se do LCA vnáší prvek, který není založen na přírodních zákonitostech a proto ho někteří tvůrci LCA nedoporučují provádět. Vážení má význam především pro interní studie LCA. Údaje a výsledky indikátoru kategorie dopadu nebo normalizované výsledky indikátoru kategorie dopadu

získané před vážením by měly být dostupné spolu s výsledky vážení. Vážení by nemělo být použito ve studiích LCA, které mají být použity v porovnávacích tvrzeních přístupných veřejnosti. [10] [6]

2.1.4 Interpretace

Interpretace je fází, ve které jsou výsledky z fáze posouzení dopadů životního cyklu (LCIA) shrnuty a diskutovány jako základ pro závěry, doporučení a rozhodování v souladu s definovaným cílem a rozsahem. Na základě poznatků z této fáze může dojít např. k rozšíření hranic posuzovaného produktového systému, nebo doplnění či zpřesnění některých dat.

Prvním krokem v této fázi sestavení LCA studie je identifikace závažných problémů. Druhým krokem je vyhodnocení LCA studie a třetím krokem je specifikace závěrů, omezení a doporučení pro ty, kterým je studie určena.

2.1.4.1 Identifikace závažných problémů

Identifikace závažných problémů spočívá v identifikaci datových prvků (toků, procesů či fází), které nejvíce přispívají k výsledkům LCIA hodnoceného produktu. Identifikace závažných problémů může být provedena čtyřmi způsoby:

- **Analýza příspěvku a analýza dominance** – za použití statistického nebo jiného technické nástroje jako kvantitativního nebo kvalitativního hodnocení se identifikuje fáze životního cyklu nebo skupina procesů (při analýze příspěvku se identifikují elementární toky), která nejvíce přispívá k environmentálním dopadům produktu;
- **Posouzení anomálie** – výsledky LCIA se vyšetřují a hodnotí se jejich významnost na základě předchozích zkušeností, neobvyklých či překvapivých odchylek od předpokládaných nebo normálních výsledků;
- **Analýza bodu zvratu** – identifikuje podmínky (často velikost funkční jednotky), za kterých si jsou porovnávané varianty produktového systému (nebo dva produktové systémy) rovny. Analýzu bodu zvratu lze aplikovat na výsledky environmentálních dopadů na jakékoliv úrovni (např. suma normalizovaných indikátorů kategorie dopadu nebo jedna zvolená kategorie dopadu);
- **Analýza ovlivnění** – zjišťuje ovlivnění výsledků při změně části produktového systému.

2.1.4.2 Vyhodnocení LCA studie

Účelem hodnocení LCA studie je zvýšení její důvěryhodnosti. K tomu se používají tři základní analýzy:

- **kontrola kompletnosti** - jestliže jakákoliv závažná informace chybí, nebo je neúplná, měla by být zvážena její nezbytnost pro splnění cíle a rozsahu studie LCA;
- **kontrola citlivosti** - posuzuje spolehlivost konečných výsledků a závěrů určováním, jak jsou ovlivněny nejasnostmi údajů, alokačními metodami, nebo výpočtem výsledků indikátorů kategorie, atd. Na jejím základě se rozšiřují, nebo zpřesňují hranice posuzovaného produktového systému nebo použitá data;
- **kontrola konzistence** – předpoklady, metody a údaje o životním cyklu produktu musí být v souladu s cílem a rozsahem studie (stáří údajů, geografický rozsah, technologie apod.).

2.2 Kategorie dopadu a indikátor kategorie dopadu

Kategorie dopadu je specifický problém životního prostředí, k němuž přispívá určitý elementární tok či jejich skupina. Výběr kategorií dopadu použitých v LCA studii tvoří základ pro její komplexnost a objektivitu.

Indikátor kategorie dopadu je měřitelná veličina sloužící k vyjádření míry přispění k prohloubení problému životního prostředí definovaného kategorií dopadu elementárními toky. Indikátor kategorie dopadu se nejčastěji vyjadřuje v jednotkách ekvivalentních látek tzn., že příspěvky různých elementárních toků se převádí na příspěvky ekvivalentní látky způsobující stejný efekt.

Indikátory kategorií dopadu se mohou stejně jako charakterizační modely rozdělit na midpointové a endpointové. Midpointové indikátory hodnotí potenciální škodlivost na základě chemicko-fyzikálních či biologických vlastností jednotlivých elementárních toků. Jedná se o hodnocení ve kterémkoli místě dopadového řetězce mezi stresorem a konečným projevem poškození životního prostředí. Endpointové indikátory jsou předpokládané měřitelné či vyčíslitelné hodnoty určitého jevu, který by byl v prostředí vyvolán přítomností elementárního toku (jako jsou např. počty rostlinných a živočišných druhů, aspekty lidského zdraví a tělesné

funkce). Endpointové indikátory jsou pro veřejnost srozumitelnější, ale vnášejí do hodnocení vyšší míru nejistoty. [5, 6]

Mimo dělení na endpointové a midpointové lze kategorie dopadu rozdělit na kategorie dopadu surovinové a intervenční. Další dělení je možné dle geografického rozsahu na globální, regionální a lokální (více např. v [6]).

2.3 Charakterizační modely

Jak již bylo zmíněno, charakterizační modely se dělí na midpointově a endpointově orientované. Midpointově orientované charakterizační metody (např. CML-IA a EDIP) omezují kvantitativní modelování na poměrně rané stádium dopadového řetězce, aby tak omezily míru nejistoty. Endpointově orientované charakterizační modely (např. Eco-indicator 99 nebo EPS 2000) se snaží modelovat dopadový řetězec až do konečného bodu nebo poškození a to s sebou někdy nese značnou míru nejistoty.[16] Tato kapitola představuje přehled nejpoužívanějších charakterizačních modelů obou typů.

2.3.1 CML-IA

CML-IA je metodika navržená v Centru životního prostředí univerzity v Leidenu v Nizozemí. Jedná se o dobře propracovanou a robustní metodiku, která se hodí pro většinu studií LCA v evropském měřítku [6]. Založena je na midpointových indikátorech kategorií dopadu. Práce na CML dle [17] začali již v roce 1978. První verze metodiky vznikla v roce 1996 a jedná se tedy o první metodiku LCIA. Novější verze této metodiky (od roku 2001) obsahuje větší počet kategorií dopadu a autoři provádějí aktualizace charakterizačních faktorů. Poslední aktualizace proběhla v srpnu 2016.

2.3.2 EDIP

V 90. letech vznikla jedna z prvních ucelených LCIA metodik a to dánská metodika EDIP 97. Jedná se o midpointovou metodiku, která se stala základem pro pokročilejší metodiky. Vzhledem k zjednodušením, která díky rozvoji znalostí již nejsou nutná, se tato metodika již nevyužívá.

Metodika EDIP 97 byla nahrazena metodikou EDIP 2003, která zahrnuje jak midpointové, tak endpointové indikátory kategorie dopadu. Metodika EDIP

2003 klade důraz na vlastnosti emisních zdrojů a přijímajícím životním prostředím, a to jak se značně liší v rámci regionu [18].

2.3.3 TRACI

TRACI je metodika geologicky zaměřena na severoamerický kontinent. Vzhledem k odlišnostem v ekosystémovém složení regionu není vhodné tuto metodiku používat pro evropské podmínky [6]. Jedná se o midpointovou metodiku. M. Ryberg a kol. se ve své práci [19] zabývá normalizací této metodiky pro USA a Kanadu. Uvádí normalizační faktory vypočtené z charakterizačních faktorů LCIA modelu TRACI 2.1.

2.3.4 Eco-indicator 99

Endpointová metodika zaměřená na vyčíslování konkrétních poškození životního prostředí v důsledku emise elementárních toků se nazývá Eco-indicator 99. Jedná se o novější verzi metodiky Eco-indicator 95, která se ale koncepčně lišila (vývoj metodiky výpočtu indikátorů a zvýšení jejich počtu, změna v přístupu k vážení mezi kategoriemi). Metodika má sloužit pro interní užití v rámci podniku, zejména pro aplikování při vývoji produktů. Umožňuje designérům pracovat s environmentálními informacemi v jednoduchém formátu (bodový index). Metodika seskupuje výstupy z inventarizace do tří základních skupin environmentálních dopadů: lidské zdraví, biodiverzita a úbytek surovin. Metodika je vyvinuta pro použití v Evropě. [20]

2.3.5 EPS 2000

Metoda EPS 2000 (Environmental Priority Strategies in product design) je metoda vyvíjená od roku 1989 pro účely environmentálního designu produktů. Původně byla vyvinuta pro společnost Volvo ve Švédsku Švédským institutem pro environmentální výzkum (IVL) a Švédskou federací průmyslu.

Jedná se o metodu environmentálního účetnictví na základě studií ochoty platit WTP (willingness-to-pay). Sledovanými kategoriemi dopadu jsou biodiverzita, výrobní kapacita ekosystémů, lidské zdraví, čerpání abiotických zdrojů, rekreační a kulturní hodnota.

Nejnovější verze této metodiky je z roku 2015 a má dvě varianty, které se liší v zahrnutí nebo nezahrnutí klimatických dopadů způsobených sekundárními částicemi (sekundární atmosférické reakce). Více na [21].

2.3.6 Ecofaktor

Jednotlivé látky či emise (elementární toky) mají v této metodice přiřazený určitý počet tzv. bodů environmentálního zatížení (UBP). Environmentální dopad způsobený elementárním tokem se vypočítá vynásobením množství elementárního toku počtem příslušných UBP. Výsledkem hodnocení produktu je jedna hodnota, tzv. ecofaktor, který představuje sumu všech UBP, které produkt generuje. Tato metoda je určena pro použití ve Švýcarsku, Belgie, Švédsko, Norsko, Nizozemí, Jordánsko a Japonsko mají vlastní verze této metody vypracované na základě specifických vnitrostátních předpisů. Prvně byla tato metoda publikovaná v roce 1990. Nejnovější verze je z roku 2013. [22]

2.3.7 IMPACT 2002+

Metodika IMPACT 2002+ je kombinovanou metodikou, která vyjadřuje dopady elementárních toků na čtrnácti midpointových kategoriích dopadu shrnutých do čtyřech endpointových kategorií dopadu (lidské zdraví, kvalita ekosystému, klimatické změny a zdroje)[16]. IMPACT 2002+ používá pro každý elementární tok tři různé charakterizační faktory:

- Midpointový charakterizační faktor (vyjádřený ekvivalentním množstvím referenční látky);
- Normalizovaný endpointový charakterizační faktor (vyjádřený pomocí definovaných bodů);
- Endpointový charakterizační faktor (nenormalizovaná hodnota endpointového indikátoru).

2.3.8 ReCiPE

Jedná se o nejnovější metodiku, která byla představena v roce 2008. Poslední update metodiky je z roku 2016. Tato metodika vychází z metodiky CML-IA 2002 a Eco-Indicator 99. Hodnotí 18 midpointových kategorií dopadu a 3 endpointové (lidské zdraví, biodiverzitu a nedostatek zdrojů). Metodika hodnotí kategorie

dopadu (na midpointové i endpointové úrovni) pomocí faktorů dle tří kulturních perspektiv (individuální, hierarchistické a rovnostářské). [23]

2.4 Environmentální značení a prohlášení

V roce 1994 byl spuštěn Národní program environmentálního značení (NPEZ) jako iniciativa Ministerstev životního prostředí a hospodářství. Byl zaměřen na environmentální značení typu I. V roce 2007 byl NPEZ rozšířen o značení typu II a III. Environmentální značení a prohlášení je označování výrobků, které jsou vůči životnímu prostředí šetrnější než jiné výrobky užívané k témuž účelu. Ekoznačení se řídí následujícími mezinárodními normami:

- ČSN EN ISO 14020 – Environmentální značky a prohlášení – Obecné zásady
- ČSN EN ISO 14021 – Environmentální značky a prohlášení – Vlastní environmentální tvrzení (typ II environmentálního značení)
- ČSN EN ISO 14024 – Environmentální značky a prohlášení – Environmentální značení typu I – Zásady a postupy
- ČSN EN ISO 14025 – Environmentální značky a prohlášení – Environmentální prohlášení typu III – Zásady a postupy

Dále existují environmentální značení, která vyplývají ze zvláštních právních předpisů (např. značení bioproduktů a biopotravin, energetické štítkování). Environmentální značení, tvrzení a prohlášení jsou základním druhem standardizovaných nástrojů environmentálního marketingu a politiky. Jedná se o zcela dobrovolný nástroj.

2.4.1 Environmentální značení TYP I

Environmentální značení prvního typu, tzv. ekoznačka, se řídí normou ISO 14024. Environmentální značení je jedním ze způsobů propagace výrobků, u kterých bylo dosaženo významného snížení environmentálních dopadů během jeho celého životního cyklu bez snížení bezpečnosti výrobku a významného ovlivnění vlastností výrobku.[24]

Environmentální značení I typu je založeno na tvorbě směrnic pro jednotlivé výrobní kategorie. K dispozici je více než 60 technických směrnic [25].

2.4.2 Environmentální značení TYP II

Environmentální značení druhého typu, tzv. vlastní environmentální tvrzení, se řídí normou ISO 14021. Dle této normy se environmentálním tvrzením rozumí prohlášení, značka či obrazec, který poukazuje na environmentální aspekt výrobku, součástky nebo obalu.

Environmentální tvrzení často reflektují aktuální a obecně známá témata jako např. „bezfosfátový prací prostředek“, zároveň často nezohledňují celý životní cyklus výrobku a jsou především zaměřeny na marketing výrobku. Obsah samotného tvrzení závisí pouze na výrobcí. Vlastní tvrzení musí být podloženo veřejně dostupnou vědeckou analýzou. Oprávněnost jejich užívání a soulad se stanovenými kritérii je obvykle sledován spotřebitelskými organizacemi a není revidován či auditován třetí stranou. [24]

2.4.3 Environmentální prohlášení TYP III

Environmentální prohlášení třetího typu je známé především pod názvem Environmentální prohlášení o produktu EPD (z angl. Environmental Product Declaration). EPD jsou dalším z nástrojů environmentálního managementu a slouží ke sdělování výsledků analýz životního cyklu výrobků zákazníkům nebo zainteresovaným organizacím a osobám [24]. Environmentální prohlášení o produktu je definováno v normě ISO 14025.

Informace v EPD jsou prezentovány v takové formě, aby umožnily nezávislé srovnání a nehodnotí významnost environmentálních charakteristik výrobku. EPD je striktně založeno na povinnosti provádět studii LCA. Vypracování EPD výrobku se zároveň musí řídit pravidly produktové kategorie. EPD výrobku musí projít procesem nezávislého ověření a poté se provádí jeho registrace. Teprve poté může být uvedeno do databází o vlivech produktů na životní prostředí.

Tab.1: Seznam vybraných EPD schémat a databází pro Evropu [dle 26].

Země	EPD schéma	Generická databáze
Nizozemí	PCR: NEN 8006:2004	SBK nationale milieudatabase
	EPD: MRPI (www.mrpi.nl)	
Finsko	RT Environmantal Declarations	-
Norsko	EPD-Norge	-
Velká Británie	PCR: Environmental Profiles (1999,2007)	Environmental Profiles Database (www.bre.co.uk)
	EPD: Environmental Profiles (www.greenbooklive.com)	
Francie	PCR: NF P01-010 2004	-
	EPD: Fiche de Declaration Environnementale et Sanitaire (FDES, www.inies.fr)	
Dánsko	EPD: By og Byg (www.sbi.dk)	-
Německo	PCR: IBU	Ökobau.dat
	EPD: IBU (bau-umwelt.de)	
Španělsko	EPD: Declaració Ambiental de Productes de la construcció (DAPc)	-
Rakousko	PCR: IBO REFERNZDATENBANK	<a href="http://www.ibo.at/de/oekokenn
zahlen.htm">www.ibo.at/de/oekokenn zahlen.htm
Švýcarsko	-	ecoinvent (www.ecoinvent.ch)
EU	PCR: CAP'EM (www.capem.eu)	ELCD, ESUCO LCA (www.dgnb.de)

2.4.3.1 Pravidla produktové kategorie PCR

Pravidly produktové kategorie (Product Category Rules - PCR) se rozumí sestava specifických pravidel, požadavků a směrnic pro vývoj EPD jedné nebo více produktových kategorií. Pravidla produktové kategorie (dále jen PCR) jsou zpracovávána a ověřována odbornými kapacitami dotčených průmyslových odvětví.

Existuje několik programů EPD (např. BRE Global, EPD Norge, IBC, FDES), které si vytváří svá PCR. Jednotlivá EPD lze porovnat pouze při použití stejných PCR, zahrnutí stejných etap životního cyklu a při stejném funkčním ekvivalentu.

2.5 Databáze procesů pro LCA

Mezi kvalitou dat použitých ve fázi inventarizace a kvalitou LCA studie existuje přímá úměra. Zdrojem dat mohou být např. přímá měření, vládní a průmyslové dokumenty, obchodní zprávy, národní databáze, akademické zdroje a inženýrské úsudky. Dostupnost dat pro sestavení LCA studie ovlivňuje nejen rozsah a hranice

posuzovaného systému, ale může změnit i cíl studie. Jednotlivé databáze a údaje v nich obsažené se liší v mnoha parametrech. Zejména se jedná o definice hranic produktového systému, předpoklady o zásobování a zdrojích energií a výrobní odlišnosti. Zde hrají významnou roli geografické odlišnosti. Např. [27] objevil, že různé zdroje dat uvádí i 10x vyšší svázané energie cihel.

Pro překonání problémů s daty může být použita procesní analýza, analýza vstupů a výstupů (input/output analysis) nebo hybridní analýza. Procesní analýza a analýza vstupů a výstupů jsou široce používány. Více např. v [28,29].

Tab. 2: Seznam vybraných LCI databází [autor].

Software	Země původu	Fáze životního cyklu	Počet datasetů	Webové stránky
Bath Inventory of Carbon and Energy (ICE)	Velká Británie	Cradle-to-Gate; Cradle-to-Grave; Cradle-to-Site	+400	-
Building Research Establishment (BRE)	Velká Británie	Cradle-to-Grave	1753	www.greenbooklive.com
BUWAL 250 Library™	Švýcarsko	Cradle-to-Grave	300	www.svi-verpackung.ch
Carbon Calculations over the Life Cycle of Industrial Activities (CCaLC)	Velká Británie	Cradle-to-Gate and Cradle-to-Grave	5500	www.ccalc.org.uk
CLCD (Chinese Life Cycle Database)	Čína	Cradle-to-Gate	600	www.itke.com.cn
Defra	Velká Británie	Cradle-to-Grave	+300	www.gov.uk/
ecoinvent Database v.3.4	Švýcarsko	Cradle-to-Grave	+13 300	www.ecoinvent.org/home/
European Reference Life Cycle Database 3.3	Evropa	Cradle-to-Grave	584	http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/

Tab. 2 uvádí přehled vybraných environmentálních databází. Vzhledem k široké škále materiálů a rozmanitosti technologií ve stavebnictví není prozatím žádný z těchto nástrojů a datových sad schopen podrobně modelovat celý životní cyklus budovy. V této disertační práci je použita databáze ecoinvent, která je jednou z nejvíce kompletních databází pro procesy v evropském kontextu a je široce přijímána jako jedna z nejspolehlivějších a často aktualizovaných databází.

2.6 Software pro sestavování LCA

Software pro sestavování LCA studií se liší svou komplexností a zaměřením (rozsahem databáze procesů, zaměřením na určitý problém životního prostředí atd.). Některé software jsou rozšířeny o analytické nástroje environmentálního managementu, jako jsou analýza vstupů a výstupů, metody hodnocení nákladů životního cyklu, analýza materiálových toků, analýza MonteCarlo apod.

Existuje řada vyvinutých softwarových nástrojů k posouzení dopadu budov na životní prostředí v raných fázích návrhu metodikou LCA. Tyto nástroje však většinou neposkytují analýzu citlivosti, která by ukázala jak se environmentální dopady stavebních prvků liší v rámci konstrukčních variant. Prozatím nedostatečná integrace s nástroji BIM (building information modeling) snižuje jejich užitečnost.

Kromě výše popsaných nástrojů LCA, jsou k dispozici kvalitativní nástroje založené na ratingovém systému (GBTool, BREEAM, LEED, CASBEE, SBTool, DGNB).

3. Environmentální hodnocení obytných budov v ČR a ve světě

Stavební průmysl zpracovává větší hmotnost surovin než jakýkoli jiný průmyslový sektor. Zároveň prostředí budov představuje největší podíl emisí skleníkových plynů (přibližně 40%), pokud jde o využití konečné spotřeby energie. Přestože jsou tato čísla vysoká, neodráží skutečný celkový dopad staveb, jelikož se týkají pouze provozní fáze (např. vytápění, chlazení a osvětlení). Stavební činnost také produkuje největší množství odpadů (hmotnostně mezi 40% a 50%), z nichž většina je však recyklovatelná. Obytné budovy představují dle Českého statistického úřadu přibližně 18% stavební produkce (uvažováno období mezi lety 2004 až 2015). Proto je důležité zohledňovat celý životní cyklus budov včetně přínosů z možné recyklace a opětovného použití prvků. To napomůže tvůrcům environmentálních strategií pochopit regionální i globální dopady budov na životní prostředí a povede k efektivnějšímu rozhodování. [30, 31, 32, 55]

Budova je tvořena z mnoha rozličných stavebních výrobků vyrobených z různých materiálů. Stavební výrobek je součástí budovy a má vliv i na způsob jejího užívání. Např. tepelná izolace snižuje spotřebu energie na vytápění budovy. Takto uspořené energie může vyvážit environmentální dopady spojené s výrobou a likvidací izolace.

Jedna budova může obsahovat více než 60 základních materiálů a okolo 2000 samostatných produktů, kdy každý má svůj jedinečný proces výroby, opravy i likvidace. Existují dva typy LCA pro stavební výrobky. Prvním je obecné (generické) hodnocení, které shromažďuje údaje od několika výrobců stejného druhu produktu k vytvoření průmyslového průměru. Druhým je specifické hodnocení, které používá informace od konkrétního výrobce a tato studie je specifická právě pro jejich produkt.

Je důležité uvažovat o environmentálních dopadech budovy již v rané fázi jejího návrhu. O'CoFaigh a kol.[33] uvádí, že rozhodnutí přijatá ve fázi návrhu budovy jsou schopná ušetřit až 40 % jejích environmentálních dopadů. Hmotnostní změny provedené v pozdějších stádiích návrhu mohou mít značný dopad na environmentální i ekonomickou náročnost budovy [34]. Přesto, že volba surovin patří mezi první možnosti optimalizace návrhu, jejich dodávky a výrobní procesy

jsou extrémně závislé na faktorech mimo hranice posuzovaného životního cyklu (technologie, geografický zdroj, dostupnost na trhu apod.).

3.1 LCA studie v zahraničí

Tato kapitola představuje přehled několika vybraných LCA studií publikovaných v zahraničí zaměřených na stavební sektor.

Dopady životního cyklu 25 komerčních budov (kancelářské budovy, obchodní centra, hotely) v Hong Kongu posuzovali Chau a kol. [35]. Autoři určili 10 typů stavebních materiálů a 10 typů komponentů zařízení budov, které jsou významné svými dopady. Článek má za cíl odhalit celkový profil dopadů na životní prostředí stavebních materiálů a zařízení budov pro různé typy výškových komerčních budov v Hong Kongu. A zároveň řadí stavební materiály a zařízení budov dle velikosti jejich celkových environmentálních dopadů. Analýza zahrnuje stavební konstrukce, obálku, interiéry a zařízení budov, dále také těžbu, výrobu a přepravu materiálů a komponent ze zemí původu do přístavů v Hong Kongu. Doprava z přístavů na staveniště, provoz a demolice stavby a potřeby zařízení budov byly ignorovány. Ve studii se uvažuje s 50 lety užívání budovy. Autoři článku využívají softwaru SimaPro 5.0 a v převážné většině databáze IVAM. Dopady jsou počítány na 1m² podlahové plochy. Kancelářskými budovami se zabývají také případové studie z Finska [36] [37]. [38] publikovali LCA porovnávací studii kancelářských budov v Evropě a USA. Cole a Kernan [39] sestavili LCA třípodlažní kancelářské budovy s alternativní strukturou materiálů.

V roce 2003 bylo publikováno LCA nové univerzitní budovy v USA [40].

Studii bytového domu ve Švédsku provedla Catarina Thormark [41]. Do životního cyklu byly zahrnuty procesy výroby stavebních materiálů, doprava na staveniště, údržba a provoz stavby. Energie pro montáže a demolice nebyla zahrnuta. Životnost stavby byla stanovena na 50 let, za účelem usnadnění srovnání výsledku s jinými studii. Většina údajů o svázaných energiích je z roku 1995, jejichž zdrojem byla literatura. Byly uvažovány dva scénáře pro recyklaci, maximální recyklace materiálu = spalování s energetickým využitím a maximální opětovné použití. Všechny výsledky jsou prezentovány na 1m² podlahové plochy průměrného bytu. Tato studie byla omezena na aspekt energie. Nicméně recyklace může mít jiné přínosy pro životní prostředí, jako je snížení využívání

přírodních zdrojů a potřebu prostoru pro skládku. Dále může mít recyklace rovněž negativní dopady na životní prostředí, jako je hluk, prašnost, vibrace atd.

Sedm obytných budov, rovněž ve Švédsku, hodnotil [42] z hlediska využití energie vlivu na životní prostředí. Autor uvádí, že přibližně 85 % celkové odhadované spotřeby energie během životního cyklu budov se spotřebuje během fáze užívání. Energie použitá při výrobě a instalaci představuje 15%. Zároveň uvádí, že ve fázi užívání vzniká 70 až 90 % environmentálních dopadů z celého životního cyklu.

Další případová studie z roku 2012 [43] hodnotí pomocí metody Eco-Indikator99 nízkoenergetickou budovu obsahující 19 bytů. Na bytové domy ve Skotsku je zaměřena studie [44] publikovaná v roce 2007.

[45] hodnotí dva rodinné domy ve Francii. Zaměřuje se na to, zda je výhodnější z environmentálního hlediska nízkoenergetický dům (případně obnovitelné zdroje) za cenu větší míry materiálů a komponentů, než tradiční řešení. K hodnocení byl použit software EQUER, který je zaměřený na LCA budov. Tento software je založený na databázi ecoinvent.

Bribián a kol. [46] publikovali porovnání nejčastěji používaných stavebních materiálů s některými ekomateriály. Hodnoceny byly tři kategorie dopadu: potřeba primární energie (dle CED metody – rozlišuje neobnovitelné a obnovitelné zdroje), GWP (dle IPPC 2007 metody) a potřebu vody. Použita byla databáze ecoinvent a software – SimaPro.

Nicoletti a kol. [47] provedli porovnávací LCA keramické a mramorové podlahové krytiny. Podlahovými krytinami se také zabýval Nebel a kol. [48]. Kovové výrobky hodnotili v roce 2002 Seppala a kol [49]. Případovou LCA studii zaměřenou na dřevo a beton ve stavebních materiálech ve Švédsku publikovali v roce 2006 Gustavsson a Sathre [50].

Tabone a kol. [51] hodnotí pomocí databáze ecoinvent fázi výroby („od kolébky po bránu“) dvanácti polymerů. Posouzení tepelně izolačních omítek v software SimaPro (databáze ecoinvent) bylo publikováno v [52]. Studie je provedena pro řecké stavební poměry. Pro normalizaci a vážení byly použity dvě sady indikátorů, jedna pochází z CML 2000 a druhá z metody Eco-Indikator 95.

Wilson a Young [53] hodnotili dobu návratnosti svázané energie fotovoltaických zařízení.

[54] provádí snahu o integraci LCA do softwaru BIM. Jedná se o snahu rozšířit BIM o simulaci provozní spotřeby energií a analýzu citlivosti. Zároveň hodnotí vliv zvolené tloušťky materiálů použitých v konstrukcích na míru příspěvku jednotlivých stavebních komponent na svázané environmentální dopady budovy. Zaměřuje se ovšem pouze na jednu kategorii dopadu a to potenciál globálního oteplování.

3.2 Environmentální hodnocení budov a stavebních materiálů v ČR

Environmentální hodnocení budov a stavebních materiálů v České republice není povinné. Existuje zde národní certifikační schéma SBToolCZ, které bylo vyvinuto výzkumným centrem CIDEAS na Fakultě stavební ČVUT v Praze z mezinárodní metodiky SBTool. Oficiální spuštění metodiky pro bytové stavby proběhlo v červnu 2010. V ČR je možné se setkat i s jinými ratingovými systémy jako je LEED (neumožňuje hodnotit obytné budovy s méně než čtyřmi podlažími) a BREEAM. Hodnocených budov je prozatím jen malé procento. Na webových stránkách SBToolCZ [56] je ke dni 14.11.2017 uvedeno 7 certifikátů pro bytové domy a 21 certifikátů pro rodinné domy.

Program pro tvorbu a zveřejňování EPD v České republice se řídí Pravidly Národního programu environmentálního značení NPEZ. Registrovaných a platných EPD stavebních výrobků v České republice ke dni 14.11.2017 je 33 (značnou část z toho tvoří tepelné izolace). Aktuální seznam uvádí [57].

Pro české projektanty a hodnotitele metodikou SBToolCZ je na internetu k dispozici interaktivní katalog stavebních materiálů a konstrukcí. Katalog uvádí environmentální parametry a technické parametry (např. součinitel tepelné vodivosti). K výpočtu environmentálních profilů katalog prozatím využívá nejrozsáhlejší mezinárodní databázi stavebních materiálů ecoinvent. Snahou a cílem však je ve spolupráci s místními výrobci a dodavateli postupně doplnit data odpovídající českým podmínkám [58].

4. Cíl práce

4.1 Vytyčení cílů

V dostupných uveřejněných studiích se hodnocení úplného životního cyklu obytných budov objevuje jen zřídka a studie často mezi sebou nelze porovnat pro jejich odlišné předpoklady nebo zvolené charakterizační modely. Publikované studie často postrádají dostatečnou transparentnost a celistvost specifikace podmínek platnosti a omezení a to vede k možnosti špatného užití studie.

Problematickým aspektem tématu disertační práce je především nedokončený vývoj metodiky LCA. Vývoj jednotlivých charakterizačních modelů stále probíhá a zavádí se nové modely či nové verze dříve zavedených modelů. To je do značné míry způsobeno tím, že procesy probíhající v životním prostředí a jejich ovlivňování lidskou činností není ještě plně pochopeno.

Dalším důvodem volby cílů disertační práce byla skutečnost malého počtu odborníků a vědeckovýzkumných pracovišť, které se v České republice zabývají řešenou problematikou a tudíž nízká povědomost o environmentálních dopadech vznikajících v rámci životního cyklu staveb projektovaných a budovaných právě v České republice.

V době návrhu budovy lze jen odhadovat scénář užívání stavby a nelze dopředu říci kolik osob, po jak dlouhou dobu a jakým způsobem bude budovu užívat. V sestavených modelech životních cyklů budov nejsou hodnoceny některé moduly (především ve fázi výstavby a užívání) a to z důvodů chybějících dat. Některá data by se dala orientačně odvodit odborným odhadem, ale i tak zůstává množství údajů, které jsou pro každou budovu a její uživatele jedinečné a jejich další výzkum přesahuje rozsah disertační práce.

Hlavním cílem disertační práce je rozšíření vědění v oblasti hodnocení dopadů stavební činnosti na životní prostředí v poměrech České republiky. K dosažení tohoto cíle byly analyzovány metodou posuzování životního cyklu LCA čtyři reálné obytné budovy a hodnoceny dva vybrané stavební materiály v rozsahu fází životního cyklu od „kolébky po bránu“. Byly sestaveny následující cíle disertační práce:

1. sestavení a optimalizace modelu výroby lněné tepelné izolace v rozsahu „od kolébky po bránu“;

2. sestavení a optimalizace modelu výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu „od kolébky po bránu“;
3. sestavení a optimalizace modelů analyzovaných budov včetně množství scénářů pro fáze užívání a fáze konce životního cyklu (rozdílné četnosti výměn stavebních částí, různé způsoby nakládání s odpadem, zahrnutí fotovoltaického systému apod.);
4. doporučení optimální funkční jednotky a podoby výsledného protokolu na základě zkušeností z analýzy LCA obytných budov;
5. zjištění současného stavu výstavby z hlediska dopadů na životní prostředí a vlivu jednotlivých konstrukčních částí a jednotlivých fází životního cyklu na tyto dopady (na základě analyzovaných budov).

5. Zvolené metody zpracování

Pro splnění cílů bylo využíváno pracoviště Ústavu pozemního stavitelství Fakulty stavební VUT v Brně, software GaBi4 a databáze ecoinvent verze 2.0, jejichž licenci má uvedené pracoviště ve vlastnictví.

Postup k dosažení cílů disertační práce lze shrnout do následujících kroků:

1. literární rešerše;
2. sběr vstupních dat pro model výroby lněné tepelné izolace od výrobců a z literatury a následné sestavení a optimalizace tohoto modelu;
3. sběr vstupních dat pro model výroby vyvíjených tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu a následné sestavení a optimalizace tohoto modelu;
4. sestavení a optimalizace modelů analyzovaných budov včetně množství scénářů pro fáze užívání a fáze konce životního cyklu (rozdílné četnosti výměn stavebních částí, různé způsoby nakládání s odpadem, zahrnutí fotovoltaického systému apod.);
5. provedení analýzy citlivosti hodnocených reálných budov na vstupní data a volbu referenčního toku;
6. statistická analýza environmentálních dopadů životního cyklu hodnocených objektů a jejich částí.

5.1 Literární rešerše

Byly analyzovány informace publikované v tuzemské i v zahraniční literatuře týkající se problematiky posuzování životního cyklu budov a stavebních materiálů a jednotlivých přístupů k těmto metodám, alokačním principům, sběru dat apod.

5.1.1 Analýza charakterizačních modelů a normalizace pro posouzení

Výběr vhodného charakterizačního modelu (CML2001 – verze z listopadu 2010) byl stanoven na základě analýzy teoretických znalostí a publikovaných studií z oboru environmentálního hodnocení. A to především studií lokalizovaných na evropské podmínky a zaměřené na stavební materiály a budovy. Normalizace zvoleného charakterizačního modelu byla vybrána tak, aby odpovídala reálnému umístění stavby a charakterizačnímu modelu, tedy EU25+3 z roku 2010.

5.1.2 Sběr dat pro posouzení

Významným krokem ke splnění cílů disertační práce byl sběr dat pro inventarizaci vstupních a výstupních toků posuzovaných produktových systémů.

Informace o výrobní fázi životního cyklu lněné tepelné izolace jsou převážně od pěstitelů lnu, provozovatelů zpracovatelských a výrobních zařízení a výzkumníků z Agritec Plant Research s.r.o. a chybějící data byla doplněna z dostupné literatury [59, 60]. Pěstitelé a provozovatelé zpracovatelských a výrobních zařízení chtějí zůstat v anonymitě.

Informace o výrobní fázi životního cyklu tepelné izolace z kompozitního plastu pocházejí převážně z užitných vzorů a patentu [65, 66, 67, 68] týkajících se vyvíjeného materiálu a literatury [61]. Další údaje byly získány konzultací s provozovateli obdobných výrobních zařízení.

Údaje pro inventarizační fázi posouzení životního cyklu hodnocených budov byly stanoveny z dostupných částí projektové dokumentace staveb (především výkresy na úrovni stavebního povolení, průkaz energetické náročnosti budovy, případně výpisy klempířských a zámečnických prací apod.), technické listy výrobků a montážní návody konstrukčních systémů a sádkartónů. Pro stanovení scénářů výměn jako podklad sloužila ČSN ISO 15686-1, příloha P.03 publikace [70], informace z databázových procesů a životnosti uváděné výrobcem.

Zdrojem environmentálních dat o materiálech a prvcích tvoří environmentální databáze ecoinvent verze 2.0 vyvinutá ve Švýcarsku (Ecoinvent Centre). Lokalizace jednotlivých databázových procesů je uvedena v protokolech o posouzení životního cyklu hodnocených budov (přílohy CD01, CD02, CD03 a CD04) a pro hodnocené materiály v tištěných přílohách A a C

5.2 Sestavení modelu výrobní fáze životního cyklu lněné izolace

Pro hodnocení lněné tepelné izolace byla zvolena zkrácená studie LCA a to „od kolébky po bránu“. A to z důvodu chybějících dat pro ostatní fáze životního cyklu tohoto výrobku. Byla navržena dvě opatření pro snížení environmentálních dopadů z výroby posuzovaného materiálu.

5.3 Sestavení modelu výrobní fáze životního cyklu tepelné izolace z kompozitního plastu

Pro hodnocení tepelně izolačních tvarovek z kompozitního plastu byla, stejně jako u Iněné izolace, zvolena zkrácená studie LCA „od kolébky po bránu“. A to z důvodu chybějících dat pro ostatní fáze životního cyklu tohoto vyvíjeného materiálu. Byly sestaveny dva scénáře výroby lišící se kvalitou vstupních surovin. Analýzou citlivosti byl hodnocen vliv změny roční produkce na výsledné environmentální dopady z předpokládané sériové výroby materiálu.

5.4 Sestavení modelů životního cyklu hodnocených budov

Modely životního cyklu hodnocených budov byly sestaveny dle ČSN EN 15978. Zahrnují moduly výrobní fáze A1 až A3, moduly fáze užívání B2, B4, B6 a B7, moduly fáze konce životního cyklu C2 až C4 a modul D hodnotící přínosy a náklady za hranicemi hodnoceného systému.

Pro každou z hodnocených budov bylo sestaveno 14 až 16 scénářů životního cyklu na základě dostupných dat o budově. Pro model označený „BL“ a „BT“ byla sestavena citlivostní analýza pro zjištění vlivu stanovení předpokládané životnosti stavby na její environmentální dopady. Pro model „BL“ byl zároveň sestaven scénář „2 x 30 let“ pro doplnění zjištění vlivu různých scénářů oprav.

5.5 Statistická analýza výsledků hodnocených budov

Pro vyhodnocení výsledků sestavených životních cyklů budov bylo využito analýzy dominance. Analýza dominance byla aplikována jak na jednotlivé scénáře v rámci jedné budovy, tak na vzájemné porovnání stejných scénářů pro různé hodnocené budovy.

Tuto část disertační práce lze shrnout do následujících činností:

- analýzu dominance hodnocených modulů životních cyklů;
- stanovení vlivu uvažované životnosti jednotlivých komponent stavby a tím různých scénářů oprav a výměn;
- citlivostní analýzu vlivu předpokládané životnosti stavby na její celkové dopady na životní prostředí;

- zjištění vlivu předpokládaného způsobu užívání budovy (konstantní či proměnný počet osob užívajících budovu včetně zohlednění jejich věku);
- zjištění vlivu různých scénářů nakládání s odpadem v průběhu celého životního cyklu budovy.

Tab. 3 uvádí přehled scénářů životních cyklů hodnocených budov. Popis přijatých předpokladů pro tyto scénáře je uveden v kapitole 6.3.4, kde jsou popsány varianty scénářů pro jednotlivé moduly životního cyklu a příloha E ukazuje jak byly scénáře modulů sestaveny do scénářů celých životních cyklů budov.

Tab. 3: Přehled scénářů životního cyklu pro hodnocené budovy [autor].

Scénář	Označení budovy			
	BC	BD	BL	BT
	Sloupková dřevostavba s FV	Rámová dřevostavba	Panelová dřevostavba	Stavba z plynosilikátu
S1	-	-	X	-
S2	-	-	X	-
S3	-	-	X	-
S4	-	-	X	-
S5	-	-	X	-
S6	-	-	X	-
S7	-	-	X	-
S8	-	-	X	-
S9	X	X	X	X
S10	X	X	X	X
S11	X	X	X	X
S12	X	X	X	X
S13	-	-	X	X
S14	-	-	X	X
S15	-	-	X	X
S16	-	-	X	X
S17	X	X	-	X
S18	X	X	-	X
S19	X	X	-	X
S20	X	X	-	X
S21	X	X	-	X
S22	X	X	-	X
S23	X	X	-	-
S24	X	X	-	-
S25	X	X	-	-
S26	X	X	-	-
S27	X	-	-	-
S28	X	-	-	-

Legenda:
x značí, že scénář je pro danou budovu hodnocen
- značí, že scénář pro danou budovu hodnocen nebyl

6. Výsledky jednotlivých metod zpracování

6.1 Posouzení výroby lněné tepelné izolace z hlediska dopadů na životní prostředí

Cílem tohoto posouzení bylo vytvoření komplexního modelu výroby tepelně izolačního materiálu z rostlinných vláken pro hodnocení jeho environmentálních dopadů. Konzultací s pěstiteli lnu a pracovníky zpracovatelských a výrobních závodů byly získány informace o pěstování, zpracování lnu a následné výrobě desek tepelné izolace (modul A2 a A3 výrobní fáze životního cyklu materiálu dle ČSN EN 15978). Část této práce vznikla za finanční podpory projektu FAST-J-14-2522 (autor disertace je v projektu uveden jako řešitel). Starší hodnocený model výroby využívající dvou databází environmentálních dat a starších charakterizačních modelů byl publikován v [73].

Pěstitelé i zpracovatelské a výrobní firmy si přejí zůstat v anonymitě. Data pro fázi pěstování lnu (modul A1) byla doplněna údaji poskytnutými pracovníky společnosti Agritec Plant Research s.r.o. (Šumperk, Česká republika), která se zabývá výzkumem v oblasti rostlinné a živočišné výroby. Dokončený model LCA „od kolébky po bránu“ tepelné izolace z lněných vláken tak zahrnuje celou fázi výroby.

Hodnocení modelu fáze výroby materiálu bylo provedeno pomocí softwarového nástroje GaBi4 s využitím databází ecoinvent (verze 2.0).

U posuzovaného materiálu uvažujeme se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,039 \text{ W/mK}$ a objemovou hmotností cca $34 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$.

6.1.1 Popis výroby lněné tepelné izolace

Na základě údajů získaných od společnosti Agritec Plant Research s.r.o. byl sestaven zjednodušený teoretický model pěstování a sklizně lnu přadného na území ČR. Nezbytná data o zemědělských procesech a množstvích vstupních materiálů (hnojení, pesticidy apod.) byla určena dle [59, 60]. Byl zaveden zjednodušující předpoklad, že vypěstovaný len se využívá pouze pro výrobu hodnoceného materiálu. Následující obrázek (Obr. 3) znázorňuje pro lepší orientaci zjednodušené schéma hodnoceného modelu výroby tepelné izolace z lněných vláken, a tedy modul A1 až A3.

Bylo uvažováno se strojním hnojením prováděným traktorem s dávkovačem a rozmetačem hnojiv. Součástí fáze pěstování je jak užívání traktoru (samotný traktor, spotřeba paliva atd.), tak i infrastruktura potřebná pro jeho provoz (komunikace, garáže apod.) Bylo uvažováno s následujícími chemickými hnojivy:

- oxid fosforečný;
- oxid draselný;
- dusík.

Tab. 4: *Množství hnojiv uvažovaných v rámci pěstování lnu [autor].*

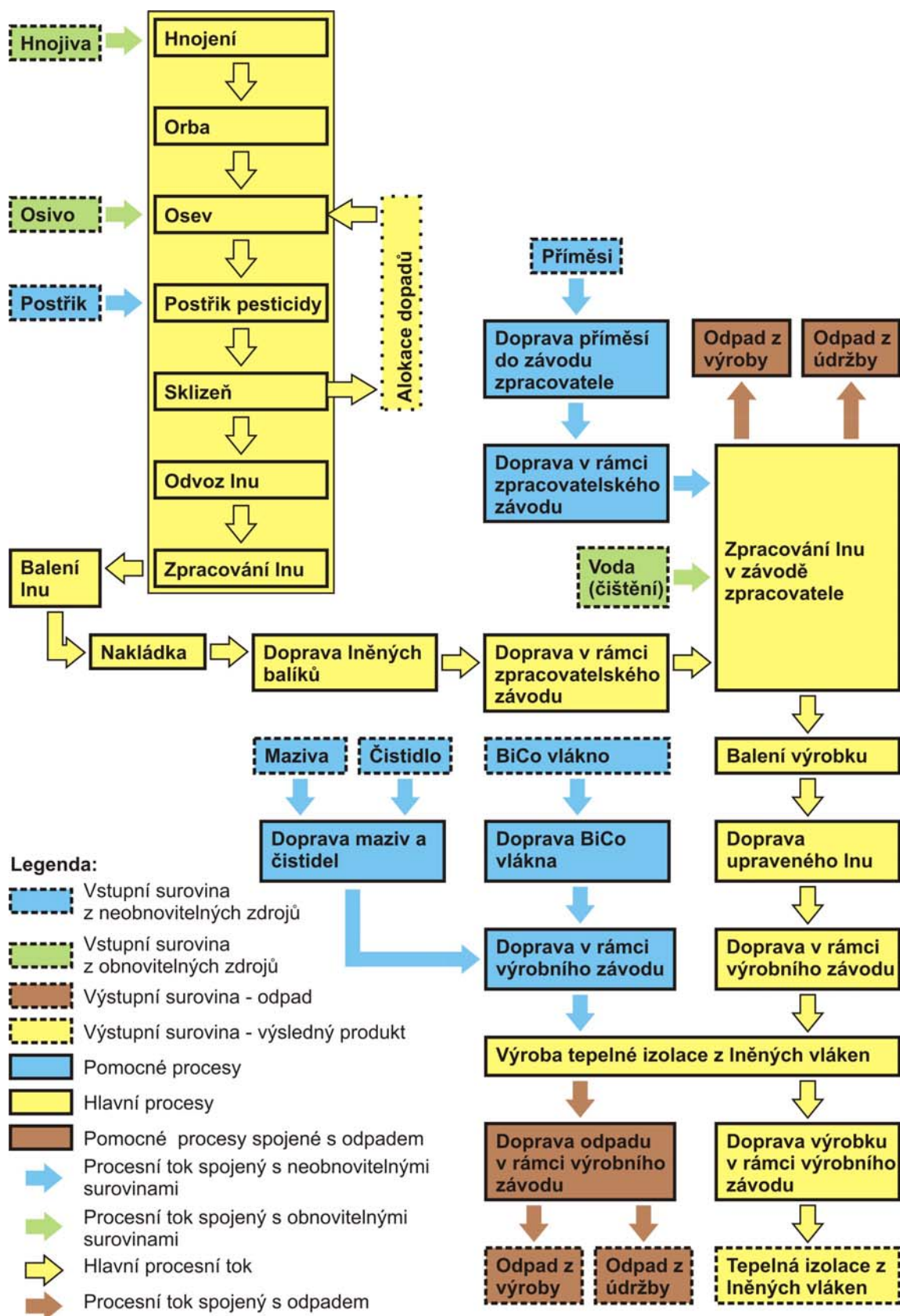
Hnojivo	Chemický vzorec	Uvažované množství [kg/ha]
Oxid fosforečný	P_2O_5	109,4
Oxid draselný	K_2O	209,3
Dusík	N	254,6

Před osetím bude pole 1x zoráno. Orba je zajištěna traktorem, který je vybaven čtyřradličným pluhem. Dopady provozu traktoru a s tím spojené požadavky jsou rovněž vzaty v úvahu.

Při posouzení se uvažuje se setím prováděným traktorem opatřeným odpovídající vlečkou. Opět jsou započítány environmentální dopady provozu traktoru i infrastruktury. Dle literatury [59, 60] uvažujeme s nutným množstvím osiva cca 120 kg na hektar pole. Toto osivo je odečítáno (alokováno) z předpokládaného výnosu 4 tun stonků a 0,5 tuny semen z 1 hektaru pole. Nevyužitá semena nejsou při posouzení dále zohledněna.

Len je ve fázi pěstování nutné chránit před biologickými škůdci chemickými postřiky. Proto bylo uvažováno s následujícími postřiky:

- Mikado (1,5 l/ha);
- Joao (0,2 l/ha);
- Karate (0,06 l/ha).



Obr. 3: Schéma výroby tepelné izolace z lněných vláken [autor].

Pro uvedené postřiky byl souhrnně použit databázový proces „CH: pesticide unspecified, at regional storehouse“, a to pro chybějící přesnější databázové procesy.

Sklizeň se provádí kombajnem se šířkou záběru 4,5 m. Sklizený len se z pole odváží traktorem s vlečkou s maximální nosností 8 t. Len je dále zpracováván česáním, drcením a lámáním, aby došlo k uvolnění vláken pro další zpracování. Zpracovaná surovina se balí do balíků (o hmotnosti cca 700 kg a objemu 1,4 m³). I zde jsou do hodnocení zahrnuty datasety všech výrobních strojů a jejich infrastruktura.

Ve zpracovatelském závodě probíhá ošetření lnu retardérem hoření. Byla stanovena spotřeba 0,94 kg zpracovaného lnu pro výrobu 1 kg hotové tepelné izolace. Přeprava lnu a příměsí od producentů probíhá nákladními automobily s nosností 16 – 32 t splňujícími emisní normu EURO 4. Reálná transportní vzdálenost mezi producenty lnu a zpracovatelským závodem je 1309 km. Pro příměsí je uvažováno se vzdáleností 640 km. Dále je zahrnuta doprava materiálu vysokozdvížnými vozíky v rámci zpracovatelského závodu.

Samotné zpracování lnu probíhá na výrobní lince s elektrickým pohonem. Při odhadované životnosti 106 000 pracovních hodin (cca 20 let) uvažujeme spotřebu elektrické energie cca 1,57 MJ/kg zpracovaného lnu. Dále je nutné započítat také množství maziv a hydraulických olejů. Při zpracování je ke lnu přidána směs následujících příměsí:

- monoamonium fosfát;
- síran amonný;
- borax;
- kyselina boritá;
- voda.

Po vybalení se len rozvolní a mísí s chemickými příměsemi a poté se lisuje a znovu zabalí (do balíků stejné velikosti jako při prvním zpracování). Schéma zpracování surového lnu ukazuje Obr. 4.

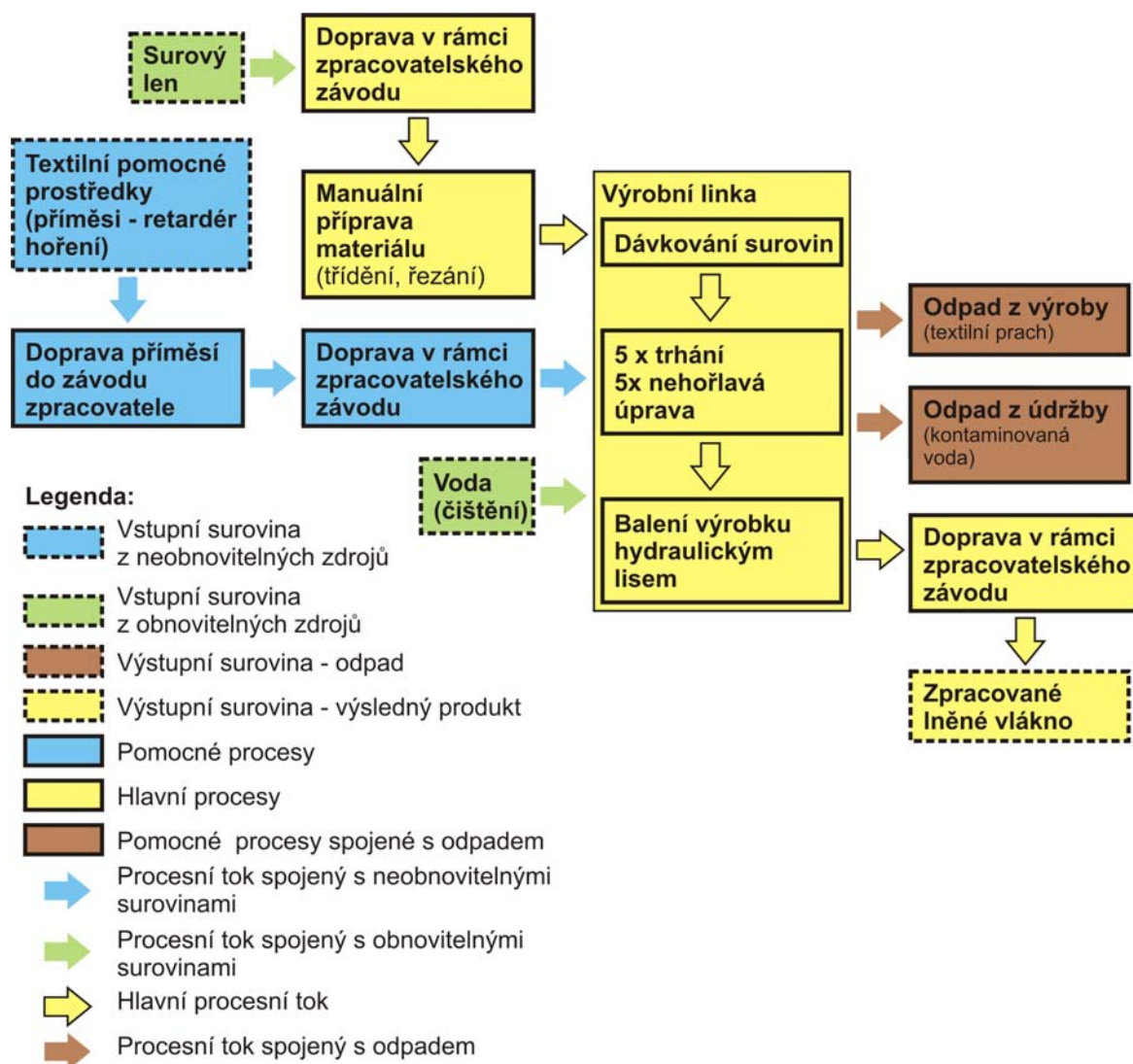
Do hodnocení je zahrnuta též pravidelná údržba linky. Ta se provádí převážně mechanicky (ruční vybírání nečistot, čištění smetákem apod.), případně vodou bez chemických čisticích prostředků.

Odpady spojené se zpracováním lnu lze rozdělit na:

- odpadní voda z čištění a údržby (znečištěná voda, která je dále čištěna ve veřejné čističce odpadních vod);
- pevný odpad z čištění a údržby (vyměněné mazací a hydraulické oleje, tento nebezpečný odpad je ukládán do kontejnerů a likvidován ve spalovně vzdálené 85 km);
- odpad z výroby (prach a další zbytky zpracovaného materiálu, který je skládkován na skládku vzdálenou cca 13 km).

Výroba izolačních desek začíná dopravou jednotlivých vstupních surovin do výrobního závodu v České republice. Zpracovaný len je přepravován nákladním automobilem s nosností 16 – 32 t na vzdálenost 385 km. Zpracování surovin a výroba tepelně izolačního materiálu probíhá na výrobní lince s odhadovanou životností 38400 pracovních hodin (cca 20 let), která byla alokována mezi výrobu hodnoceného izolantu a ostatní blíže nespecifikovanou produkci. Alokace byla provedena dle času provozu linky pro hodnocenou výrobu. Na výrobu izolantu připadá 1200 pracovních hodin (produkce 500kg/hod.). Spotřeba elektrické energie na výrobu 1 kg hotového izolantu je uvažována 2,59 MJ a spotřeba zemního plynu je stanovena na 0,11 m³.

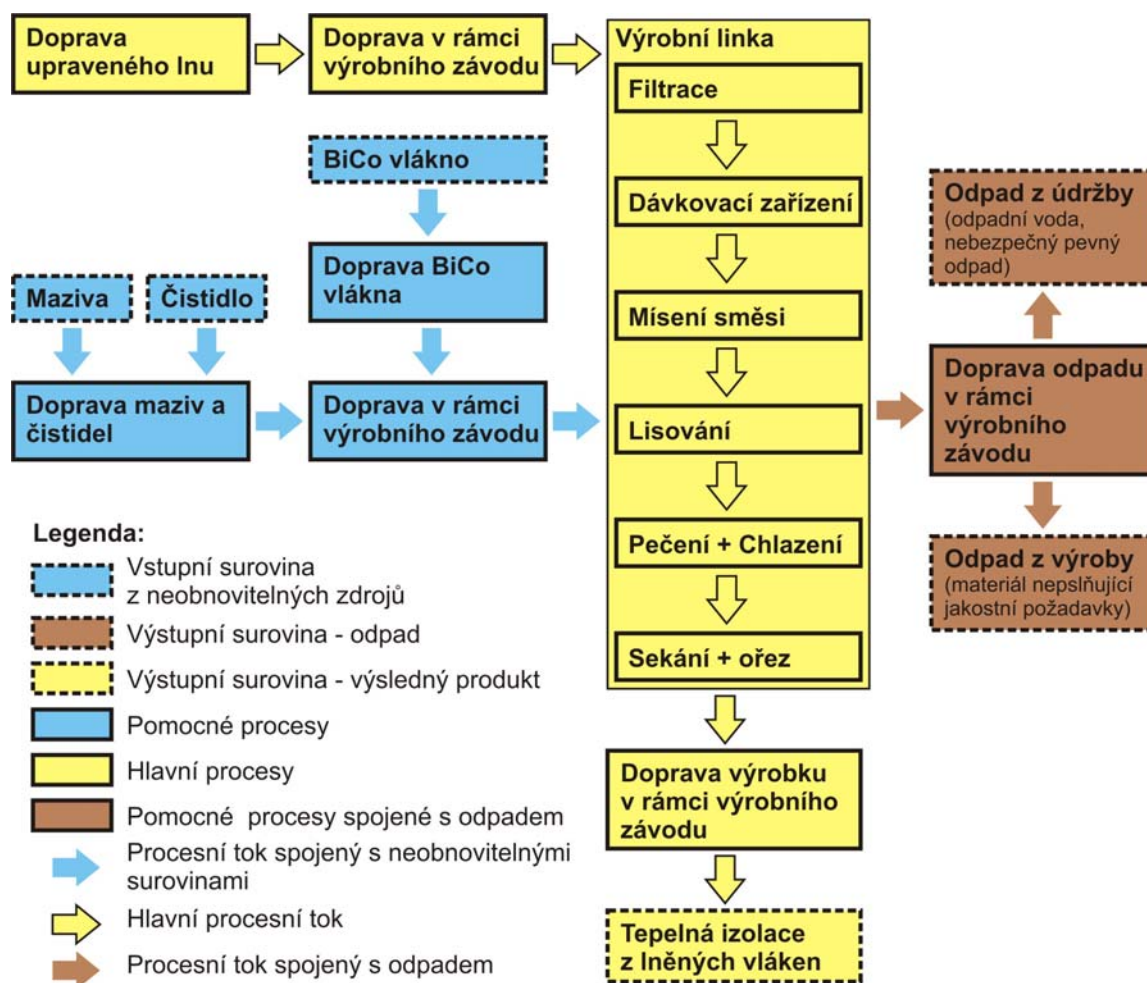
Upravené lněné vlákno se na lince smíchá s dvousložkovým polymerním vláknem (BiCo) vyráběným v Taiwanu, které slouží jako pojivo zajišťující soudržnost konečného materiálu. Doprava vlákna se skládá z kontejnerové lodní dopravy (19150 km) a přepravy nákladními automobily s nosností 16 -32 t (645 km). Přiřazení procesů z databáze ecoinvent bylo provedeno na základě informací z [61]. Dále je zahrnuta doprava pomocných prostředků nutných pro provoz výrobní linky (100 km) a doprava materiálů v rámci závodu vysokozdvíhými vozíky.



Obr. 4: Schéma zpracování surových lněných vláken [autor].

Směs lnu a BiCo vlákna se zahřívá a lisuje do požadovaného tvaru. Jednotlivé bloky či panely tepelné izolace jsou vytvořeny řezáním. Přibližně 10 % zpracovaného materiálu nesplňuje požadavky na jakost a je odpadem z výroby, který se v rámci tohoto posouzení skládkuje. [73]

Údržba této linky se provádí nejen mechanickým čištěním, ale také čištěním pomocí běžných chemických čistidel (mýdlová voda). Pravidelné promazání linky se provádí olejem a teflonovým sprejem.



Obr. 5: Schéma výrobního procesu tepelné izolace z lněných vláken [autor].

Odpad z výroby izolačního materiálu lze rozdělit takto:

- odpadní voda z čištění a údržby (znečištěná voda, která je vypouštěna do kanalizace a následně čištěna ve veřejné čističce odpadních vod)
- pevný odpad z čištění a údržby (nebezpečný odpad – maziva, který je nutno spalovat)
- odpad z výroby (materiál nespĺňující jakostní požadavky)

Spalovna je od výrobního závodu uvažována ve vzdálenosti 25 km a skládka ve vzdálenosti 22 km.

6.1.2 Inventarizace výroby lněné tepelné izolace

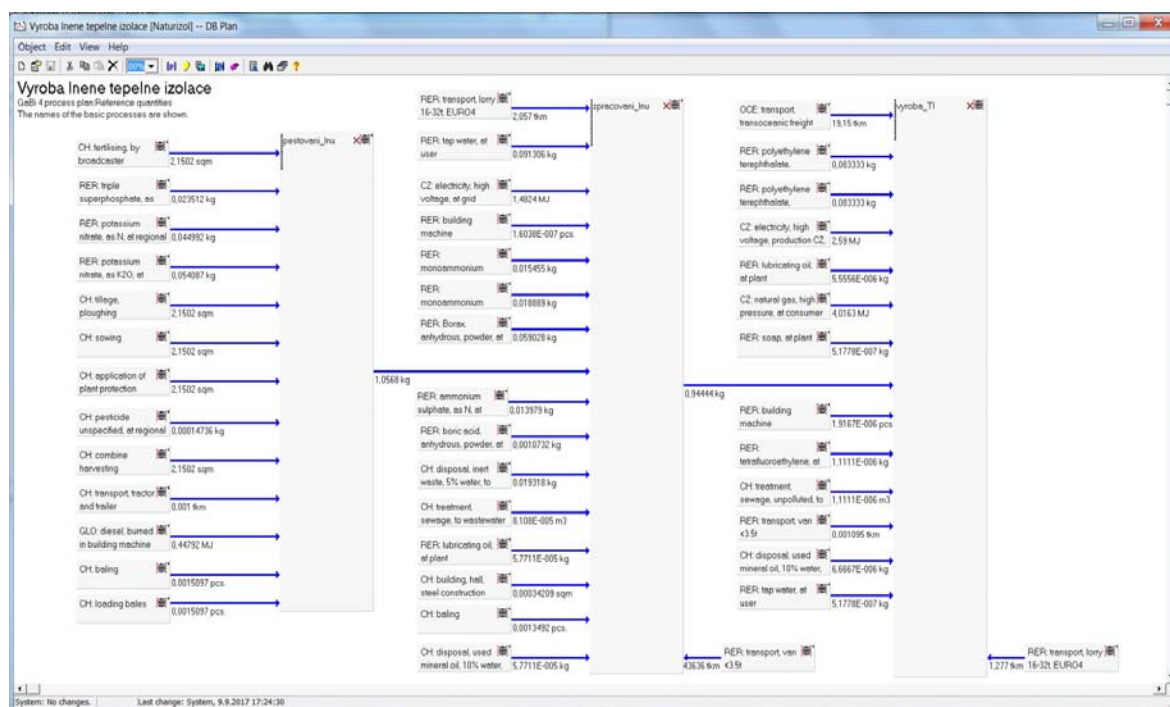
Příloha A uvádí přiřazení databázových procesů k procesům životního cyklu výroby lněné tepelné izolace a jejich lokalizaci a uvažované množství. Množství databázových procesů je stanoveno pro referenční tok, kterým je výroba 1 kg

hotové tepelné izolace. Na základě těchto inventarizačních tabulek byl sestaven matematický model hodnoceného životního cyklu v softwaru GaBi4.

Hodnocený životní cyklus výroby tepelné izolace z lněných vláken je rozdělen do tří etap:

- pěstování lnu;
- zpracování surového lnu;
- výroba lněné tepelné izolace.

Toto rozdělení je zavedeno z důvodu lepší prezentace výsledků a snadnější orientace v nich. V kapitole 6.1.3 obsahující vyhodnocení environmentálních dopadů jsou výsledky prezentovány též v členění do modulů A1 až A3 dle normy ČSN EN 15804.



Obr. 6: Prostředí programu GaBi4 ve stavu sestavení modelu životního cyklu z databázových procesů [autor a PE-International]

6.1.3 Vyhodnocení environmentálních dopadů lněné tepelné izolace

Pro výpočet environmentálních dopadů byla v rámci této studie použita metodika CML 2001 – Nov. 2010 (vyvinutá v institutu environmentálních věd v Nizozemí (Institute of Environmental Sciences in Leiden) s použitím

charakterizačního modelu této metodiky. Tato metodika zahrnuje indikátory kategorií dopadu uvedené v Tab. 5. Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu v CML jsou získány pomocí sady normalizačních faktorů pro geografickou úroveň EU 25+3 z roku 2010.

Tab. 5: Použité indikátory kategorie dopadu pro výpočet environmentálních dopadů [autor].

Indikátor kategorie dopadu	Jednotka
Potenciál úbytku zdrojů surovin pro prvky (ADP – prvky)	kg Sb ekv.
Potenciál úbytku zdrojů surovin pro fosilní paliva (ADP – fosilní paliva)	MJ
Potenciál acidifikace půdy a vody (AP)	kg SO ₂ ekv.
Potenciál eutrofizace (EP)	kg (PO ₄) ³⁻ ekv.
Potenciál akvatické ekotoxicity (FAETP)	kg DCB ekv.
Potenciál globálního oteplování (GWP)	kg CO ₂ ekv.
Potenciál globálního oteplování, bez biogenního uhlí (GWP)	kg CO ₂ ekv.
Potenciál humánní toxicity (HTP inf.)	kg DCB ekv.
Potenciál mořské ekotoxicity (MAETP)	kg DCB ekv.
Potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy (ODP)	kg R11 ekv.
Potenciál tvorby fotochemických oxidantů přízemního ozónu (POCP)	kg Ethene ekv.
Potenciál půdní ekotoxicity (TETP)	kg DCB ekv.

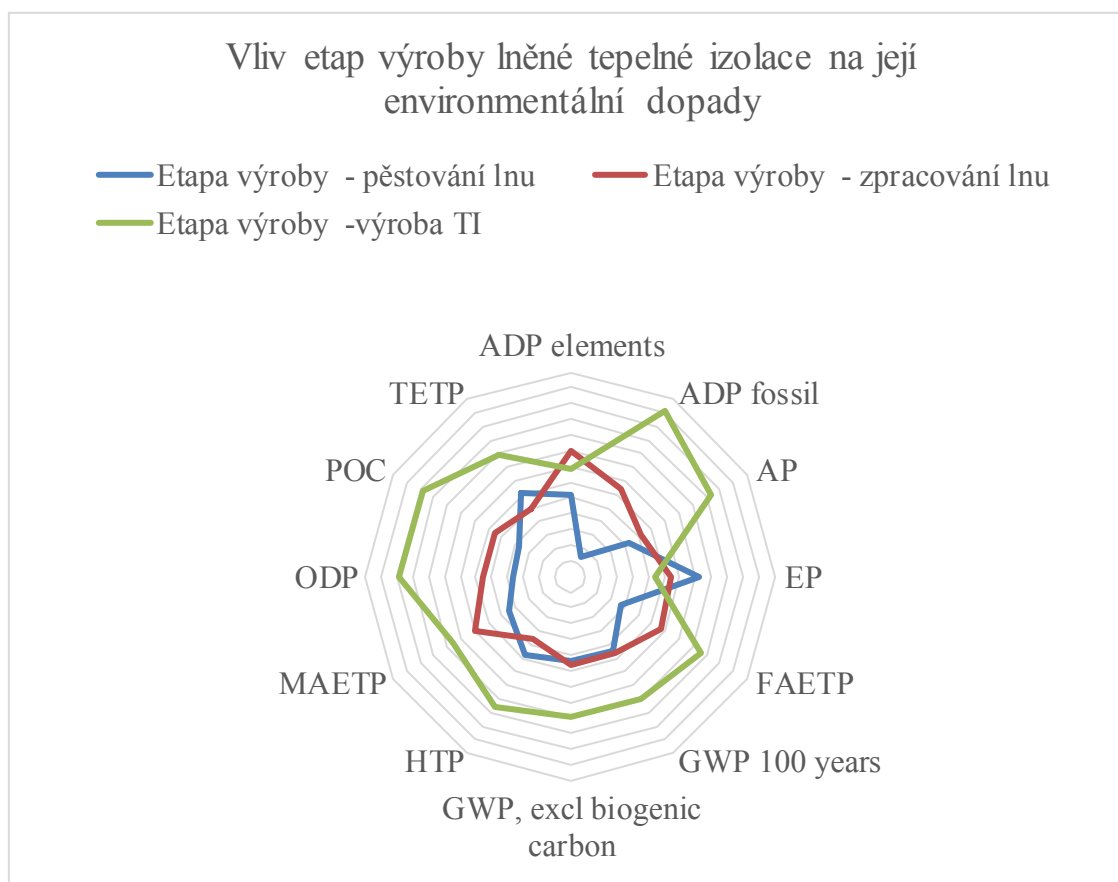
Tab. 6: Použité indikátory kategorie dopadu popisující spotřebu zdrojů primární energie [autor].

Indikátor	Jednotka
Spotřeba primární energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů	MJ, výhřevnost
Primární energie z obnovitelných surovin	MJ, výhřevnost
Primární energie ze zdrojů	MJ, výhřevnost

Environmentální dopady výroby Iněné tepelné izolace jsou prezentovány v Tab. 7 a příloze B. Pokud bychom výsledky členili do etap pěstování Inu, zpracování Inu a výroby tepelné izolace, největší vliv na životní prostředí by měla etapa výroby tepelné izolace (43,2 % normalizovaných environmentálních dopadů). Pokud bychom výsledky členili do modulů dle ČSN EN 15804 (modul A1 až A3), největší dopady na životní prostředí by vykazoval modul A1 – získání surovin (78,5 % normalizovaných dopadů). Doprava - modul A2 se podílí

na 11,3 % normalizovaných environmentálních dopadů. Modul A3 představující veškeré výrobní procesy a nakládání s odpadem vzniklým při výrobě zodpovídají za 10,2 % environmentálních dopadů

Z následujícího grafu (Graf 1) je patrné, že výroba lněné tepelné izolace ve výrobním závodě, má ze tří etap hodnoceného životního cyklu výroby největší vliv na většinu indikátorů kategorií dopadu. Pro potenciál úbytku zdrojů surovin pro prvky je zásadní etapa zpracování surového lnu, zatímco pro potenciál eutrofizace je nejvýznamnější jeho pěstování.



Graf 1: Vliv fází výroby lněné tepelné izolace na její environmentální dopady [autor].

Na etapu pěstování má zásadní vliv hnojení, a to především oxidem fosforečným a dusíkem. Společně se podílejí na 85 % environmentálních dopadů této etapy výroby lněné tepelné izolace.

Ze zpracování lnu ve zpracovatelském závodě nejvíce zatěžuje životní prostředí spotřeba elektrické energie. Stejně tak je tomu i u etapy výroby hodnocené tepelné izolace.

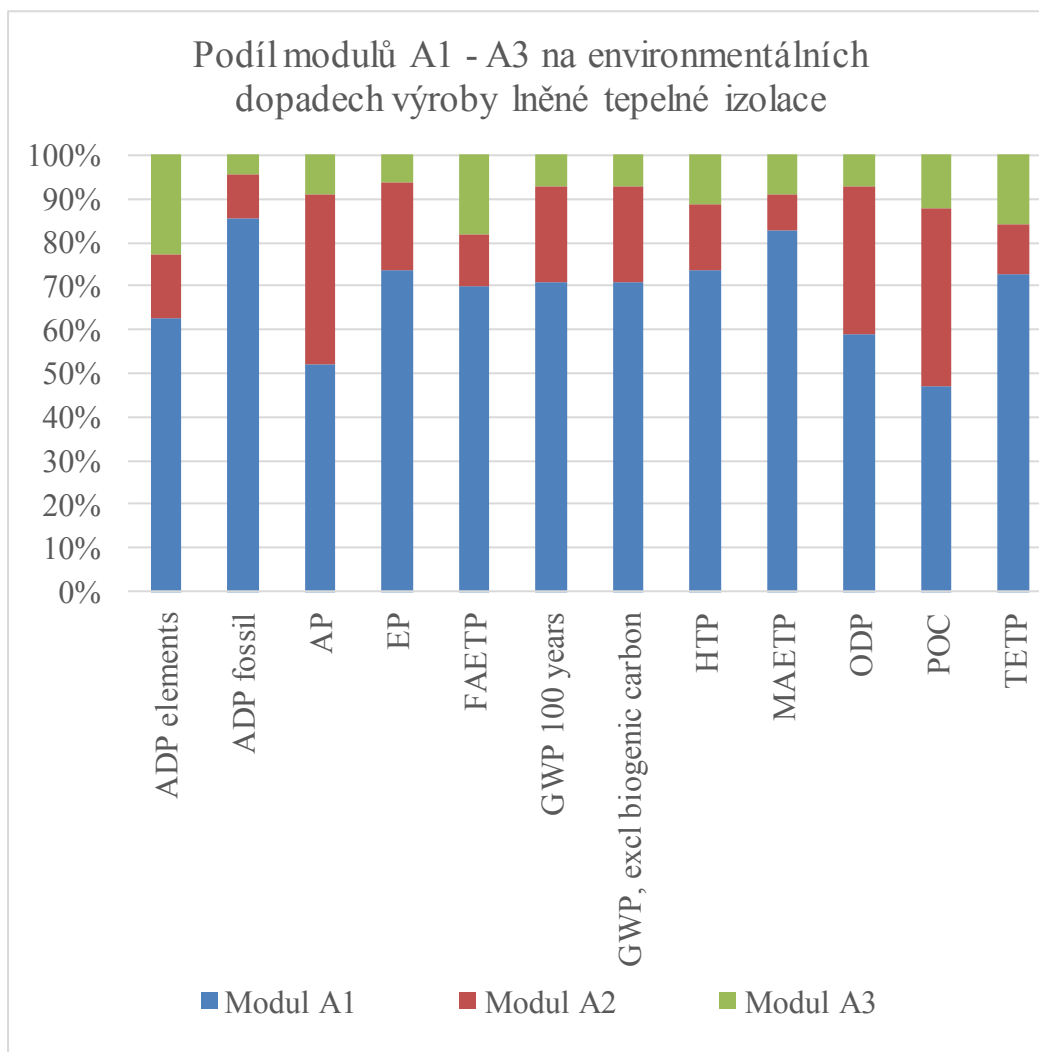
Na modulu A1 se nejvýrazněji podílí procesy spojené s výrobou a distribucí elektrické energie spotřebované v průběhu celého životního cyklu výroby Iněné tepelné izolace (necelých 43 % environmentálních dopadů modulu A1). Další výraznou surovinou je BiCo vlákno, které se podílí na environmentálních dopadech modulu A1 více jak 16 %.

Kamionová doprava se na environmentálních dopadech modulu A2 podílí 54,5 %. Lodní doprava způsobuje 41,3 % environmentálních dopadů modulu A2.

Na modul A3 mají zásadní vliv výrobní linky a hala pro uskladnění dále zpracovatelného odpadu ze zpracovatelského závodu (stává se vedlejším produktem). Společně tvoří 84 % environmentálních dopadů modulu A3.

Tab. 7: *Environmentální dopady modulů A1 až A3 Iněné tepelné izolace [autor].*

Kategorie dopadu	Modul		
	A1	A2	A3
Abiotic depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	7,93E-06	1,86E-06	2,89E-06
Abiotic depletion (ADP fossil) [MJ]	7,35E-02	8,55E-03	3,89E-03
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	9,08E-03	6,79E-03	1,61E-03
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	3,77E-03	1,03E-03	3,23E-04
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	1,60E-01	2,73E-02	4,15E-02
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	2,49E+00	7,57E-01	2,58E-01
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	2,49E+00	7,58E-01	2,54E-01
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	5,73E-01	1,17E-01	8,73E-02
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	1,07E+03	1,07E+02	1,17E+02
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	1,93E-07	1,10E-07	2,32E-08
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	7,68E-04	6,66E-04	2,01E-04
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	1,42E-02	2,23E-03	3,10E-03



Graf 2: Podíl modulů A1 – A3 na environmentálních dopadech výroby lněné tepelné izolace [autor].

Z výsledků indikátorů kategorií dopadu (příloha C) popisujících spotřebu zdrojů primární energie je patrný výrazný vliv etapy výroby tepelné izolace ve výrobním závodě na spotřebu primární energie celého hodnoceného produktového systému. Nejnižší spotřebu primární energie vykazují procesy spojené s pěstováním lnu.

Pokud bychom chtěli snížit environmentální dopady výroby lněné tepelné izolace, nabízí se dvě řešení. Prvním řešením je nahrazení anorganických hnojiv hnojivy organickými. Organická hnojiva obsahují méně živin než anorganická, a tak k dosažení stejného efektu hnojení je třeba mnohem vyšší množství organických hnojiv. Pokud bychom chtěli nahradit uvažovaná anorganická hnojiva v hodnoceném životním cyklu, museli bychom uvažovat např. 11538,9 kg sušeného drůbežího hnoje na 1 ha pole. Tímto opatřením by došlo k úspoře

environmentálních dopadů modulu A1 o 21,8 %. Úspora celkových environmentálních dopadů výroby lněné tepelné izolace by byla 17,1 %. Další nespornou výhodou použití organických hnojiv je zlepšení schopnosti půdy zadržet vodu.

Druhou možností, jak snížit environmentální dopady životního cyklu výroby lněné tepelné izolace, je změna z kamionové na železniční přepravu (včetně přepravy z vlakové stanice). Nahrazení se týká kamionové dopravy BiCo vlákniny, dopravy zpracovaného lnu do výrobního závodu a dopravy surového lnu a příměsí do zpracovatelského závodu. Přijetím tohoto opatření dochází k úspoře v modulu A2 o 10,5 % environmentálních dopadů. Což znamená úsporu 1,2 % environmentálních dopadů z celého životního cyklu výroby tepelné izolace z lněných vláken.

Při zavedení obou opatření by došlo k úspoře 18,3 % dopadů na životní prostředí z hodnocené výroby tepelné izolace. Ekonomický dopad těchto opatření není hodnocen.

6.1.4 Rekapitulace a závěr

Vytvořený komplexní model výroby tepelně izolačního materiálu z rostlinných vláken vykazuje výše uvedené environmentální dopady. Je možné dosáhnout jejich snížení až o 18 % zavedením následujících opatření:

- použití organických hnojiv místo anorganických;
- nahrazení části kamionové dopravy železniční přepravou.

Porovnání environmentálních dopadů hodnoceného modelu výroby lněné tepelné izolace s jinými tepelně izolačními materiály není předmětem této disertační práce. Porovnání staršího modelu výroby hodnocené tepelné izolace s jinými izolanty je publikováno v [73].

Na LCA modelu „od kolébky po bránu“ tepelné izolace z rostlinných vláken lze dále pracovat a doplnit ho o moduly konce životního cyklu C2 a C4. Takový model by odpovídal environmentálnímu prohlášení o produktu. Moduly C2 a C4 v této práci nebyly hodnoceny pro nedostatek dat o této fázi životního cyklu výrobku.

6.2 Posouzení vlivu výroby tvarovky z tepelně izolačního kompozitního plastu na životní prostředí

V rámci projektu FAST-J-12-1773 byl vytvořen model výroby výrobku z tepelně izolačního kompozitního plastu z druhotných surovin a vliv tohoto modelu na životní prostředí byl hodnocen metodikou LCA (autor této disertační práce je spoluřešitelem projektu). Tento materiál byl vyvinut v rámci projektu FAST-S-11-40/1292, byl mu udělen užitný vzor č. 20388 [67] a patent č. 302851 [65]. Pro jeho výrobu byla navržena koextruzní penetrační linka, užitný vzor č. 22361 [66].

V rámci této disertační práce byl model životního cyklu aktualizován (novější charakterizační model), optimalizován pro použití pouze jedné databáze ekoinvent verze 2.0 a zpřesněn o další procesy (zahrnutí opotřebení výrobních linek, doprava odpadu na místo konečného odstranění). Do hodnocení výroby izolačních bloků z kompozitního plastu z druhotných surovin nebyly zahrnuty procesy dopravy jednotlivých surovin ani doprava v rámci zpracovatelského závodu. A to vzhledem k tomu, že materiál je stále ve vývoji a jeho sériová výroba je prozatím pouze teoretická. Starší model byl prezentován např. v [76, 77].

Po konzultaci s provozovateli obdobných koextruzních penetračních linek na výrobu plastů a recyklačních linek byla odvozena chybějící data potřebná pro vytvoření modelu výroby. Hranice výrobního systému tak zahrnují i recyklaci vstupních surovin.

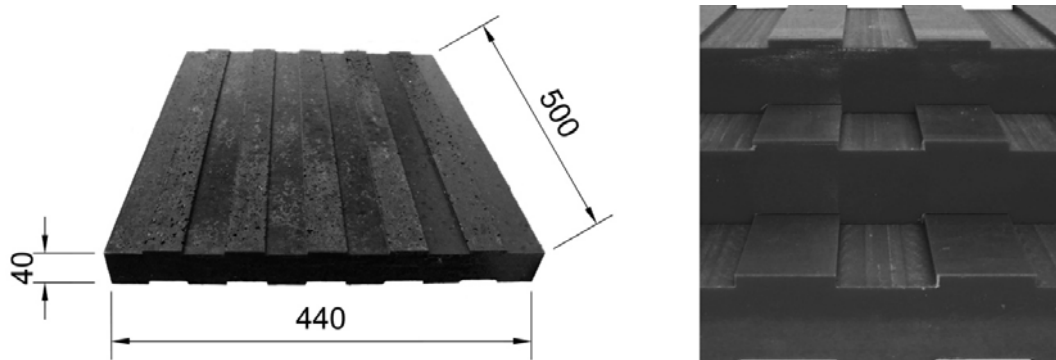
Kompozitní materiál je vhodný pro využití v oblastech konstrukcí, kde je potřeba eliminovat vznik tepelných mostů a kde jsou zároveň kladeny požadavky na mechanickou odolnost a statickou únosnost tepelného izolantu (v patě zdiva, pod dveřními prahy atd.).

6.2.1 Popis výroby tvarovek z kompozitního plastu

Poměr pojiva a plniva byl určen na základě experimentů. Z důvodu nízké objemové hmotnosti ($\rho=150-300 \text{ kg/m}^3$), dobrému součiniteli tepelné vodivosti $\lambda = 0,070 \text{ W/mK}$ a pevnosti v tlaku $\sigma=2,2-2,9 \text{ N/mm}^2$ byly jako plnivo do izolačního materiálu použity napěněné granule z odpadního skla.[62]

Jako pojivo pro výrobu kompozitního materiálu se používá recyklovaný polypropylen (modul pružnosti $E = 1550 \text{ MPa}$, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0.22 \text{ W/mK}$ [63]).

Tepelně izolační blok má uvažovanou objemovou hmotnost $\rho = 488 \text{ kg/m}^3$, a součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0.093 \text{ W/mK}$. Bloky byly vyráběny prozatím pouze jako prototypy. Jeden izolační blok má hmotnost 4,30 kg [63,64].



Obr. 7: Prototyp izolačního bloku vyrobeného z TICM (nalevo) a detail možného spojení jednotlivých vrstev bloků pomocí pera a drážky (napravo). [73,75]

Jako základní surovina pro výrobu plniva slouží odpadní sklo vyříděné z technologického i komunálního odpadu. Toto sklo je zbaveno všech příměsí, které by nepříznivě ovlivnily vlastnosti výrobku. Nejprve se pomocí detektoru provede odstranění kovového a jiného materiálu, který nebyl dříve vyříděn. Následně je skleněný odpad rozdrcen. Rozdrcený skleněný odpad je dále čištěn v tlakové myčce. K mytí se používá směs vody, síranu hlinitého a kapalného kyslíku. Voda na mytí je čištěna a opětovně použita (při silném znečištění odpadu se voda z myčky může použít maximálně dvakrát). V případě zpracování technologického odpadního skla je možné proces mytí vynechat. Omytá drť je rozemleta na jemný prach se zrnitostí menší než $5 \mu\text{m}$. Skelný prach je smísen s napěňovadlem. Ze vzniklé směsi se v granulátoru vytvoří granule požadované velikosti, které se vypalují v peci při teplotách, které umožňují chemickou reakci k uvolnění kysličníku uhličitého (CO_2) a kyslíku (O).[62]

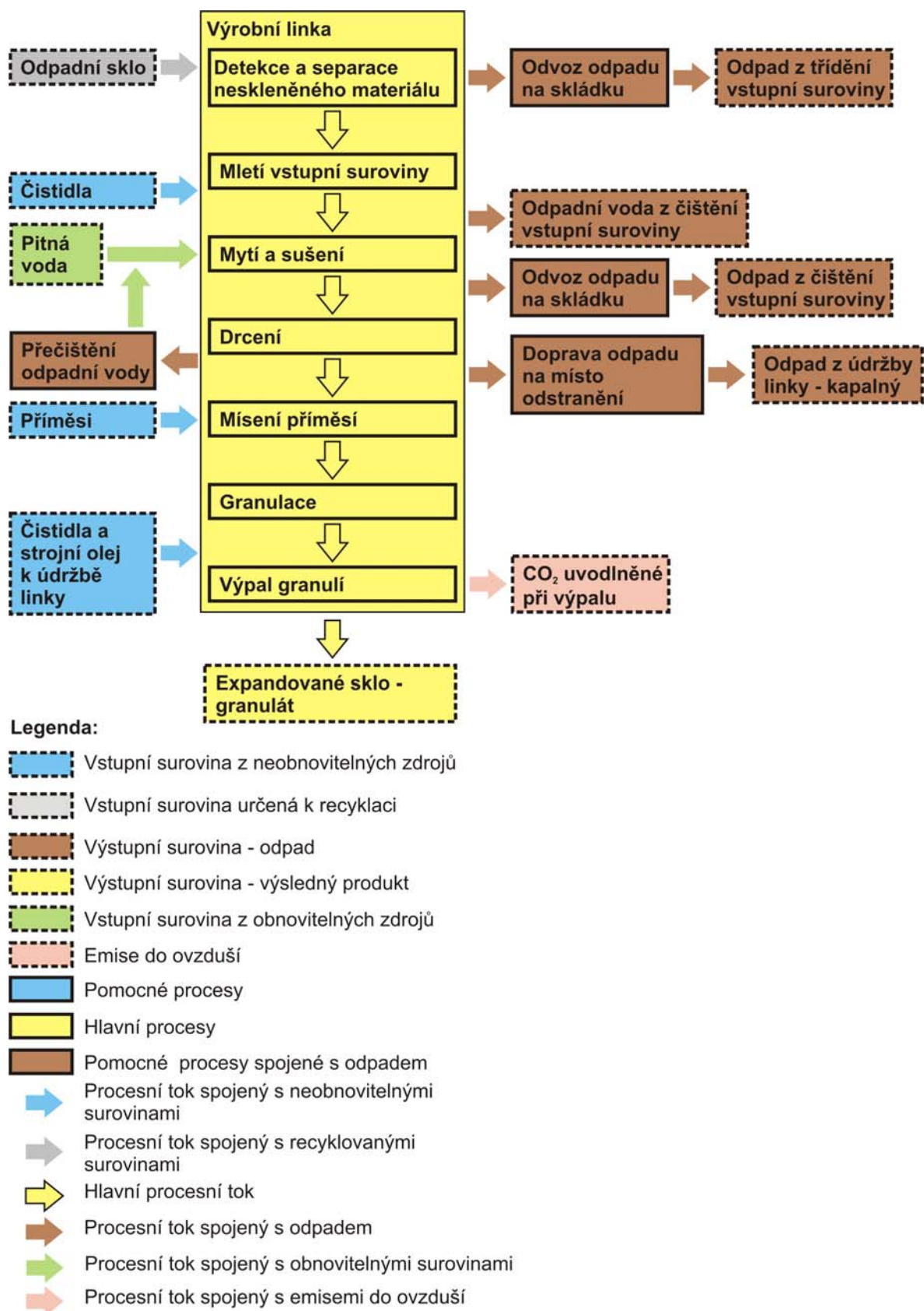
Předpokládaná produkce linky pro recyklaci skla a výrobu napěněných granulí je 1000 kg granulí za hodinu. Byly sestaveny dva scénáře pro výrobu napěněných granulí z odpadního skla. První scénář předpokládá nutnost mycího procesu skleněného odpadu a druhý představuje zpracování technického skleněného odpadu, který není třeba tímto procesem čistit. Do hodnocení je zahrnuta pravidelná údržba a čištění linky.

Při výrobě pojiva je plastový odpad nejprve rozemlet pomocí nožového mlýnu. Takto rozemletý odpad je dále čištěn mokrým procesem od zbytků nečistot. Vyčištěný plast je rozdrčen na drť, ze které jsou pomocí detektoru kovů odstraněny všechny kovové části. Polypropylenová drť se ve šnekovém extrudéru zahřeje přibližně na 180 °C, tím dochází k homogenizaci. Vzniklá hmota se granuluje.

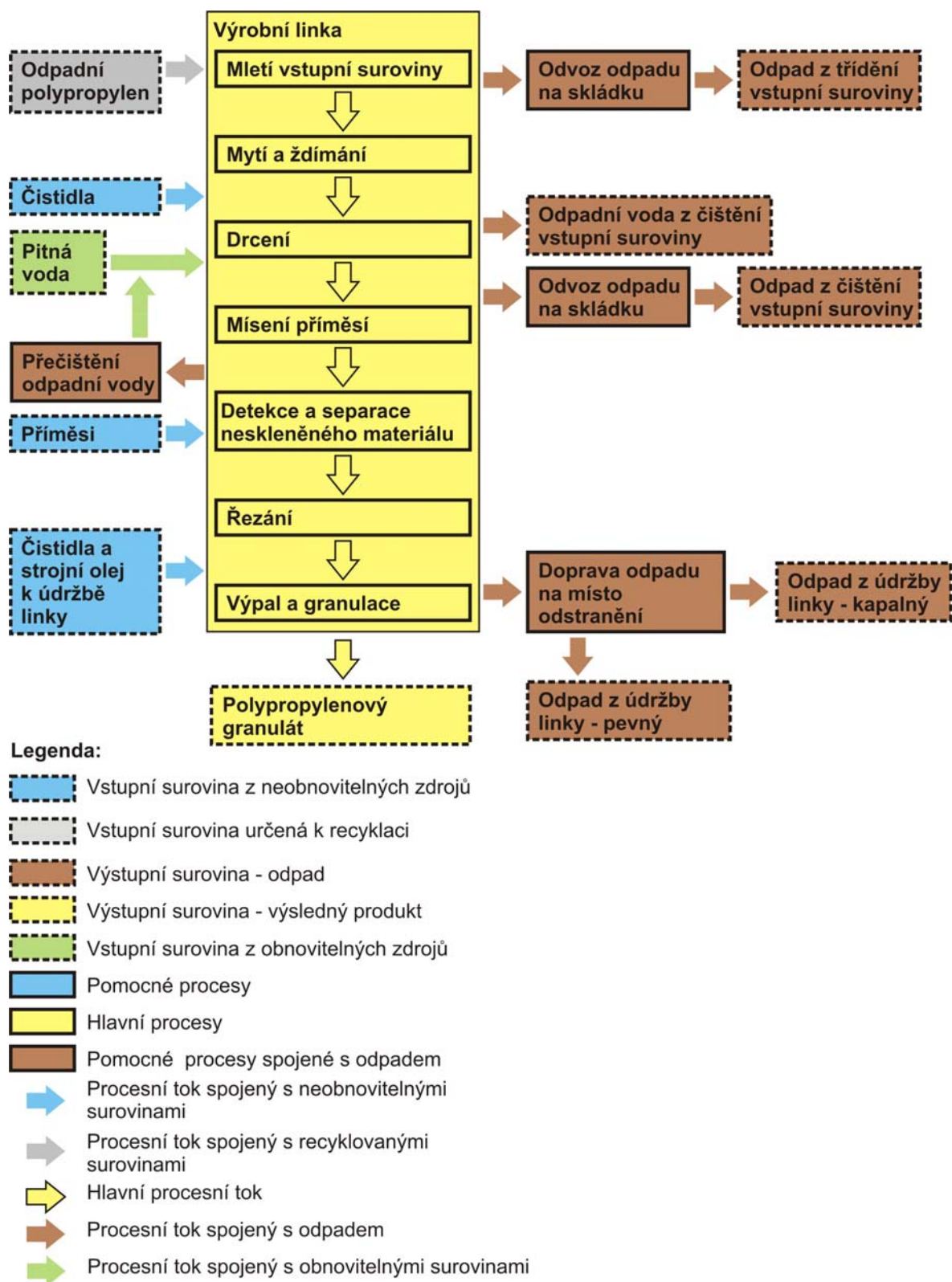
Na základě konzultací s provozovateli a z dostupných materiálů poskytovaných výrobcí jednotlivých zařízení byla stanovena potřeba elektrické energie a údaje o údržbě a čištění výrobní linky. Stejně jako u plniva i zde jsou uvažovány dva scénáře výroby polypropylenového granulátu. V prvním scénáři se počítá s výrobou granulátu z polypropylenu vytříděného z běžného odpadu a jeho čištěním vodou a chemickými čistidly. Druhý scénář předpokládá zpracování polypropylenu z odpadu průmyslové výroby, u něhož není nutné čištění. Rovněž je zahrnuta údržba a čištění výrobní linky.

Sériová výroba izolačních bloků spočívá ve vrstvení pojiva a plniva. Částečně natavený polypropylen se vytlačuje na vyhřívané ocelové válce. Ze zásobníku se na něj vrství granulované expandované sklo, které je překryto vrstvou roztaveného polypropylenu, který vyplní mezery mezi granulemi expandovaného skla. Do požadovaného tvaru se směs lisuje pomocí tvarovaných ocelových válců. Dělení na jednotlivé izolační bloky se provádí řezáním či vkládáním distančníků. Bloky se následně chladí přirozeně poježděním na lince nebo uměle pomocí chladících válců. Uvažuje se s produkcí linky 600 kg materiálu za hodinu. Z toho je přibližně 10 % odpadu (odřezky a vadné kusy). Údaje o potřebě energií, údržbě a čištění výrobní linky bylo odvozeno na základě konzultací s provozovatelem obdobné koextruzní linky.[74]

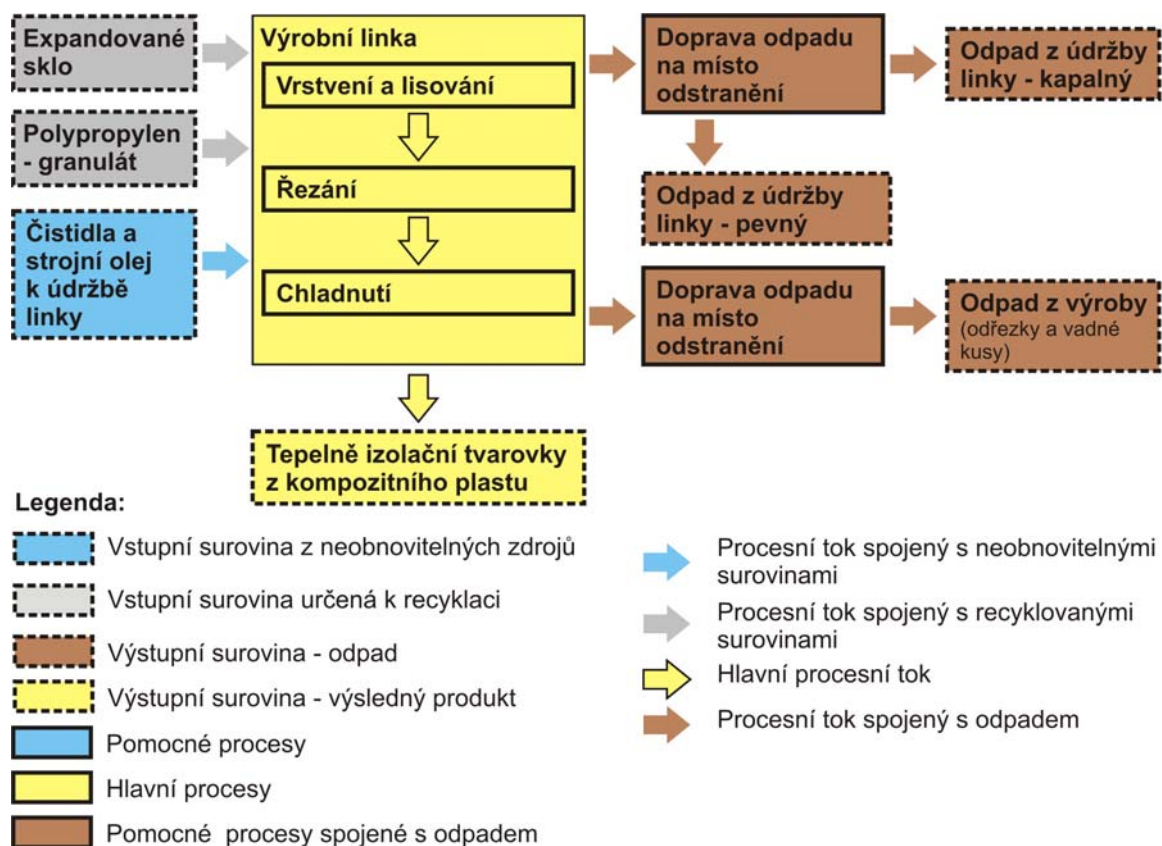
Následující obrázky (Obr. 8 a 9) ukazují zjednodušené schéma recyklačních procesů. Obr. 10 znázorňuje schéma výroby na koextruzní penetrační lince.



Obr. 8: Schéma výrobního/recyklačního procesu granulátu z expandovaného skla. [autor]



Obr. 9: Schéma uvažované linky pro výrobu/recyklaci polypropylénového granulátu z polypropylénu vytríděného v plastovém odpadu. [autor]



Obr. 10: Schéma výrobní linky tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu.

[autor]

6.2.2 Inventarizace vstupních a výstupních procesů výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu

Příloha C uvádí výsledky inventarizační analýzy pro oba typy scénářů životního cyklu výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu. V modelu výroby je uvažováno s produkcí 240 000 ks tvarovek ročně (1145,3 t materiálu).

Funkční jednotkou posuzovaného výrobního systému je výroba tepelně izolačního bloku z kompozitního plastu z druhotných surovin. Referenčním tokem je 1 kg hotového výrobku. Pro hodnocení byl použit databázový nástroj GaBi4, charakterizační model CML 2001 - Nov. 10 a příslušná normalizace EU 25+3. Rovněž byly hodnoceny indikátory dopadu popisující spotřebu obnovitelných a neobnovitelných zdrojů primární energie.

Veškerý odvoz odpadu na místo odstranění se uvažuje vzdáleností 50 km. Vstupní suroviny určené k recyklaci (odpadní polypropylen a odpadní sklo) nemají přiřazený žádný databázový proces a nevykazují žádné dopady na životní

prostředí, protože jejich předchozí využití a primární výroba jsou za hranicemi posuzovaného životního cyklu.

6.2.3 Vyhodnocení environmentálních dopadů tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu

Stejně jako u posouzení výroby tepelné izolace z rostlinných vláken (kapitola 6.1) byla pro výpočet environmentálních dopadů v rámci této studie použita metodika CML 2001 – Nov. 2010 s použitím charakterizačního modelu této metodiky. Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu v CML jsou získány s pomocí sady normalizačních faktorů pro geografickou úroveň EU 25+3 z roku 2010. Rovněž byly použity indikátory kategorie dopadu popisující spotřebu obnovitelných a neobnovitelných zdrojů primární energie uvedené v Tab. 5.

Vypuštěním procesu mokrého čištění vstupních surovin určených k recyklaci, a tedy použitím průmyslového odpadu dojde k úspoře environmentálních dopadů o 43,5 % (normalizované výsledky). Největší dopady na životní prostředí hodnoceného produktového systému vznikají při recyklaci polypropylenu. Největším znečišťovatelem životního prostředí v této fázi výroby je spotřeba elektrické energie pro provoz výrobní/recyklační linky.

V případě kategorií dopadu popisujících spotřebu primárních energií dochází při vynechání procesu mokrého čištění vstupních surovin určených k recyklaci ke snížení primární energie z obnovitelných surovin o 72,9 % a u celkové spotřeby primární energie o 31,9 %.

Tab. 8: *Procentuální podíl jednotlivých fází výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu na environmentální dopady hodnoceného systému [autor].*

Kategorie dopadu	Scénář bez čištění			Scénář s čištěním		
	Recykl. PP [%]	Recykl. skla [%]	Výroba bloků [%]	Recykl. PP [%]	Recykl. skla [%]	Výroba bloků [%]
Abiotic depletion elements (ADP elements)	9,42	77,92	12,66	60,01	36,63	3,36
Abiotic depletion fossil (ADP fossil)	46,29	17,35	36,36	51,34	17,22	31,44
Acidification Potential (AP)	43,67	22,05	34,27	60,47	23,27	16,25
Eutrophication Potential (EP)	35,68	37,25	27,07	69,80	29,56	0,64
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP)	30,54	45,09	24,38	67,11	26,26	6,63
Global Warming Potential (GWP 100 years)	44,18	21,10	34,72	54,86	23,69	21,45
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years)	44,05	21,33	34,62	56,92	20,96	22,12
Human Toxicity Potential (HTP inf.)	38,10	31,55	30,36	65,96	27,85	6,19
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.)	45,07	19,41	35,51	54,93	21,02	24,05
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state)	35,71	36,65	27,64	59,19	29,57	11,24
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP)	41,28	26,36	32,35	73,44	16,91	9,65
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.)	5,48	90,08	4,44	72,46	26,74	0,80

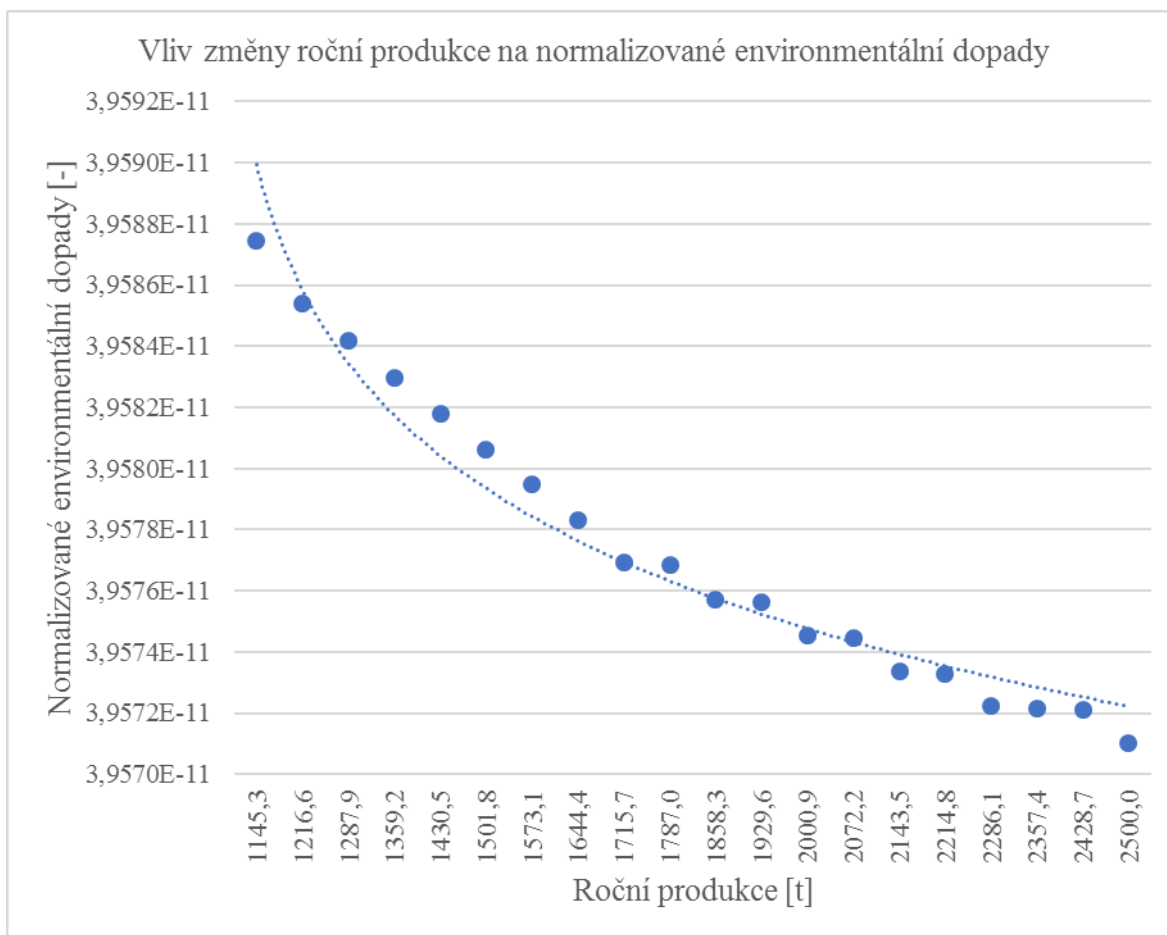
Tab. 9: *Environmentální dopady výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu v kategoriích dopadu popisujících spotřebu primárních energií [autor].*

Indikátor	Scénář bez čištění	Scénář s čištěním
Spotřeba primární energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů [MJ, výhřevnost]	23,214	34,076
Primární energie z obnovitelných surovin [MJ, výhřevnost]	0,230	0,847
Primární energie ze zdrojů [MJ, výhřevnost]	22,985	33,229

6.2.4 Citlivostní analýza

Citlivostní analýzou byl zjištěn vliv změny objemu roční produkce koextruzní penetrační linky na environmentální dopady izolačních bloků z kompozitního plastu. Předpokládá se se sériovou výrobou v rozsahu 1145,3 až 2500 t ročně. Dolní hranice představuje předpokládané množství materiálu pro výrobu 240 000 ks tvarovek. Množství roční produkce se zvyšuje o 14 942 ks tvarovek až k horní hranici, která představuje odhadovanou maximální výrobní kapacitu navržené výrobní linky. Citlivostní analýza byla provedena pro scénář s nutností čištění vstupních surovin určených k recyklaci. Celkem tedy bylo sestaveno 20 scénářů životního cyklu výroby tepelně izolačního bloku.

Z následujícího grafu je patrný logaritmický trend poklesu normalizovaných environmentálních dopadů při zvýšení roční produkce hodnoceného materiálu. Tento pokles je způsoben především snižujícími se energetickými a materiálovými toky spojenými s údržbou výrobních a recyklačních linek v přepočtu na 1 kg vyrobeného materiálu. Pokles normalizovaných environmentálních dopadů při více jak zdvojnásobení roční produkce je zanedbatelný a nepřesahuje 0,04 %. Stejně tak indikátory kategorií dopadu popisující spotřebu primárních energií poklesnou o 0,06 až 0,07 %. Změna roční produkce má největší vliv na indikátor kategorie dopadu potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy, u kterého dochází k snížení environmentálních dopadů o 0,16 %. I tento pokles lze považovat za zanedbatelný.



Graf 3: Vliv změny roční produkce na normalizované environmentální dopady [autor].

6.2.5 Rekapitulace a závěr

Vyhodnocením dvou typů scénářů byl zjištěn významný vliv mokrého čištění vstupních surovin určených k recyklaci a tím vliv kvality vstupní suroviny na environmentální dopady hodnoceného výrobního procesu. Vynecháním této části výrobního procesu je možné snížit environmentální dopady hotového výrobku o 43,5 %. Je třeba si uvědomit, že zvýšením kvality vstupních surovin zvýšíme ekonomickou náročnost výroby a zároveň snížíme schopnost výrobku obstát v konkurenčním boji.

Analýzou citlivosti byl sledován vliv změny roční produkce na environmentální dopady hodnocené výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu a byl shledán zanedbatelným.

Porovnání environmentálních dopadů hodnoceného modelu výroby tepelné izolace z kompozitního plastu s jinými tepelně izolačními materiály není

předmětem této disertační práce. Porovnání staršího modelu výroby hodnocené tepelné izolace s jinými izolanty je publikováno v [78].

Prezentovaný model neuvažuje s konkrétními výrobními zařízeními. Model je možné v budoucnu využít při projektování těchto zařízení nebo při změnách ve složení tepelně izolačního bloku, tak aby byla výroba ekologická a zároveň ekonomická.

6.3 Hodnocení rodinných domů metodikou LCA

Cílem posouzení rodinných domů je stanovení environmentálních dopadů jejich životních cyklů za účelem:

- zjištění environmentálních dopadů staveb projektovaných v současné době;
- optimalizace (doporučení vhodné volby) referenční jednotky;
- optimalizace hranic posuzovaného systému životního cyklu;
- procentuálního vyhodnocení vlivu jednotlivých fází životního cyklu objektu.

Dále je zjišťován vliv uvažované životnosti stavby (citlivostní analýza a různé scénáře užívání budovy), vliv způsobu nakládání s odpadem a způsobu užívání stavby (obsazenost budovy po celou dobu její životnosti).

Předmětem posouzení je celý životní cyklus budovy včetně základů. Do posouzení nejsou zahrnuty venkovní úpravy v rámci pozemku, a to z důvodu možnosti srovnání s ostatními budovami hodnocenými v této disertační práci či mimo ni. Environmentální posouzení budovy nezahrnuje trvalé stavby mimo ohraničení pozemku, jako jsou prvky infrastruktury pro komunikace, veřejné rozvody energie a vody a dopravu. Přípojky inženýrských sítí jsou zahrnuty v délce 1 metr od základu objektu.

Detailní zprávy z LCA hodnocení posuzovaných budov jsou přílohou této disertační práce (přílohy CD01, CD02, CD03 a CD04). Jsou v nich uvedeny veškeré zavedené předpoklady a podmínky hodnocení, inventarizační tabulky, použité databázové procesy a veškeré výsledky hodnocení. Tyto zprávy mohou také sloužit jako vzorové protokoly o provedených LCA studiích hodnotících životní cyklus budov.

6.3.1 Hodnocené budovy

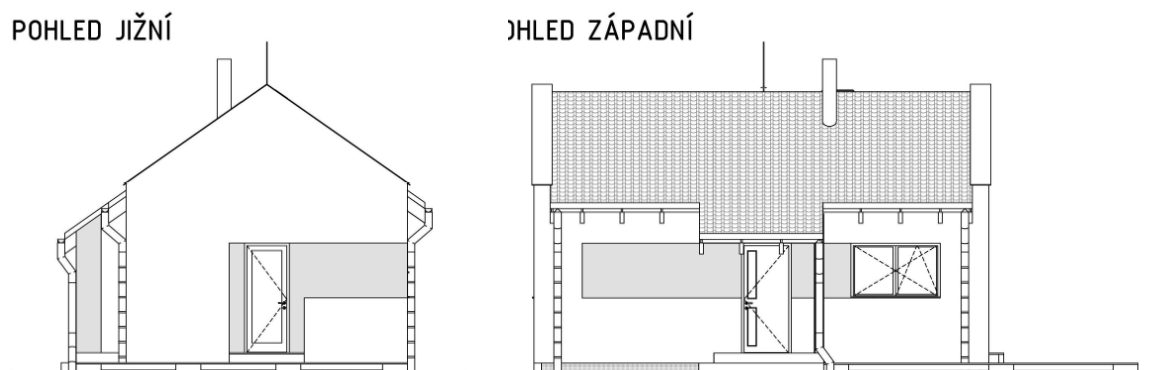
V této kapitole jsou stručně popsány hodnocené budovy a jejich charakteristiky

Tab. 10: Základní charakteristiky hodnocených budov.

Údaj	Měrná jednotka	Hodnocená budova			
		BC	BD	BL	BT
Užitná plocha	m ²	38,42	109,2	110,5	111,8
Objem budovy	m ³	162,9	508,5	450,2	498,1
Energetická náročnost budovy	-	B	A	C	A
Celková dodaná energie (užívání budovy)	MWh/rok	7,849	12,5858	22,156	8,637
Počet bydlících osob	osoba	2	5	4	4
Počet podlaží	-	1	1	2	2
Typ stavby	-	sloupková dřevostavba s FV	rámová dřevostavba	panelová dřevostavba	stavba z plynosilikátu
Převažující materiál rámu výplní otvorů	-	dřevo	dřevohliník	plast	dřevohliník

6.3.1.1 Budova rodinného domu Charvatce „BC“

Objekt rodinného domu je přízemní, nepodsklepený se sedlovou střechou. Dům je založen na základových pasech ze ztraceného bednění zmonolitněného prostým betonem. Objekt je realizován jako dřevostavba se sloupkovou konstrukcí vyplněnou minerální vatou. Fasáda je navržena jako kontaktní zateplovací systém s probarvenou silikonovou omítkou. Zastřešení je tvořeno hambálkovou soustavou krovu. Hlavní vodu odvádějící vrstva je řešena keramickou krytinou.



Obr. 11: Vybrané pohledy hodnoceného objektu „BC“.

Dům je napojen na přípojku elektrické energie a vody. Dále je dům napojen na splaškovou kanalizaci. Dům je určený pro obývání manželským párem.

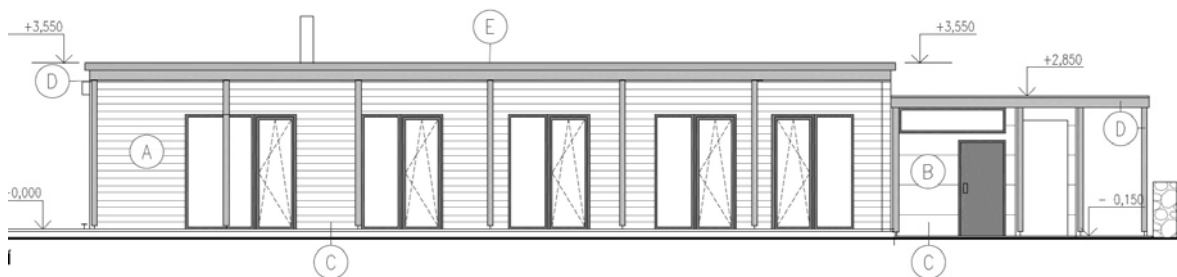
Vytápění objektu je řešeno elektrickými podlahovými rohožemi a elektrickými přímotopy umístěnými pod okny. Pro tepelnou pohodu v obývacím pokoji jsou umístěna krbová kamna na tuhé dřevěné palivo. Teplá užitková voda je ohřívána v zásobníku s elektrickým zdrojem. Objekt není nuceně větrán, uvažuje se pouze s přirozeným větráním infiltrací. K osvětlení objektu jsou použity úsporné zářivky.

Pro tento objekt byly vytvořeny dvě varianty scénářů životního cyklu. První uvažující s umístěním fotovoltaických panelů na budově a exportem vyrobené elektrické energie do sítě (shodné s energetickým průkazem budovy) a druhý bez uvažování fotovoltaických panelů.

6.3.1.2 Budova rodinného domu v Blansku „BD“

Objekt rodinného domu označovaný dále jako „BD“ je přízemní, nepodsklepený s pultovou střechou. Dům je založen na základových pasech z prostého betonu. Nosný systém tvoří dřevěná rámová konstrukce vyplněná tepelnou izolací. Vnitřní nosné konstrukce jsou z vápenopískových cihel. Dělicí nenosné vnitřní příčky jsou z dřevěných fošen s výplní z minerální vlny.

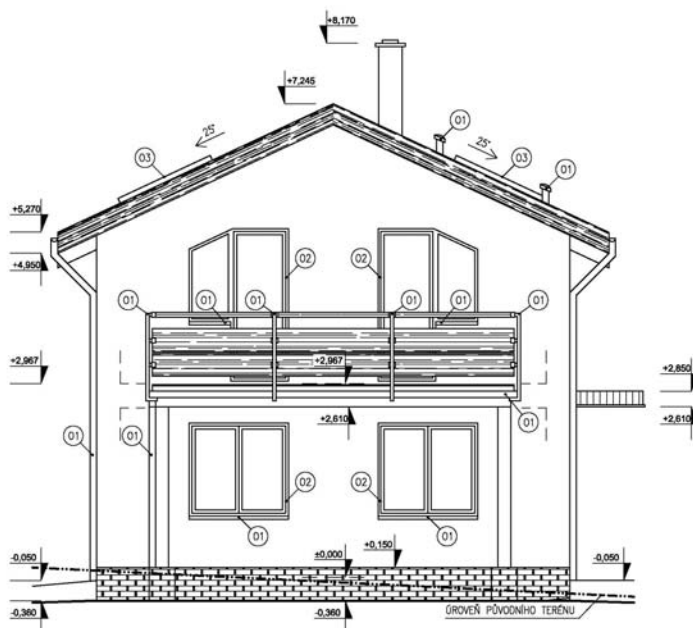
Dům je napojen na přípojku elektrické energie a vody. Dále je dům napojen na splaškovou kanalizaci. Je určený pro obývání pětičlennou rodinou.



Obr. 12: Jihovýchodní pohled na hodnocený objekt „BD“.

Objekt je vytápěn pomocí tepelného čerpadla typ země-voda a nenuceně větrán bez úpravy vlhčením. Jako doplňkový zdroj tepla slouží krbová kamna na tuhé palivo. Příprava teplé užitkové vody je rovněž zajištěna tepelným čerpadlem.

6.3.1.3 Budova rodinného domu u Rychnova nad Kněžnou „BL“



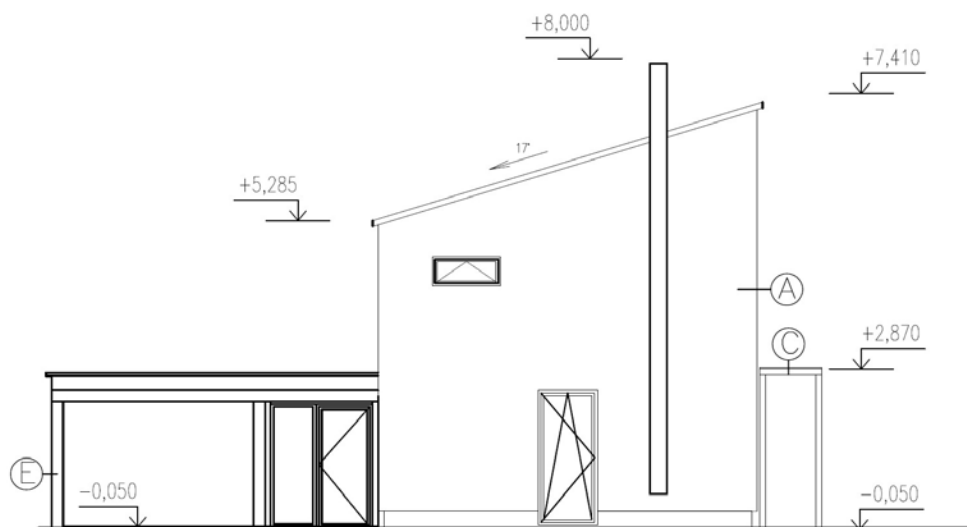
Obr. 13: Jižní pohled na hodnocený objekt „BL“.

Objekt rodinného domu u Rychnova nad Kněžnou je dvoupodlažní, nepodsklepený se sedlovou střechou. Dům je založen na základových pasech z prostého betonu. Nosný systém i vnitřní dělicí konstrukce tvoří montážní systém hotových lehkých stavebních prvků na bázi sendvičových panelů z OSB desek a polystyrenu a spojovacích, výplňových a podpůrných prvků ze dřeva. Dům je určený pro bydlení čtyřčlenné rodiny.

Dům je napojen na plynovou přípojku a na přípojku elektrické energie. Dále je do domu dodávána pitná voda. Objekt je napojen na domovní čističku odpadních vod. Ta vzhledem k nízkému stupni projektové dokumentace a chybějícímu podrobnému návrhu není do posouzení zahrnuta.

Teplovodní vytápění a příprava teplé užitkové vody jsou zajištěny plynovým kotlem. Dům je přirozeně i mechanicky větrán. V projektu posuzovaného rodinného domu nejsou uvažovány žádné zdroje obnovitelné energie.

6.3.1.4 Budova rodinného domu v Třebětíně „BT“



Obr. 14: Pohled na hodnocený objekt „BT“.

Rodinný dům v Třebětíně je dvoupodlažní, nepodsklepený s pultovou střechou. U vstupu do domu je krytý přístřešek pro auto se zděnou kůlnou. Z jižní strany domu je dřevěná terasa a předsazená dřevěná pergola. Dům je založen na základových pasech z prostého betonu. Nosný systém i vnitřní dělicí konstrukce tvoří plynosilikátové bloky. Nosná konstrukce stropu je monolitická. Objekt je kompletně zateplen polystyrenem.

Dům je napojen na přípojku elektrické energie, kanalizace a pitnou vodu z veřejného řádu. Dešťové vody budou zachycovány na parcele a likvidovány vsakem s použitím retenční nádrže. Retenční nádrž není ve studii hodnocena z důvodu chybějících informací v projektové dokumentaci, která je podkladem pro hodnocení. Dům je určený pro čtyřčlennou rodinu.

Vytápění a větrání objektu je zajištěno kompaktní vzduchotechnickou jednotkou s aktivní rekuperací vzduchu. Doplnkovým zdrojem tepla jsou elektrické topné žebříky a podlahové rohože v koupelnách. V obývacím pokoji jsou umístěna krbová kamna na dřevo. Teplá užitková voda je ohřívána tepelným čerpadlem typu vzduch - voda, které je součástí vzduchotechnické jednotky se zásobníkem 180 l. V rámci projektu nejsou uvažovány další zdroje obnovitelné energie. Rodinný dům je větrán infiltrací a doplněn mechanickým větráním zajištěným vzduchotechnickou jednotkou.

6.3.2 Zdroje dat

Jako podklad pro kvantifikaci jednotlivých toků/procesů slouží výkresy projektové dokumentace stavby na úrovni stavebního povolení, průkaz energetické náročnosti budovy, technické listy výrobků, montážní návody konstrukčního systému a sádkartónů a orientační výpočet spotřeby střešní krytiny, tvarovek a doplňků. Pokud v podkladech chybí specifikace klempířských a zámečnických prací, nejsou samostatně hodnoceny. V hodnocení se vyskytují u jednotlivých konstrukcí, dle toho, jak je bylo možné z dostupných materiálů specifikovat (vruty, šrouby, závitové tyče, zábradlí apod.).

Pro vytvoření scénáře dopravy SA4.1 bylo pro určení vzdálenosti mezi místem stavby a výrobními závody či sklady použito internetového portálu www.mapy.cz [72]. Pro stanovení scénářů výměn byla jako podklad použita ČSN ISO 15686-1 a předpokládané životnosti jednotlivých materiálů s přihlédnutím k vnějším vlivům dle umístění a účelu konstrukce (dle přílohy P.03 publikace [70] s přihlédnutím k informacím z databázových procesů a životností uváděných výrobcem). Pro výpočet scénářů spotřeby energie v rámci citlivostní analýzy či scénářů s proměnným obsazením budovy byly sestaveny výpočty energetických spotřeb pro různé varianty užívání stavby pomocí programu Energie.

Zdrojem environmentálních dat o materiálech a prvcích tvoří environmentální databáze ecoinvent verze 2.0 vyvinutá ve Švýcarsku (Ecoinvent Centre). Lokalizace jednotlivých databázových procesů je uváděna v podrobných zprávách z hodnocení projektů (přílohy této disertační práce uvedené na CD).

6.3.3 Referenční studované období

Referenční studované období je stejné jako požadovaná životnost budovy, tedy 60 let. Pro účely stanovení vlivu životnosti budovy na její environmentální dopady je studie rozšířena o další scénáře jednotlivých modulů životního cyklu (jak jsou definovány v ČSN EN 15978), které mají vyšší požadovanou životnost budovy a tím i referenční studované období, a to 100 let.

Citlivostní analýza hodnotí scénáře dynamického způsobu užívání (proměnná obsazenost budovy během jejího užívání) pro požadovanou životnost od 60 do 100 let s krokem 5 let (9 scénářů).

Kvantifikované hodnoty získané pro výrobní fázi, fázi výstavby a fázi konce životního cyklu jsou nezávislé na hodnotě délky referenčního studovaného období.

6.3.4 Hranice systému

Jednotlivé procesy ovlivňující environmentální vlastnosti budovy jsou přiřazeny k modulům životního cyklu, tak jak předepisuje norma ČSN EN 15978. Přehled hodnocených životních cyklů budov sestavených ze scénářů jednotlivých modulů uvádí příloha E.

6.3.4.1 Hranice pro výrobní fázi (moduly A1 až A3)

Hranice systému pro moduly A1 až A3 pokrývají procesy „od kolébky po bránu“ pro materiály a služby použité při výstavbě. Pro materiály, které jsou obsažené v dostupné databázi použitého výpočetního softwaru, jsou výsledky těchto modulů souhrnně uváděny v modulu A3. Množství použitých materiálů je stanoveno včetně ztrát v rámci výstavby (vyčísleno v hrubém množství).

Zařizovací předměty, které jsou nedílně spojeny s provozem budovy (sociální zařízení, dřez, boiler, vzduchotechnická jednotka, tepelné čerpadlo apod.) jsou prezentovány jako dvě hodnocené skupiny. První skupina zařizovacích předmětů (dále označovaná jako „Zařizovací předměty S1“) představuje vybavení spojené s vytápěním, ohřevem teplé užitkové vody, větráním a případnou klimatizací budovy. Druhá skupina zařizovacích předmětů (sprchové kouty, dřezy, záchodové mísy...), dále označovaná jako „Zařizovací předměty S2“, je zahrnuta do posouzení pouze jako dodatečná informace, vzhledem k chybějícím environmentálním datům pro vanu.

Pro tento modul byly vytvořeny dva scénáře:

Scénář A1-A3a – scénář, kdy jsou do hodnocení zahrnuty všechny známé materiály a výrobky použité při výstavbě budovy. Podrobné informace jsou obsaženy ve zprávách o hodnocení domů (přílohy CD01, CD02, CD03 a CD04);

Scénář A1-A3b – scénář užitý u modelu budovy BC, kdy jsou do hodnocení zahrnuty fotovoltaické panely umístěné na střeše budovy.

6.3.4.2 Hranice pro fázi výstavby (moduly A4 a A5)

Fáze výstavby pokrývá procesy od brány výroben různých stavebních výrobků až po dokončení stavebních prací. Do posouzení nejsou zahrnuty dopady výroby kapitálového zboží jako jsou nákladní auta, jeřáby, míchačky apod. Doprava v rámci staveniště do posouzení není zahrnuta.

Scénáře pro modul A4 jsou označeny takto:

Scénář SA4.1 – pro tento scénář byly sestaveny výroby a sklady, ze kterých se budou jednotlivé materiály dovážet a tím i vzdálenosti pro jejich přepravu. Pro laminátové podlahové dílce nebyla nalezena výroba na území ČR, a z toho důvodu byla jejich přepravní vzdálenost stanovena odhadem na 250 km. Stejná přepravní vzdálenost byla odhadnuta i pro komínové těleso.

Scénář SA4.2 - doprava materiálů a výrobků od brány výroby na staveniště je do posouzení zahrnuta pro všechny materiály jednotnou vzdáleností 150 km.

Scénář SA4.3 – doprava materiálů a výrobků od brány výroby na staveniště je do posouzení zahrnuta pro všechny materiály jednotnou vzdáleností 150 km, do hodnocení je zahrnut systém fotovoltaických panelů umístěných na střeše budovy.

Hranice systému zahrnují procesy zemních prací a terénních úprav spojených s výstavbou objektu. Nejsou zahrnuty terénní úpravy v rámci zahradních úprav. V posouzení se počítá s pomocnými materiály pro instalování výrobků jako jsou např. penetrační nátěry, hřebíky a bednění vyřazené na konci projektu. Výroba těchto materiálů je přiřazena do modulu A1 až A3.

Spotřeba vody a elektrické energie v rámci provozu staveniště není do výpočtu zahrnuta.

Nakládání se stavebním odpadem je stanoveno pro 4 scénáře a zahrnuje i dopravu na místo konečné likvidace či místo dalšího zpracování. Vzdálenost staveniště od skládky byla stanovena na 20 km, od spalovny 50 km

a k recyklačním závodům 50 km. Procesy nakládání s komunálním odpadem vzniklým na staveništi nejsou do výpočtu zahrnuty.

Scénář SA5.1 – kdy veškerý stavební odpad je ukládán na skládku;

Scénář SA5.2 – tam, kde je to možné je stavební odpad spalován ve spalovně a ostatní stavební materiál je ukládán na skládku;

Scénář SA5.3 – tam, kde je to možné je stavební odpad tříděn a recyklován v recyklačních závodech, ostatní odpad je ukládán na skládku;

Scénář SA5.4 – představuje kombinaci scénářů SA5.2 a SA5.3, kdy se dává přednost recyklaci odpadu.

Pro kvantifikaci množství stavebního odpadu z jednotlivých materiálů určeného ke spalování či recyklaci v rámci jednotlivých scénářů bylo uplatněno pravidlo přidělení k jednotlivým databázovým procesům buď 100 %, 50 % nebo 0 %.

6.3.4.3 Hranice pro fázi užívání (moduly B1 až B7)

Vzhledem k chybějícím informacím o budovách a jejich provozu nebyl modul B1 hodnocen. Hranice modulu B2 obecně zahrnují všechny procesy pro udržení jak funkčních a technických vlastností konstrukce budovy a integrovaných technických zařízení budovy, tak estetické kvality prvků interiéru a exteriéru budovy. V rámci tohoto posouzení bylo počítáno pouze se skládkováním či spalováním komunálního odpadu. Produkce komunálního odpadu byla stanovena na 197,5 kg komunálního odpadu na osobu a rok.

Vzhledem k tomu, že dataset ventilační jednotky zahrnuje jak výrobu, tak i údržbu včetně výměn filtrů i konečné odstranění, jsou všechny tyto dopady zahrnuty do modulů A1 až A3. Stejně platí i pro údržbu křbových kamen.

Scénář SB2.1 počítá s neměnným obsazením objektu po celou dobu jeho užívání, což je 60 let.

Scénář SB2.2 rovněž počítá s neměnným obsazením objektu stejně jako předchozí scénář, ale pro dobu užívání 100 let.

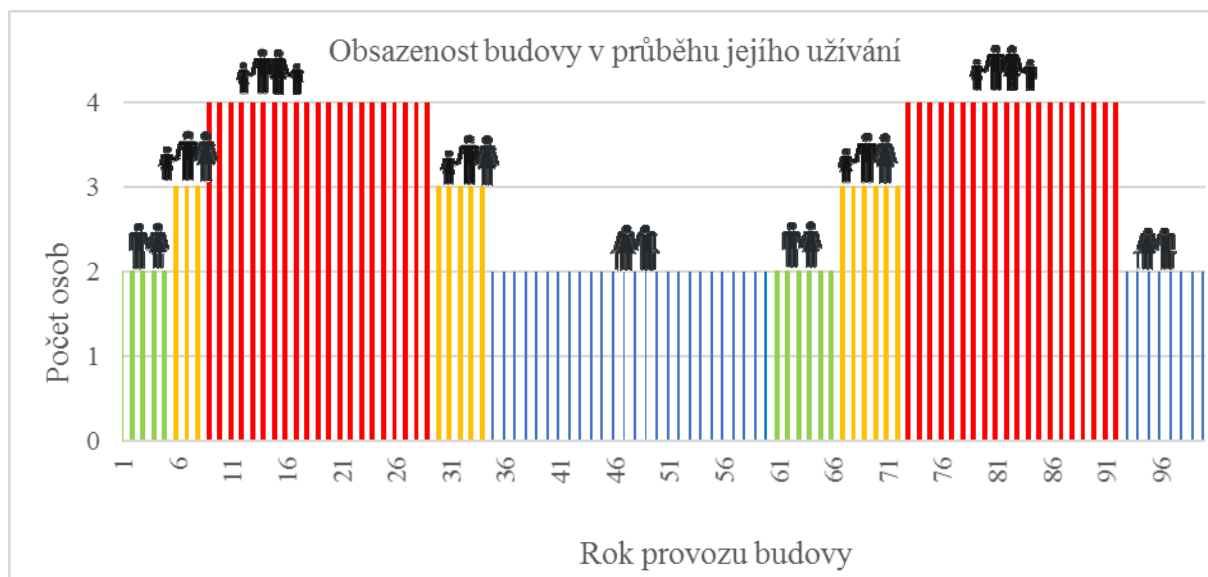
Scénář SB2.3 předpokládá prvních 5 letech provozu budovy užívání dvěma mladými osobami (mladý pár – 50 % denní doby trávené uvnitř). 6. až 8. rok provozu budovy se předpokládá obsazení 3 osobami (první dítě) s uvažováním 70 % denní doby strávené uvnitř budovy a na dalších 21 let 4 osobami (čtyřčlenná rodina – 60 % denní doby trávené uvnitř). Následuje dalších 5 let obývání budovy 3 osobami (odstěhování se jednoho z dětí). 35. až 60. rok provozu budovy

se předpokládá s obýváním 2 osobami (starší pár – 90 % trávení denní doby uvnitř budovy).

Scénář SB2.4 prvních 60 let provozu budovy zachovává podmínky užívání stejné jako ve scénáři SB2.3 a v následujících šesti letech (61. až 66. rok provozu) uvažuje s užíváním budovy mladým párem. Dalších šest let se předpokládá, že budovu obývají 3 osoby (70 % denní doby trávené uvnitř budovy) a poté 20 let 4 osoby (60 % denní doby trávené uvnitř budovy). Posledních 8 let užívání budovy (předpokládaná životnost 100 let) se předpokládá užívání starším párem (90 % trávení denní doby uvnitř budovy).

Vyprodukovaný komunální odpad je ukládán na skládku (scénáře s označením „a“ např. SB2.3a) nebo spalován ve spalovně komunálního odpadu (scénáře s označením „b“ např. SB2.3b). Pro skládkování byl přiřazen databázový proces „disposal, municipal solid waste, 22.9 % water, to sanitary landfill“ s údaji ze Švýcarska z roku 2000. Pro spalování byl přiřazen databázový proces „disposal, municipal solid waste, 22,9 % water, to municipal incineration“ s údaji ze Švýcarska z roku 2000.

Následující graf (Graf 4) znázorňuje obsazenost budovy pro scénáře s SB2.3 a SB2.4.



Graf 4: Obsazenost budovy v průběhu jejího užívání počtem a typem osob [autor].

Opravy výměny a rekonstrukce (moduly B3 až B5) jsou pro účely této práce zjednodušeny a je uvažováno pouze s modulem B4 – výměna prvků a výrobků. Do studie je zahrnuta výroba vyměňovaných stavebních prvků a pomocných výrobků včetně materiálových ztrát v rámci procesu výměny, jejich přeprava na staveniště i nakládání s odpady vzniklými v rámci tohoto modulu (stavební odpad vzniklý výměnou prvku). Stejně tak je tomu i u vyměňovaných zařizovacích předmětů.

Pro výrobu materiálů a prvků, které jsou potřebné v rámci modulu B4 jsou stanoveny následující scénáře:

Scénář SB4.1 – návrhová životnost materiálů a konstrukcí je stanovena na základě normy ČSN ISO 15686-1 tab. B1, přičemž návrhová životnost je stanovena na 60 let;

Scénář SB4.2 – návrhová životnost materiálů a konstrukcí je stanovena stejně jako u scénáře SB4.1 s tím rozdílem, že návrhová životnost je stanovena na 100 let;

Scénář SB4.3 – návrhová životnost materiálů a konstrukcí je odhadnuta na základě předpokládané životnosti jednotlivých materiálů a prvků zabudovaných v konstrukci s přihlédnutím k vnějším vlivům dle umístění a účelu konstrukce. Přičemž celková životnost budovy je stanovena na 60 let;

Scénář SB4.4 – jedná se o stejný způsob určení počtu výměn materiálů a prvků jako ve scénáři SB4.3, s tím rozdílem že návrhová životnost budovy je 100 let.

Scénář SB4.5 – scénář shodný se scénářem SB4.1, ale se zahrnutím fotovoltaických panelů;

Scénář SB4.6 – scénář totožný se scénářem SB4.2, ale se zahrnutím fotovoltaických panelů.

Kvantifikace jednotlivých procesů odpovídá hrubému množství ve fázi výstavby vynásobenému počtem oprav v jednotlivých scénářích.

V uvedených scénářích je pro dopravu materiálu na stavbu počítáno s jednotnou vzdáleností 150 km od výroben a skladů na staveniště. Pro nakládání se stavebním odpadem byl v tomto modulu zvolen scénář odpovídající scénáři SA5.4, který je ze všech scénářů uvedených v modulu A5 nejrealističtější. Navíc pro úplnost byl scénář SB4.1 posouzen i pro ostatní scénáře nakládání se stavebním odpadem, tak jak jsou definovány v modulu A5. Označení těchto

scénářů je SB4.1a pro skládkování, SB4.1b pro skládkování a spalování SB4.1c pro skládkování a recyklaci a SB4.1d pro skládkování, spalování a recyklaci. Kvantifikace odstraňovaných materiálů odpovídá hrubému množství těchto materiálů potřebných k jejich výměně.

Výplně otvorů se u scénáře SB4.1, SB4.2, SB4.5 a SB4.6 vyměňují jako celé včetně rámu a kování, i přes to, že v některých případech mají rámy vyšší životnost než zasklení. A to z důvodu morální zastaralosti výplně. U scénářů SB4.3 a SB4.4 je u dřevohliníkových a dřevěných oken uvažováno s ponecháním původních rámu a jejich přesklením. Pro životnost budovy 60 let se uvažuje se dvěma výměnami zasklení a pro životnost budovy 100 let se čtyřmi výměnami.

Modul B6 zahrnuje energii spotřebovanou integrovanými technickými zařízeními budov při provozu budovy, tak jak byly vyčísleny v průkazu energetické náročnosti budovy. Jsou zahrnuty energie pro zajištění vytápění, dodávky teplé vody, klimatizace, větrání, osvětlení i pomocné energie spotřebované čerpadly, regulačním systémem a automatizací.

Zahrnuty nejsou zařízení, která přímo nesouvisí s budovou (pračky, televize a jiné spotřebiče do zásuvky) ani procesy související s údržbou budovy či pozemku (úklid, sečení trávy apod.).

Sestaveny byly následující scénáře:

Scénář SB6.1 – tento scénář představuje konstantní podmínky v průběhu celé fáze užívání budovy, tak jak byly stanoveny v rámci energetického průkazu budovy. Tato předpokládaná doba užívání objektu je 60 let.





Scénář SB6.2 – konstantní podmínky v průběhu celého užívání budovy po dobu 100 let;

Scénář SB6.3 – představuje dynamický model spotřeby provozní energie dle obsazenosti budovy osobami (vliv počtu a stáří užívajících osob, jak je uvedeno ve scénáři SB2.3) a uvažuje s vlivem zhoršující se energetické účinnosti kotle a zvyšujícími se energetickými ztrátami vnějšími výplněmi otvorů. Tento vliv se do výpočtu započítává zhoršením parametrů jmenovaných zařízení v posledních 10 letech jejich životnosti o 2 % ročně. Životnost budovy je 60 let;

Scénář SB6.4 – je obdobou scénáře SB6.3. pro užívání stavby po dobu 100 let.

Podmínky pro výpočet energetických spotřeb budovy v jednotlivých obdobích užívání, jak jsou definovány v modulu údržby budovy ve scénářích SB2.3 a SB2.4 a uvádí je následující tabulka (Tab. 11).

Tab. 11: Podmínky pro výpočet energetické spotřeby budov [autor].

Varianta	Počet osob	Čas strávený uvnitř budovy [%]	Spotřeba TUV [$l \cdot \text{osoba}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$]	Průměrná vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$]
V1 	2	50	35	21
V2 	3	70	40	21
V3 	4	60	40	21
V4 	2	90	55	23

Hranice modulu B7 zahrnují veškerou vodu spotřebovanou při běžném provozu budovy. Nejsou zahrnuty procesy zavlažování zahrad či zelených střech. Modul pokrývá období od předání stavby až do chvíle, kdy dojde k demolici budovy.

Provozní spotřeba vody byla vyčíslena pro dva typy scénářů. Jeden s konstantní spotřebou vody po celou dobu užívání stavby vyčíslenou pro čtyřčlennou rodinu a druhý dynamický odpovídající scénářům užívání budovy, jak jsou popsány v modulu B2 (scénář SB2.3 a SB2.4).

Scénář SB7.1 – je scénář s konstantní spotřebou vody během užívání stavby trvajících 60 let;

Scénář SB7.2 – jedná se o scénář s konstantní spotřebou vody a užívání stavby trvá 100 let;

Scénář SB7.3 – dynamický model užívání stavby, kde je stanovena spotřeba na základě počtu užívajících osob v daných etapách životnosti budovy (60let);

Scénář SB7.4 – dynamický model užívání stavby po dobu 100 let.

6.3.4.4 Hranice pro fázi konce životního cyklu (moduly C1 až C4)

Konec životního cyklu budovy se předpokládá v okamžiku, kdy je místo stavby připraveno pro budoucí opětovné použití (tj. vyčištěno a připraveno pro novou činnost). Modul C1 – dekonstrukce nebyl vzhledem k nedostatku údajů hodnocen.

Hranice pro dopravu (modul C2) zahrnují všechny dopady vyplývající z přepravy na místo odstranění. Doprava je stanovena pro 4 různé scénáře nakládání s odpadem, stejně jako i v ostatních modulech, kde se přepravuje stavební odpad (modul A5 a B2 až B5).

Kvantifikace dopravy demoličního odpadu je stanovena na základě čistého množství materiálů a prvků použitých na výstavbu budovy. Scénáře se liší v přepravní vzdálenosti a ta odpovídá scénářům nakládání se stavebním odpadem v modulu C3 a C4.

SC2.1 – doprava demoličního odpadu odpovídající scénáři SC4.1 (veškerý odpad z demolice/dekonstrukce budovy je skládkován) na skládku vzdálenou 20 km od místa demolice;

SC2.2 – doprava pro scénář SC4.2, kdy je uvažována doprava na skládku vzdálenou 20 km od místa demolice a do spalovny vzdálené 50 km od místa demolice;

SC2.3 – doprava demoličního odpadu pro scénář SC4.3, který uvažuje s dopravou na skládku vzdálenou 20 km od místa demolice a do recyklačních závodů vzdálených od místa demolice 50 km;

SC2.4 – scénář dopravy, kdy se počítá s dopravou na skládku (20 km), do spalovny (50 km) a do recyklačních závodů vzdálených 50 km od místa demolice;

Modul C3 zahrnuje procesy recyklace odpadu z demolice či dekonstrukce budovy. Není uvažováno s energetickým využitím materiálů.

Modul C4 kvantifikuje všechny environmentální náklady vyplývající z konečného odstranění materiálu včetně správy místa odstranění. Při spalování odpadu se v tomto modulu nepočítá s využitím vzniklé energie a stejně tak při skládkování se neuvažuje využití skládkových plynů.

V této studii jsou uváděny souhrnně, a to z důvodu jasnější interpretace rozdílů mezi různými scénáři nakládání s odpadem. Sestaveny byly čtyři scénáře:

SC4.1 – odstranění skládkováním;

SC4.2 – odstranění skládkováním a spalováním;

SC4.3 – odstranění skládkováním a recyklací;

SC4.4 – odstranění skládkováním, spalováním a recyklací.

6.3.4.5 Hranice pro přínosy a náklady za hranicemi systému

(Modul D)

Modul D uvádí možné přínosy, které zamezí budoucí spotřebě primárních materiálů a paliv při současném zohlednění environmentálních nákladů spojených s procesy recyklace a využití za hranicemi systému.

Tento modul uvádí čistou odvrácenou environmentální zátěž procesů spojených s recyklací, opětovným použitím či výrobou tepla a elektrické energie při spalování stavebního odpadu. Tyto informace jsou rozčleněny dle modulů fází životního cyklu budovy, ve kterých vznikají. To znamená, že přínosy z recyklace či spalování odpadu vzniklého v rámci modulu A5 budeme označovat jako dílčí modul DA5. Vzhledem k tomu, že každý modul je hodnocen pro několik scénářů, jsou přínosy za hranicemi posuzovaného systému v modulu D označovány číslem příslušného modulového scénáře (např. pro scénář SA5.3 jsou přínosy nad rámec životního cyklu hodnocené budovy označovány jako DA5.3).

Přínosy a náklady nad rámec životního cyklu vyplývající z recyklace stavebního odpadu jsou vyčísleny jako environmentální dopady primární výroby materiálů, které nahradí recyklovaný materiál. Čisté dopady z modulu, ve kterém dochází k recyklaci, se stanoví následovně:

$$DR_{Yx} = R_{Yx} - V_x \quad (1)$$

kde DR_{Yx} jsou čisté environmentální dopady z recyklace stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x;

R_{Yx} jsou environmentální dopady z procesů recyklace stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x;

V_x jsou environmentální dopady primární výroby stavebního materiálu, který se nahradí recyklovaným materiálem x.

Hodnocení přínosů a nákladů nad rámec životního cyklu vyplývajících z výroby tepla a elektrické energie při spalování stavebního odpadu se provádí dle následující rovnice:

$$DS_{Yx} = S_{Yx} + V_{SYx} - E_{Yx} \quad (2)$$

kde DS_{Yx} jsou čisté environmentální dopady ze spalování stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x;

S_{Yx} jsou environmentální dopady z procesů spalování stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x;

V_{SYx} jsou environmentální dopady výstavby a likvidace spalovny alokované pro množství spalovaného odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x;

E_{Yx} jsou environmentální dopady výroby energetického mixu, nahrazeného odpadní elektrickou energií vzniklou ze spalování odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x.

6.3.5 Seznam indikátorů použitých pro posouzení a vyjádření výsledků

Pro výpočet environmentálních dopadů byla použita metodika CML 2001 – Nov. 2010 s použitím charakterizačního modelu této metodiky. Jedná se o stejnou metodiku, jako u hodnocení tepelné izolace z rostlinných vláken v kapitole 6.1. Uvažované indikátory kategorie dopadu jsou uvedené v Tab. 5. Dále byly hodnoceny indikátory kategorie dopadu popisující spotřebu obnovitelných a neobnovitelných zdrojů primární energie uvedené v Tab. 6 (kapitola 6.1.2).

Jako doplňující indikátory jsou uváděny objemy stavebních odpadů a jejich část určenou k recyklaci (Tab. 12). Indikátor „Stavební odpad“ zahrnuje všechny stavební odpad vyprodukovaný v průběhu životního cyklu budovy bez ohledu na způsob nakládání s ním.

Tab. 12: Použité doplňkové indikátory kategorie dopadu popisující nakládání s odpadem [autor].

Indikátor	Jednotka
Stavební odpad	kg
Stavební odpad určený k recyklaci	kg

6.3.6 Scénáře životního cyklu hodnocených budov

Příloha F uvádí přehled sestavených scénářů budov. Scénáře jsou členěny do čtyř skupin. První skupina jsou scénáře, které odrážejí změnu environmentálních dopadů pro různé způsoby nakládání s odpadem. Druhou skupinu tvoří scénáře, které odrážejí změnu environmentálních dopadů pro různé způsoby určení životnosti komponent a materiálů použitých při výstavbě a opravách či výměnách. Třetí skupina je tvořena scénáři, které se liší způsobem užívání budovy (konstantní/neměnné či dynamické/proměnné obsazení budovy). Čtvrtá skupina

scénářů jsou ty, které zahrnují hodnocení fotovoltaických panelů umístěných na budově a export jimi vyrobené energie. Scénář S9 a S10 patří do všech hodnocených skupin. Scénář S12 patří do druhé a čtvrté skupiny.

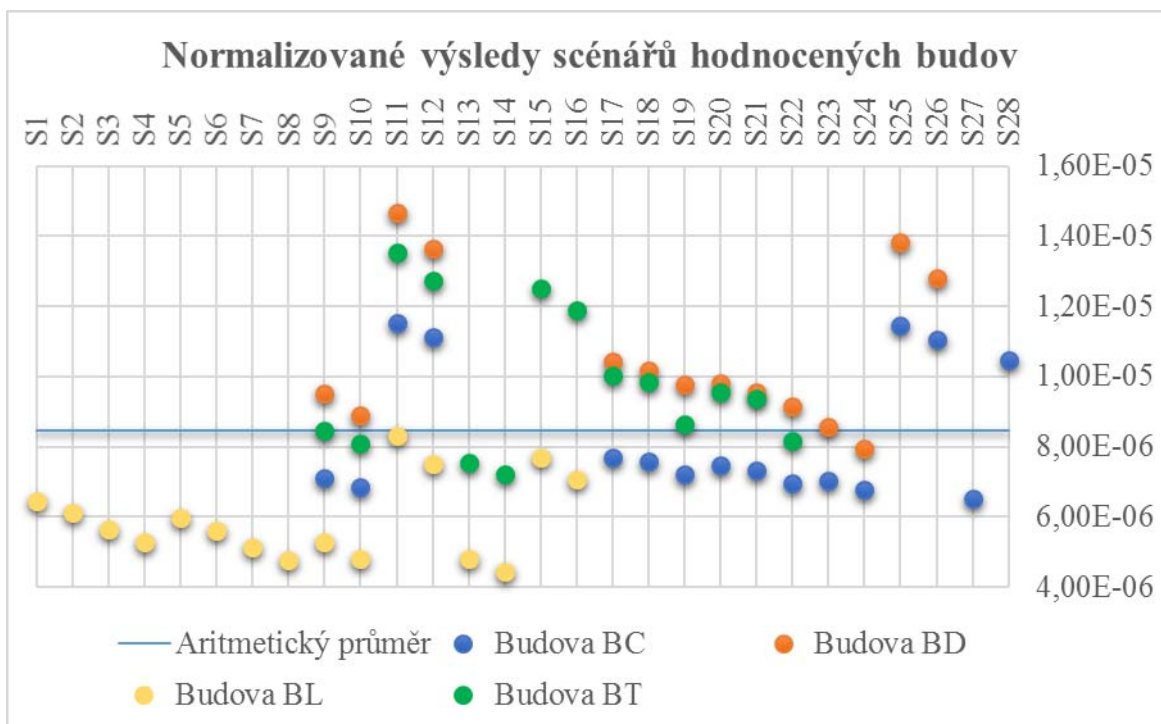
6.3.7 Vyhodnocení environmentálních dopadů rodinných domů

Environmentální dopady pro každou z hodnocených budov byly vyčísleny pro každý modul a jeho scénáře a pro celé životní cykly budov. Podrobné výsledky jsou uváděné v protokolech o LCA hodnocení jednotlivých domů (přílohy disertační práce na CD). V této kapitole je uváděno pouze vzájemné porovnání budov a jejich scénářů životních cyklů.

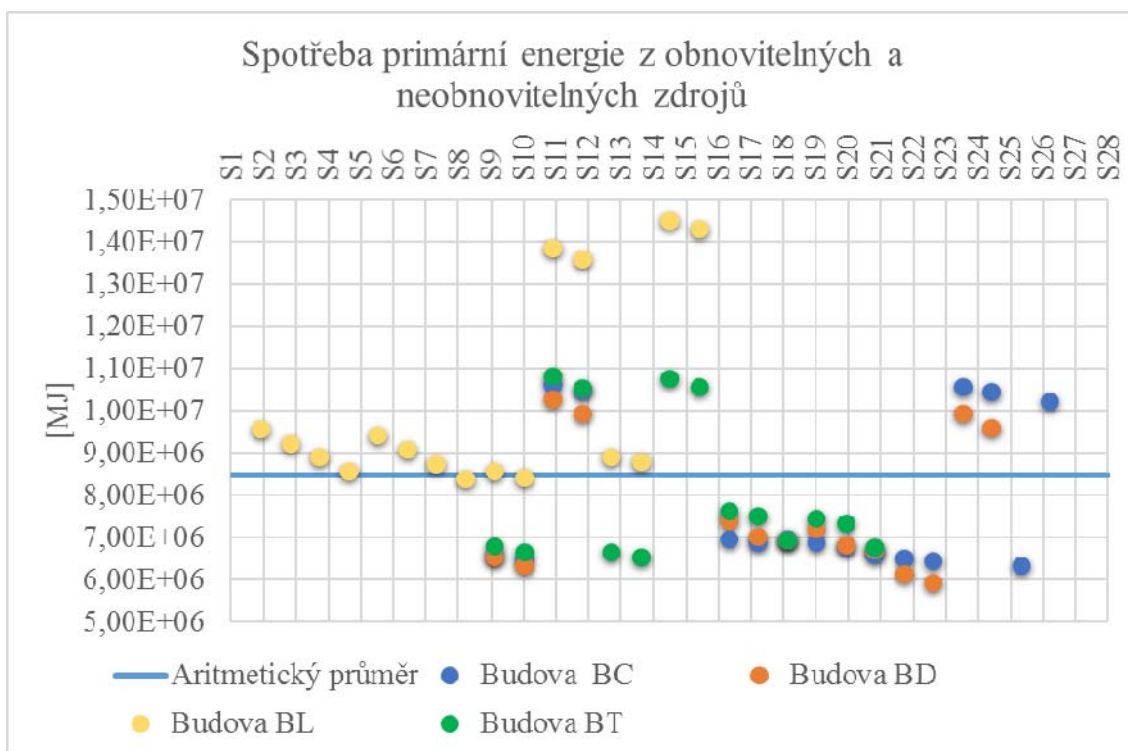
Pro výpočet environmentálních dopadů byla použita metodika CML 2001 – Nov. 2010 s použitím charakterizačního modelu této metodiky. Normalizované výsledky indikátorů kategorií dopadu v CML jsou získány s pomocí sady normalizačních faktorů pro geografickou úroveň EU 25+3 z roku 2010.

6.3.7.1 Vyhodnocení scénářů životních cyklů budov

Z následujícího graf je patrné, že budova „BL“ má z hodnocených budov překvapivě nejnižší environmentální dopady i přes to, že se jedná o budovu energetické třídy C. To je způsobeno využitím zemního plynu a o to nižší spotřebou elektrické energie. To ovšem neplatí, pokud bychom porovnali kategorie dopadu popisující spotřebu primárních energií (viz. Graf 6).



Graf 5: Normalizované výsledky scénářů hodnocených budov [autor].



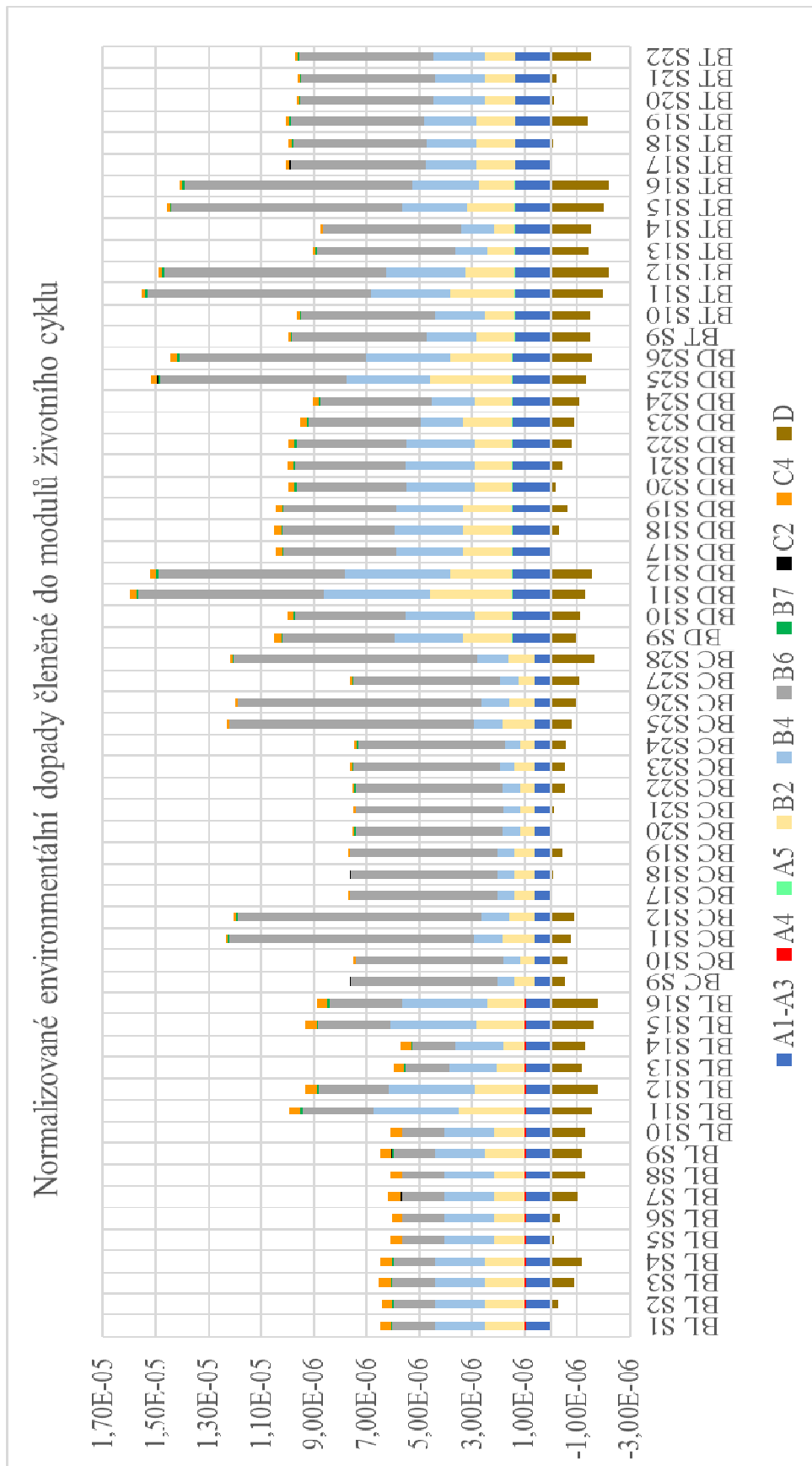
Graf 6: Spotřeba primární energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů [autor].

Graf 7 poukazuje na dominantní postavení modulů B4 – výměna prvků a výrobků a B6 – provozní spotřeba energií v životním cyklu budov a na značný přínos modulu D – potenciál opětovného použití, využití a recyklace.

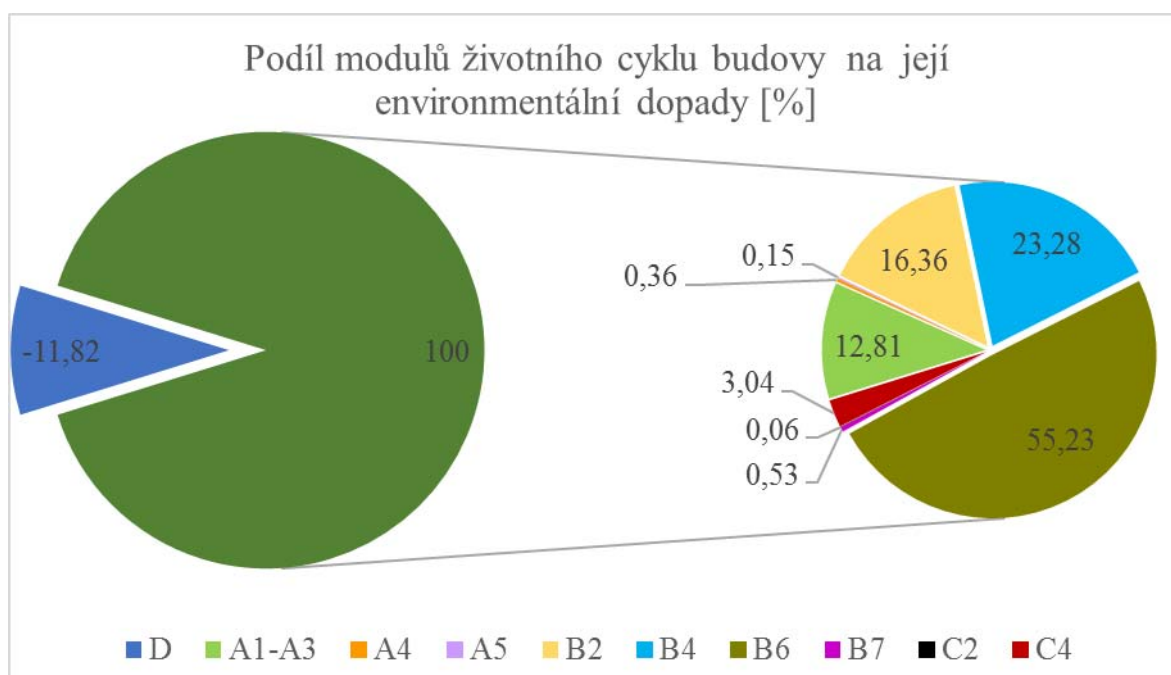
Modul B7, který hodnotí provozní spotřebu vody je značně citlivý na obsazenost budovy, a to z důvodu jejího stanovení na základě denní spotřeby jedné osoby. Ovšem vliv modulu B7 na environmentální dopady celého životního cyklu budovy je zanedbatelný.

Vliv modulů A4, A5 a C2 lze také označit jako zanedbatelný. Podíl každého z nich na celkových environmentálních dopadech nedosahuje ani 0,5 %. Nejvýznamněji se na environmentálních dopadech budovy podílí moduly B4 a B6. V hodnocených variantách scénářů budov modul B4 tvoří až 46 % environmentálních dopadů životního cyklu budovy. Modul B6 může tvořit až 88,5 % environmentálních dopadů životního cyklu budovy.

Citlivost modulu B6 na započítání vlivů obsazenosti budovy, zhoršování tepelné účinnosti kotle a zvyšování tepelných ztrát výplněmi otvorů v důsledku jejich stárnutí, není významná (max. 3,5%). Rozhodující vliv na výsledky tohoto modulu provozní spotřeby energií má doba užívání stavby a zdroj spotřebované energie.



Graf 7: Normalizované environmentální dopady členěné do modulů životního cyklu [autor].



Graf 8: Podíl modulů životního cyklu budovy na její environmentální dopady [autor].

Z výsledků je patrné, že modul D, byť zahrnuje informace za hranicemi životního cyklu, má významný vliv a jeho hodnocení může snížit environmentální dopady životního cyklu budovy až o 27 %. To je dáno především tím, že k největším úsporám environmentálních dopadů dochází v rámci modulu B4, který jak již bylo zmíněno je jedním z největších přispěvovatelů k zátěži životního prostředí v rámci budovy. Tento modul je zatížen zjednodušeními v nahrazení primární výroby v rámci této studie. Bylo by třeba dalšího zpřesnění v procesech recyklace a podílu druhotných surovin použitých při primární výrobě materiálů (především u ocelových výrobků a skla).

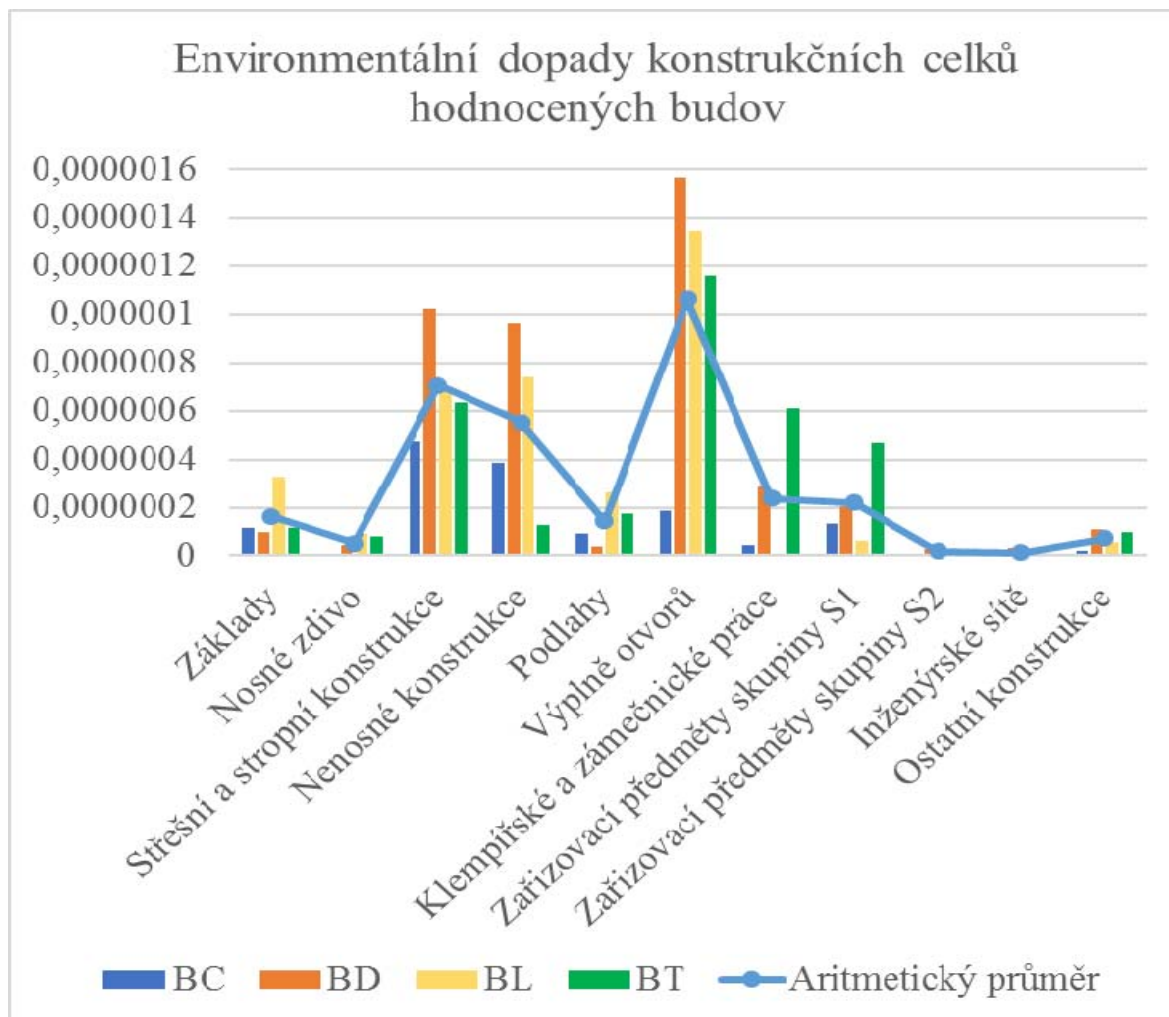
V rámci této studie byla hodnocena v modulu B2 pouze produkce komunálního odpadu a následné nakládání s tímto odpadem. Modul B2 v této podobě tvoří 16,4 % environmentálních dopadů celého životního cyklu budovy (průměr ze všech 60 hodnocených scénářů).

Rozdíly ve scénářích modulu C3 a C4, a tedy vliv nakládání s demoličním odpadem je zanedbatelný a nepřesahuje 2 % environmentálních dopadů tohoto modulu. V celém životním cyklu budovy to představuje přibližně 0,05 % dopadů na životní prostředí.

Zahrnutí fotovoltaických panelů umístěných na střeše budovy „BC“ do hodnocení životního cyklu budovy včetně přínosů jimi vyrobené exportované

energie dochází k úsporám environmentálních dopadů celého životního cyklu budovy o 5 až 6 %.

6.3.7.2 Vyhodnocení environmentálních dopadů konstrukčních celků v hodnocených budovách



Graf 9: Environmentální dopady konstrukčních celků hodnocených budov [autor].

Graf 9 a zároveň Tab. 13 ukazují průměrné normalizované environmentální dopady (bez modulu D) jednotlivých konstrukčních celků ze všech uvažovaných scénářů hodnocených budov. Je nutné brát v úvahu, že ne vždy jsou uvedené konstrukční celky uvažovány ve stejném rozsahu. Podrobnější členění pro každou budovu je uvedeno v přílohách disertační práce uvedených na CD. To je způsobeno tím, že modely životních cyklů hodnocených domů byly vytvářeny v průběhu dlouhého časového úseku a byly na nich sledovány různé parametry

a také tím, že každá budova a podklady k vytvoření jejího modelu jsou jedinečné. Např. pro budovu „BL“ nebyly v dostupné projektové dokumentaci specifikovány klempířské a zámečnické prvky. Tyto prvky jsou do hodnocení zahrnuty v takovém rozsahu jak je z dokumentace bylo možné určit a jsou přiřazeny k jednotlivých konstrukcím, ve kterých se vyskytují. Dalším příkladem může být budova „BD“ u níž byl zjišťován vliv tepelné izolace na celkové environmentální dopady budovy a veškerá tepelná izolace byla hodnocena jako samostatný prvek a v Grafu 9 a Tab. 13 je přiřazena k nenosným konstrukcím. Pro všechny budovy je stejný rozsah hodnocení pro základy, nosné zdivo, výplně otvorů, zařizovací předměty skupiny S1 i S2 a inženýrské sítě (s výjimkou budovy „BL“ i práce klempířské a zámečnické).

Nejvýznamnějšími konstrukčními prvky jsou výplně otvorů a konstrukce obsahující tepelné izolace (střecha včetně střešního pláště, nenosné konstrukce).

Tab. 13: *Procentuální vyjádření vlivu konstrukčních celků na environmentální dopady životního cyklu budovy [autor].*

Konstrukční celek	Model budovy			
	BC	BD	BL	BT
Základy	1,31	0,93	4,69	1,15
Nosné zdivo	0,04	0,40	1,33	0,79
Střešní a stropní konstrukce	4,01	9,59	9,91	6,32
Nenosné konstrukce	4,36	1,28	10,68	1,26
Podlahy	1,04	0,37	3,63	1,76
Výplně otvorů	2,12	14,60	19,46	11,55
Klempířské a zámečnické práce	0,52	2,76	0,00	6,10
Zařizovací předměty skupiny S1	1,56	1,94	0,93	4,78
Zařizovací předměty skupiny S2	0,11	0,23	0,32	0,23
Inženýrské sítě	0,04	0,32	0,16	0,06
Ostatní konstrukce	1,31	8,71	0,82	0,99
Ostatní hodnocené parametry budovy	82,25	58,64	38,56	65,01

Značná rozdílnost vlivu všech konstrukčních celků na environmentální dopady životního cyklu budovy (Tab. 13) je dána především rozdílnostmi v modulu B6 – provozní spotřeba energií. U budovy „BC“ se jedná o dům v energetické třídě B a vliv modulu B6 je větší než u budov „BD“ a „BT“, které spadají do energetické třídy A. Budova „BL“ je sice v energetické třídě C, ale většinu spotřeb energií pokrývá zemním plynem, který má nižší environmentální dopady než elektrická

energie (data lokalizovaná pro ČR z roku 2008) a modul B6 není dominantním v životním cyklu této budovy.

6.3.7.3 Citlivostní analýza vybraných modelů životních cyklů budov

V rámci analýzy citlivosti byl zjišťován vliv změny uvažované životnosti stavby na dopady na životní prostředí. Citlivostní analýza byla provedena pro budovu panelové dřevostavby „BL“ a budovu zděnou z plynosilikátových tvárníc „BT“. Pro všechny moduly užívání stavby byly vybrány dynamické scénáře, tak jak jsou definované v kapitole 2, jako extrémní podmínky. Interval mezi nimi byl rozdělen po pěti letech provozu. Tedy se v rámci citlivostní analýzy posuzuje pro každý modul 9 scénářů s životností od 60 do 100let.

Pro každou životnost byl stanoven scénář oprav. Násobnosti výměn jednotlivých konstrukčních prvků a výrobků jsou uvedeny protokolech o LCA hodnocení budov (příloha CD01 a CD02).

Pro citlivostní analýzu byl vyčíslen průběh spotřeb energií, který odpovídá scénáři SB6.3 a SB6.4. Ten představuje dynamický model spotřeby provozní energie dle obsazenosti budovy osobami (Graf 4) a uvažuje s vlivem zhoršující se energetické účinnosti kotle a zvyšujícími se energetickými ztrátami vnějšími výplněmi otvorů. Tento vliv se do výpočtu započítává zhoršením parametrů jmenovaných zařízení v posledních 10 letech jejich životnosti o 2 % ročně.

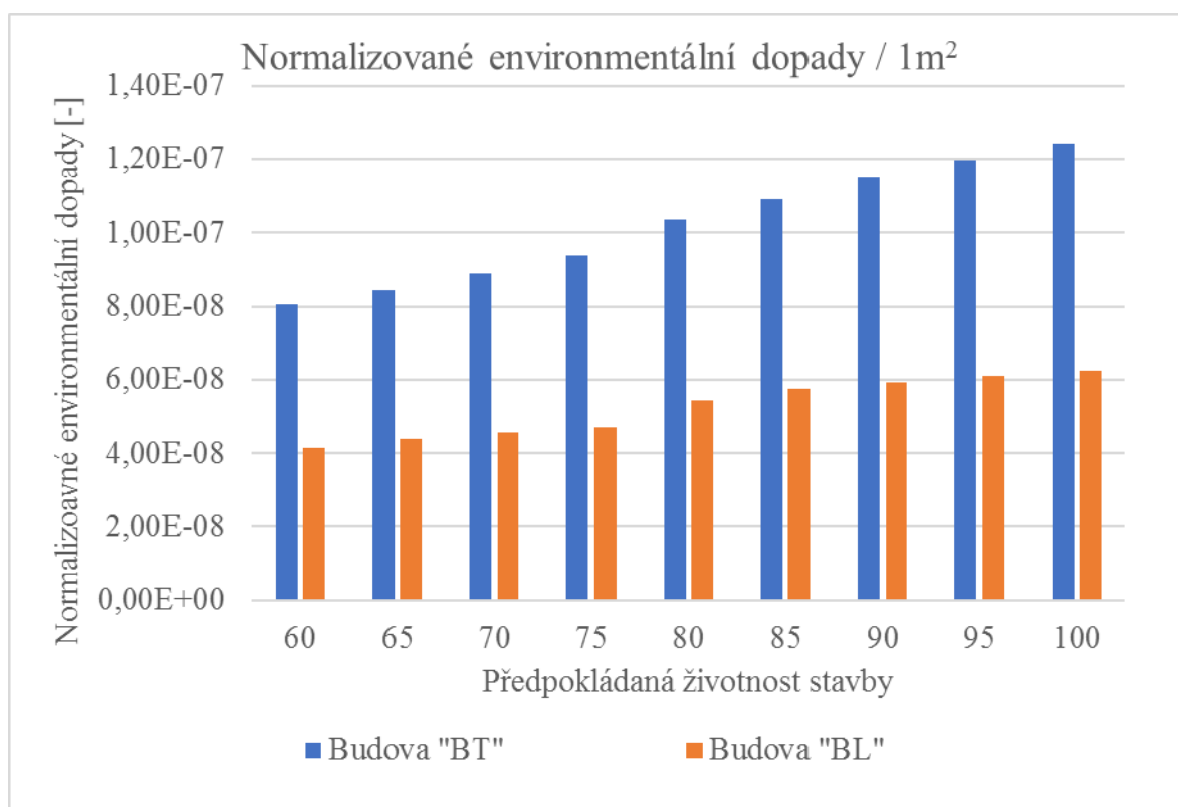
Modul D byl v rámci citlivostní analýzy stanoven pro jednotlivé životnosti budovy dle stejných pravidel jako je uvedeno v kapitole 6.2.4.5.

Výsledky citlivostní analýzy jsou uváděny bez zařizovacích předmětů skupiny S2 (záchody, umyvadla apod.), která je ve studii pouze jako doplňující informace. Pokud bychom tyto zařizovací předměty zahrnuli do hodnocení, navýšili by se environmentální dopady modulu B4 přibližně o 0,3 až 0,8 %. I přes to, že modul B4 je jedním z nejvýznamnějších modulů v celém životním cyklu budovy, není tento vliv podstatným a lze ho zanedbat.

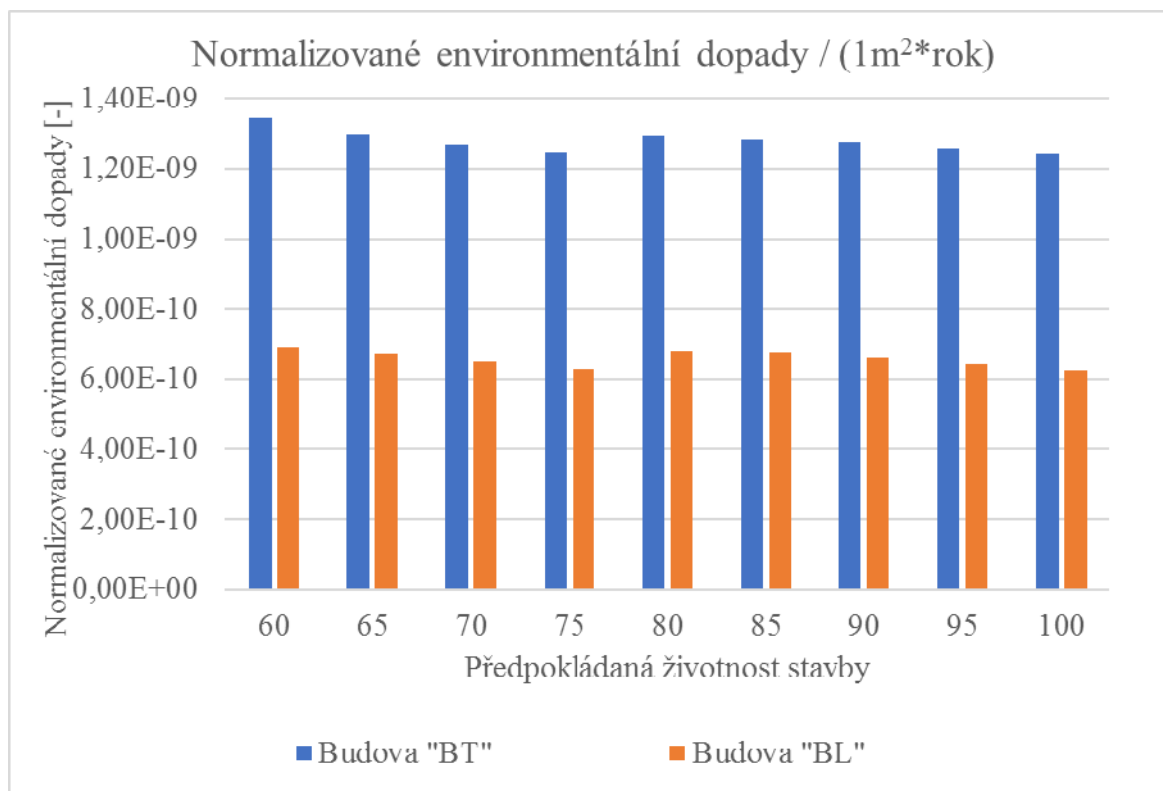
Pro modul B4 platí, že environmentální dopady jsou navyšovány skokově, dle toho, ve kterém roce probíhají výměny prvků či výrobků. V případě této studie je změna patrná i v letech, ve kterých nedošlo k žádné výměně. A to v důsledku zadávání databázového procesu vzduchotechnické jednotky zahrnujícího celý životní cyklus jednotky, na m² větraného prostoru za rok.

Pro uvažovaný způsob užívání stavby se při změně požadované životnosti ze 60 na 100 let zvýší environmentální dopady modulu B6 přibližně o 67 % ve všech kategoriích dopadu (uvažováno na celý životní cyklus budovy, při přepočtu na rok provozu stavby klesnou normalizované environmentální dopady o 8 až 10 %).

Následující dva grafy ukazují normalizované výsledky environmentálních dopadů pro jednotlivé životnosti uvažované v rámci citlivostní analýzy vyčíslené na 1 m² užité plochy nebo na 1 m² užité plochy a 1 rok užívání stavby. Z environmentálních dopadů vyčíslených na m² a rok užívání stavby je vidět, že hodnocená stavba je z environmentálního hlediska nejefektivnější při životnosti 75 let, a tedy před nejnějnějšími opravami (mimo nejdelší uvažované životnosti).



Graf 10: Normalizované environmentální dopady citlivostní analýzy vyčíslené na m² užité podlahové plochy [autor].



Graf 11: Normalizované environmentální dopady citlivostní analýzy vyčíslené na m² užité podlahové plochy a rok provozu budovy [autor].

Při hodnocení environmentálních dopadů staveb se běžně užívají životnosti 60 a 80 let. Mnohé zděné stavby slouží i po dobu sta let bez výrazných změn nosného zdiva. Budova „BL“ hodnocená v této studii je dřevostavbou a uvažovaná životnost dřevostaveb je 30 až 50 let. V již uvedených scénářích užívání budovy bylo počítáno s návrhovou životností od 60 do 100 let beze změn nosných konstrukcí, a to z důvodu návrhu scénáře oprav dle ČSN ISO 15686-1 a možnosti porovnání s ostatními budovami hodnocenými v rámci disertační práce. V této kapitole je provedeno porovnání scénáře budovy s návrhovou životností 60 let se scénářem oprav dle zmíněné normy (odpovídá scénáři životního cyklu budovy S14) a scénářem budovy, kdy po 30 letech užívání budovy dojde k jejímu úplnému odstranění až na základovou konstrukci a opětovnému vystavění. Po 60 letech užívání nastane úplná demolice budovy. S jinými opravami a výměnami v tomto scénáři není uvažováno.

Fáze výstavby a odstranění stavby zůstávají stejné a změní se fáze užívání. Ve fázi užívání zůstává stejný pouze modul B2, který v případě této studie hodnotí

produkci komunálního odpadu. Podmínky užívání odpovídají dynamickému modelu zahrnujícího vliv stárnutí vybavení domu.

Tab. 14: Normalizované výsledky scénáře oprav „2 x 30 let“ a S14 pro jednotlivé moduly životního cyklu [autor].

Modul	Scénář	
	2 x 30 let	S14
A1-A3	9,58E-07	9,58E-07
A4	3,34E-08	3,34E-08
A5	1,29E-08	1,29E-08
B2	8,02E-07	8,02E-07
B4	1,32E-06	1,82E-06
B6	1,67E-06	1,64E-06
B7	3,18E-08	3,11E-08
C2	6,96E-09	6,96E-09
C4	4,20E-07	4,20E-07
D	-8,03E-07	-1,28E-06
Celkem	4,46E-06	4,44E-06

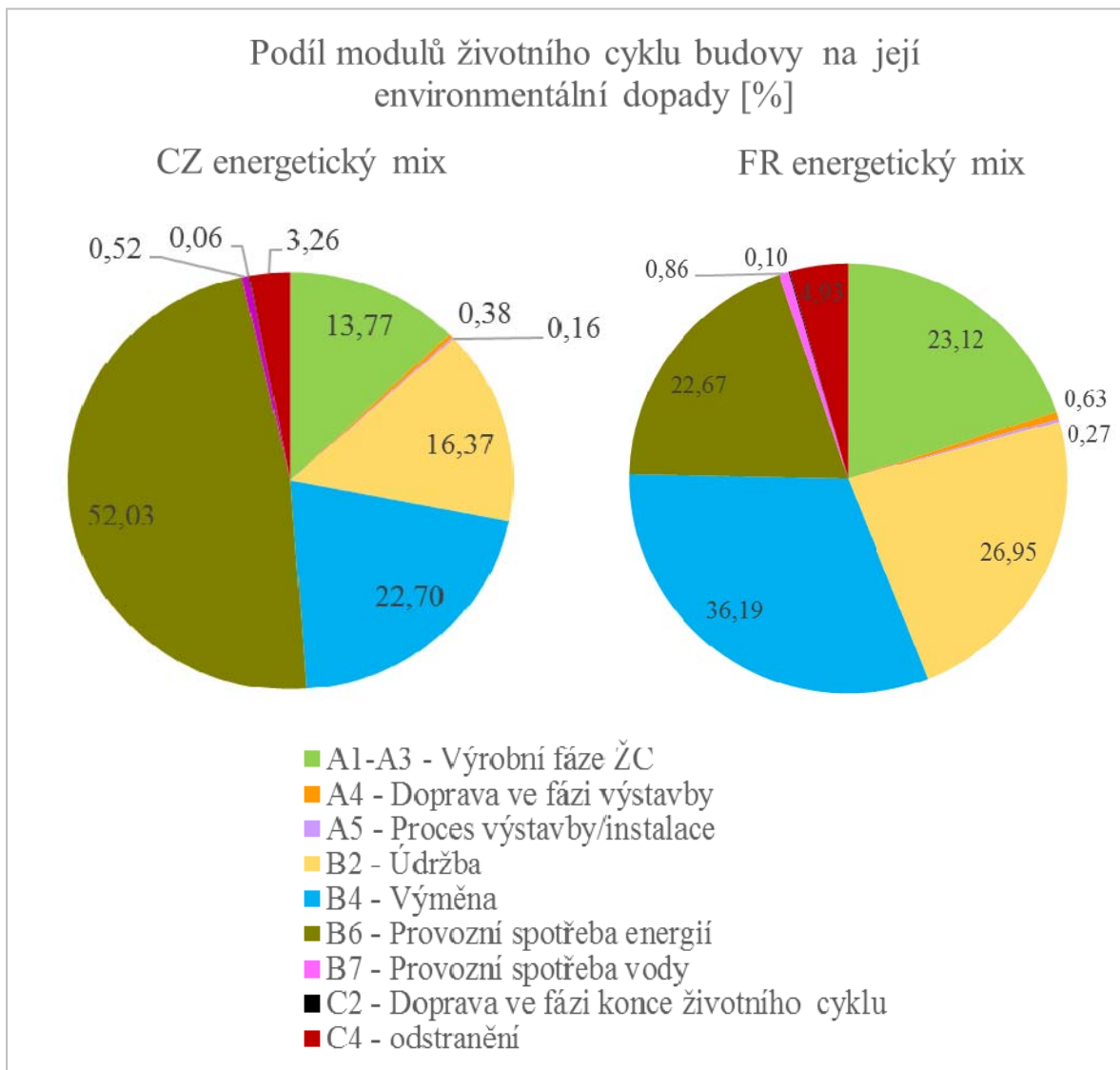
Při uvažování demolice budovy po 30 letech užívání a jejího opětovného vystavění a užívání po dobu dalších 30 let dochází k navýšení environmentálních dopadů pouze o 0,5 % oproti scénáři užívání a opravování budovy po dobu 60 let.

U modulu B4 dochází pro scénář „2 x 30 let“ k úspoře environmentálních dopadů o 27 %. Tento jev je způsoben přesluhováním výplní otvorů po 25. roce provozu stavby a po 55. roce provozu nově vybudované budovy ve scénáři „2 x 30 let“. Výplně otvorů mají totiž na životní cyklus budovy „BL“ významný vliv (přibližně čtvrtina dopadů celého životního cyklu).

Pro modul B6 a B7 vychází scénář s životností 60 let lépe, a to vzhledem k tomu, že ve scénáři „2 x 30 let“ dochází po 25. roce užívání k přesluhování výplní otvorů, technického vybavení domu a tím k navýšení spotřeb energií a pitné vody.

Modul D vykazuje pro scénář S14 vyšší úspory environmentálních dopadů o 59 % oproti scénáři „2 x 30 let“. Pokud bychom tento modul do porovnání scénáře S14 se scénářem „2 x 30 let“ nezahrnuli, vykazoval by scénář „2 x 30 let“

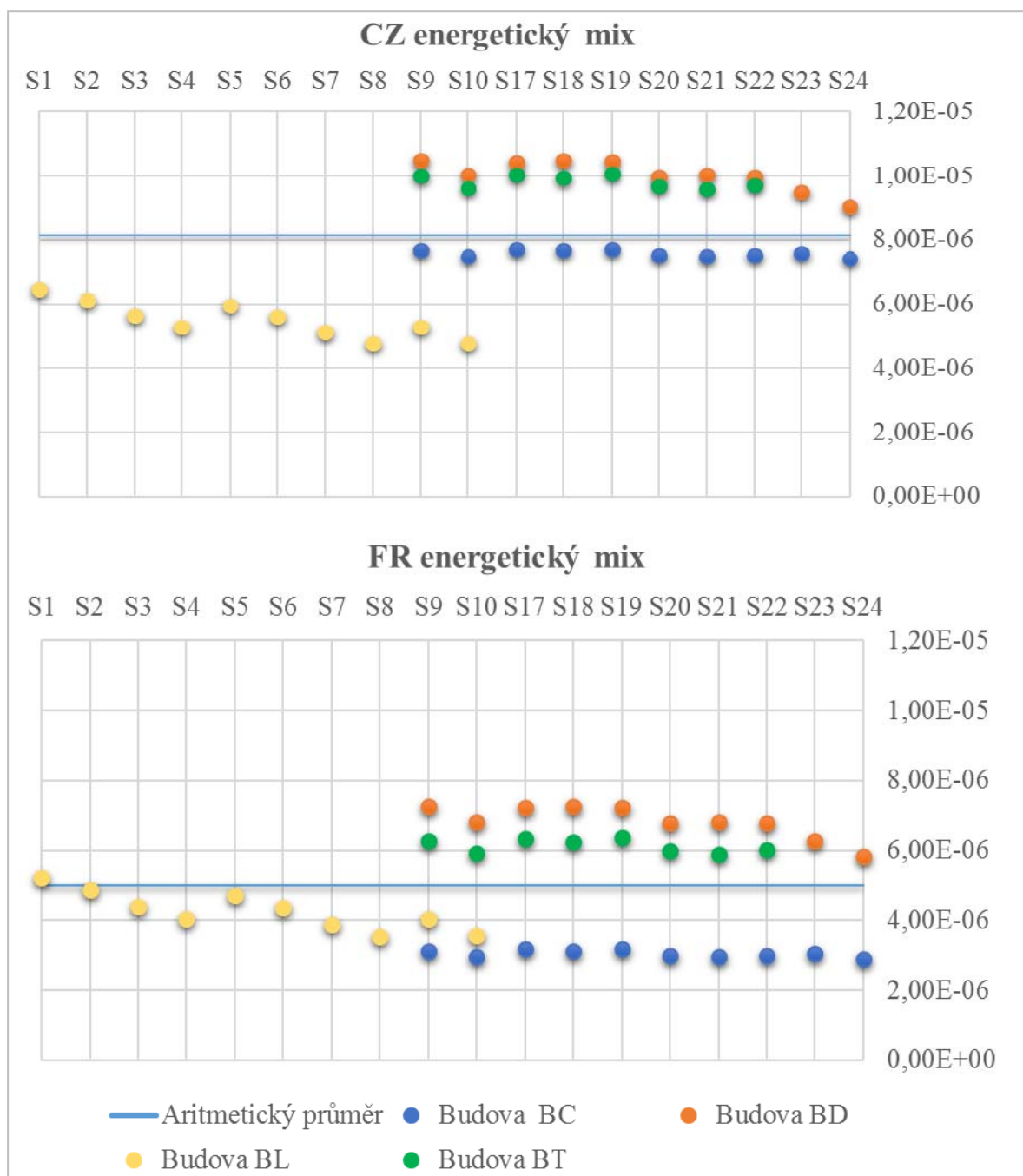
o 8 % nižší environmentální dopady celého životního cyklu budovy než scénář S14.



Graf 12: Vliv použitého energetického mixu na rozložení environmentálních dopadů vybraných scénářů životního cyklu budovy mezi jednotlivé moduly [autor].

Dále byl zkoumán vliv použitého energetického mixu pro výrobu elektrické energie na environmentální dopady životních cyklů všech hodnocených budov. Pokud bychom zaměnili v modulu B6 český energetický mix například za francouzský, došlo by k výrazné změně v celkových environmentálních dopadech životního cyklu budov. Scénář modulu B6.1 by vykazoval o 73 až 83 % nižší environmentální dopady. Tato změna je způsobena rozdílnými zdroji elektrické energie. Česká republika využívá více fosilních paliv, zatímco Francie

je silně závislá na jaderné energii. Vliv této změny na rozložení environmentálních dopadů životního cyklu (scénáře životního cyklu budovy obsahující scénář modulu B6.1) mezi jednotlivé moduly je patrný z grafu č. 12 (není zahrnut modul D). Vliv změny energetického mixu výroby elektrické energie pro modul B6 u vybraných scénářů životního cyklu na celkové normalizované výsledky životního cyklu budovy jsou znázorněny v grafu č. 13 (bez zahrnutí modulu D).



Graf 13: Vliv použitého energetického mixu na environmentální dopady vybraných scénářů ŽC budovy (bez zahrnutí modulu D) [autor].

Uvedená změna energetického mixu v modulu B6 se projeví snížením celkových dopadů životního cyklu budovy na životní prostředí o 38,5 %. Modul B6 přestává být dominantním a nejvýznamnější podíl na životním cyklu budovy má modul B4 představující opravy a výměny stavebních prvků. Spolu s moduly A1-A4 představují svázané environmentální dopady, které jsou při použití čistší výroby elektrické energie (francouzský energetický mix) zodpovědné za 59,3 % environmentálních dopadů (aritmetický průměr z 38 scénářů životních cyklů budov).

6.3.8 Rekapitulace a závěr

V době návrhu budovy lze jen odhadovat scénář užívání stavby a nelze dopředu říci kolik osob a po jak dlouhou dobu bude budovu užívat a z toho důvodu je pravidlem uvažovat s plným obsazením budovy, kdy jsme vždy na stranu bezpečnou oproti skutečným environmentálním dopadům.

Z výsledků celého životního cyklu vyplývá, že v důsledku prodloužení životnosti budovy (z 60 na 100 let) může dojít k navýšení environmentálních dopadů přibližně až o 60 % (souhrn dopadů za celý životní cyklus). Pokud bychom porovnávali vliv této změny na environmentální dopady vyčíslené na rok provozu stavby došlo by při zvýšení životnosti budovy z 60 na 100 let k snížení environmentálních dopadů o 10 %. Environmentální dopady životního cyklu stavby nejsou citlivé na zvolené scénáře oprav či na způsob nakládání se stavebním odpadem.

Zahrnutím modulu D do hodnocení životního cyklu budovy dochází k úsporám environmentálních dopadů o 11,8 % (průměr ze všech hodnocených životních cyklů budov). V této práci je v modulu D recyklací plnohodnotně nahrazována primární výroba. Toto zjednodušení bylo zavedeno vzhledem k tomu, že v procesu výstavby jsou uvažovány pouze primární suroviny. Neodráží to tedy skutečné nakládání s recyklovatelným odpadem, které je ve fázi návrhu budovy velmi těžko předvídatelné a závislé na budoucím vývoji recyklačních technologií. Bylo by třeba dalšího zpřesnění v procesech recyklace a podílu druhotných surovin použitých při primární výrobě materiálů (především u ocelových výrobků a skla).

Z citlivostní analýzy provedené pro budovu „BL“ a „BT“ vyplývá, že z environmentálního hlediska je nejvýhodnější životnost budovy 75 let. Citlivost výsledků modulu B6 na zvolený energetický mix pro výrobu elektrické energie

je značná. Na celkových dopadech životního cyklu (bez zahrnutí modulu D) se změna z českého na francouzský energetický mix projeví snížením environmentálních dopadů o 38,5 % a výraznou změnou významnosti jednotlivých modulů životního cyklu. Svázané environmentální dopady se stávají významnějšími než dopady způsobené provozní spotřebou energií.

6.4 Vhodnost funkční jednotky/ekvivalentu

Vzhledem k tomu, že funkční jednotka či funkční ekvivalent při porovnání více produktů musí být stejné, je proto důležité při definování cíle studie zvážit nejen aktuální očekávání, ale i možné budoucí použití studie k dalším účelům (např. statistické využití). Pokud je např. jediným cílem LCA studie zvolit vhodný konstrukční materiál pro budovu dle konkrétních požadavků investora, funkční jednotka bude odrážet specifické požadavky společné pro všechny navrhované varianty. Pokud je jedním z cílů studie porovnatelnost environmentálních dopadů hodnocené budovy s environmentálními dopady jiných budov je vhodné volit funkční ekvivalent co nejobecněji, aby umožňoval porovnání s co největším počtem různých budov. V takovém případě doporučuji specifické charakteristiky hodnocené budovy uvádět vždy se zveřejňováním výsledků studie jako její neodmyslitelnou část.

Tab. 15: Příklad funkčního ekvivalentu a jeho použitelnost pro hodnocené modely budov [autor].

Funkční ekvivalent	Model budovy			
	BC	BD	BL	BT
Bydlení 4 osob v dvoupodlažním RD	0	0	X	X
Bydlení v jednopodlažním RD	X	X	0	0
Bydlení v RD s třídou energetické náročnosti A	0	X	0	X
Bydlení v RD o podlahové ploše cca 110 m ²	0	X	X	X
Bydlení v dřevostavbě RD	X	X	X	0
Bydlení v RD	X	X	X	X
Bydlení v RD s životností 50 let	X	X	X	X
X – pro daný funkční ekvivalent lze sestavit studii LCA				
0 – pro daný funkční ekvivalent nelze sestavit studii LCA				

Příklad použitelnosti obecněji definovaného funkčního ekvivalentu pro obytné budovy je prezentován v Tab. 28. Jedná se o domy z různých konstrukčních

systemů, pro různý počet osob, s rozdílnou energetickou náročností a různým počtem podlaží. Je tedy obtížné jasně definovat funkční ekvivalent stejný pro všechny tyto domy. Z uvedených sedmi příkladů funkčního ekvivalentu lze pro všechny hodnocené budovy použít pouze dva.

6.5 Protokol o LCA studii obytné budovy

Záměrem této disertační práce není vytvořit nový certifikační systém budov ani stanovit hodnotící kritéria, ale poskytnout konzistentní rámec podávání zpráv o provedené LCA studii budovy, který by umožnil srovnání budov a měl široký potenciál pro využití odborníky v odvětví stavebnictví. Na základě experimentů provedených v předchozích kapitolách a požadavků v normě ČSN EN 15978 jsem stanovila doporučený obsah protokolu (zprávy) z hodnocení životního cyklu obytné budovy.

Protokol by měl obsahovat všechny důležité informace zjištěné o budově jako takové a všechna přijatá zjednodušení, alokace a podmínky hodnocení. Za informace k hodnocení reálné budovy, které by měly být nedílnou součástí protokolu, považuji:

1. název a adresu hodnocené budovy;
2. jméno a adresu objednatele posouzení;
3. jméno a adresu posuzovatele;
4. datum vytvoření protokolu a období provádění posouzení;
5. účel posouzení;
6. rozsah posouzení;
7. okamžik životním cyklu budovy, kdy je posouzení provedeno;
8. funkční ekvivalent;
9. referenční studované období;
10. předpokládaná životnost stavby;
11. technický popis budovy (konstrukční systém, materiálové řešení, způsob vytápění, energetická náročnost budovy apod.);
12. zdroje dat (u environmentálních databází uvést i použitou verzi);
13. použitý výpočetní software (včetně uvedení použité verze);
14. seznam indikátorů použitých pro posouzení a vyjádření výsledků;
15. hranice posuzovaného systému (pro každý modul životního cyklu zvlášť);
16. podmínky stanovení a platnosti scénářů životního cyklu;

17. výsledky indikátorů kategorie dopadu (pro všechny scénáře i pro jednotlivé moduly životního cyklu);
18. hodnocení studie (kontrola úplnosti, analýza citlivosti, analýza nejistot, hodnocení kvality dat apod.);
19. významná zjištění;
20. prohlášení ohledně ověření posouzení;
21. jméno a kvalifikace ověřovatele, pokud se ověření provádí.

7. Výsledky disertační práce a zjištěné poznatky

Po provedení analýz životního cyklu obytných budov je patrný významný vliv modulů, které zahrnují primární výrobu a spotřebu energií, zároveň můžeme pozorovat nezanedbatelný přínos zahrnutí modulu D do hodnocení obytné budovy (viz. Podkapitola 6.3.7.)

Vyhotovená disertační práce může napomoci lépe pochopit environmentální hodnocení obytných budov metodikou LCA. Disertační práce svým rozsahem pokrývá jen malou oblast stavební činnosti. Metodika LCA je světově uznávaná ve všech oborech lidské činnosti, a proto má vzhledem k populačnímu vývoji velký potenciál.

Hlavní náplní disertační práce bylo provedení LCA studií čtyř obytných budov a analýza různých vlivů na jejich environmentální dopady.

Na základě poznatků z provedených studií obytných budov byla posouzena vhodnost úrovně definice funkčního ekvivalentu a doporučený obsah protokolu o provedení LCA studie.

Dále byly sestaveny modely výrobních fází životního cyklu vybraných tepelně izolačních materiálů za účelem možného doplnění environmentálních databází. Vzhledem k tomu, že to není cílem disertační práce nebyly tyto materiály porovnávány s jinými tepelnými izolanty ani vzájemně mezi sebou.

7.1 Shrnutí závěrů z hodnocení výrobní fáze životního cyklu tepelné izolace z lněných vláken

Byl sestaven model výroby tepelné izolace z lněných vláken a vyhodnoceny jeho dopady na životní prostředí. Referenčním tokem hodnoceného produktového systému je 1 kg tepelné izolace.

Výroba lněné tepelné izolace ve výrobním závodě, má ze tří etap (pěstování lnu, zpracování lnu, výroba konečného produktu tepelné izolace) hodnoceného životního cyklu výroby největší vliv na většinu indikátorů kategorií dopadu. Na potenciál eutrofizace má zásadní vliv pěstování lnu, a to především způsob jeho hnojení (zejména oxidem fosforečným a dusíkem). Společně se podílejí na 85 % environmentálních dopadů této etapy výroby lněné tepelné izolace.

Ze zpracování lnu ve zpracovatelském závodě nejvíce zatěžuje životní prostředí spotřeba elektrické energie. Stejně tak je tomu i u etapy výroby výsledného produktu.

Snížení environmentálních dopadů výroby hodnoceného materiálu až o 18 % lze dosáhnout zavedením následujících opatření:

- použití organických hnojiv místo anorganických;
- nahrazení části kamionové dopravy železniční přepravou.

Dalšího snížení environmentálních dopadů by bylo možné změnou zdrojů energie, to je ovšem změna, která je za hranicemi hodnoceného produktového systému a je závislá na místě výroby.

7.2 Shrnutí závěrů z hodnocení výrobní fáze životního cyklu tepelné izolace z kompozitního plastu

V rámci disertační práce byl hodnocen zkrácený životní cyklus „od kolébky po bránu“ tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu z druhotných surovin. Tento materiál je dosud vyvíjen a jedná se tedy o teoretický model výroby, který je možné nadále upravovat tak, aby došlo k environmentální i ekonomické optimalizaci výroby. Funkční jednotkou posuzovaného výrobního systému je výroba tepelně izolačního bloku z tohoto materiálu. Referenčním tokem je 1 kg hotového výrobku.

Byly sestaveny dva typy scénářů výroby hodnoceného produktového systému lišící se kvalitou vstupní suroviny, a tedy zahrnutím mokrého procesu čištění surovin určených k recyklaci. Vypuštěním procesu mokrého čištění vstupních surovin dojde k úspoře environmentálních dopadů o 43,5 % (normalizované výsledky). Největší dopady na životní prostředí hodnoceného produktového systému vznikají při recyklaci polypropylenu. Největším znečišťovatelem životního prostředí v této fázi výroby je spotřeba elektrické energie pro provoz výrobní/recyklační linky. V případě kategorií dopadu popisujících spotřebu primárních energií dochází při vynechání procesu mokrého čištění vstupních surovin určených k recyklaci k snížení celkové spotřeby primární energie o 31,9 %. Kvalitnější vstupní suroviny ovšem znamenají zvýšení ekonomické náročnosti výroby a tím snížení tržní konkurenceschopnosti.

Citlivostní analýza prokázala zanedbatelný vliv předpokládané výše roční produkce tepelného izolantu. Při více jak dvojnásobné roční produkci dojde k snížení normalizovaných environmentálních dopadů o 0,04 %.

7.3 Shrnutí závěrů z hodnocení životního cyklu vybraných reálných staveb

Byly sestaveny čtyři modely životních cyklů obytných budov a pro každou z nich okolo 15 scénářů (celkem 60 scénářů). Z výsledků těchto scénářů lze vyčíst vliv jednotlivých modulů a fází životního cyklu na celkové environmentální dopady obytné budovy (hodnoceno na rodinných domech). Fáze užívání budovy je zodpovědná za 85,3 % environmentálních dopadů, fáze výstavby za 11,9 % a fáze konce životního cyklu za 2,8 %. Zahrnutím modulu D je možné dopady stavby na životní prostředí značně snížit a měl by tedy být nedílnou součástí LCA studií.

Konstrukčními prvky, které se nejzásadněji podílí na výsledných dopadech jsou výplně otvorů a konstrukce obsahující tepelné izolace (střecha včetně střešního pláště, nenosné konstrukce).

Environmentální dopady životního cyklu stavby nejsou citlivé na zvolené scénáře oprav či na způsob nakládání se stavebním odpadem. Avšak jsou značně citlivé na životnost budovy, což je důsledek velkého vlivu energetické spotřeby ve fázi užívání. Modul B6, ve kterém se tato spotřeba hodnotí se podílí na více jak 55 % environmentálních dopadů z celého životního cyklu. V úvahu je nutné vzít citlivost modulu B6 na zvolený energetický mix. V rámci disertační práce byla vyhodnocena varianta s použitím francouzského energetického mixu pro výrobu elektřiny. Touto změnou došlo ke snížení environmentálních dopadů o 38,5 % a k výrazné změně významnosti jednotlivých modulů životního cyklu. Svázané environmentální dopady se tak staly významnějšími než dopady způsobené provozní spotřebou energií.

Je třeba si uvědomit, že skutečná spotřeba energií v rámci fáze užívání je ovlivněna mnoha faktory (např. vyšší teplotou vnitřního vzduchu, než se předpokládalo, vyšší výměnou vzduchu, nebo odchylkami skutečného provedení stavby od projektové dokumentace). Tyto faktory mohou během celé doby užívání (běžně uvažovaných 50 let) značně ovlivnit celkové environmentální dopady.

Citlivostní analýzou provedenou na dvou hodnocených objektech (dřevostavba a zděná stavba z plynosilikátu) byla vyhodnocena životnost budovy 75 let jako nejefektivnější z environmentálního hlediska.

Obecně tedy platí, že pro environmentální hodnocení budovy je důležitá předpokládaná životnost stavby a způsob užívání budovy. Studie potvrzuje nutnost zaměření se na úspory energií spotřebovávaných v rámci provozu budovy, ale upozorňuje na významnější potřebu získávání energií čistším způsobem, a tedy apeluje na přechod od uhelných elektráren k jaderným. A zároveň s tím na potřebu snížení svázaných environmentálních dopadů.

7.4 Závěry pro technickou praxi

Disertační práce se zaměřuje především na současnou situaci v navrhování obytných budov v ČR a z ní plyne nutnost zaměření se na kvalitu projektové dokumentace a kvalitní provedení stavebních konstrukcí pro zajištění co nejmenší odchylky mezi předpokládanými a skutečnými environmentálními dopady budov. Dále se potvrzuje potřeba snižování spotřeby energií v rámci užívání stavby, ale jako důležitější se jeví produkce energií s nízkými emisemi a vyšší energetickou účinností. Při získávání energie z fosilních paliv se uvolňují oxid uhličitý, oxid siřičitý, oxid dusnatý, prach atd. Toto znečištění může změnit nebo narušit ekologický systém.

Na základě zkušeností z provedených studií obytných budov jsem stanovila obecná pravidla pro volbu vhodné funkční jednotky a podobu protokolu o provedené LCA studii. Podrobněji se o této tématice zmiňuji v kapitole 6.4 a 6.5.

7.5 Možnosti dalšího výzkumu

Metodiku posuzování životního cyklu staveb jsem v disertační práci řešila jen na omezeném množství novostaveb rodinných domů. Rozšířením o bytové domy by došlo ke zpřesnění výsledků vlivů jednotlivých fází životního cyklu novostaveb obytných budov a k přesnějšímu určení citlivosti výsledků na jednotlivé parametry budovy.

Pro provedená hodnocení budov sloužila jako podklad především projektová dokumentace a energetický průkaz budovy. Jako další typ podkladu pro hodnocení budov by mohl sloužit například položkový rozpočet či skutečné množství materiálů a energií spotřebované v rámci výstavby, roční vyúčtování

spotřeb energií apod. Bylo by vhodné zjistit vliv typu podkladu pro inventarizační analýzu na výsledky environmentálních dopadů stavby. Stejně tak by bylo vhodné dlouhodobé sledování energetických spotřeb, oprav a výměn v průběhu užívání konkrétních staveb v porovnání s uvažovanými scénáři v době návrhu stavby.

Další náplní výzkumu může být také:

- hodnocení vlivu materiálových variant použitých na stavbu konkrétní budovy včetně ovlivnění uvažované spotřeby energií v průběhu užívání;
- hodnocení vlivu započítání modulů a procesů životního cyklu budovy, které v této práci nejsou řešeny (úklidové procesy, zařízení stavenišť apod.);
- hodnocení vlivu použitých databází;
- zaměření se na jiný typ budov (průmyslové stavby, stavby občanské vybavenosti apod.);
- porovnání vhodnosti nové výstavby oproti rekonstrukcím a renovacím budov;
- zpřesnění způsobu nakládání se stavebním odpadem;
- aktualizace databázového procesu energetického mixu pro Českou republiku;
- sestavení modelů výroby a likvidace dosud nehodnocených stavebních materiálů ve spolupráci s výrobcí.

Konec životního cyklu stavebních výrobků je, jak uvádí [69] pravděpodobně jednou z nejkomplicovanějších fází modelování životního cyklu budovy kvůli vysoké nejistotě procesů, ke kterým dochází v budovách ve vzdálené budoucnosti. Tato etapa životního cyklu by měla být podrobně studována a přes to, že si nemůžeme být jistí, jaké dopady na životní prostředí v této fázi vzniknou, jejich kvantifikace umožňuje zefektivnění úsilí snižování environmentálních dopadů z demolice či dekonstrukce budov.

Dále by bylo vhodné vypracovat uživatelsky jednoduchý software (vhodný pro české podmínky) pro orientační výpočet environmentálních dopadů projektované stavby a tím zpřístupnění takového hodnocení projekčním kancelářím. Z environmentálního hodnocení by se tak mohla stát běžná součást projekční praxe.

8. Použitá literatura a zdroje

- [1] HAMMER, Michael. *Agenda 21: report of the United Nations Conference on Environment and Development Rio de Janeiro, 3-14 June 1992*. 2. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1998. Knihovna světového managementu. ISBN 80-721-2039-5.
- [2] Pařížská dohoda o změně klimatu, český překlad dostupný na: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- [3] NAGY, Eugen. *Manuál ekologickej výstavby: navrhovanie a výstavba trvalo udržateľných ľudských sídiel*. Vyd. 1. Permakultúra (CS), 1999. ISBN 80-967972-0-4.
- [4] REMTOVÁ, Květa. *Ekodesign*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2003. ISBN 80-721-2230-4.
- [5] BAUMANN, Henrikke a Anne-Marie TILLMAN. *The hitch hiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application*. Lund, Sweden: Studentlitteratur, c2004. ISBN 91-440-2364-2.
- [6] KOČÍ, Vladimír. *Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment - LCA*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-86832-42-5.
- [7] ŘÍHA, Josef. *Posuzování vlivů na životní prostředí: metody pro předběžnou rozhodovací analýzu EIA*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02353-2.
- [8] ČSN EN ISO 14040: *Environmentální management - posuzování životního cyklu - zásady a osnova*. Praha: Český normalizační institut, c2006.
- [9] ČSN EN 15978 (730902): *Udržitelnost staveb - Posuzování environmentálních vlastností budov - Výpočtová metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [10] ČSN EN ISO 14044: *Environmentální management - posuzování životního cyklu - požadavky a směrnice*. Praha: Český normalizační institut, c2006.
- [11] ČSN EN 15804+A1 (730912): *Udržitelnost staveb - Environmentální prohlášení o produktu - Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [12] ALLACKER, Karen. *Sustainable Building: The Development of an Evaluation Method*. Katholieke Universiteit Leuven, Groep Wetenschap & Technologie, Arenberg Doctoraatsschool, W. de Croylaan 6, 3001 Heverlee België, 2010. ISBN 978-94-6018-231-0.

- [13] *TNI CEN/TR 13910: Obaly - Zpráva o kritériích a metodikách analýzy životního cyklu obalů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [14] FRISCHKNECHT, Rolf. Allocation in Life Cycle Inventory Analysis for Joint Production. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2000, **5**(2), 85-95. DOI: 10.1007/BF02979729. ISSN 0948-3349. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/BF02979729>
- [15] HAUSCHILD, Michael Z. a HUIJBREGTS, Mark A.J. *Life Cycle Impact Assessment*. Netherlands: Springer, 2015. ISBN 978-94-024-0404-3.
- [16] JOLLIET, O. et al. IMPACT 2002: A new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2003, **8**(6), 324-330. DOI: 10.1007/BF02978505. ISSN 0948-3349. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/BF02978505>
- [17] GABATHULER, Heinz. *The CML Story: How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA*. DOI: 10.1065/lca2006.04.021. ISBN 10.1065/lca2006.04.021. Dostupné také z: <http://www.springerlink.com/index/10.1065/lca2006.04.021>
- [18] LAURENT, A. et al. *Normalization in EDIP97 and EDIP2003: updated European inventory for 2004 and guidance towards a consistent use in practice*. DOI: 10.1007/s11367-011-0278-6. ISBN 10.1007/s11367-011-0278-6. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-011-0278-6>
- [19] RYBERG, M. et al. *Updated US and Canadian normalization factors for TRACI 2.1*. DOI: 10.1007/s10098-013-0629-z. ISBN 10.1007/s10098-013-0629-z. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10098-013-0629-z>
- [20] *The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Manual for Designers*. Hague: Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2000. Dostupné také z: https://www.pre-sustainability.com/download/EI99_Manual.pdf
- [21] *Environmental Priority Strategies* [online]. [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://www.ivl.se/english/startpage/pages/focus-areas/environmental-engineering-and-sustainable-production/lca/eps.html>
- [22] FRISCHKNECHT, Rolf a Sybille BÜSSER KNÖPFEL. *Swiss Eco-Factors 2013 according to the Ecological Scarcity Method: Methodological fundamentals and their application in Switzerland*. Bern: Federal Office for the Environment FOEN, öbu – works for sustainability, 2013. Dostupné také z: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/economy-consumption/economy-and-consumption--publications/publications-economy-and-consumption/eco-factors-2015-scarcity.html>

- [23] *ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level*. Netherlands: Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment, 2009. Dostupné také z: https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf
- [24] HANUS, R. et al. *Inovace výrobků a jejich systémů: Přehled metodiky analýzy inovačního potenciálu výrobků a služeb s diskusními otázkami*. Praha: Centrum inovací a rozvoje (CIR), 2004. Dostupné také z: <http://ekonet.cir.cz/prirucka-inovace-vyrobku-s-vyuzitim-lca/485362/lca.pdf>
- [25] KOŘÍNEK, Robert a Jana KODYMOVÁ. Environmentální značení výrobků I. a II. typu z hlediska předcházení vzniku odpadů a jejich využití v České republice. *VTEI Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2011, **53**(Mimořádné číslo II), 15 - 17.
- [26] ANDERSON, Jane a Jane THORNBACK. *A guide to understanding: the embodied impacts of construction products*. London: Construction Products Association, 2012. ISBN 978-0-9567726-6-4.
- [27] SINCLAIR, T. *Energy management in the brick and ceramics industry*. Sydney: Energy Authority of NSW, 1987. ISBN 07-305-3124-4.
- [28] LAVE, L. B. et al. Using input-output analysis to estimate economy-wide discharges. *Environmental Science & Technology*. 1995, **29**(9), pp 420A-426A. DOI: 10.1021/es00009a003. ISBN 10.1021/es00009a003. Dostupné také z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es00009a003> [29]
- [29] CRAWFORD, Robert H. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. *Journal of Environmental Management*. 2008, Volume 88, Issue 3, , 496-506. DOI: 10.1016/j.jenvman.2007.03.024. ISBN 10.1016/j.jenvman.2007.03.024. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479707001272>
- [30] *COMPETITIVENESS OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY: AN AGENDA FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION IN EUROPE* [online]. Brussel: European Commission, 2001 [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <http://onlinebookshop.villareal.fi/docs/AnAgendaforSustainableConstructioninEurope.pdf>
- [31] LECHTENBÖHMER, Stefan a Andreas SCHÜRING. The potential for large-scale savings from insulating residential buildings in the EU. *Energy Efficiency*. 2011, **4**(2), pp 257–270. DOI: 10.1007/s12053-010-9090-6. ISBN 10.1007/s12053-010-9090-6. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s12053-010-9090-6>

- [32] METZ, Bert. *Contribution of working group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate: mitigation : contribution of Working Group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press, 2001. ISBN 05-210-1502-2.
- [33] O'COFAIGH, Eoin et al. *A green Vitruvius: principles and practice of sustainable architectural design*. London: James & James, 1999. ISBN 978-187-3936-948.
- [34] ELLIS, P. G. et al. Energy design plugin: an EnergyPlus plugin for sketchup. *Third National Conference of IBPSA-USA: SimBuild 2008*. Berkeley, California, 2008, pp. 238-245.
- [35] CHAU, C.K. et al. Environmental impacts of building materials and building services components for commercial buildings in Hong Kong. *Journal of Cleaner Production*. 2007, **15**(18), pp 1840-1851. DOI: 10.1016/j.jclepro.2006.10.004. ISBN 10.1016/j.jclepro.2006.10.004. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965260600374X>
- [36] JUNNILA, Seppo a Arpad HORVATH. Life-Cycle Environmental Effects of an Office Building. *Journal of Infrastructure Systems*. 2003, **9**(4), 157-167. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2003)9:4(157). ISBN 10.1061/(ASCE)1076-0342(2003)9:4(157). Dostupné také z: [http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2003\)9:4\(157\)](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)1076-0342(2003)9:4(157))
- [37] JUNNILA, S. et al. Life-Cycle Assessment of Office Buildings in Europe and the United States. *Journal of Infrastructure Systems*. 2006, **12**(1), 10-17. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2006)12:1(10). ISBN 10.1061/(ASCE)1076-0342(2006)12:1(10). Dostupné také z: [http://ascelibrary.org/doi/10.1061/\(ASCE\)1076-0342\(2006\)12:1\(10\)](http://ascelibrary.org/doi/10.1061/(ASCE)1076-0342(2006)12:1(10))
- [38] Junnila, S. Life cycle assessment of environmentally significant aspects of an office building. *Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research (NJSR) Special Series*. 2004, Vol. 2, pp. 81-97.
- [39] COLE, Raymond J. a Paul C. KERNAN. Life-cycle energy use in office buildings. *Building and Environment*. 1996, **31**(4), 307-317. DOI: 10.1016/0360-1323(96)00017-0. ISSN 03601323. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0360132396000170>
- [40] SCHEUER, C. et al. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*. 2003, **35**(10), 1049-1064. DOI: 10.1016/S0378-7788(03)00066-5. ISBN 10.1016/S0378-7788(03)00066-5. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778803000665>

- [41] THORMARK, Catarina. A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*. 2002, **37**(4), 429-435. DOI: 10.1016/S0360-1323(01)00033-6. ISBN 10.1016/S0360-1323(01)00033-6. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132301000336>
- [42] ADALBERTH, Karin. *Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings*. 2000. ISBN 91-88722-20-1. Doctoral Thesis. Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högskola.
- [43] AUDENAERT, A. et al. LCA of low-energy flats using the Eco-indicator 99 method: Impact of insulation materials. *Energy and Buildings*. 2012, **47**, pp 68-73. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.028. ISBN 10.1016/j.enbuild.2011.11.028. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778811005743>
- [44] ASIF, M. et al. Life cycle assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*. 2007, **42**(3), pp 1391-1394. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.11.023. ISBN 10.1016/j.buildenv.2005.11.023. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132305004956>
- [45] THIERS, Stéphane a Bruno PEUPOURTIER. Energy and environmental assessment of two high energy performance residential buildings. *Building and Environment*. 2012, **51**, pp 276-284. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.11.018. ISBN 10.1016/j.buildenv.2011.11.018. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132311004021>
- [46] ZABALZA BRIBIÁN, Ignacio, Antonio VALERO CAPILLA a Alfonso ARANDA USÓN. Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*. 2011, **46**(5), pp 1133-1140. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.12.002. ISBN 10.1016/j.buildenv.2010.12.002. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132310003549>
- [47] NICOLETTI, G. M. et al. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production*. 2002, **10**(3), pp 283-296. DOI: 10.1016/S0959-6526(01)00028-2. ISBN 10.1016/S0959-6526(01)00028-2. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652601000282>
- [48] NEBEL, B. et al. Life Cycle Assessment of Wood Floor Coverings - A Representative Study for the German Flooring Industry (11 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2006, **11**(3), pp 172-182. DOI: 10.1065/lca2004.10.187. ISBN 10.1065/lca2004.10.187. Dostupné také z: <http://www.springerlink.com/index/10.1065/lca2004.10.187>

- [49] SEPPÄLÄ, Jyri et al. The Finnish metals industry and the environment. *Resources, Conservation and Recycling*. 2002, **35**(1-2), pp 61-76. DOI: 10.1016/S0921-3449(01)00122-7. ISBN 10.1016/S0921-3449(01)00122-7. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344901001227>
- [50] GUSTAVSSON, Leif a Roger SATHRE. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*. 2006, **41**(7), pp 940-951. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.04.008. ISBN 10.1016/j.buildenv.2005.04.008. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132305001484>
- [51] TABONE, Michaelangelo D. et al. Sustainability Metrics: Life Cycle Assessment and Green Design in Polymers. *Environ. Sci. Technol.* 2010, **44**(21), pp 8264–8269. DOI: 10.1021/es101640n. ISBN 10.1021/es101640n. Dostupné také z: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es101640n>
- [52] ANASTASELOS, D. et al. An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions. *Energy and Buildings*. 2009, **41**(11), pp 1165-1171. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.06.003. ISBN 10.1016/j.enbuild.2009.06.003. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778809001236>
- [53] WILSON, Ronald a Alan YOUNG. The embodied energy payback period of photovoltaic installations applied to buildings in the U.K. *Building and Environment*. 1996, **31**(4), pp 299-305. DOI: 10.1016/0360-1323(95)00053-4. ISBN 10.1016/0360-1323(95)00053-4. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0360132395000534>
- [54] BASBAGILL, J. et al. Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment*. 2013, **60**, pp 81-92. DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.11.009. ISBN 10.1016/j.buildenv.2012.11.009. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132312003071>
- [55] *České stavebnictví v číslech 2016*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2016. ISBN 978-80-87438-91-6.
- [56] *SBToolCZ: Národní nástroj pro certifikaci kvality budov* [online]. [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <http://www.sbtool.cz/>
- [57] *CENIA, česká informační agentura životního prostředí* [online]. [cit. 2017-11-14]. Dostupné z: <http://www1.cenia.cz/www/>
- [58] *Envimat.cz - Katalog fyzikálních a environmentálních profilů stavebních konstrukcí* [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/>

- [59] KAVKA, Miroslav. *Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu: technologické, technické a ekonomické normativní ukazatele*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2006. ISBN 80-727-1163-6.
- [60] KAVKA, Miroslav. *Normativy zemědělských výrobních technologií: pěstební a chovatelské technologie a normativní kalkulace (práce, materiál, energie, náklady, produkce, tržby, příspěvek na úhradu fixních nákladů)*. 4. přeprac. a rozš. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2006. ISBN 80-727-1164-4.
- [61] DISSANAYAKE, NILMINI P J. *LIFE CYCLE ASSESSMENT OF FLAX FIBRES: FOR THE REINFORCEMENT OF POLYMER MATRIX COMPOSITES*. University of Plymouth, 2011. PhDThesis. School of Marine Science and Engineering, Faculty of Science and Technology.
- [62] *Liaver* [online]. [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.liaver.com/index.php?id=32>
- [63] PĚNČÍK, Jan et al. Thermal and Static Analysis of an Insulation Block from Recycled Polymer HDPE for Solution of Thermal Bridges in Wall-Footing Detail. *Key Engineering Materials: Advances in Fracture and Damage Mechanics XI*. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2013, **Vols. 525-526**, pp 473-476. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.525-526.473. ISBN 10.4028/www.scientific.net/KEM.525-526.473. ISSN 1662-9795. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/KEM.525-526.473>
- [64] PĚNČÍK, Jan et al. Development of Thermal Insulation Composite Material from Recycled Polymer and Recycled Glass. *Advanced Materials Research: Emerging Materials and Mechanics Applications*. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2012, **487**, pp 701-705. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.487.701. ISBN 10.4028/www.scientific.net/AMR.487.701. ISSN 1662-8985. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/AMR.487.701>
- [65] MATĚJKA, Libor a Jan PĚNČÍK. VUT v Brně. *Tepelně izolační kompozitní plast*. 2011. Česká republika. 302 851 B6 Patent. Uděleno 02.11.2011. Zapsáno 14.12.2011.
- [66] MATĚJKA, Libor, Jan PĚNČÍK a Jaroslav KUČERA. VUT v Brně. *Koextruzní penetrační linka pro výrobu vysoce plněných kompozitních desek*. 2011. Česká republika. 22361 U1 Užité vzor. Zapsáno 13.6.2011.
- [67] MATĚJKA, Libor, Jan PĚNČÍK a Jiří MALŮŠEK. VUT v Brně. *Tepelně izolační kompozitní plast*. 2010. Česká republika. 20388 Užité vzor. Zapsáno 06.01.2010.
- [68] MATĚJKA, Libor, Jan PĚNČÍK a Jaroslav KUČERA. VUT v Brně. *Koextruzní penetrační linka pro výrobu vysoce plněných kompozitních desek a způsob jejich výroby*. 2012. Česká republika. 303330 B6 Patent. Uděleno 21.06.2012. Zapsáno 01.08.2012.

- [69] PEUPORTIER, Bruno. Life cycle assessment methodologies in the construction sector: the contribution of the European LORE-LCA project. In: *Proceedings of 6th World Sustainable Building Conference, SB11 Helsinki*. 2011, pp 110-117. diva2:477758.
- [70] VONKA, Martin. *Metodika SBToolCZ: manuál hodnocení bytových staveb ve fázi návrhu*. Praha: CIDEAS Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí, 2011. ISBN 978-80-01-04664-7.
- [71] ČSN ISO 15686-1 (730951): *Budovy a jiné stavby - Plánování životnosti - Část 1: Obecné principy a rámec*. 2014.
- [72] Mapy.cz [online]. [cit. 2018-01-12]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>

Použité publikace autora

- [73] STRUHALA, Karel, Zuzana STRÁNSKÁ a Jiří SEDLÁK. LCA of Fibre Flax Thermal Insulation. *Applied Mechanics and Materials*. 2016, Vol. **824**, pp 761-769. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.824.761. ISBN 10.4028/www.scientific.net/AMM.824.761. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/AMM.824.761>
- [74] STRÁNSKÁ, Zuzana, Karel STRUHALA, Libor MATĚJKA a Jan PĚNČÍK. Environmentální hodnocení výroby tepelně izolačního kompozitního materiálu. In: *Juniorstav 2013*. Brno: VUT v Brně, fakulta stavební, 2013. ISBN 978-80-214-4670-0.
- [75] STRUHALA, Karel, Zuzana STRÁNSKÁ, Libor MATĚJKA a Jan PĚNČÍK. Environmental Assessment of Production of Thermal Insulation Block from Secondary Raw Materials. *Advanced Materials Research: Advanced Materials and Engineering Materials II*. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2013, **683**, pp. 444-450. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.683.444. ISBN 10.4028/www.scientific.net/AMR.683.444. ISSN 1662-8985. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/AMR.683.444>
- [76] STRUHALA, Karel, Zuzana STRÁNSKÁ a Libor MATĚJKA. Environmental Assessment of Structural Elements from Secondary Raw Materials. *Advanced Materials Research: enviBUILD 2012*. Švýcarsko: Trans Tech Publications, 2013, **649**, pp. 236-241. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.649.236. ISBN 10.4028/www.scientific.net/AMR.649.236. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/AMR.649.236>
- [77] STRUHALA, Karel, Zuzana STRÁNSKÁ, Jan PĚNČÍK a Libor MATĚJKA. Environmental assessment of thermal insulation composite material. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2014, **19**(12), pp 1908–1918. DOI: 10.1007/s11367-014-0796-0. ISBN 10.1007/s11367-014-0796-0. ISSN 1614-7502. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-014-0796-0>

- [78] STRUHALA, Karel, Zuzana STRÁNSKÁ, Jan PĚNČÍK a Libor MATĚJKA
COMPARISON OF ENVIRONMENTAL IMPACTS - STRUCTURAL
ELEMENTS FROM SECONDARY RAW MATERIALS VS. COMMON
BUILDING MATERIALS. In: *CESB 13 - Central Europe towards Sustainable
Building 2013*. Prague, Czech Republic: Grada Publishing, 2013, pp 465-
468. ISBN 978-80-247-5018-7
- [79] STRUHALA, Karel, Zuzana STRÁNSKÁ, Impact of Building's Lifespan on
the Life Cycle Assessment. In: *CESB 16 - Central Europe towards
Sustainable Building 2016*. 1 st edition. Prague, Czech Republic: Grada
Publishing a.s., 2016, pp 1489-1496. ISBN 978-80-271-0248-8

9. Seznam použitých zkratk a symbolů

Latinská abeceda		
symbol	jednotka	popis
DR_{Yx}	-	Čisté environmentální dopady z recyklace stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x
R_{Yx}	-	Environmentální dopady z procesů recyklace stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x
V_x	-	Environmentální dopady primární výroby stavebního materiálu, který se nahradí recyklovaným materiálem x
DS_{Yx}	-	Čisté environmentální dopady ze spalování stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x
S_{Yx}	-	Environmentální dopady z procesů spalování stavebního odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x
V_{SYx}	-	Environmentální dopady výstavby a likvidace spalovny alokované pro množství spalovaného odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x
E_{Yx}	-	Environmentální dopady výroby energetického mixu, nahrazeného odpadní elektrickou energií vzniklou ze spalování odpadu vzniklého v rámci modulu Y z materiálu x

Řecká abeceda		
symbol	jednotka	popis
λ	W/mK	Součinitel tepelné vodivosti
σ	N/mm ²	Pevnost v tlaku
ρ	kg/m ³	Objemová hmotnost
E	MPa	Modul pružnosti

Zkratka	
ADP	Potenciál úbytku zdrojů surovin (Abiotic depletion)
AP	Potenciál acidifikace (Acidification Potential)
BC	Model rodinného domu v Charvatci
BD	Model rodinného domu v Blansku
BIM	Informační model budovy (Building Information Modeling)
BL	Model rodinného domu u Rychnova nad Kněžnou
BT	Model rodinného domu v Třebětíně
CIDEAS	výzkumné centrum na Fakultě stavební ČVUT v Praze
CPR	Nařízení o stavebních výrobcích (Construction Products Regulation)
DP	Databázový proces
EP	Potenciál eutrofizace (Eutrophication Potential)

Zkratka	
EPD	Environmental Product Declaration (Environmentální prohlášení o produktu)
EU 25+3	Normalizace výsledků lokalizovaná pro 28 zemí Evropské unie
FAETP	Potenciál sladkovodní ekotoxicity (Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential)
GLO	Lokalizace datového setu odpovídající Švýcarským podmínkám
GWP	Potenciál globálního oteplování (Global Warming Potential)
HTP	Potenciál humánní toxicity (Human Toxicity Potential)
CH	Lokalizace datového setu odpovídající Švýcarským podmínkám
IVL	Švédský institut pro environmentální výzkum
LCA	Life-Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory Analysis (studie inventarizace životního cyklu) nebo Life Cycle Inventory (inventarizace životního cyklu - fáze studie LCA)
LCIA	Life Cycle Impact Assessment (fáze studie LCA - hodnocení dopadů životního cyklu)
MAETP	Potenciál mořské ekotoxicity (Marine Aquatic Ecotoxicity Potential)
MRI	Midwes Research Institut
NPEZ	Národního programu environmentálního značení v ČR
ODP	Potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy (Ozone Layer Depletion Potential)
PCR	Product Categorie Rules (pravidla produktové kategorie pro hodnocení EPD)
POCP	Potenciál tvorby fotochemických oxidantů přízemního ozónu (Photochem. Ozone CreationPotential)
PP	Polypropylen
Recykl.	Recyklace
REPA	Resource and Environmental Profile Analysis
RER	Lokalizace datového setu odpovídající Evropským zdrojům či kombinaci dat Švýcarských a Německých
SETAC	Společnost pro environmentální toxikologii a chemii (Society for Environmental Toxicology and Chemistry)
TETP	Potenciál terestrické (půdní) ekotoxicity (Terrestic Exotoxicity Potential)
UBP	body environmentálního zatížení v metodice Ecofaktor
UNEP	Environmentální program OSN (the United Nations Environmental Progamme)
WTP	willingnes-to-pay (ochota platit)
ŽC	Životní cyklus

10. Seznam tabulek, obrázků a grafů

Seznam tabulek

- Tab. 1: Seznam vybraných EPD schémat a databází a pro Evropu.
- Tab. 2: Seznam vybraných LCI databází.
- Tab. 3: Přehled scénářů životního cyklu pro hodnocené budovy.
- Tab. 4: Množství hnojiv uvažovaných v rámci pěstování lnu.
- Tab. 5: Použité indikátory kategorie dopadu pro výpočet environmentálních dopadů.
- Tab. 6: Použité indikátory kategorie dopadu popisující spotřebu zdrojů primární energie.
- Tab. 7: Environmentální dopady modulů A1 až A3 Iněné tepelné izolace.
- Tab. 8: Procentuální podíl jednotlivých fází výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu na environmentální dopady hodnoceného systému.
- Tab. 9: Environmentální dopady výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu v kategoriích dopadu popisujících spotřebu primárních energií.
- Tab. 10: Základní charakteristiky hodnocených budov.
- Tab. 11: Podmínky pro výpočet energetické spotřeby budov.
- Tab. 12: Použité doplňkové indikátory kategorie dopadu popisující nakládání s odpadem.
- Tab. 13: Procentuální vyjádření vlivu konstrukčních celků na environmentální dopady životního cyklu budovy.
- Tab. 14: Normalizované výsledky scénáře oprav „2 x 30 let“ a S14 pro jednotlivé moduly životního cyklu.
- Tab. 15: Příklad funkčního ekvivalentu a jeho použitelnost pro hodnocené modely budov.

Seznam obrázků

- Obr. 1: Schéma fází metodiky LCA.
- Obr. 2: Rozdělení modulových informací pro různé fáze životního cyklu budovy.

- Obr. 3: Schéma výroby tepelné izolace z lněných vláken.
- Obr. 4: Schéma zpracování surových lněných vláken.
- Obr. 5: Schéma výrobního procesu tepelné izolace z lněných vláken.
- Obr. 6: Prostředí programu GaBi4 ve stavu sestavení modelu životního cyklu z databázových procesů.
- Obr. 7: Prototyp izolačního bloku vyrobeného z TICM (nalevo) a detail možného spojení jednotlivých vrstev bloků pomocí pera a drážky (napravo).
- Obr. 8: Schéma výrobního/recyklačního procesu granulátu z expandovaného skla.
- Obr. 9: Schéma uvažované linky pro výrobu/recyklaci polypropylénového granulátu z polypropylénu vytríděného v plastovém odpadu.
- Obr. 10: Schéma výrobní linky tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu.
- Obr. 11: Vybrané pohledy hodnoceného objektu „BC“.
- Obr. 12: Jihovýchodní pohled na hodnocený objekt „BD“.
- Obr. 13: Jižní pohled na hodnocený objekt „BL“.
- Obr. 14: Pohled na hodnocený objekt „BT“.

Seznam grafů

- Graf 1: Vliv fází výroby lněné tepelné izolace na její environmentální dopady
- Graf 2: Podíl modulů A1 – A3 na environmentálních dopadech výroby lněné tepelné izolace
- Graf 3: Vliv změny roční produkce na normalizované environmentální dopady.
- Graf 4: Obsazenost budovy v průběhu jejího užívání počtem a typem osob.
- Graf 5: Normalizované výsledky scénářů hodnocených budov.
- Graf 6: Spotřeba primárních energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů.
- Graf 7: Normalizované environmentální dopady členěné do modulů životního cyklu.
- Graf 8: Podíl modulů životního cyklu budovy na její environmentální dopady.
- Graf 9: Environmentální dopady konstrukčních celků hodnocených budov.
- Graf 10: Normalizované environmentální dopady citlivostní analýzy vyčíslené na m² užité podlahové plochy.

- Graf 11: Normalizované environmentální dopady citlivostní analýzy vyčíslené na m² užité podlahové plochy a rok provozu budovy.
- Graf 12: Vliv použitého energetického mixu na rozložení environmentálních dopadů vybraných scénářů životního cyklu budovy mezi jednotlivé moduly.
- Graf 13: Vliv použitého energetického mixu na environmentální dopady vybraných scénářů ŽC budovy (bez zahrnutí modulu D).

11. Seznam příloh

11.1 Tištěné

- Příloha A – Inventarizační tabulky pro tepelnou izolaci z lněných vláken
- Příloha B – Výsledky pro tepelnou izolaci z lněných vláken
- Příloha C – Inventarizační tabulky pro tepelnou izolaci z kompozitního plastu
- Příloha D – Výsledky pro tepelnou izolaci z kompozitního plastu
- Příloha E – Přehled sestavených scénářů životního cyklu hodnocených budov

11.2 Na CD

- Příloha č. CD01 – Protokol o posouzení životního cyklu rodinného domu „BL“
- Příloha č. CD02 – Protokol o posouzení životního cyklu rodinného domu „BT“
- Příloha č. CD03 – Protokol o posouzení životního cyklu rodinného domu „BC“
- Příloha č. CD04 – Protokol o posouzení životního cyklu rodinného domu „BD“

PŘÍLOHA A – Inventarizační tabulky pro tepelnou izolaci z Iněných vláken

Procesy s lokalizací dat označenou „CH“ odpovídají Švýcarským podmínkám a procesy s lokalizací „RER“ představují data pocházející z Evropských zdrojů či kombinaci dat Švýcarských a Německých. Lokalizace označovaná „GLO“ představuje databázový proces kombinující lokalizaci „RER“ a „CH“. Databázové procesy energií (elektřina a plyn) jsou lokalizovány pro Českou republiku.

Tab. 1: *Inventarizační tabulka pro pěstování lnu.*

Pěstební proces	Databázový proces (DP)	Lokalizace (DP)	Množství	
			počet mj	mj
Hnojení	fertilising, by broadcaster	CH	0,00022	ha
	triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse	RER	0,02351	kg
	potassium nitrate, as N, at regional storehouse	RER	0,04499	kg
	potassium nitrate, as K2O, at regional storehouse	RER	0,05409	kg
Orba	tillage, ploughing	CH	0,00022	ha
Osev	sowing	CH	0,00022	ha
Postřik pesticidy	application of plant protection products, by field sprayer	CH	0,00022	ha
	pesticide unspecified, at regional storehouse	CH	0,00015	kg
	pesticide unspecified, at regional storehouse	CH	0,00000	kg
	pesticide unspecified, at regional storehouse	CH	0,00000	kg
Skližeň	combine harvesting	CH	0,00022	ha
Odvoz lnu	transport, tractor and trailer	CH	0,00100	tkm
Drcení lnu	diesel, burned in building machine	GLO	0,44792	MJ
Balení lnu	baling	CH	0,00151	balík
Nakládka	loading bales	CH	0,00151	balík

Tab. 2: Inventarizační tabulka pro zpracování lnu ve zpracovatelském závodě.

Proces zpracování	Databázový proces (DP)	Lokalizace (DP)	Množství	
			počet mj	mj
Surový len	-	-	1,0568	kg
Doprava lnu do zpracovatelského závodu	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	1,30900	tkm
Doprava příměsí do zpracovatelského závodu	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,65000	tkm
Výrobní linka	building machine	RER	1,60E-07	ks
	electricity, high voltage, at grid	CZ	1,48240	MJ
Příměši	monoammonium phosphate, as N, at regional storehouse [mineral fertiliser]	RER	0,01545	kg
	monoammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse [mineral fertiliser]	RER	0,01889	kg
	ammonium sulphate, as N, at regional storehouse [mineral fertiliser]	RER	0,01398	kg
	borax, anhydrous, powder, at plant	RER	0,05903	kg
	boric acid, anhydrous, powder, at plant	RER	0,00107	kg
	tap water, at user	RER	0,09122	kg
Odpad z výroby	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill	CH	0,01932	kg
	building, hall, steel construction	CH	3,42E-04	m ²
Údržba linky	lubricating oil, at plant	RER	5,77E-05	kg
	tap water, at user	RER	8,10E-05	m ³
	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3	CH	8,11E-05	m ³
	disposal, used mineral oil, 10 % water, to hazardous waste incineration	CH	5,77E-05	kg
Doprava na skládku	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,01300	tkm
Doprava do spalovny	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,08500	tkm
Doprava v rámci závodu	transport, van <3.5t	RER	4,36E-04	tkm
Balení	baling	CH	0,00135	balík

Tab. 3: Inventarizační tabulka pro výrobu tepelné izolace z Iněných vláken.

Proces zpracování	Databázový proces (DP)	Lokalizace (DP)	Množství	
			počet mj	mj
Zpravovaný len	-	-	0,9444	kg
Doprava BiCo vlákna	transport, transoceanic freight ship	OCE	19,1500	tkm
	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,7450	tkm
BiCo vlákno	polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant	RER	0,0833	kg
	polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade, at plant	RER	0,0833	kg
Doprava zpracovaného lnu	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,3850	tkm
Doprava maziv a čistidel	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,1000	tkm
Výrobní linka	building machine	RER	1,92E-06	ks
	electricity, high voltage, production CZ, at grid	CZ	2,5900	MJ
	natural gas, high pressure, at consumer	CZ	0,1063	m ³
Údržba linky	lubricating oil, at plant	RER	5,56E-06	kg
	tetrafluoroethylene, at plant	RER	1,11E-06	kg
	soap, at plant	RER	5,18E-07	kg
	tap water, at user	RER	5,18E-07	m ³
	treatment, sewage, unpolluted, to wastewater treatment, class 3	CH	1,11E-06	m ³
	disposal, used mineral oil, 10 % water, to hazardous waste incineration	CH	6,67E-06	kg
Doprava na skládku	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,0220	tkm
Doprava do spalovny	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	0,0250	tkm
Doprava v rámci závodu	transport, van <3.5t	RER	0,0011	tkm

PŘÍLOHA B – výsledky pro tepelnou izolaci z Iněných vláken

Tab. 1: Výsledky environmentálních dopadů výroby Iněné tepelné izolace.

Kategorie dopadu	Fáze výroby			Celkem
	Pěstování Inu	Zpracování Inu	Výroba TI	
Abiotic depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	3,32E-06	5,03E-06	4,33E-06	1,27E-05
Abiotic depletion (ADP fossil) [MJ]	5,91E-03	2,78E-02	5,23E-02	8,60E-02
Acidification Potential (AP) [kg SO2-Equiv.]	3,80E-03	4,60E-03	9,07E-03	1,75E-02
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	2,10E-03	1,63E-03	1,39E-03	5,12E-03
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	4,22E-02	7,63E-02	1,11E-01	2,29E-01
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	9,50E-01	9,84E-01	1,57E+00	3,50E+00
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years) [kg CO2-Equiv.]	9,51E-01	9,81E-01	1,57E+00	3,50E+00
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	2,25E-01	1,80E-01	3,72E-01	7,77E-01
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	2,89E+02	4,49E+02	5,52E+02	1,29E+03
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	5,84E-08	9,10E-08	1,76E-07	3,26E-07
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	3,04E-04	4,50E-04	8,82E-04	1,64E-03
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	5,98E-03	4,77E-03	8,79E-03	1,95E-02

Tab. 2: Normalizované výsledky environmentálních dopadů výroby Iněné tepelné izolace.

Kategorie dopadu	Fáze výroby			Celkem
	Pěstování Inu	Zpracování Inu	Výroba TI	
Abiotic depletion (ADP elements)	5,49E-13	8,33E-13	7,17E-13	2,10E-12
Abiotic depletion (ADP fossil)	1,68E-16	7,91E-16	1,49E-15	2,45E-15
Acidification Potential (AP)	2,26E-13	2,74E-13	5,39E-13	1,04E-12
Eutrophication Potential (EP)	1,14E-13	8,81E-14	7,49E-14	2,77E-13
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.)	2,02E-13	3,65E-13	5,30E-13	1,10E-12
Global Warming Potential (GWP 100 years)	1,82E-13	1,89E-13	3,01E-13	6,72E-13
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years)	1,83E-13	1,88E-13	3,01E-13	6,72E-13
Human Toxicity Potential (HTP inf.)	4,49E-13	3,61E-13	7,43E-13	1,55E-12
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.)	6,50E-12	1,01E-11	1,24E-11	2,90E-11
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state)	5,72E-15	8,92E-15	1,73E-14	3,19E-14
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP)	1,76E-13	2,60E-13	5,10E-13	9,45E-13
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.)	5,16E-14	4,12E-14	7,57E-14	1,68E-13
Celkem	8,64E-12	1,27E-11	1,62E-11	3,75E-11

Tab. 3: Výsledky indikátorů kategorií dopadu popisujících spotřebu zdrojů primární energie.

Kategorie dopadu	Fáze výroby			Celkem
	Pěstování Inu	Zpracování Inu	Výroba TI	
Spotřeba primární energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů [MJ, výhřevnost]	7,637	16,144	34,283	58,064
Primární energie z obnovitelných surovin [MJ, výhřevnost]	0,089	0,235	0,317	0,642
Primární energie ze zdrojů [MJ, výhřevnost]	7,548	15,909	33,966	57,423

PŘÍLOHA C – Inventarizační tabulky pro tepelnou izolaci z kompozitního plastu

Tab. 1 uvádí přehled použitých databázových procesů. Procesy s lokalizací dat označenou „CH“ odpovídají Švýcarským podmínkám a procesy s lokalizací „RER“ představují data pocházející z Evropských zdrojů či kombinaci dat Švýcarských a Německých. Databázové procesy energií (elektřina a plyn) jsou lokalizovány pro Českou republiku.

Tab. 1: Přehled použitých databázových procesů a jejich lokalizace.

Vstupní/výstupní tok	Databázový proces (DP)	Lokalizace (DP)	
Výrobní linka	building machine	RER	
Elektrická energie	electricity, high voltage, at grid	CZ	
Pitná voda	tap water, at user	RER	
Čistidla	soap, at plant	RER	
Odpadní voda	treatment, sewage, to wastewater treatment, class 3	CH	
Odpad pevný	disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill	CH	
Odvoz odpadu	transport, lorry 16-32t, EURO4	RER	
Strojní olej	surovina	lubricating oil, at plant	RER
	likvidace	disposal, used mineral oil, 10 % water, to hazardous waste incineration	CH
Polypropylén (k čištění linky)	polypropylene, granulate, at plant	RER	
Skleněná drť	glass, cullets, sorted, at sorting plant	RER	
Uhličitán vápenatý	limestone, milled, loose, at plant	CH	
Glycerin	glycerine, from rape oil, at esterification plant	RER	
Pitná voda	tap water, at user	RER	
Vodní sklo	sodium silicate, spray powder 80%, at plant	RER	
Odpadní CO ₂	Carbon dioxide (biotic)*	-	
Síran hlinitý	aluminium sulphate, powder, at plant	RER	
Kapalný kyslík	oxygen, liquid, at plant	RER	
Zemní plyn	natural gas, high pressure, at consumer	CZ	
Topné médium	light fuel oil, at regional storage	CH	
*Nejedná se o databázový proces ale o tok emisí do ovzduší.			

Tab. 2: Inventarizační tabulka výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu.

Část ŽC	Část výrobního/ recyklačního procesu	Surovina		Scénář výroby			
				s čištěním vstupních surovin		bez čištění vstupních surovin	
				počet mj	mj	počet mj	mj
Recyklace polypropylénu (PP) - výroba polypropylenového granulátu	Výrobní linka	Opotřebenění linky		8,33E-8	ks	8,33E-8	ks
		Elektrická energie		3,043	MJ	2,755	MJ
	Vstupní surovina	Odpadní PP		0,821	kg	0,780	kg
	Čištění vstupní suroviny	Pitná voda		0,804	kg	0,000	kg
		Čistidla		0,116	kg	0,000	kg
		Odpadní voda		0,920	kg	0,000	kg
		Odpad pevný		0,154	kg	0,113	kg
		Odvoz odpadu		0,008	tkm	0,006	tkm
	Údržba a čištění výrobní linky	Strojní olej	surovina	1,84E-04	kg	1,74E-04	kg
			likvidace	1,84E-04	kg	1,74E-04	kg
		Polypropylén		9,99E-06	kg	9,99E-06	kg
		Skleněná drť		8,61E-05	kg	8,61E-05	kg
		Pitná voda		9,51E-04	kg	9,51E-04	kg
		Čistidla		1,94E-05	kg	1,94E-05	kg
		Odpadní voda		9,70E-04	kg	9,70E-04	kg
		Odpad pevný		9,60E-05	kg	9,60E-05	kg
		Odvoz odpadu		4,80E-06	tkm	4,80E-06	tkm
	Výrobní linka	Opotřebenění linky		4,44E-08	ks	4,44E-08	ks
		Elektrická energie		0,873	MJ	0,871	MJ
	Vstupní surovina	Odpadní sklo		0,456	kg	0,427	kg
	Napěňovadlo	Uhličitan vápenatý		0,004	kg	0,004	kg
		Glycerin		0,004	kg	0,004	kg
		Pitná voda		0,045	kg	0,045	kg
Vodní sklo		0,053	kg	0,053	kg		

Pokračování Tab. 2: Inventarizační tabulka výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu.

Část ŽC	Část výrobního/ recyklačního procesu	Surovina		Scénář výroby			
				s čištěním vstupních surovin		bez čištění vstupních surovin	
				počet mj	mj	počet mj	mj
Recyklace skla - výroba granulí z expandovaného skla	Pečení	Odpadní CO ₂		0,002	kg	0,002	kg
	Čištění vstupní suroviny	Pitná voda		0,395	kg	0,000	kg
		Síran hlinitý		0,001	kg	0,000	kg
		Kapalný kyslík		0,00023	kg	0,000	kg
		Zemní plyn		0,044	MJ	0,000	MJ
		Odpadní voda		0,396	kg	0,000	kg
		Odpad pevný		0,072	kg	0,043	kg
		Odvoz odpadu		0,004	tkm	0,002	tkm
	Údržba a čištění výrobní linky	Strojní olej	surovina	1,35E-08	kg	1,08E-08	kg
			likvidace	1,35E-08	kg	1,08E-08	kg
		Pitná voda		0,001	kg	0,001	kg
		Čistidla		1,94E-05	kg	1,94E-05	kg
		Odpadní voda		0,001	kg	0,001	kg
	Výroba tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu	Vstupní surovina	Polypropylénový granulát		0,667	kg	0,667
Granulát z expandovaného skla			0,444	kg	0,444	kg	
Výrobní linka		Opotřebení linky		1,67E-07	ks	1,67E-07	ks
		Elektrická energie		2,160	MJ	2,160	MJ
Údržba a čištění výrobní linky		Strojní olej	surovina	6,77E-05	kg	6,77E-05	kg
			likvidace	6,77E-05	kg	6,77E-05	kg
		Topné médium		3,49E-05	kg	3,49E-05	kg
		Polypropylén		5,00E-06	kg	5,00E-06	kg
		Skleněná drť		4,30E-05	kg	4,30E-05	kg
		Pitná voda		4,85E-04	kg	4,85E-04	kg
		Čistidla		2,43E-09	kg	2,43E-09	kg
		Odpadní voda		4,85E-04	kg	4,85E-04	kg
		Odpad pevný		4,80E-05	kg	4,80E-05	kg
		Odvoz odpadu		5,78E-06	tkm	5,78E-06	tkm

PŘÍLOHA D – Výsledky pro tepelnou izolaci z kompozitního plastu

Tab. 1: *Environmentální dopady výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu s mokrým čistěním vstupních surovin.*

Kategorie dopadu	Recyklace PP	Recyklace skla	Výroba bloků
Abiotic depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	3,06E-06	1,87E-06	1,71E-07
Abiotic depletion (ADP fossil) [MJ]	0,046	0,015	0,028
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	0,006	0,002	0,002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,013	0,006	0,0001
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	0,449	0,176	0,044
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	1,248	0,539	0,488
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	1,257	0,463	0,489
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	0,713	0,301	0,067
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	707,896	270,884	309,999
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	5,65E-08	2,82E-08	1,07E-08
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	0,0007	0,0002	0,0001
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	0,114	0,042	0,001

Tab. 2: *Environmentální dopady výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu bez mokrého čištění vstupních surovin.*

Kategorie dopadu	Recyklace PP	Recyklace skla	Výroba bloků
Abiotic depletion (ADP elements) [kg Sb-Equiv.]	1,27E-07	1,05E-06	1,71E-07
Abiotic depletion (ADP fossil) [MJ]	0,036	0,013	0,028
Acidification Potential (AP) [kg SO ₂ -Equiv.]	0,002	0,001	0,002
Eutrophication Potential (EP) [kg Phosphate-Equiv.]	0,0002	0,0002	0,0001
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	0,056	0,082	0,044
Global Warming Potential (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	0,621	0,297	0,488
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years) [kg CO ₂ -Equiv.]	0,622	0,301	0,489
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [kg DCB-Equiv.]	0,084	0,070	0,067
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	393,461	169,460	309,999
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [kg R11-Equiv.]	1,39E-08	1,42E-08	1,07E-08
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [kg Ethene-Equiv.]	0,00012	0,00008	0,00009
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [kg DCB-Equiv.]	0,002	0,026	0,001

Tab. 3: *Normalizované environmentální dopady výroby tepelně izolačních bloků z kompozitního plastu.*

Kategorie dopadu	Scénář bez čištění	Scénář s čištěním
Abiotic depletion (ADP elements) [-]	2,24E-13	8,44E-13
Abiotic depletion (ADP fossil) [-]	2,19E-15	2,54E-15
Acidification Potential (AP) [-]	2,83E-13	5,96E-13
Eutrophication Potential (EP) [-]	2,45E-14	1,03E-12
Freshwater Aquatic Ecotoxicity Pot. (FAETP inf.) [-]	8,72E-13	3,21E-12
Global Warming Potential (GWP 100 years) [-]	2,70E-13	4,37E-13
Global Warming Potential, excl biogenic carbon (GWP 100 years) [-]	2,71E-13	4,24E-13
Human Toxicity Potential (HTP inf.) [-]	4,41E-13	2,16E-12
Marine Aquatic Ecotoxicity Pot. (MAETP inf.) [-]	1,96E-11	2,90E-11
Ozone Layer Depletion Potential (ODP, steady state) [-]	3,80E-15	9,35E-15
Photochem. Ozone Creation Potential (POCP) [-]	1,66E-13	5,58E-13
Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP inf.) [-]	2,45E-13	1,36E-12

PŘÍLOHA E – Přehled sestavených scénářů životního cyklu hodnocených budov

Tab. 25: Přehled sestavených scénářů životního cyklu hodnocených budov.

Scénář/životnost		INFORMACE Z POSUZOVÁNÍ BUDOVY										Typ scénáře	
		INFORMACE O ŽIVOTNÍM CYKLU											DOPLNŮJÍCÍ INFORMACE NAD RÁMEC ŽC
		Výrobní fáze	Fáze výstavby		Fáze užívání				Fáze konce životního cyklu		Přínosy a náklady za hranicemi systému		
S1/60			SA5.1	SB4.1a	SB2.1a	SB4.1a	SB7.1	SC2.1	SC4.1				Die způsobu nakládání s odpadem
S2/60		SA5.2	SB4.1b	SB2.1a	SB4.1b	SB6.1	SC2.2	SC4.2					
S3/60		SA5.3	SB4.1c		SB4.1c		SC2.3	SC4.3					
S4/60		SA5.4	SA4.1	SB4.1d	SB6.1	SB7.1	SC2.4	SC4.4					
S5/60	A1-A3a	SA5.1		SB4.1a			SC2.1	SC4.1			D*		
S6/60		SA5.2	SB2.1b	SB4.1b	SB6.1	SB7.1	SC2.2	SC4.2					
S7/60		SA5.3		SB4.1c			SC2.3	SC4.3					
S8/60		SA5.4	SB4.1d	SB4.1d	SC2.4	SC4.4							
S9/60		SB2.1a	SB4.1d	SB6.1	SB7.1	SC2.4	SC4.4			Die způsobu užívání budovy			
S10/60			SB2.1b	SB4.2	SB6.2	SB7.2	SC2.4	SC4.4					
S11/100		SB2.2a	SA4.2	SB2.3a	SB6.3	SB7.3	SC2.4	SC4.4	D*				
S12/100	A1-A3a	SB2.2b									SB4.3	SB6.4	SB7.4
S13/60		SB2.3a	SB2.4a	SB4.4	SB6.4	SB7.4	SC2.4	SC4.4					
S14/60		SB2.3b											
S15/100		SB2.4a	SB2.4b	SB4.4	SB6.4	SB7.4	SC2.4	SC4.4					
S16/100		SB2.4b											

Pokračování Tab. 25: Přehled sestavených scénářů životního cyklu hodnocených budov.

Scénář/Životnost		INFORMACE Z POSUZOVÁNÍ BUDOVY										Typ scénáře	
		INFORMACE O ŽIVOTNÍM CYKLU											DOPLŇUJÍCÍ INFORMACE NAD RÁMEC ŽC
		Výrobní fáze		Fáze výstavby		Fáze užívání							Fáze konce životního cyklu
S17/60			SA5.1		SB4.1a						SC2.1	SC4.1	Die způsobu nakládání s odpadem
S18/60			SA5.2	SB2.1a	SB4.1b					SC2.2	SC4.2		
S19/60			SA5.3		SB4.1c					SC2.3	SC4.3		
S20/60	A1-A3a	SA4.2	SA5.1		SB4.1a			SB6.1	SB7.1	SC2.1	SC4.1	D*	
S21/60			SA5.2	SB21.b	SB4.1b					SC2.2	SC4.2		
S22/60			SA5.3		SB4.1c					SC2.3	SC4.3		
S23/60				SB2.1a		SB4.3		SB6.1	SB7.1				Die způsobu určení životnosti materiálu a prvků
S24/60				SB2.1b						SC2.4	SC4.4	D*	
S25/100	A1-A3a	SA4.2	SA5.4		SB4.4			SB6.2	SB7.2				
S26/100				SB2.2a									
				SB2.2b									
S27/60	A1-A3b	SA4.3	SA5.4	SB2.1b	SB4.5	SB4.6	SB6.1	SB7.1		SC2.4	SC4.4	D*	
S28/100				SB2.2b	SB4.6	SB6.2	SB6.2	SB7.2					

D* - modul D je stanoven vždy pro příslušné scénáře jednotlivých modulů scénáře životního cyklu budovy