

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

KATEDRA ZPRACOVÁNÍ DŘEVA A BIOMATERIÁLŮ



**HODNOCENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU DOMU NA
BÁZI DŘEVA METODOU LCA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Petra Jaworková

Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petra Jaworková

Dřevařské inženýrství

Název práce

Hodnocení životního cyklu domu na bázi dřeva metodou LCA

Název anglicky

Estimation of wood-based building by Life Cycle Assessment

Cíle práce

Cílem práce je stanovit míru pozitivních a negativních vlivů dřevostavby na životní prostředí. Pro relevantní posouzení bude zvolena metoda LCA, konkrétně výpočet dle Bousteadtova modelu. Součástí práce je vhodná prezentace výsledků z vypočítaného LCA modelu.

Metodika

- Literární rešerše
- Inventarizační analýza jednotlivých typů surovin a materiálů použitých pro výstavbu domu pro výpočet LCA
- Definování výsledných ukazatelů z modelu LCA
- Stanovení vlivu dřevostavby na životní prostředí
- Závěr

Doporučený rozsah práce

50 stran

Klíčová slova

Life Cycle Assessment, dřevostavba, životní prostředí

Doporučené zdroje informací

- Blengini, G.A., Carlo, T.D. (2010). The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. *Energy and Building* 42(6). pp. 869–880
- Bribián, I. Z., Usón, A. A., Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* (2009). pp. 2510-2520.
- Cabeza L. F., Rincón, L., Vilarino, V., Pérez, G., Castell A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable energy Reviews* 29. pp. 394-416
- Directive 2010/31/EU of European parliament and of the council on the energy performance of buildings
- Jungmeier, G., Werner, F., Jarnehammar, A., Hohenthal, C., Richter, K. (2002). Allocation in LCA of Wood-based Products, LCA Case Studies. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 7(6). pp. 369–375
- Kellenberger, D., Althaus, H., J. (2009). Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment* 44. pp. 818–825
- Lewandowska, A., Noskowiak, A., Pajchrowski, G., Zarebska, J. (2015). Between full LCA and energy certification methodology – a comparison of six methodological variants of buildings environmental assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 20. pp. 9–22
- Maoduš, N., Agarski, B., Mišulić, T. K., Budak I., Radeka M. (2016). Life cycle and energy performance assessment of three wall types in south-eastern Europe region. *Energy and Buildings* 133. pp. 605-614
- Röhrlich, M., Mistry, M., Martens, P.N., Buntentbach, S., Ruhrberg, M., Dienhart, M., Briem, S., Quinkertz, R., Alkan, Z. and Kugeler, K. (2000). A Method to Calculate the Cumulative Energy Demand (CED) of Lignite Extraction. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 5(6). pp. 369–373
- Verdaguer, S. B., Llatas, C., Martínez A. G. (2016). Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments. *Building and Environment* 103. pp. 215-227
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra dřevěných výrobků a konstrukcí

Elektronicky schváleno dne 11. 4. 2017

Ing. Kamil Trgala, Ph.D.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 11. 03. 2019

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Hodnocení životního cyklu domu na bázi dřeva metodou LCA“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Přemysla Šedivky, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Praze, dne

Podpis:

Poděkování:

Ráda bych poděkovala Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a vedení této práce. Také bych chtěla poděkovat mé rodině a všem blízkým za podporu během mého studia.

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením životního cyklu domu na bázi dřeva metodou LCA. První část popisuje metodu LCA o posuzování životního cyklu. V další části jsou popsány dva modely rodinných domů. Jedním z nich je dům z obnovitelných materiálů na bázi dřeva. Druhým je dům z neobnovitelných surovin na bázi pórobetonu. U obou domů je popsáno materiálové složení, spotřeba tepelné a elektrické energie v průběhu užívání stavby a množství spotřebované pitné vody. V poslední kapitole jsou oba domy porovnány podle celkové spotřeby energie pro výrobu materiálů, celkové spotřeby energie v celém životním cyklu a podle dalších vybraných kategorií dopadů.

Klíčová slova:

posuzování životního cyklu, dům na bázi dřeva, životní prostředí

Abstract:

This diploma thesis deals with estimation of wood-based building by Life Cycle Assessment of the life cycle. The first part describes the LCA method for life cycle assessment. The next section describes two models of family 's houses. One of them is a house made from renewable wood-based materials. The second one is a house made from non-renewable raw materials based on aerated concrete. For both houses, the material composition, consumption of heat and electricity and the amount of drinking water consumed during the use of the building described. In the last chapter, both houses are compared according to total energy consumption for materials production and total energy consumption in the whole life cycle and the other selected categories of impact.

Key words:

Life Cycle Assessment, wooden house, environment

Obsah:

1. Úvod	8
2. Cíle práce	10
3. Literární rešerše	11
3.1. Metoda LCA.....	12
3.1.1. <i>Fáze 1. Stanovení cílů a rozsahu</i>	12
3.1.2. <i>Fáze 2. Inventarizační analýza</i>	13
3.1.3. <i>Fáze 3. Posuzování dopadů životního cyklu</i>	14
3.1.4. <i>Fáze 4. Interpretace</i>	17
3.1.5. <i>Shrnutí literární rešerše</i>	18
4. Metodika pro stanovení životního cyklu variant domů	19
5. Inventarizační fáze LCA	22
5.1. Dům na bázi dřeva.....	22
5.2. Dům na bázi pórobetonu	24
6. Interpretace výsledků a dopady životního cyklu	26
6.1. Spotřeba energie při výrobě stavebních materiálů	26
6.2. Spotřeba energie v životním cyklu.....	32
6.3. Vybrané kategorie dopadů.....	37
6.3.1. <i>Čerpání surovin</i>	37
6.3.2. <i>Čerpání fosilních paliv:</i>	37
6.3.3. <i>Globální oteplování</i>	38
6.3.4. <i>Narušení ozonové vrstvy</i>	39
6.3.5. <i>Vznik fotooxidantů</i>	40
6.3.6. <i>Acidifikace</i>	40
6.3.7. <i>Eutrofizace</i>	41
6.3.8. <i>Vyhodnocení vybraných kategorií</i>	42
7. Diskuze	44
8. Závěr	46
9. Přehled literatury a použitých zdrojů	48
10. Seznam příloh	54

1. Úvod

Ve stavebnictví se přibližně do začátku 19. století využívaly nejčastěji přírodní stavební materiály, kterými byly například dřevo, kámen a jiné. Postupným rozvojem se začaly používat spíše cihlářské materiály, které byly spojovány maltami. Následně během 19. století se začala používat také litina a ocel a přibližně od druhé poloviny 19. století se začal používat také beton a železobeton. Tento rozvoj tak zapříčinil zvyšující se zátěž životního prostředí, jelikož lidé začali využívat neobnovitelných surovin. Od začátku 21. století se postupně začaly vyrábět nové materiály na bázi dřeva, kterými byly dřevotříska, sádrokarton a jiné. Také byly zavedeny nové technologické postupy výroby materiálů. Hlavním cílem tohoto rozvoje bylo snížení environmentální náročnosti stavebnictví (Kolář, Reiterman 2012).

Stavební činnost významně ovlivňuje kvalitu životního prostředí, jelikož je provázáno s dalšími odvětvími, jako je energetika, strojírenství, chemický průmysl, doprava, lesnictví a jiné. Životní prostředí je zatěžováno již při těžbě surovin, výstavbě budov, užívání objektů a následné likvidaci. Na výstavbu budov čerpáme velké množství přírodních surovin, spotřebováváme energii, znečišťujeme ovzduší a vodu, a také dochází k tvorbě odpadů. Životní prostředí je nejvíce zatěžováno v průběhu užívání objektu čerpáním energie a vytápěním objektu, které trvá po celou dobu životnosti budovy. Již při navrhování objektů je tedy vhodné prosazovat taková řešení a volit stavební materiál tak, aby stavebnictví mělo minimální dopady na životní prostředí a zároveň tak, abychom ho předali příštím generacím v co nejméně pozměněné podobě. Aby bylo možné určit nejvhodnější materiál vůči životnímu prostředí, je nutné zjistit jeho environmentální náročnost. To je možné určit podle analýzy hodnocení životního cyklu LCA, kterou založil Dr. Ian Boustead (Vlček, Drkal 1994; Fava, Consoli 2013).

V mnoha studiích bylo prokázáno, že se právě dřevo jeví jako vhodný stavební materiál vzhledem k ochraně životního prostředí, jelikož se jedná o obnovitelnou surovinu. Největší podíl dřevostaveb se staví v Kanadě, USA a Austrálii, kde podíl všech staveb zaujímá 80% dřevostaveb, dále pak ve skandinávských zemích, kde je tento podíl 60% (Štefko, Můčka 2008). V České republice je podíl dřevostaveb pouze 14,8%, což je oproti jiným zemím poměrně málo (Chrámecký 2018). V důsledku zvyšování cen energií a rostoucího znečištění ovzduší, se postupně zvyšuje

zájem o ekologické stavitelství a efektivní využívání obnovitelných zdrojů energie (Kucerova a kol. 2014).

2. Cíle práce

Diplomová práce se zabývá hodnocením životního cyklu metodou LCA. Cílem práce je objektivním způsobem vyhodnotit environmentální zátěž obytného domu na bázi dřeva a její porovnání s obytným domem na bázi pórobetonu při shodných podmínkách pro užívání v průběhu jejich životnosti. Důležitým faktorem pro porovnání obou variant navržených domů je zachování shodných užitných, sociálních, ekologických a ekonomických faktorů. Očekávaným výsledkem je stanovení míry environmentální zátěže u obou variant domů a stanovení, do jaké míry má dům na bázi dřeva pozitivní anebo negativní vliv na životní prostředí.

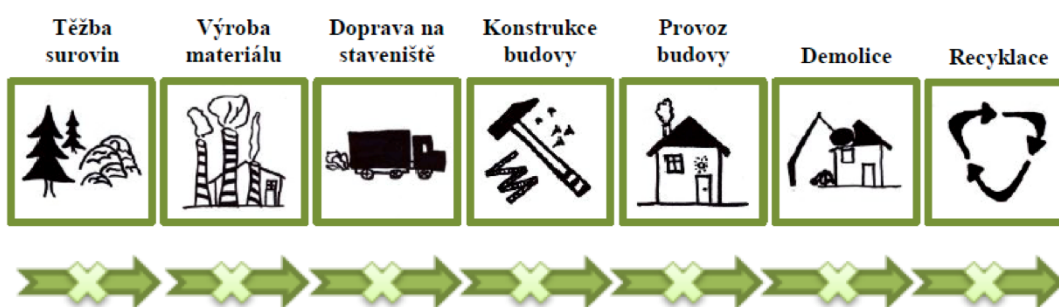
3. Literární rešerše

Pro zhodnocení environmentální náročnosti produktů se používá metoda LCA, která vznikla teprve před nedávnem v USA v období 60.let 20.stol. Do Evropy se dostala až na konci 70. let 20.stol.. V roce 1990 vznikl současný název „Posuzování životního cyklu“. V roce 2006 byla vydána ČSN EN ISO 14040, kde je uveden postup posuzování životního cyklu materiálu. Nyní se na trhu začínají objevovat databáze sloužící k určení LCA materiálů (Janeček 2014).

Metoda LCA byla již použita na několika studiích. Jednou z nich byla studie na posouzení životního cyklu (LCA) na konkrétní příkladové dřevostavbě. Jednalo se o 4- podlažní bytový dům z dřevěných prefabrikovaných panelů, které byly dovezeny a následně sestaveny přímo na staveništi. Ve studii se hodnotil potenciál globálního oteplování (GWP) a spotřeba primární energie (PEI) podle norem EN 15978, EN 15804 a EN 16485. Pro posouzení výrobní fáze materiálů byla nejprve zjištěna hmotnost všech použitých materiálů, která se následně vynásobila s hodnotami GWP a PEI získaných z databáze. Dále byla v továrně při výrobě prefabrikovaných panelů měřena spotřeba energie pomocí elektroměrů. Energie spotřebovaná na staveništi byla odhadnuta. Další informace byly získány ze stavební dokumentace a z rozhovoru pracovníků. Způsob nakládání s odpady byl zjištěn také na základě rozhovorů. Pro zhodnocení náročnosti dřevostavby během jejího užívání byla doba životnosti stanovena na 50 let. Pro zhodnocení fáze ukončení životnosti bylo uvažováno nad způsobem demolice objektu a nad dalšími možnostmi zpracování odpadu a jeho likvidace. Ve studii bylo zjištěno, že nejvyšší hodnoty cca 70% z celkového GWP připadne na provozní využití energie ve fázi užívání objektu a dalších 30% pro fázi demolice objektu. Dále bylo zjištěno, že pro výrobu stavebních materiálů a následnou recyklaci po ukončení životnosti dosahoval potenciál globálního oteplování záporných hodnot, což je z hlediska životního prostředí velmi pozitivní. Je to dáno tím, že stromy při svém růstu pohlcují více CO₂, než je vyprodukováno při jeho zpracování. Podobně je tomu tak i při recyklaci materiálů, kdy je tak ušetřeno množství CO₂, které by muselo být vyprodukováno při výrobě nového materiálu. Z hlediska spotřeby primární energie bylo zjištěno, že cca 60% z celkového PEI připadá podobně jako u GWP také na provozní využití energie a dalších 35% připadá na výrobu stavebních materiálů. Spotřeba primární energie z hlediska recyklace také dosahovala záporných hodnot (Takano a kol. 2015).

3.1. Metoda LCA

Metoda LCA hodnotí environmentální zatížení celého životního cyklu veškerých produktů vzniklých antropogenní činností. Člověk ovlivňuje životní prostředí negativními vlivy, ať už vypouštěním škodlivin do ovzduší, spotřebou energie, znečištěním vody nebo tvorbou odpadů. Stavebnictví představuje výrazný zásah do prostředí v celém životním cyklu budov. Ten začíná těžbou surovin a výrobou vstupního materiálu, následuje dopravou na staveniště a samotnou výstavbou objektu. Tato pořizovací fáze je největším zásahem do prostředí. Po dokončení výstavby životní cyklus pokračuje fází provozu budovy, která má oproti pořizovací fázi mnohem delší trvání. Při užívání objektu je životní prostředí ovlivňováno při spotřebě energie, při vytápění objektu a při případných rekonstrukcích budovy. Poslední fází životního cyklu je demolice objektu a případné možnosti recyklace materiálu. Schéma životního cyklu je znázorněno na Obr. 1 (Jaworková 2016).



Obr. 1: Schéma životního cyklu budovy. Zdroj: Envimat 2010.

3.1.1. Fáze 1. Stanovení cílů a rozsahu

Pro vyhodnocení environmentálních dopadů metodou LCA je nejprve nutné charakterizovat posuzovaný produkt včetně jeho funkce. Dále je potřeba vymezit použité předpoklady při sestavování studie a uvést případné aspekty ovlivňující přesnost výsledků. Následně je nutné určit funkční jednotku, čímž se rozumí velikost funkce, která je měřitelná například v kilogramech, metrech čtverečních, litrech, kusech za rok a podobně (např. velikost objektu). Také je potřeba stanovit množství produktu potřebné k naplnění funkce, což se označuje jako referenční tok. A pomocné toky, čímž se rozumí obalový materiál, spojovací materiál a podobně. Pro vypracování studie je důležité si předem vymezit hranice systému stanovením

procesů, které podstatně ovlivní výsledky LCA od těch méně podstatných procesů. Dále je potřeba určit časový rozsah informující o životnosti, době trvání procesů a environmentálních dopadů. Hranice systému vymezují i geografický rozsah, jelikož dopady mohou být různé v závislosti na konkrétních lokalitách. Po získání prvních předběžných výsledků, je možné hranice systému upravit, jelikož se pro studii mohou některé procesy dodatečně ukázat jako zanedbatelné (Kočí 2012).

3.1.2. Fáze 2. Inventarizační analýza

Tato fáze je určena pro vyčíslení množství všech materiálových a energetických vstupů a výstupů. Nejprve se vytvoří model produktového systému, kde je potřeba identifikovat veškeré použité procesy včetně jejich vstupů a výstupů. Informace o použitých procesech se většinou zjišťují z rozhovorů s provozovateli zařízení, nebo z dostupných databází. Dále je potřeba vzít v úvahu, že výroba rozdílných produktů může sdílet jeden, či více různých procesů. Příkladem může být proces vypalování různých druhů cihel v jedné peci. Tuto problematiku řeší takzvaná alokace. Hlavním cílem alokace je rozdělit vstupy a výstupy procesů ke konkrétnímu produktu. To se zjišťuje většinou na základě počtu produktů, hmotnosti produktů, nebo na jeho ekonomické hodnotě. Další krokem inventarizační analýzy je výpočet vektoru, který spočívá ve zjištění výsledných hodnot vypuštěných látek do prostředí a z celkového množství použitých surovin. Tyto hodnoty je potřeba vyčíslit pro jednotlivé materiály. Na základě výpočtu vektoru je vytvořena inventarizační tabulka, ve které jsou uvedeny hodnoty pro jednotlivé fáze životního cyklu, nebo pro jednotlivé procesy, či technologické celky (Kočí 2012).

Databáze environmentálních vlastností:

Pro usnadnění výpočtů studií LCA jsou k dispozici databáze environmentálních vlastností materiálů. Zahraničními databázemi jsou například Švýcarský Ecoinvent, který je celosvětovou databází environmentálních dat, dále Bauteilkatalog, Environdec, Gabi, IBO Baustoffdatebank a jiné (Kočí 2012). V České republice je dostupná pouze jedna databáze. Jedná se o online katalog Envimat, který je určen zejména architektům, projektantům, odborným poradcům a studentům. Obsahuje databázi stavebních materiálů a konstrukcí. Tyto data umí také

mezi sebou porovnávat. Dále umožňuje tvorbu a editaci nových prvků. V databázi jsou uvedeny parametry spotřeby primární energie PEI, součinitel tepelné vodivosti λ , potenciál globálního oteplování GWP, potenciál acidifikace prostředí AP, potenciál tvorby přízemního ozonu POCP, potenciál ničení ozonové vrstvy ODP a potenciál eutrofizace prostředí EP. Zdrojem těchto dat je většinou Ecoinvent (Envimat 2010).

3.1.3. Fáze 3. Posuzování dopadů životního cyklu

Pro určení environmentální náročnosti produktu, je potřeba produkt hodnotit na základě vyčíslení celkových dopadů na životní prostředí, nikoliv na základě jeho veškerých vstupů a výstupů do prostředí. Po zpracování inventarizační analýzy je tedy nutné výsledky přiřadit k jednotlivým indikátorům kategorie dopadů. Tyto indikátory slouží pro sledování míry prohloubení, rozvoje a zhoršení environmentálních dopadů. Rozlišujeme dva typy indikátorů. Prvním je midpointový indikátor, který vymezuje potenciální schopnost zapříčinit dopady. Druhým je endpointový indikátor, který značí míru konečných dopadů na životní prostředí. Dalším krokem je takzvaná charakterizace, kterou se rozumí vyčíslení velikosti dopadů. Podle normy ČSN ISO 14025 je pro výběr kategorií dopadů pro konkrétní studii doporučeno hodnotit dopady změn klimatu, úbytku stratosférického ozonu, eutrofizace, acidifikace, tvorba fotooxidantů, spotřeba nerostných surovin a spotřeba fosilních a energetických zdrojů (Kočí 2012).

Globální oteplování a klimatické změny:

Klimatické podmínky planety Země jsou dány přítomností skleníkových plynů v atmosféře. Mezi takové plyny patří vodní pára, oxid uhličitý CO_2 , metan CH_4 , oxid dusný N_2O , hexafluorid sírový SF_6 a halogenové uhlovodíky. Tyto plyny jsou schopny zadržovat tepelnou energii ze Slunce a udržovat tak Zemský povrch o 33% teplejší. Tento jev se nazývá skleníkový efekt, který je pro naši planetu přirozený. V důsledku antropogenního navyšování koncentrace skleníkových plynů pak dochází k intenzivnějšímu navýšení tepelné energie, což má za důsledek oteplování a s ním spojené klimatické změny. Hlavním zdrojem těchto skleníkových plynů vyprodukovaných lidskou činností je spalování fosilních paliv, výroba cementu a

změna využití půdy. Pro zhodnocení míry dopadu slouží potenciál globálního oteplování GWP. Problematika globálního oteplování může mít celou řadu dopadů, je to například zvyšování hladiny moří, posun vegetačních pásem a v neposlední řadě dopady na lidské zdraví (Kočí 2012).

Úbytek stratosférického ozonu:

Stratosférický ozon chrání naši planetu před škodlivým UV-B zářením. Jeho úbytek tak může mít negativní vliv pro zdraví lidí a ekosystém. K jeho úbytku tak může nastat přirozeně, nebo v důsledku antropogenní činnosti. Látky CH₄, N₂O, vodní pára a sloučeniny chloru a bromu se přirozeně podílí na úbytku ozonu. A halogenované uhliky (freony a halony), metan a oxidy dusíku jsou látkami podporující narušení ozonové vrstvy zapříčiněný lidskou činností. Tento jev může mít za následek nepříznivé ovlivnění zdraví lidí a zhoršenou kvalitu přírodního prostředí. Pro vyčíslení míry dopadu se používá potenciál úbytku stratosférického ozonu ODP (Kočí 2012).

Acidifikace:

Acidifikace je proces, ve kterém dochází k okyselení prostředí. Tento jev může nastat v důsledku přirozených procesů, nebo důsledkem antropogenní činnosti. Přirozeným procesem okyselování prostředí jsou například půdotvorné procesy a rozklad opadaného jehličí a listí. Za největší hrozbu acidifikace spojenou s antropogenní činností stojí kyselá deště, které vznikají z koncentrací oxidu siřičitého a oxidu dusíku v atmosféře. Zdrojem těchto látek jsou elektrárny, průmysl a autodoprava. Tento jev má za následek okyselení půdy, vody a stavebních materiálů, což může mít dále dopady v podobě snížení úrodnosti půdy, poškození lesů, úhynu organismů a znehodnocení budov. Pro zhodnocení míry dopadu slouží acidifikační potenciál AP (Kořen 2010).

Eutrofizace:

Jedná se o proces, ve kterém dochází k navyšování obsahu živin dusíku a fosforu v povrchových vodách a půdách. To má za následek přemnožení sinic, řas,

bakterií a nedostatku kyslíku ve vodách. Eutrofizace může být zapříčiněná přirozenými procesy, ale také procesy lidské činnosti. Člověk pak vodní zdroje nejvíce ovlivňuje použitím dusíkatých a fosforečných hnojiv a splaškovými vodami při používání saponátů se zvýšeným obsahem fosforečnanů. Eutrofizace vod je spojena s celou řadou dopadů, jako je například úbytek kvalitních zdrojů pitné vody, úhynu ryb a dalších vodních organismů, a také se zvýšením toxických látek ve vodách, které mohou ohrozit člověka, či hospodářská zvířata. Pro určení míry dopadu slouží eutrofizační potenciál EP (Moldan 2015; Kočí 2012).

Vznik fotooxidantů:

Vznik troposférického ozonu neboli vznik fotooxidantů je stav, kdy se ozon vyskytuje v přízemní vrstvě atmosféry. Příčinou vzniku troposférického ozonu jsou emise těkavých organických látek, oxidu dusíku NO_x, oxidu uhelnatého CO a metanu CH₄. Největším zdrojem těchto látek je zvyšující se automobilová doprava. Dalším zdrojem je průmysl, těžba, spalovací procesy a aplikace a výroba nátěrových hmot a lepidel. Vznik fotooxidantů má výrazný vliv na zdraví lidí, jelikož působí jako rakovinotvorné látky, dále může způsobovat tvorbu krevních sraženin, vznik cukrovky, artritidu, Alzheimerovu nemoc, Parkinsonovi nemoci a celkové oslabení imunitního systému spojeným se zhoršením chronických problémů a symptomů. Poškozuje také zemědělské plodiny, vegetaci a přírodní ekosystémy a u živočichů má negativní vliv na dýchací orgány. Nepříznivě také působí na různé materiály, kdy narušuje různé gummy, tkaniny, polymery, sochy a malby. Pro vyčíslení míry dopadů se používá charakterizační faktor vzniku troposférického ozonu POCP (Kočí 2012).

Úbytek surovin:

Přírodní zdroje jsou nedílnou součástí našeho života, využíváme je pro naplnění základních potřeb, ale také pro stavební a průmyslovou činnost. Přírodní zdroje se rozdělují na neobnovitelné a obnovitelné. Mezi neobnovitelné zdroje patří např. půda, kterou lze zcela vyčerpat a není možné ji získat zpět. Obnovitelnými zdroji se rozumí takové zdroje, které jsme schopni za použití finančních nákladů, práce a energie znovu získat, je to např. úrodnost půdy, pitná voda a dřevní hmota. Při nadměrném čerpání zdrojů, tak může dojít k poklesu jejich dostupnosti, dále

k narušení a destrukci ekosystémů. Míra úbytku materiálních surovin se obvykle vyjadřuje v kg a označuje se zkratkou ADP (Jaworková 2016; Kočí 2012).

Spotřeba primární energie:

Primární energii je nazýván zdroj energie v takové formě, tak jak se nachází v přírodě. Primární energie může být obnovitelná, kterou je například sluneční záření, vodní energie, větrná energie, dřevo a biomasa. Neobnovitelná primární energie je například uhlí, ropa, zemní plyn a jaderná energie. Velkou hrozbou pak může být spotřeba právě neobnovitelné primární energie, kterou po jejím vyčerpání nelze získat zpět. Energie je spotřebovávána v celém životním cyklu výrobku. Je čerpána již při těžbě suroviny a jejím zpracování, dále při dopravě materiálu, dále při samotné konstrukci výrobku, jeho užíváním a následné demolici. Míra spotřeby primární energie se vyjadřuje v MJ/kg a značí se zkratkou PEI (Novotný 2017).

3.1.4. Fáze 4. Interpretace

Poslední fází LCA analýzy je fáze interpretace, která slouží pro prezentování zjištěných výsledků. Skládá se ze tří kroků. Prvním krokem je identifikace významných zjištění, při které jsou rozříděny nejdůležitější poznatky do strukturalizačních tabulek. Dalším krokem je hodnocení studie LCA. V tomto kroku je testována spolehlivost výsledků a ověřena platnost důležitých zjištění, a tím je zároveň zvýšena důvěryhodnost studie. Při hodnocení studie jsou provedeny různé testy a analýzy. Testem kontroly úplnosti zjišťujeme, zda nám nechybí některé důležité data, které by mohli mít významný vliv na výsledky studie. Analýza nejistot se provádí za účelem zjištění míry vlivu nepřesnosti dat na výsledky studie. Analýza citlivosti zjišťuje velikost ovlivnění výsledků při případných změnách ve vstupních předpokladech, proměnlivosti vstupních dat a při použití alternativních dat. Analýza obměny zkoumá, jak velký vliv bude mít případná obměna materiálů nebo procesů na výsledky. Důležité je také zhodnotit kvalitu vstupních dat a jejich vhodnost pro konkrétní studii. Posledním krokem interpretace je sepsání závěru studie. Můžeme rozlišit dva druhy zpráv. Podrobnější z nich je úplná zpráva pro zadavatele studie LCA, která obsahuje podrobný popis celé studie, včetně veškerých vstupních informací a použitých metod. Druhý a také méně podrobný typ zprávy je

environmentální prohlášení o produktu EPD. Jde o zkrácenou zpráva, která slouží pro zveřejňování, v níž nejsou uvedeny výrobní a obchodní tajemství (Kočí 2012).

Environmentální prohlášení o produktu EPD:

Jedná se o dokument, který shrnuje LCA studii. Nazývá se také jako environmentální prohlášení III. typu a slouží pro účely zveřejňování. Aby bylo možné sestavit EPD musí být LCA studie zpracována podle předem stanovených návodů, čímž jsou pravidla produktové kategorie - PCR, které vydávají provozovatelé programu environmentálních prohlášení typu III. Dokument EPD pak zpracovává provozovatel podle obecných programových instrukcí GPI, ve kterém jsou popsány předpoklady pro sestavování EPD. Hlavním cílem environmentálního prohlášení je poskytnutí informací, které se týkají environmentálních dopadů produktů v celém jeho životním cyklu. Dále pro účely srovnávání produktů z hlediska dopadů na životní prostředí. A také pro podporu výrobců při výrobě ekologičtějších produktů. Environmentální prohlášení o produktu obsahuje informace o provozovateli, který tento dokument zpracoval, informace o produktu a jeho výrobcu. Dále obsahuje výsledky z LCA studie a jiné environmentálně významné údaje. Může obsahovat i další dodatečné informace o správném používání produktu a možnostech recyklace po skončení životnosti. Nakonec se uvádí informace o ověření důvěryhodnosti EPD. Rozlišujeme dva typy ověření. Prvním je externí ověření EPD, které je prováděno nezávislým člověkem, nebo odborným týmem. Interní ověření EPD používají firmy vyrábějící velké množství různých produktů. Mají vytvořený vlastní interní systém pro tvorbu LCA a zpracování a ověření EPD, jelikož by bylo ověření externí firmou každého vyrobeného produktu velmi nákladné (Kočí 2012).

3.1.5. Shrnutí literární rešerše

Na základě zpracované literární rešerše byly získány teoretické poznatky pro návrh a realizaci metodického postupu výpočtu a vyhodnocení LCA u navrhovaných variant obytných domů.

4. Metodika pro stanovení životního cyklu variant domů

Ve studii jsou zvoleny, jako komparativní jednotky pro hodnocení a porovnání dvě varianty rodinných domů. První variantou modelu je rodinný dům z obnovitelných materiálů na bázi dřeva. Druhou variantou modelu je rodinný dům z neobnovitelných materiálů na bázi pórobetonu. Aby bylo možné porovnat míru ekologického zatížení obou variant, mají tyto domy identické vlastnosti. Zároveň obytné domy v sobě zahrnuje ty vlastnosti, které jsou nutné pro objektivní hodnocení zahrnout a kterými jsou:

- a) *Užitné vlastnosti* – dům definuje díky své konstrukci a vlastnostem možnosti pro jeho uživatele.
- b) *Sociální vlastnosti* – dům o daných parametrech obsahuje měřitelnou složku sociální vlastností z hlediska kvality definující komfort života a škálu možností jeho užívání pro uživatele.
- c) *Ekologické* – definující vliv užitých materiálů a produktu samotného na životní prostředí.
- d) *Ekonomické* – nákladovost výroby užitých materiálů, náklady na jejich likvidaci anebo recyklaci.

U obou zvolených variant domů se předpokládá životnost cca 80 let při uvažovaném užívání dané varianty domu čtyřčlennou rodinou. Oba domy mají také shodné geografické podmínky.

V prvním kroku byla nejprve zpracována dokumentace pro obě varianty domů, následně byly vypočteny objemy materiálů použitých na jednotlivé stavby. Konstrukce obou variant domů byly navrženy tak, aby se shodoval vnitřní prostor pro zajištění stejného komfortu bydlení.

Při výpočtu LCA je uvažováno se spotřebou energie pro výrobu jednotlivých materiálů a jejich dopravou na obě stavby. Také je zohledněna energetická náročnost při fázi výstavby.

Dále je pak v modelech započítána spotřeba tepelné a elektrické energie, spotřeba vody v průběhu celé doby užívání dané varianty domu čtyřčlennou rodinou.

Konstrukce obvodové stěny domu je navržena tak, aby obálka budov měla v obou případech stejný koeficient prostupu tepla.

Uvažováno je také s případnými rekonstrukcemi domů během jejich životnosti. Rekonstrukce domu byla zohledněna ve výpočtech tak, že byl stanoven objem materiálů, u kterých se předpokládá jejich výměna v průběhu navrhované životnosti dané varianty stavby z důvodu jejich morálního anebo technického opotřebení. V této studii se předpokládala výměna všech oken, dveří, podlah a střešní krytiny jednou v průběhu životnosti budovy, tedy jednou v průběhu 80 let.

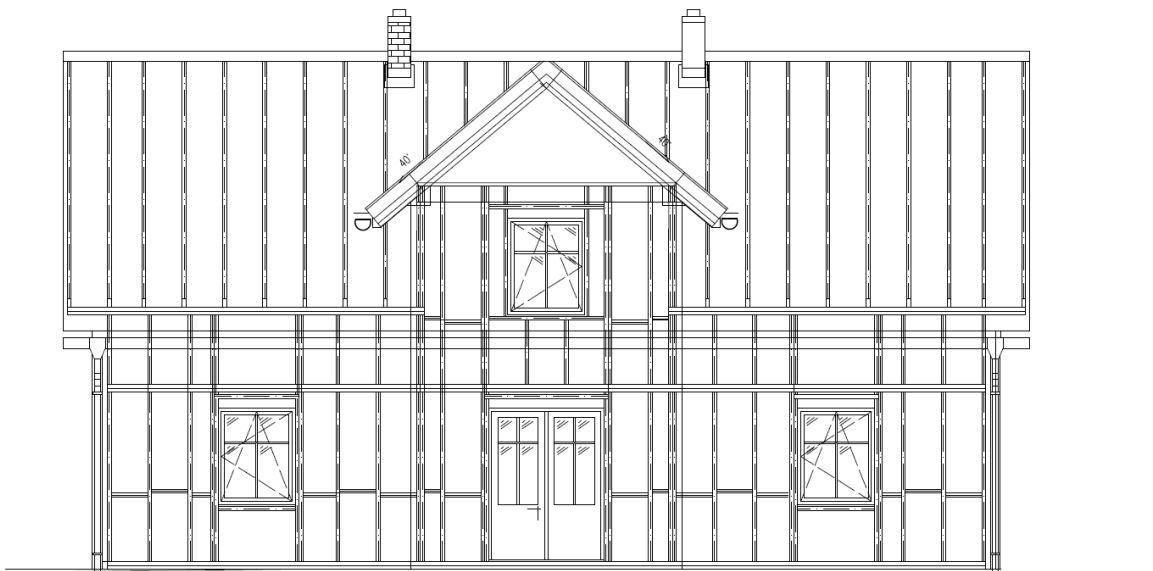
Zohledněna je také fáze likvidace konstrukcí, kdy se u domu na bázi dřeva předpokládá s pozitivní energetickou bilancí, jelikož většinu navržených konstrukčních prvků je možné energeticky využít anebo recyklovat. U domu na bázi pórobetonu se předpokládá s negativní energetickou bilancí, jelikož většinu navržených prvků nelze energeticky využít. Některý odpad po likvidaci domu na bázi pórobetonu bude možné recyklovat a některý bude odvezen na skládku.

Řešené domy jsou ve výsledku porovnávány zejména podle celkové spotřeby energie v celém životním cyklu. Dále jsou domy hodnoceny podle vybraných kategorií dopadů, kterými jsou čerpání surovin, čerpání fosilních paliv, globální oteplování, poškozování ozonové vrstvy, tvorba fotooxidantů, acidifikace a eutrofizace.

LCA model byl vypočítán prostřednictvím software Bousteadtova modelu. V inventarizační fázi byly data pro výpočet LCA pro jednotlivé typy materiálů a jejich objemy získána z databází software SimaPro.

Dům na bázi dřeva

Pro výpočet LCA studie byl použit projekt rodinného domu na bázi dřeva s difúzně uzavřenou konstrukcí. Tento dům je navržen jako jednopatrový jednogenerační rodinný dům bez podsklepení, který je určen k dlouhodobému bydlení. Dům je situován v okrese Trutnov v nadmořské výšce 290 m. n. m.. Nákres rodinného domu na bázi dřeva je znázorněn na Obr. 2.



Obr. 2: Rodinný dům na bázi dřeva (Šedivka, Jaworková)

Dům na bázi pórobetonu

Druhým modelovým domem pro výpočet LCA studie byl použit projekt rodinného domu na bázi prvků z pórobetonu. Tento dům je navržen také jako jednopatrový jednogenerační rodinný dům bez podsklepení, který je určen k dlouhodobému bydlení. Dům je situován také v okrese Trutnov ve stejné nadmořské výšce. Nákres rodinného domu na bázi pórobetonu je znázorněn na Obr. 3.



Obr. 3: Rodinný dům na bázi pórobetonu (Šedivka, Jaworková)

5. Inventarizační fáze LCA

V rámci inventarizační fáze hodnocení LCA byly na základě stavebních projektů stanoveny objemy materiálů, které jsou potřebné pro výstavbu dané varianty rodinného domu.

5.1. Dům na bázi dřeva

Konstrukci domu na bázi dřeva tvoří:

- základové pásy, které jsou po obvodu vyžděny z betonových tvárnice ztraceného bednění a jsou vyztuženy ocelovými pruty
- základová deska je tvořena šterkopískovým ložím, horní vrstva je vylita z betonu; deska je také opatřena gumoasfaltovou hydroizolací a izolací proti radonu
- vodorovné a svislé konstrukce jsou tvořeny rámem z KVH hranolů ze smrkového dřeva (jedná se o sloupkovou konstrukci)
- výplň rámových konstrukcí tvoří měkké dřevovláknité tepelně-izolační desky
- opláštění rámu je řešeno ze strany exteriéru OSB deskami, za strany interiéru pak sádkartonem; OSB desky zajišťují statickou tuhost stavby
- celá konstrukce domu je navržena jako typ difúzně uzavřené stavby
- okna a dveře v rámci výplně obvodového pláště stavby a interiéru jsou ze smrkového dřeva ošetřené nátěrovým systémem
- podlahy v interiéru jsou z masivního dřeva jasanu
- střešní krytinu a oplechování tvoří plastem potahovaný plech

Při návrhu modelu této varianty rodinného domu bylo vybráno co největší množství materiálů z obnovitelných surovin na bázi dřeva a zároveň tak, aby bylo možné co největší množství materiálů buď energeticky využít anebo opětovně recyklovat. Materiálové složení varianty domu na bázi dřeva je uvedeno v příloze 1.

Spotřeba energií v průběhu životnosti domu na bázi dřeva:

Pro výpočet spotřeby energií pro hodnocení stavby na bázi dřeva v průběhu celé doby jejího užívání se uvažuje s dobou životnosti stavby 80 let s obsazením čtyřčlennou rodinou.

Spotřeba tepelné energie:

Ve výpočtu se neuvažuje s tepelnými ztrátami (větrání, rekuperace, přirozená ventilace, ochlazování proudícím větrem/sněhem/deštěm) anebo tepelnými zisky (od spotřebičů, sluneční záření) apod. Zdrojem tepla je navržené elektrické vytápění.

Topná sezóna se uvažuje v podmínkách Trutnovska 8 měsíců (každý rok říjen - květen).

Spotřeba energie pro vytápění byla vypočtena na základě obálkové metody spotřeby energie v průběhu životnosti dřevostavby (80 let) a pro výpočet modelu LCA činí:

$$Q_{\text{celková}} = 1036,586 \text{ MWh}$$

Spotřeba elektrické energie:

Spotřeba celkové elektrické energie na osvětlení, provoz domácích a kuchyňských spotřebičů (chladnička, mraznička, myčka na nádobí, pračka, sušička, vysavač, žehlička, televize), ohřev vody (bojler, provozní ztráty bojleru, tepelné ztráty vedením vody) mimo spotřeby elektrické energie na topení pro výpočet modelu LCA pro čtyřčlennou domácnost činí:

$$Q_{\text{el.}} = 639\,440 \text{ kWh}$$

Spotřeba pitné vody:

Celková spotřeba pitné vody pro čtyřčlennou domácnost rodinného domu na bázi dřeva na 80 let se uvažuje 11 680 000 litrů.

5.2. Dům na bázi pórobetonu

Konstrukci domu na bázi pórobetonu tvoří:

- konstrukce základů tvořená stejně jako v prvním případě základové pásy, které jsou po obvodu vyžděny z betonových tvárnic ztraceného bednění a jsou vyztuženy ocelovými pruty
- základová deska je tvořena štěrkopískovým ložím, horní vrstva je vylita z betonu; deska je také opatřena gumoasfaltovou hydroizolací a izolací proti radonu
- celý dům je navržen ze systému Ytong - konstrukčním materiálem obvodových stěn a příček byly zvoleny tepelně-izolační pórobetonové tvárnice spojené vápenocementovou maltou
- stropní konstrukce objektu je řešena pórobetonovými stropními dílci na vápenocementovou maltu - při návrhu modelu rodinného domu, byly použity klasické konstrukční prvky a bylo vybráno takové řešení, které se nejčastěji využívá při výstavbě ze systému Ytong
- okna a dveře v rámci výplně obvodového pláště stavby a interiéru jsou z plastu bez povrchového nátěrového systému
- podlahy v interiéru jsou podlahové vlysy s povrchovou úpravou z vysokotlakého laminátu
- střešní krytinu tvoří betonové tašky

Při návrhu modelu této varianty rodinného domu bylo vybráno co největší množství materiálů z neobnovitelných surovin tak, aby nebylo možné co největší množství materiálů buď energeticky využít anebo opětovně recyklovat. Materiálové složení varianty domu na bázi pórobetonu je uvedeno v příloze 2.

Spotřeba energií v průběhu životnosti domu na bázi pórobetonu

Pro výpočet spotřeby energií pro hodnocení stavby na bázi pórobetonu v průběhu celé doby jejího užívání se uvažuje s dobou životnosti stavby 80 let s obsazením čtyřčlennou rodinou.

Spotřeba tepelné energie

Ve výpočtu se neuvažuje s tepelnými ztrátami (větrání, rekuperace, přirozená ventilace, ochlazování proudícím větrem/sněhem/deštěm) anebo tepelnými zisky (od spotřebičů, sluneční záření) apod. Zdrojem tepla je navržené elektrické vytápění.

Topná sezóna se uvažuje v podmínkách Trutnovska 8 měsíců (každý rok říjen - květen).

Spotřeba energie pro vytápění byla vypočtena na základě obálkové metody spotřeby energie v průběhu životnosti stavby na bázi pórobetonu (80 let) a pro výpočet modelu LCA činí:

$$Q_{\text{celková}} = 1036,586 \text{ MWh}$$

Spotřeba elektrické energie

Spotřeba celkové elektrické energie na osvětlení, provoz domácích a kuchyňských spotřebičů (chladnička, mraznička, myčka na nádobí, pračka, sušička, vysavač, žehlička, televize), ohřev vody (bojler, provozní ztráty bojleru, tepelné ztráty vedením vody) mimo spotřeby elektrické energie na topení pro výpočet modelu LCA pro čtyřčlennou domácnost činí:

$$Q_{\text{el.}} = 639\,440 \text{ kWh}$$

Spotřeba pitné vody

Celková spotřeba pitné vody pro čtyřčlennou domácnost rodinného domu na bázi pórobetonu na 80 let se uvažuje 11 680 000 litrů.

6. Interpretace výsledků a dopady životního cyklu

6.1. Spotřeba energie při výrobě stavebních materiálů

Dům na bázi dřeva:

Ve výpočtu bylo zjištěno, že největší množství spotřebované energie připadne na výrobu tepelné izolace STEICO z dřevovláknitých desek. Oproti výrobě ostatních typů izolací se při výrobě této izolace spotřebuje poměrně málo energie. Ovšem výběrem kvalitní izolace, mohou pak být následně sníženy tepelné ztráty a spotřeba energie pro vytápění budovy. Izolace STEICO z dřevovláknitých desek má velmi dobré izolační vlastnosti a navíc je zdravotně nezávadná, a je vyrobena z obnovitelného materiálu (Hodková 2011).

Druhým nejnáročnějším materiálem pro výrobu veškerých stavebních materiálů domu na bázi dřeva je střešní krytina Lindab z pozinkovaného plechu. Ze všech dostupných střešních krytin, je tato krytina značně energeticky náročná při její výrobě. Velkou výhodou je její nízká hmotnost, díky které je usnadněna manipulace a zároveň je ušetřeno velké množství dřeva, které by muselo být použito pro unesení střešních tašek s vyšší hmotností (Mediterran 2016).

Dalším energeticky náročným materiálem při stavbě domu na bázi dřeva je výroba KVH hranolů. Velké množství energie je spotřebováno při vysoušení řeziva, při následném odstraňování vad, zařezávání hranolu na přesný rozměr, frézování zubových spojů a stlačování hranolů při vytvrzování pryskyřicových lepidel (Sandin a kol. 2014).

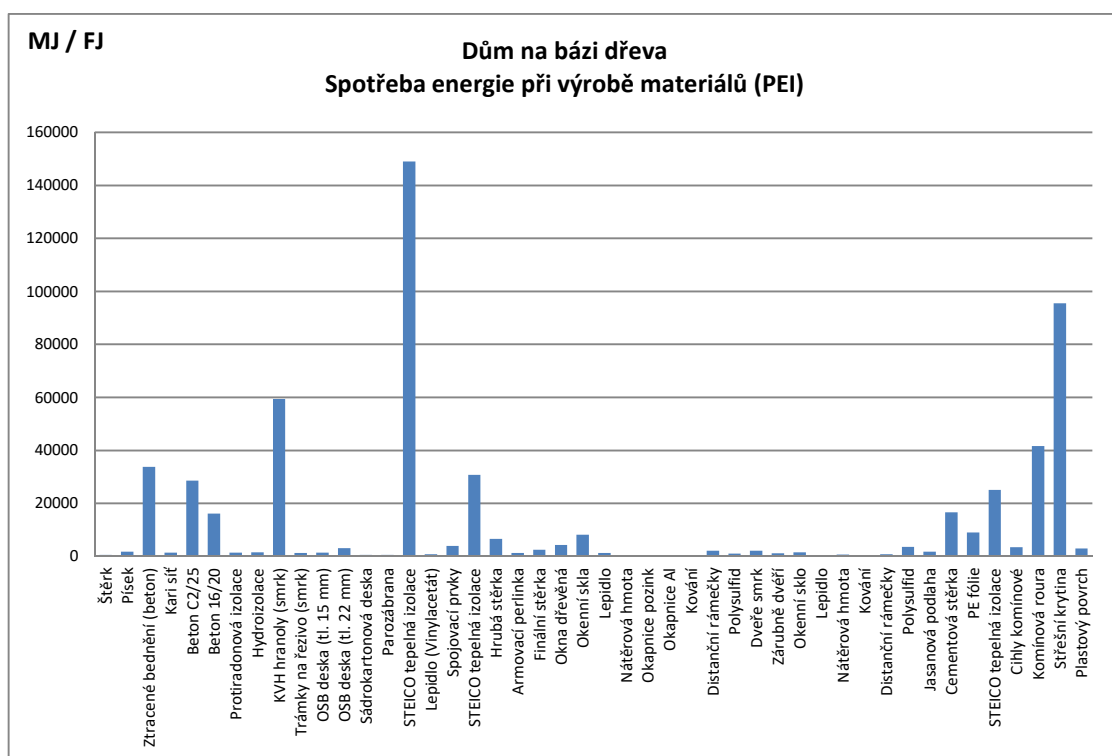
Dalším energeticky náročným materiálem při své výrobě je vložkový komínová roura z nerezové oceli. Stejná komínová roura je použita i pro dům na bázi pórobetonu. V průmyslové výrobě připadá největší část celkové spotřebované energie právě na hutní průmysl. Největší množství energie je spotřebováno pro roztavení železné rudy (Cenia 2013).

Velké množství energie se také spotřebuje při výrobě cementu, ze kterého se vyrábí beton a betonové prvky. Beton je použit zejména na základovou konstrukci, kterou tvoří betonové tvarovky ztraceného bednění a železo-betonová základová deska. Stejný typ základů je použit také pro dům na bázi pórobetonu. Dále je v obou rodinných domech použita cementová stěrka jako podkladová vrstva podlahy.

Nejvíce spotřebované energie při výrobě betonu je vypalování cementu při vysokých teplotách, které dosahují cca 1500 °C. Výroba cementu tak představuje celkem 2% z celkové světové spotřeby energie (Cenia 2013; Janyпка 2013).

Dále je velké množství energie spotřebováno při výrobě polyethylenové fólie, jelikož je pro jeho výrobu potřeba velké množství tepla a vyvinutí vysokého tlaku.

Celkové množství spotřebované energie pro výrobu materiálů pro dům na bázi dřeva je zobrazeno na grafu 1.



Graf. 1: Celková spotřeba energie při výrobě stavebních materiálů pro dům na bázi dřeva (Jaworková z dat MT Konzult)

Dům na bázi pórobetonu:

Největší množství spotřebované energie při výrobě materiálů pro dům na bázi pórobetonu připadne na výrobu pórobetonových tvárnic YTONG. Ze všech dostupných zdících materiálů patří pórobetonové tvárnice mezi energeticky méně náročné na jejich výrobu (Envimat 2010). Velké množství energie se spotřebuje při výrobě vápna a cementu, které se přidávají do tvárnic. Dále je mnoho energie spotřebováno na vytvrzení tvárnic, které se vytvrzují za pomoci vodní páry při teplotě 200 °C. Výrobce se snaží o maximální úsporu energie, například tím, že vodní páru použije vícekrát a zbytek energie se využije na vytápění. Ovšem pórobetonové tvárnice YTONG mají velmi dobré tepelně izolační vlastnosti a následně je tak ušetřeno velké množství energie pro vytápění objektu. (Sedlák 2012).

Druhým nejnáročnějším materiálem na výrobu stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu je tepelná izolace ISOVER z kameninové vlny. Jedná se o tepelnou izolaci, která je oproti ostatním dostupným izolacím velice energeticky náročná při výrobě. Velké množství energie je spotřebováno pro samotné vytěžení vstupních surovin, kterými jsou čedič, struska a diabas. Dále je mnoho energie vynaloženo do následného roztavení vstupních surovin při vysokých teplotách, materiál je dále stlačen, vytvrzen a formátován na přesný rozměr (Hodková 2011; Isover CZ 2015).

Velké množství energie je také spotřebováno při výrobě vložkové komínové roury z nerezové oceli. Stejná komínová roura je použita i pro dům na bázi dřeva. Velké množství energie je spotřebováno pro roztavení vstupního materiálu, čímž je železná ruda (Cenia 2013).

Dalším energeticky náročným materiálem je výroba betonového ztraceného bednění do základové konstrukce. Při výrobě betonu je jako pojivo přidáván cement, který je při své výrobě energeticky velmi náročný. Velké množství energie je spotřebováno právě při vypalování cementu při vysokých teplotách. Beton je dále použit pro vybetonování ztraceného bednění a na železo-betonovou základovou desku. Stejný typ základové konstrukce je navržen i pro dům na bázi dřeva. Dále je velké množství energie spotřebováno na výrobu betonové střešní krytiny, která je oproti ostatním vyráběným střešním krytinám méně energeticky náročná při své

výrobě. Stejně jako u domu na bázi dřeva je dalším náročným materiálem cementová stěrka, která tvoří podkladovou vrstvu podlahy (Cenia 2013; Mediterran 2016).

Dalším energeticky náročným materiálem na výrobu je laminátová plovoucí podlaha. Tento typ podlahy se skládá ze tří vrstev, první je stabilizační vrstva, dále dřevovláknitá deska se střední hustotou a dekorativní povrchová vrstva. Velké množství energie tedy připadne na výrobu jednotlivých vrstev a na konečné slisování jednotlivých dílců plovoucí podlahy (Kweku 2019).

Velké množství energie je spotřebováno také na výrobu plastových dveří a oken. Vstupní surovinou pro výrobu plastu je ropa, nebo jiné suroviny. Výroba plastu je poměrně energeticky náročný proces, jelikož je vyráběn za působení vysokého tlaku a vysoké teploty (Cenia 2013).

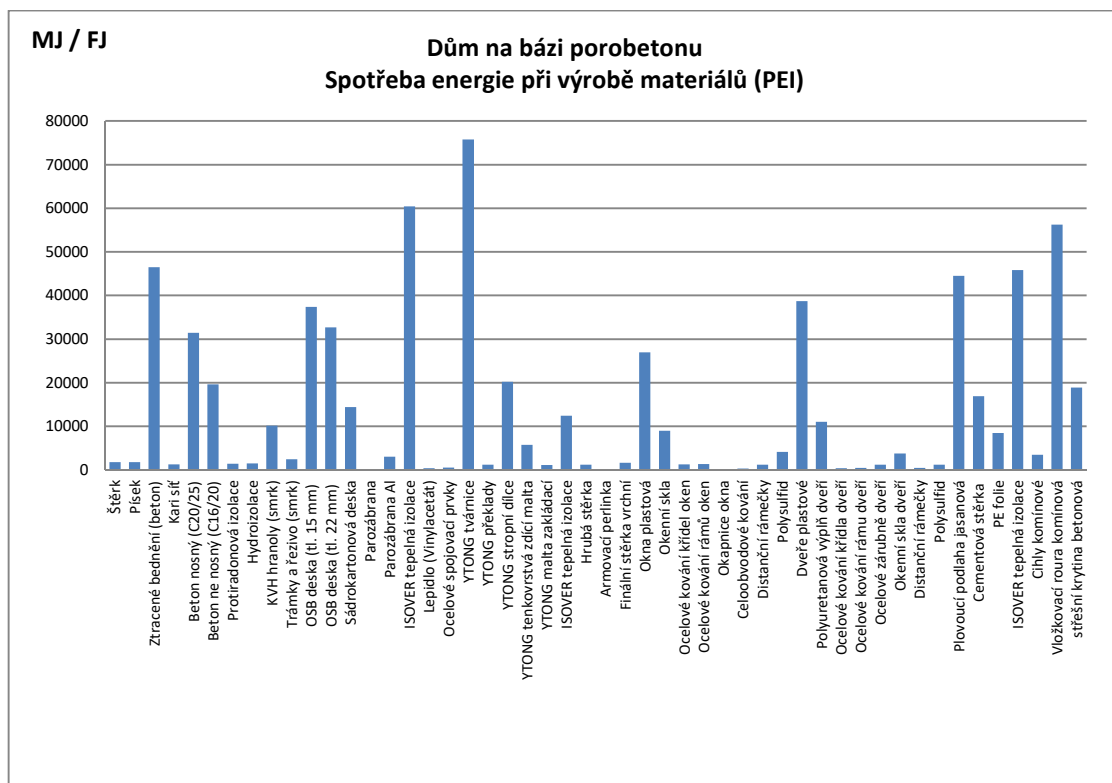
Dále je mnoho energie spotřebováno na výrobu OSB desek. Výroba OSB desek je poměrně složitý proces, který zahrnuje odkornění kulatiny, její roztřískování a následné sušení třísek, dále se na třísky rozstříkem nanáší lepidlo v bubnových nanašečkách, poté probíhá vrstvení a lisování třískového koberce za vysokých teplot. V poslední fázi jsou desky formátovány na požadovaný rozměr a klimatizovány v turniketech. V porovnání s ostatními vyráběnými aglomerovanými materiály je výroba OSB desek poměrně energeticky náročná. Největší část energie se spotřebuje právě pro sušení třísek, lisování třískového koberce a pro získání pryskyřicového lepidla. Dále je pro dům na bázi pórobetonu také náročná výroba sádrokartonových desek. Ve srovnání s ostatními dostupnými aglomerovanými materiály, je výroba sádrokartonových desek méně náročná. (Böhm 2012; Envimat 2010; Puettmann, Wilson 2005).

Dalším energeticky náročným materiálem při stavbě domu na bázi pórobetonu je výroba KVH hranolů, které jsou použity do střešní konstrukce. Pro dům na bázi pórobetonu je tedy použito menší množství těchto hranolů, než pro dům na bázi dřeva, kde je zvolen jako hlavní konstrukční prvek.

Dále je velké množství energie spotřebováno na výrobu okenních skel. Sklářský průmysl je velice energeticky náročný, jelikož je pro roztavení skla potřeba vyvinout velké množství tepla. Ovšem při použití kvalitního zasklení objektu, například použitím dvoj nebo trojskel, je pak možné snížit tepelné ztráty v objektu (Asociace sklářského a keramického průmyslu v ČR 2019)

Také je mnoho energie spotřebováno při výrobě polyethylenové fólie, jelikož je pro jeho výrobu potřeba velké množství tepla a vyvinutí vysokého tlaku. Stejný typ folie je použit také pro dům na bázi dřeva.

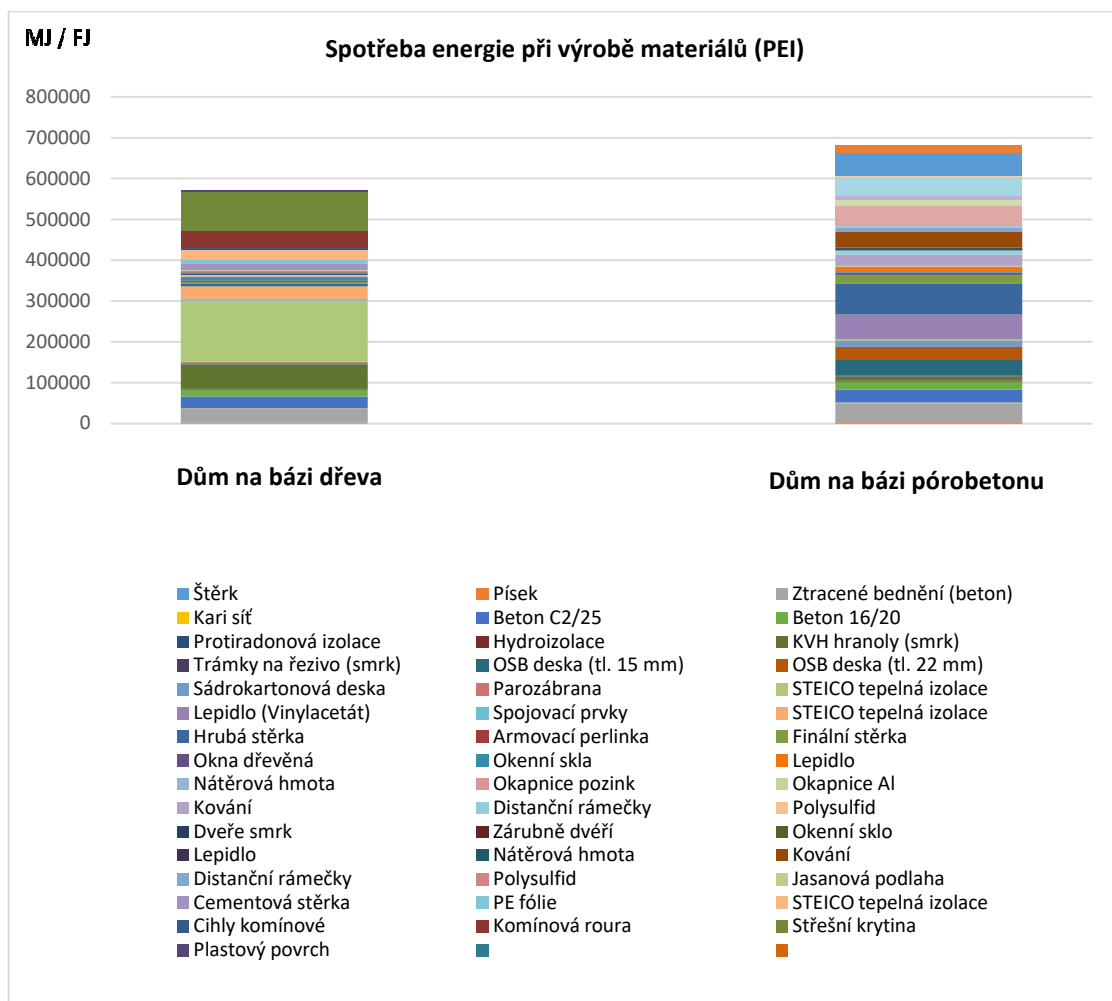
Celkové množství spotřebované energie pro výrobu materiálů pro dům na bázi pórobetonu je zobrazeno na grafu 2.



Graf. 2: Celková spotřeba energie při výrobě stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu (Jaworková z dat MT Konzult)

Shrnutí grafů:

Po porovnání obou grafů, bylo zjištěno, že nejvíce spotřebované energie připadne na výrobu stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu. Celkové vyhodnocení náročnosti obou staveb je zobrazeno na grafu 3.



Graf. 3: Celková spotřeba energie při výrobě stavebních materiálů obou domů (Jaworková z dat MT Konzult)

6.2. Spotřeba energie v životním cyklu

Dům na bázi dřeva:

Nejvíce spotřebované energie připadne na vytápění objektu elektrickou energií. Pro vytápění objektů připadne asi 30% z celkové spotřeby energie v České republice. Topná sezóna v okrese Trutnov je uvažována každý rok od října do května v průběhu životnosti celé stavby, která je přibližně 80 let. Množství energie pro vytápění objektu je závislé na velikosti objektu, regionu, druhu izolace a zvykům obývajících osob. Výhodou domů na bázi dřeva je to, že je lze velmi dobře izolovat i při malé tloušťce stěn. V porovnání s ostatními možnostmi vytápění objektu, je zvolený druh vytápění poměrně náročný na spotřebu energie (Topinfo 2019). Stejně množství energie pro vytápění objektu je spotřebováno i pro dům na bázi pórobetonu.

Dále je velké množství energie čerpáno při spotřebě elektrické energie ve fázi užívání objektu. Největší část elektrické energie je spotřebována pro ohřev vody a provoz domácích spotřebičů. Menší část energie je pak spotřebována na osvětlení objektu. Vzhledem k dobrým klimatickým podmínkám v České republice, není potřeba energie pro klimatizaci objektu (Zenkner 2017). Stejně množství energie je spotřebováno i pro dům na bázi pórobetonu.

Mnoho energie je také spotřebováno při výrobě materiálů pro stavbu a pro samotnou výstavbu objektu. Ovšem ve srovnání spotřeby energie v průběhu užívání objektu je množství spotřeby energie pro fázi výstavby menší. Pro výstavbu domu na bázi dřeva je spotřebováno menší množství energie než pro dům na bázi pórobetonu.

Malé množství spotřebované energie připadne na spotřebu vody v celém životním cyklu budovy. Stejně množství spotřebované vody se předpokládá i pro dům na bázi pórobetonu.

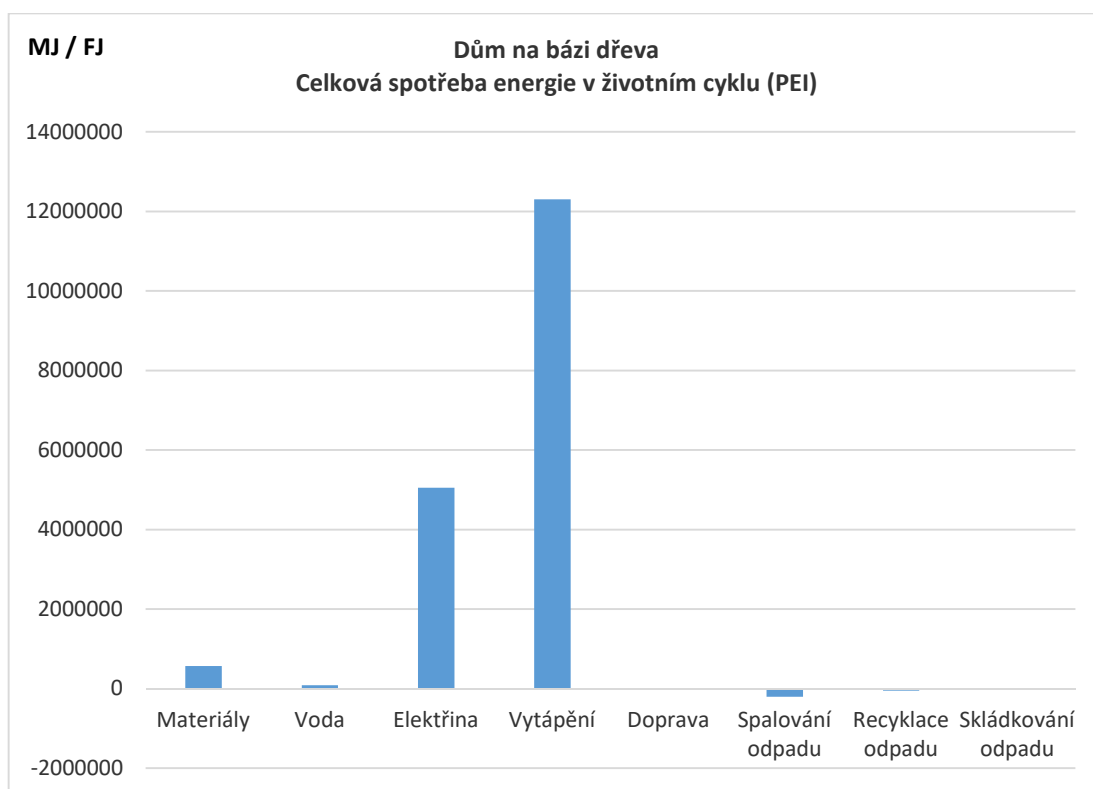
Menší množství energie je čerpáno na skládkování odpadu po likvidaci objektu. Stejně množství spotřebované energie se předpokládá i pro dům na bázi pórobetonu.

Minimální množství energie připadne na dopravu materiálů na stavbu. Stejně množství energie je spotřebováno i pro dopravu stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu.

Energie pro spalování odpadu dosahuje záporných hodnot, jelikož při spalování odpadu z domu na bázi dřeva můžeme většinu odpadu znovu energeticky využít. Tato energie je využita pro výrobu tepla a elektřiny. Větší množství této energie můžeme získat z domu na bázi dřeva, než z domu na bázi pórobetonu (OEnergetice 2018).

Stejně je tomu tak i u recyklace odpadu, kdy energie dosahuje záporných hodnot a část této energie můžeme získat zpět.

Celkové množství spotřebované energie v celém životním cyklu pro jednotlivé kategorie u domu na bázi dřeva je zobrazeno na grafu 4.



Graf. 4: Celková spotřeba energie v životním cyklu domu na bázi dřeva (Jaworková z dat MT Konzult)

Dům na bázi pórobetonu:

Nejvíce spotřebované energie případně také na vytápění objektu elektrickou energií. Dům na bázi pórobetonu se nachází ve stejné lokalitě, tudíž se topná sezóna uvažuje také každý rok od října do května v průběhu životnosti celé stavby, která je přibližně 80 let. Stejně jako u domu na bázi dřeva je množství energie pro vytápění objektu také závislé na velikosti objektu, regionu, druhu izolace a zvykům obývajících osob. Oba domy mají stejnou užžitnou plochu, nachází se ve stejném regionu a byly předpokládány požadavky na stejný komfort života. Objekt byl zároveň izolován tak, aby měl stejné hodnoty součinitele prostupu tepla jako dům na bázi dřeva (Topinfo 2019). Stejně množství energie pro vytápění objektu je tudíž spotřebováno i pro dům na bázi dřeva.

Dále je také velké množství energie čerpáno při spotřebě elektrické energie při užívání objektu. Ve fázi užívání objektu je stejně tak jako u domu na bázi dřeva největší část spotřebována pro ohřev vody a provoz domácích spotřebičů. Menší část energie je pak spotřebována na osvětlení objektu. Pro oba vzorové domy jsou předpokládány stejné požadavky na komfort života (Zenkner 2017). Stejně množství energie ve fázi užívání je tudíž spotřebováno i pro dům na bázi dřeva.

Mnoho energie je také spotřebováno pro výrobu materiálů pro stavbu a pro samotnou výstavbu objektu. Ovšem ve srovnání spotřeby energie v průběhu užívání objektu je množství spotřeby energie pro fázi výstavby menší. Pro výstavbu domu na bázi pórobetonu je spotřebováno větší množství energie než pro dům na bázi dřeva.

Malé množství spotřebované energie případně na spotřebu vody v celém životním cyklu budovy. Stejně množství spotřebované vody se předpokládá i pro dům na bázi dřeva.

Menší množství energie je čerpáno na skládkování odpadu po likvidaci objektu. Stejně množství spotřebované energie se předpokládá i pro dům na bázi dřeva.

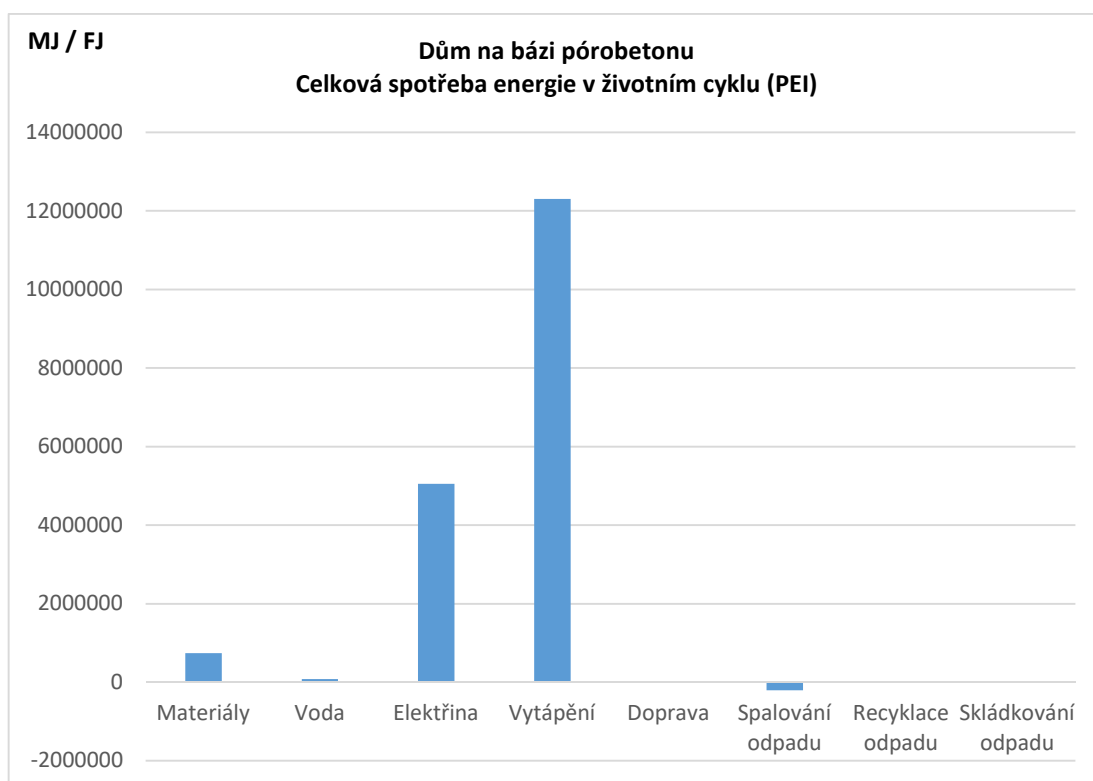
Minimální množství energie případně také na dopravu materiálů na stavbu. Stejně množství energie je spotřebováno i pro dopravu stavebních materiálů pro dům na bázi dřeva.

Energie pro spalování odpadu dosahuje záporných hodnot, jelikož při spalování odpadu z domu na bázi pórobetonu můžeme některý odpadu znovu energeticky

využít. Tato energie je využita pro výrobu tepla a elektřiny. V porovnání s domem na bázi dřeva, můžeme energeticky využít jen menší část odpadu z domu na bázi pórobetonu (OEnergetice 2018).

Stejně je tomu tak i u recyklace odpadu, kdy energie dosahuje záporných hodnot a část této energie můžeme získat zpět.

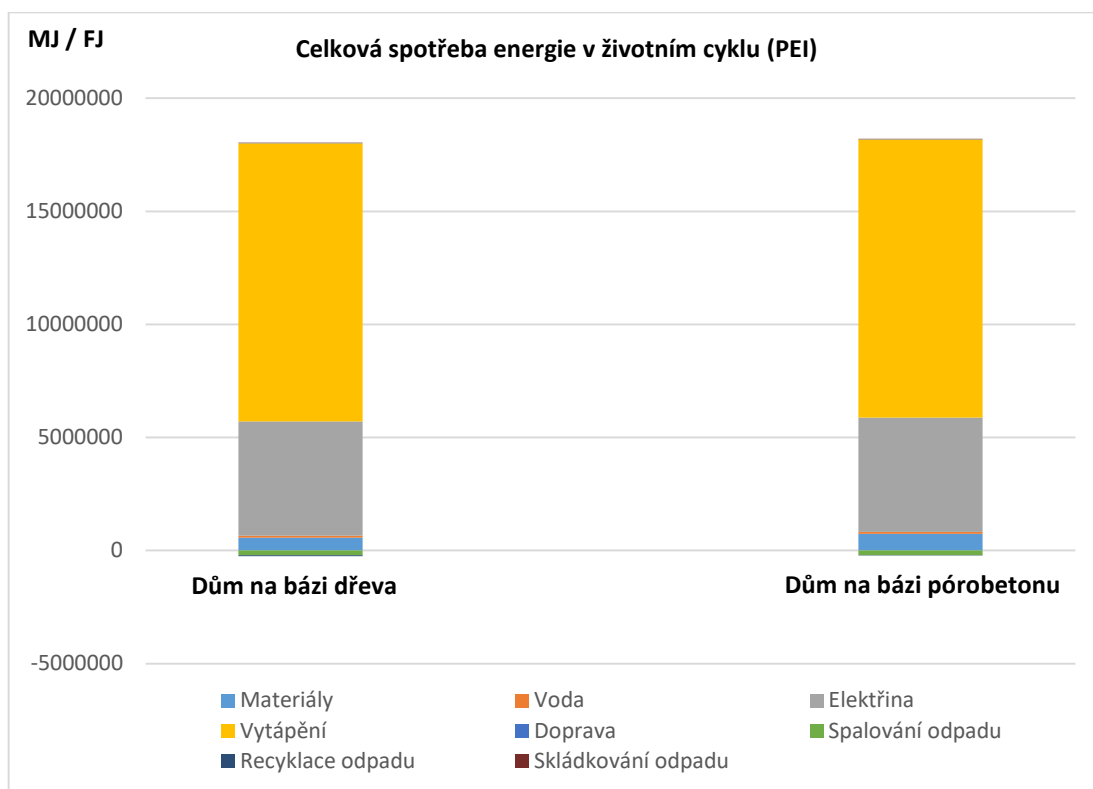
Celkové množství spotřebované energie v celém životním cyklu pro jednotlivé kategorie u domu na pórobetonu je zobrazeno na grafu 5.



Graf. 5: Celková spotřeba energie v životním cyklu domu na pórobetonu (Jaworková z dat MT Konzult)

Shrnutí grafů:

Po porovnání obou grafů bylo zjištěno, že oba domy se při spotřebě energie v celém životním cyklu liší pouze minimálně. To je dáno zejména tím, že oba domy mají stejnou životnost 80 let a jsou předpokládány stejné požadavky pro užívání objektu. Domy se liší pouze v množství spotřebované energie pro výrobu stavebních materiálů, kdy je dům na bázi pórobetonu náročnější. A dále se liší v množství získané energie při recyklaci odpadu, kdy dům na bázi pórobetonu vychází opět jako horší, jelikož velké množství stavebních materiálů nelze recyklovat. Celkové vyhodnocení náročnosti obou staveb je zobrazeno na grafu 6.



Graf. 6: Celková spotřeba energie v životním cyklu obou domů (Jaworková z dat MT Konzult)

6.3. Vybrané kategorie dopadů

6.3.1. Čerpání surovin

Oba domy jsou z hlediska čerpání surovin nejvíce zatíženy při čerpání elektrické energie, které je nejvíce potřeba pro vytápění objektů a pro užívání domácích spotřebičů. Ve fázi užívání je životní prostředí zatěžováno nejdelší dobu, a to po celou dobu životnosti, která je u obou objektů předpokládána na 80 let. Zdrojem elektrické energie jsou obnovitelné a neobnovitelné suroviny. Velkou hrozbou pak může být právě čerpání neobnovitelných zdrojů elektrické energie. Velké množství surovin je také spotřebováno pro výrobu stavebních materiálů. Dům na bázi dřeva vychází z pohledu spotřeby surovin lépe, jelikož hlavním konstrukčním prvkem je dřevo, které je obnovitelnou surovinou a navíc lze velké množství materiálů vyrobit z recyklovaného dřeva.

Další složkou z hlediska čerpání surovin je spotřeba vody v domácnostech. Celkové množství spotřebované vody závisí zejména na zvycích osob, které objekty užívají. Pro oba domy je tedy předpokládáno stejné množství spotřebované vody.

Při stavbě domu na bázi dřeva, jsou kladeny vyšší nároky na dopravu, jelikož je potřeba převézt rozměrnější a těžší náklad. Je tedy spotřebováno větší množství paliv než při dopravě stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu.

Spalování materiálů po demolici domů vychází v záporných hodnotách, jelikož je po spálení získána tepelná energie a zároveň jsou tak ušetřeny neobnovitelné zdroje pro výrobu tepla. Dům na bázi dřeva vychází při spalování odpadu lépe než dům na bázi pórobetonu.

Recyklace materiálů u domu na bázi dřeva dosahuje také záporných hodnot, jelikož při znovu využití materiálu jsou ušetřeny vstupní suroviny pro výrobu nových materiálů. Recyklace materiálů u domu na bázi pórobetonu vychází v kladných hodnotách, jelikož se nepředpokládá s recyklací pórobetonových tvárnic.

6.3.2. Čerpání fosilních paliv:

Z hlediska čerpání fosilních paliv, je životní prostředí také nejvíce zatíženo při vytápění objektu a čerpání elektrické energie. Fosilní paliva jsou neobnovitelným zdrojem surovin. Patří mezi ně především uhlí, ropa a zemní plyn. V České republice

je největším zdrojem elektrické energie právě uhlí, které představuje 58% ze všech využívaných zdrojů energie. Dalším zdrojem jsou pak jaderné elektrárny, které představují 35% a obnovitelné zdroje pak představují pouze 7% (Cenia 2013; Mastný a kol. 2011).

Pro výrobu materiálů domu na bázi dřeva je spotřebováno menší množství fosilních paliv, než pro dům na bázi pórobetonu.

Dále jsou fosilní paliva spotřebována z důvodu čerpání vody ve fázi užívání objektů. Pro oba domy je předpokládaná stejná spotřeba vody.

Čerpání fosilních paliv pro dopravu materiálu na stavbu vychází pro dům na bázi dřeva opět hůře.

Spalováním a recyklací odpadu po demolici domu na bázi dřeva, je možné opět ušetřit část fosilních paliv. Spálení odpadu z domu na bázi pórobetonu vychází také v záporných hodnotách, recyklace nikoliv.

6.3.3. Globální oteplování

Dalším negativním dopadem životního prostředí je globální oteplování, které je způsobeno vysokým podílem skleníkových plynů v atmosféře. Pro oba domy se vyprodukuje nejvíce skleníkových plynů při výrobě elektrické energie pro vytápění objektu a pro další čerpání elektrické energie. Pro oba domy jsou tyto hodnoty stejné. Z globálního hlediska je největším zdrojem skleníkových plynů právě výroba elektřiny (Cenia 2013).

Dále je velké množství skleníkových plynů vyprodukováno při výrobě stavebních materiálů. Ve stavebnictví je největším problémem uvolňování skleníkových plynů při vypalování cementu (Skullestad a kol. 2016). Pro dům na bázi pórobetonu je největší množství vyprodukovaných skleníkových plynů při vypalování cementu, který je oproti domu na bázi dřeva použit jak do základové konstrukce, tak do hlavního konstrukčního prvku, kterými jsou betonové tvárnice, dále pak do podkladové vrstvy podlahy. U domu na bázi dřeva je cement použit pouze do základové konstrukce a do podkladové vrstvy podlahy.

Další část těchto nežádoucích plynů je produkována při zpracování a výrobě aglomerovaných materiálů, které jsou převážně použity pro stavbu domu na bázi

dřeva. Ovšem dřevo je při svém růstu schopno pohltit více CO₂, než je vyprodukováno při jejím zpracování. Celkové množství uvolněných skleníkových plynů z výroby materiálu pro dům na bázi dřeva je menší než pro dům na bázi pórobetonu (Chybík 2009).

Na globální oteplování má také vliv nadměrné čerpání vody.

Dalším zdrojem skleníkových plynů je doprava materiálů na stavbu. Doprava obecně je významným zdrojem znečišťování ovzduší (Vráblíková a kol. 2014). Při stavbě domu na bázi dřeva, je produkce skleníkových plynů vyšší, jelikož je potřeba převážet rozměrné materiály s vysokou hmotností.

Zdrojem skleníkových plynů je také následné spalování odpadů po demolici objektu. Hodnoty u domu na bázi dřeva vycházejí záporné, jelikož spálením odpadu ve spalovnách získáme energii zpět, a jsou tak sníženy emise skleníkových plynů při výrobě elektřiny z neobnovitelných zdrojů. Ze spalování odpadu z demolice domu na bázi dřeva ušetříme více skleníkových plynů, než z domu na bázi pórobetonu.

Stejně je tomu tak i u recyklace odpadů, kdy je znovu využitím odpadu ušetřeno velké množství produkovaných skleníkových plynů.

6.3.4. Narušení ozonové vrstvy

Dalším negativním dopadem je narušení ozonové vrstvy, které způsobují halony, freony, methan a oxidy dusíku. Ozonová vrstva je nejvíce poškozována emisemi z elektráren při výrobě elektrické energie pro vytápění a další spotřebu energie při užívání objektu. Vzhledem k dobrým klimatickým podmínkám není potřeba oba objekty klimatizovat, a není tak vypouštěno velké množství freonů z klimatizačních zařízení (Jeníček, Foltýn 2010).

Ozonová vrstva je dále poškozována při výrobě stavebních materiálu. Výroba materiálů pro dům na bázi dřeva je opět šetrnější, než výroba materiálů pro dům na bázi pórobetonu.

Dále ozonovou vrstvu ovlivňuje čerpání vody v domácnostech.

Z hlediska zatížení dopravou vychází dům na bázi dřeva opět hůře, než dům na bázi pórobetonu.

Spalování a recyklace odpadu z domu na bázi dřeva vychází také v záporných hodnotách, kdy je sníženo velké množství látek poškozující ozonovou vrstvu (Krátká 2013).

6.3.5. Vznik fotooxidantů

Dále je životní prostředí negativně ovlivněno vznikem fotooxidantů, které vznikají z emisí těkavých organických látek, oxidu dusíku, oxidu uhelnatého a metanu. Největší množství těchto látek je produkováno při výrobě elektrické energie.

Vypuštěné emise při výrobě materiálu pro dům na bázi dřeva vycházejí lépe, než pro dům na bázi pórobetonu.

Dále vznik fotooxidantů ovlivňuje čerpání vody v domácnostech a vypouštění odpadních vod.

Z hlediska dopravy materiálu pro dům na bázi dřeva je vyprodukováno větší množství emisí, jelikož jsou kladeny vyšší nároky na přepravu stavebních materiálů.

Spalování a recyklace odpadu z demolice domu na bázi dřeva vychází opět v záporných hodnotách.

6.3.6. Acidifikace

Negativním dopadem životního prostředí je dále acidifikace prostředí, která vzniká z emisí oxidu siřičitého a oxidu dusíku. Acidifikaci prostředí pak nejvíce ovlivňuje výroba elektřiny pro vytápění objektu a čerpání energie ve fázi užívání objektu. Při spalování uhlí pro výrobu elektrické energie je uvolňováno velké množství oxidů siřičitého (Cenia 2013).

Dále je velké množství těchto látek produkováno při výrobě stavebních materiálů. V porovnání s domem na bázi pórobetonu je pro dům na bázi dřeva vyprodukováno menší množství škodlivých látek způsobující acidifikaci prostředí.

Acidifikaci prostředí také ovlivňuje čerpání vody a následné vypouštění odpadní vody do prostředí.

Při dopravě stavebních materiálů na stavbu domu na bázi dřeva je produkováno větší množství oxidu dusíku, než při dopravě stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu (Cenia 2013).

Spálením a recyklací odpadu z domu na bázi dřeva je možné ušetřit velké množství oxidu siřičitého a oxidu dusíku, které by museli být vyprodukovány pro získání nového materiálu.

6.3.7. Eutrofizace

Dalším negativním dopadem je také eutrofizace prostředí, která vzniká z živin dusíku a fosforu v povrchových vodách. Největším zdrojem tohoto znečištění je energetický průmysl, kdy je produkováno velké množství odpadních vod.

Dále je část těchto živin produkována při výrobě stavebních materiálů. Při výrobě materiálů pro dům na bázi dřeva je produkováno jen o malé množství více těchto látek než při výrobě materiálů pro dům na bázi pórobetonu.

Vznik eutrofizace také ovlivňuje čerpání vody v domácnostech a zejména její vypouštění ve formě odpadních vod, kdy se do prostředí vypouští velké množství fosfátových pracích prostředků a saponátů (Moldan 2015).

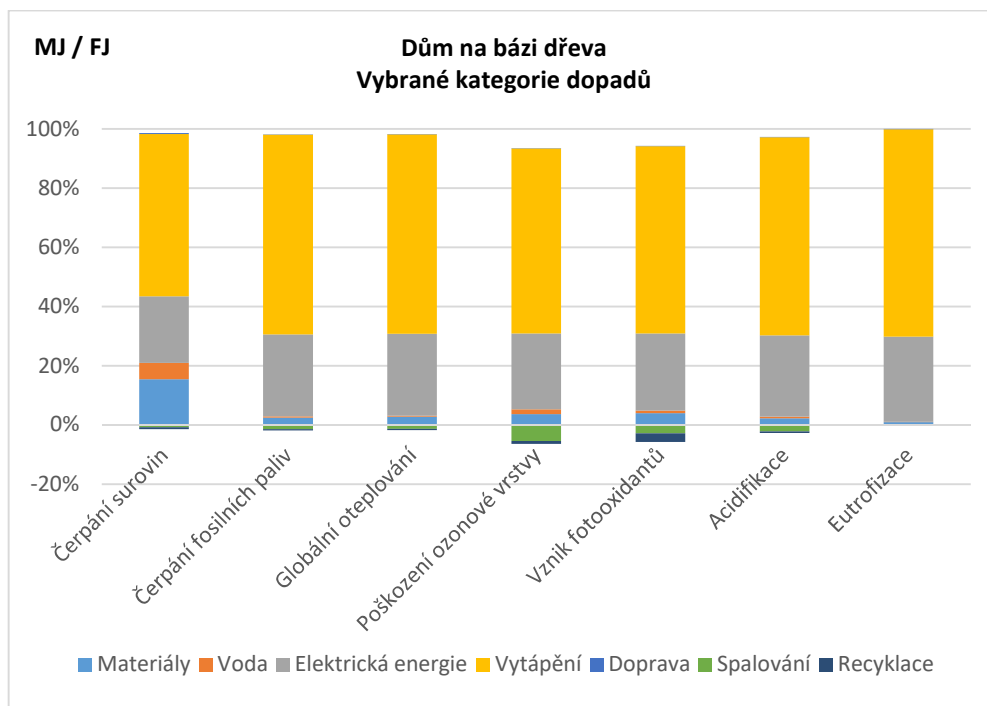
Eutrofizaci vod dále ovlivňuje doprava stavebních materiálů, kdy se v atmosféře vyskytuje velké množství dusíku z výfukových plynů, což má za následek znečištění povrchových a podzemních vod. Při převozu materiálu také může dojít k ekologickým haváriím, kdy se do prostředí dostane velké množství škodlivých látek. Doprava stavebních materiálů pro dům na bázi dřeva je z hlediska dopadu eutrofizace náročnější, než doprava stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu (Cenia 2013).

Další příčinou eutrofizace vod je spalování odpadu po likvidaci domů. Při spalování odpadu jsou produkovány oxidy dusíku.

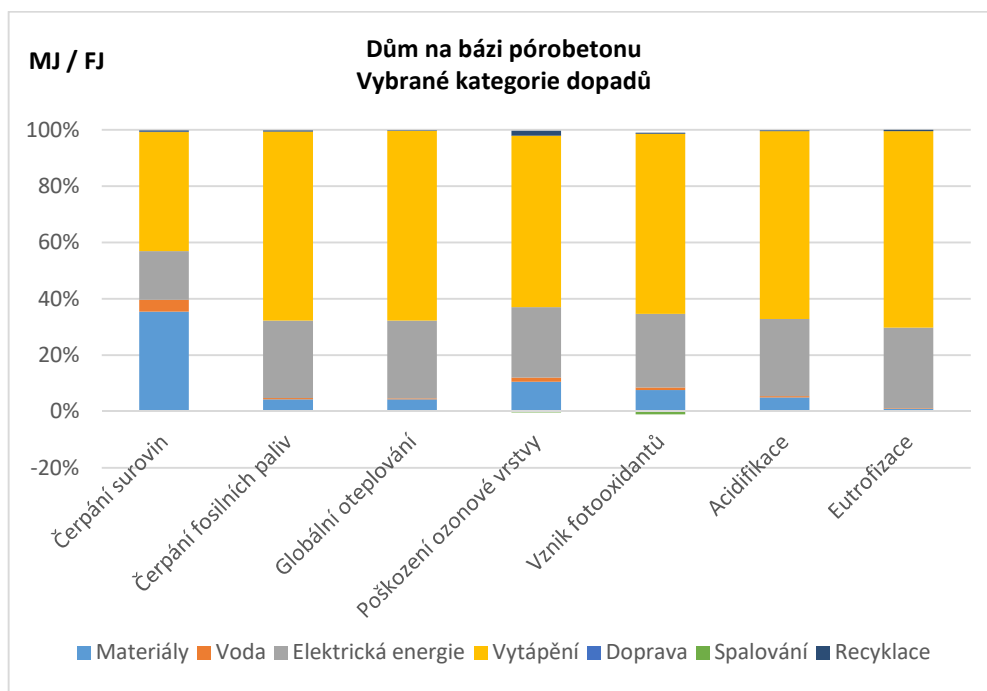
Recyklování odpadu z domu na bázi dřeva opět dosahuje záporných hodnot, jelikož je možné ušetřit velké množství fosforu a dusíku, které by byli vyprodukovány při výrobě nových materiálů.

6.3.8. Vyhodnocení vybraných kategorií

Vyhodnocení vybraných kategorií domu na bázi dřeva a domu na bázi pórobetonu je zobrazeno na grafu 7 a 8.



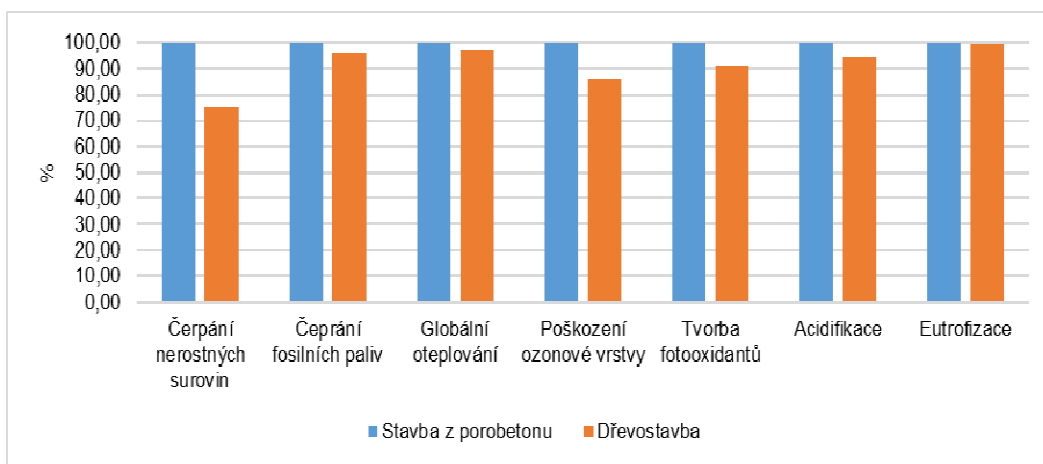
Graf. 7: Vybrané kategorie dopadů domu na bázi dřeva (Jaworková z dat MT Konzult)



Graf. 8: Vybrané kategorie dopadů domu na bázi pórobetonu (Jaworková z dat MT Konzult)

Shrnutí grafů:

Po porovnání obou grafů, bylo zjištěno, že ve všech kategoriích dopadů je pro životní prostředí šetrnější dům na bázi dřeva. V porovnání s domem na bázi pórobetonu je jediným náročnějším procesem doprava stavebních materiálů na stavbu, jelikož jsou na stavbu převáženy rozměrnější materiály a také materiály s vyšší hmotností. V ostatních ohledech vychází dům na bázi dřeva lépe, tudíž v konečném srovnání je dům na bázi dřeva k životnímu prostředí šetrnější. Celkové vyhodnocení obou staveb je znázorněno na grafu 9.



Graf. 9: Vybrané kategorie dopadů domu obou domů (Jaworková z dat MT Konzult)

7. Diskuze

Zvýšení využití dřeva ve stavebnictví by mohlo vést ke snížení environmentálních dopadů životního prostředí. V současnosti se dřevo nejvíce používá pro konstrukci střechy. Podíl stavěných dřevostaveb je v České republice velmi malý, jelikož se kolem dřevostaveb šíří nepravdivé mýty. Je to například obava o tom, že dřevostavby rychle shoří, nebo je mohou napadnout škůdci, a že mají špatnou tepelnou a zvukovou izolaci. Ovšem tyto domněnky nejsou zcela pravdivé, jelikož dřevo sice hoří, ale dřevěná konstrukce při požáru drží svůj tvar, až do úplného prohoření konstrukce. Dřevěná konstrukce tedy vydrží déle než ocel, která při zvyšování teploty teče a tím se zborší v kratším časovém intervalu. Co se týče milných domněnek ohledně napadení dřevostavby škůdci, tak je pravda taková, že jsou veškeré prvky opatřeny ochrannými nátěry a není se tedy třeba obávat o napadení konstrukce. Tepelné a izolační vlastnosti dřevostaveb jsou také dobré a zároveň lze docílit kvalitního zaizolování objektu i při malé tloušťce stěn. Z důvodu těchto nepravdivých mýtů pak lidé pro stavbu svého domu raději zvolí osvědčený materiál, kterým je cihla. Dřevo zatím nemá v České republice tradici. Bylo by vhodné dřevostavby dostat do podvědomí lidí. Tomu by mohla napomoci větší informovanost a vyvrácení těchto nepravdivých mýtů (Růžička 2006).

Vzhledem k tomu, že největší část elektrické energie je spotřebována ve fázi užívání objektu pro vytápění a další čerpání elektrické energie, bylo by vhodné se zaměřit na šetření energetických zdrojů právě v této oblasti. Toho by se mohlo docílit například tím, že by se pro vytápění objektu zvolilo raději tepelné čerpadlo, které získává tepelnou energii z okolního prostředí, jako je vzduch, či půda a tím šetří neobnovitelné energetické zdroje. Dále by mohlo být vhodným řešením vytápění dřevem. Při tomto způsobu vytápění je do ovzduší produkován oxid uhličitý, ale vzhledem k tomu, že ho stromy při svém růstu pohlcují, tak je konečná bilance nulová (Cenia 2013). Dalším vhodným řešením by mohla být instalace solárních panelů, které pak mohou ušetřit energii pro ohřev vody a vytápění objektu. Zdrojem energie těchto panelů je sluneční záření, které je nevyčerpatelnou složkou životního prostředí (Matuška 2013).

Největší množství dřevního odpadu ze stavebnictví je využíváno pro energetické účely. Což je v rámci šetření přírodních zdrojů velká škoda, jelikož

nejideálnější možností jak naložit s odpadem by mělo být jeho opětovné nebo materiálové využití. Například kůra z odkorněné kulatiny se může použít pro mulčování porostu v zahradnictví a zemědělství. Nebo dřevní odpad ve formě pilařských odřezků, pilin nebo třísek může být použit pro výrobu aglomerovaných materiálů. Samozřejmě jen v případě, pokud by se odpad nepřevážel příliš velkou vzdáleností do výrobního závodu (Jaworková 2016).

8. Závěr

Ve stavebnictví je mnoho faktorů ovlivňujících životní prostředí. Je to například druh použitého materiálu pro stavbu. Objekt může být sice postaven z ekologických materiálů, ale na druhé straně může mít například horší tepelně izolační vlastnosti, a tím jsou kladeny vyšší nároky pro vytápění objektu. Také velice záleží na regionu vystavěného objektu, například rozdílným zdrojem elektrické energie. V jedné lokalitě může být jako zdroj energie použit neobnovitelný materiál, který zároveň znečišťuje ovzduší a v jiných oblastech může být využíván šetrnější způsob získání elektrické energie za pomoci obnovitelných zdrojů, čímž může být snížena environmentální náročnost objektů v dané oblasti. Zároveň může být v mnoha lokalitách rozdílná míra pravděpodobnosti vzniku konkrétního dopadu na životní prostředí. V jedné oblasti může být například zvýšené riziko vyčerpání neobnovitelných surovin, jinde zase zvýšené riziko vzniku acidifikace a eutrofizace prostředí.

Po porovnání obou domů z hlediska spotřeby energie pro výrobu stavebních materiálů bylo zjištěno, že dům na bázi dřeva je v tomto ohledu šetrnější vůči životnímu prostředí. Pro výrobu stavebních materiálů pro dům na bázi pórobetonu je spotřebováno mnohem více energie než pro dům na bázi dřeva. Také bylo zjištěno, že množství spotřebované energie v celém životním cyklu obou domů se liší pouze nepatrně, jelikož nejvýznamnější spotřebu energie představuje spotřeba energie ve fázi užívání objektů, která má nejdélší trvání. Dále byly oba domy hodnoceny podle vybraných kategorií dopadů. Z hlediska čerpání nerostných surovin je dům na bázi dřeva o 25% šetrnější, než dům na bázi pórobetonu. Z hlediska čerpání fosilních paliv je dům na bázi dřeva šetrnější pouze o 5%. Dále byla hodnocena míra globálního oteplování, kdy bylo zjištěno, že dům na bázi dřeva vychází o 5% lépe. Z hlediska dopadu poškození ozonové vrstvy pak dům na bázi dřeva vychází o 15% šetrnější. Dále z hlediska tvorby fotooxidantů vychází dům na bázi dřeva o 10% lépe. Podle vzniku acidifikace pak o 7%. Z hlediska vzniku eutrofizace vod je míra dopadu domu na bázi dřeva zanedbatelná, jelikož vychází pouze o 1% lépe než dům na bázi pórobetonu. Ve všech řešených ohledech vychází dům na bázi dřeva jako šetrnější pro životní prostředí.

V rámci trvale udržitelného rozvoje, by bylo vhodné zvýšit využití dřeva ve stavebnictví. Dalším úkolem by mělo být zvýšení energetické účinnosti. Toho by se mohlo docílit například celkovou úsporou energie při užívání objektu, například vhodnou orientací ke světovým stranám, dobrými tepelně izolačními vlastnostmi apod. Také by se měla zlepšit efektivita využívání materiálových zdrojů, například zvýšením podílu využívání obnovitelných zdrojů a zároveň minimalizací využívání těch neobnovitelných. Také by se měly objekty navrhovat tak, aby měly dlouhou životnost. Dalším cílem by mělo být snížení množství emisí, které vznikají při výstavbě a užívání budov. Zároveň by se mělo snížit množství odpadů, které nelze recyklovat. Současně by se měla snížit spotřeba kvalitní pitné vody, například instalací dešťových kanalizací, ze kterých by bylo možné využívat méně kvalitní vodu pro zalévání zahrady, praní oděvů, splachování toalet apod. (Hájek 2007).

9. Přehled literatury a použitých zdrojů

Knižní zdroje:

BÖHM M., REISNER J., BOMBA J., 2012: Materiály na bázi dřeva. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha

HÁJEK P., 2007: Udržitelná výstavba budov a její uplatňování ve střední Evropě. Časopis stavebnictví 11-12/07, Praha

CHYBÍK J., 2009: Přírodní stavební materiály. Grada, Praha

FAVA J., CONSOLI F., 2013: Dr. Ian Boustead. The international Journal of Life Cycle Assessment 18: 1412

JAWORKOVÁ P., 2016: Environmentální náročnost dřevostaveb. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha

KOČÍ V., 2012: LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví. Česká rada pro šetrné budovy, Praha

KUCEROVA L., CERNIKOVA M., HRUBA B., 2014: Thermal Technical Assessment of Selected Constructions of Wooden Houses. Applied Mechanics and Materials 470: 988-991

MASTNÝ P., DRÁPELA J., MIŠÁK S., MACHÁČEK J., PTÁČEK M., RADIL L., BARTOŠÍK T., PAVELKA T., 2011: Obnovitelné zdroje elektrické energie. České vysoké učení technické v Praze, Praha

MATUŠKA T., 2013: Solární zařízení v příkladech. Grada Publishing a.s., Praha

MOLDAN B., 2015: Podmaněná planeta. Nakladatelství Karolinum, Praha

PUETTMANN M. E., WILSON J. B., 2005: Life-cycle analysis of wood products: Cradle-to-gate LCI of residential wood building materials. Wood and Fiber Science 37: 18-29

JENÍČEK V., FOLTÝN J., 2010: Globální problémy světa – v ekonomických souvislostech. C. H. Beck, Praha

KOLÁŘ K., REITERMAN P., 2012: Stavební materiály pro SPŠ stavební. Grada Publishing a.s., Praha

RŮŽIČKA M., 2003: Stavíme dům ze dřeva. Grada Publishing a.s., Praha

SANDIN G., PETERS G. M., SVANSTRÖM M., 2014: Life cycle assessment of construction materials: the influence of assumptions in end-of-life modelling. Int J Life Cycle Assess 19: 723-731

SEDLÁK J., 2012: A4- Materiály typické pro stavbu budov dle principů trvale udržitelné výstavby. Národní stavební centrum s.r.o., Brno

SKULLESTAD L. J., BOHNE R. A., LOHNE J., 2016: High-Rise Timber Buildings as a Climate Change Mitigation Measure - A Comparative LCA of Structural System Alternatives: SBE16 Tallinn and Helsinki Conference Build Green and Renovate Deep, Energy Procedia 96: 112-123

ŠTEFKO J., MÚČKA M., 2008: Environmentálne vlastnosti drevených stavebných konštrukcií. In: Dřevostavby: Sborník přednášek z odborného semináře se zahraniční účastí. Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola Volyně, Volyně: 209 – 216.

TAKANO A., HAFNER A., LINKOSALMI L., OTT S., HUGHES M., WINTER S., 2015: Life cycle assessment of wood construction according to the normative standarts. European journal of wood and wood products 73: 299-312

VLČEK J., DRKAL F., 1994: Technika a životní prostředí. České vysoké učení technické, Praha

VRÁBLÍKOVÁ J., VRÁBLÍK P., ZOUBKOVÁ L., 2014: Tvorba a ochrana krajiny. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem

Internetové zdroje:

ASOCIACE SKLÁŘSKÉHO A KERAMICKÉHO PRŮMYSLU ČR, 2019: Energetická náročnost. NETservis s.r.o., Praha, Online: <https://askpcr.cz/ostle/energeticka-narocnost>

CENIA, 2013: Vítejte na Zemi. Cenia, Praha, Online: <http://vitejtenazemi.cz/cenia/>

CHRÁMECKÝ T., 2018: Staví se stále více úsporných domů. Český statistický úřad, Praha, Online: <https://www.czso.cz/csu/czso/stavi-se-stale-vice-uspornych-domu>

ENVIMAT, 2010: Envimat. České vysoké učení technické v Praze, Praha, Online: <http://www.envimat.cz/>

HODKOVÁ J., 2011: Julie Hodková: Která tepelná izolace je nejvíce eko?. Ekolist.cz, Praha, Online: <https://ekolist.cz/cz/publicistika/nazory-a-komentare/julie-hodkova-ktera-tepelna-izolace-je-nejvice-eko>

JANEČEK J., 2014: LCA (analýza životního cyklu) a EPD (environmentální prohlášení o produktu). DEK a.s., Praha, Online: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1en%C3%AD-o-produktu-646>

KRÁTKÁ J., 2013: Mezinárodní den ochrany ozonové vrstvy. Ekologické centrum Most a Kralupy nad Vltavou, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most, Online: http://www.ecmost.cz/clanky.php?page=ozonova_vrstva

KWEKU, 2019: Plovoucí podlahy. Kweku s.r.o., Kolín, Online: <http://www.kweku.cz/plovouci-podlahy>

MEDITERRAN, 2016: Střešní krytiny – ekologické srovnání. Mediterran CZ s.r.o., Brno, Online: <https://www.terran.cz/informace/dalsi-informace/clanky/stresni-krytiny-srovnani>

NOVOTNÝ J., 2017: Neobnovitelná primární energie. České vysoké učení technické v Praze, Praha, Online: <https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>

OENERGETICE, 2018: Infografika: Odpad jako zdroj energie. Jak je využíván v ČR a Evropě?. OM Solutions s.r.o., Praha, Online: <https://oenergetice.cz/zivotni-prostredi/infografika-energeticke-vyuziti-odpadu-evrope-ceske-republice/>

TOPINFO, 2019: Porovnání nákladů na vytápění, teplou vodu a elektrickou energii – TZB-info: Výpočet a grafické porovnání včetně investičních a provozních nákladů. Topinfo s.r.o., Praha, Online: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-teplou-vodu-a-elektrickou-energii-tzb-info>

ZENKNER P., 2017: Nová čísla, jak Češi využívají energii. Spotřeba klesla o třetinu, uhlí vystřídal plyn., Online: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/nova-cisla-jak-cesi-vyuzivaji-energii-spotreba-klesla-o-tret/r~a9ed4fc4f9d111e6984a002590604f2e/?redirected=1553506134>

Ostatní zdroje:

KOŘEN V., 2010: Kyselá dešť. Tajemství vody II. Česká televize,

Praha, Online: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/10267535337-tajemstvi-vody-ii/210562210700008-kysele-deste/video/>

JANYPKA V, 2013: Energetický management – nástroj k dosažení úspor. Vápno, cement, ekologie, Schneider Electric, Praha, Online: <https://www.vumo.cz/wp-content/uploads/2015/05/energeticky-management.pdf>

ISOVER CZ, 2015: Isover – výroba MW. Isover CZ, Praha, Online: <https://www.youtube.com/watch?v=iqyhpQf3iyA>

10. Seznam příloh

Dům na bázi dřeva – materiálové vstupy	Objem/Množství	Jednotky
Štěrka	5,33000	m ³
Písek	5,33000	m ³
Ztracené bednění (beton)	1 125,00000	ks
Kari (ocelová) síť (průměr drátu 5 mm)	117,00000	m ²
Beton nosný (C20/25)	16,61760	m ³
Beton ne nosný (C16/20)	10,66000	m ³
Protiradonová izolace (asfaltové izolační pásy)	117,00000	m ²
Hydroizolace (gumoasfalt)	117,00000	m ²
Hoblované lepené KVH hranoly (smrk)	24,65900	m ³
Trámky a řezivo z masivního dřeva (smrk)	1,09700	m ³
OSB deska (tl. 15 mm)	6,78700	m ³
OSB deska (tl. 22 mm)	7,74100	m ³
Sádkartonová deska (tl. 12,5 mm)	12,29000	m ³
Parozábrana	446,88000	m ²
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknité desky tl. 140 mm)	96,56900	m ³
Lepidlo (Vinylacetát, D4)	11,25000	l
Spojovací prvky ocelové	126,00000	kg
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknité desky tl. 80 mm)	19,92030	m ³
Hrubá stěrka (tl. 17 mm)	4,24041	m ³
Armovací perlinka na omítku, typ R131 VERTEX (tl. 1 mm)	0,16365	m ³
Finální stěrka vrchní (tl. 15 mm)	3,31308	m ³
Okna dřevěná (eurookna) (smrk)	0,87006	m ³
Zasklení oken (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,25500	m ³
Lepidlo pro lepení EURO hranolků okna (PU LEPIDLO NA DŘEVO 66A)	0,00923	m ³

Povrchová nátěrová hmota na rámy oken tl. 0,04 mm (40 mikronů - 2 vrstvy), Compact Lac PU Remmers, Akrylát/PU)	0,00343	m ³
Okapnice okna (pozinkovaný plech, tl. 0,001 m)	0,00022	m ³
Hliníková okapnice okna	0,00112	m ³
Celoobvodové kování (ocelové)	0,00064	m ³
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly (tl. 0,15 mm, 10x15 mm, nerezová ocel (Rolltech))	0,00428	m ³
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,06707	m ³
Dřevo pro vchodové dveře (smrk)	0,41940	m ³
Ocelové zárubně dveří	0,00483	m ³
Zasklení oken dveří (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,04680	m ³
Lepidlo pro lepení biodesky (PU LEPIDLO NA DŘEVO 66A, tl. 0,0005 m)	0,00182	m ³
Povrchová nátěrová hmota na vchodové dveře a zárubně (tl. 0,04 mm (40 mikronů - 2 vrstvy), Compact Lac PU Remmers, Akrylát/PU)	0,00667	m ³
Celoobvodové kování (ocelové)	0,00037	m ³
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly	0,00171	m ³
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,02394	m ³
Jasanová podlaha z masivního dřeva (tl. 0,01 m)	1,08495	m ³
Cementová stěrka (tl. 0,05 m)	5,42475	m ³
Polyethylenová fólie (tl. 0,00125 mm, přelepené spoje)	0,13562	m ³
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknitá deska měkká, tl. 0,15 m)	16,27425	m ³
Cihly komínové (šamotované)	0,78669	m ³
Vložkový roura komínová (nerez ocel)	0,16542	m ³
Střešní krytina (pozinkovaný plech Lindab)	0,41056	m ³
Plastový povrch na plech Lindab	0,21896	m ³

Příloha 1: Materiálové složení rodinného domu na bázi dřeva (Jaworková)

Dům na bázi pórobetonu - materiálové vstupy	Objem/Množství	Jednotky
Štěrk	5,33000	m ³
Písek	5,33000	m ³
Ztracené bednění (beton)	1125,00000	ks
Kari (ocelová) síť (průměr drátu 5 mm)	117,00000	m ²
Beton nosný (C20/25)	16,61760	m ³
Beton ne nosný (C16/20)	10,66000	m ³
Protiradonová izolace (asfaltové izolační pásy)	117,00000	m ²
Hydroizolace (gumoasfalt)	117,00000	m ²
Hoblované lepené KVH hranoly (smrk)	4,22000	m ³
Trámky a řezivo z masivního dřeva (smrk)	2,18000	m ³
OSB deska (tl. 15 mm) (592,04 kg/m ³)	2,14000	m ³
OSB deska (tl. 22 mm) (592,04 kg/m ³)	1,87000	m ³
Sádkartonová deska (tl. 12,5 mm) (736,00 kg/m ³)	3,42000	m ³
Parozábrana (Extrusion, plastic film) (0,08 kg/m ²)	246,73000	m ²
Parozábrana (Al) (0,09 kg/m ²)	246,73000	m ²
Tepelná izolace ISOVER (kameninová vlna tl. 14 mm) (68,75 kg/m ³)	46,77000	m ³
Lepidlo (Vinylacetát, D4) (1,156 kg/m ³)	5,25000	l
Spojovací prvky ocelové	55,00000	kg
Objem YTONG tvárnic P2-400; P2-500	96,30700	m ³
Objem YTONG překladů P4, 4-600;	3,70200	m ³
Objem YTONG stropů, stropních vložek	19,76000	m ³
Tenkvrstvá zdící malta YTONG	404,02000	m ²
Malta zakládací TI YTONG	808,04000	m ²
Tepelná izolace (kameninová vata ISOVER, tl. 80 mm)	4,40345	m ³
Hrubá stěrka, tl. 17 mm	0,93940	m ³
Armovací perlinka na omítku, typ R131 VERTEX (tl. 1 mm)	0,01658	m ³
Finální stěrka vrchní, tl. 15 mm	0,82889	m ³
Plast pro okna plastová (PVAC)	0,36055	m ³
Zasklení oken (izolační trojsklo tl. 4 mm)	0,27966	m ³
Ocelové kování křídla okna, tl.1mm	0,00511	m ³

Ocelové kování rámu okna, tl.1mm	0,00534	m ³
Okapnice okna, tl. 1 mm, pozinkovaný plech	0,00028	m ³
Celoobvodové kování (ocelové) pro okna, 0,001x0,01 m	0,00145	m ³
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly pro okna, tl. 0,15 mm, 10x15 mm, nerezová ocel (Rolltech)	0,00361	m ³
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,08455	m ³
Plast pro vchodové dveře (PVAC)	0,51732	m ³
Polyuretanová výplň dveří	0,07931	m ³
Ocelové kování křídla dveří	0,00169	m ³
Ocelové kování rámu dveří	0,00176	m ³
Ocelové zárubně dveří	0,00483	m ³
Zasklení oken dveří (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,11856	m ³
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly oken, tl. 0,15 mm, 1,3*0,6 m, nerezová ocel (Rolltech)	0,00146	m ³
Polysulfid pro izolaci dveřního skla	0,02394	m ³
Plovoucí podlaha (vysokotlaký laminát, tl. 0,01 m)	1,08495	m ³
Cementová stěrka (vyrovnávací, podlahová tl.0,05 m)	5,42475	m ³
Polyethylenová fólie izolační (tl. 0,00125 m)	0,13562	m ³
Tepelná izolace (kameninová vata ISOVER, tl.0,15 m)	16,27425	m ³
Cihly komínové (šamotové)	0,78669	m ³
Vložkovací roura komínová (nerezová ocel)	0,16542	m ³
Střešní krytina (betonové tašky Bramac, tl. 0,025 m))	6,84273	m ³

Příloha 2: Materiálové složení rodinného domu na bázi pórobetonu (Jaworková)