

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Hodnocení životního cyklu domu na bázi CLT metodou LCA

Bakalářská práce

Autor: Lenka Horáková
Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lenka Horáková

Dřevařství

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Hodnocení životního cyklu domu na bázi CLT metodou LCA

Název anglicky

Estimation of CLT based building by Life Cycle Assessment

Cíle práce

Cílem práce je stanovení míry pozitivních a negativních vlivů dřevostavby na bázi CLT na životní prostředí. Pro relevantní posouzení je zvolena metoda LCA, konkrétně výpočet dle Bousteadtova modelu. Součástí práce je zpracování vypočítaných dat a vyhodnocení výsledků z vypočítaného LCA modelu.

Metodika

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

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

Life Cycle Assessment, CLT, 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
- 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., Buntenbach, 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., Liatas, C., Martinez 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

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 2. 5. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 07. 06. 2020

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Hodnocení životního cyklu domu na bázi CLT 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 bakalářské 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

.....

Poděkování:

Děkuji Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D. za odborné vedení této práce, cenné rady a připomínky. Poděkování také patří všem, kteří mi během psaní této práce byli oporou. Dále bych také ráda poděkovala své rodině za podporu a toleranci.

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se dělí na dvě části, kdy první část je věnována úvodu do problematiky CLT panelů, také seznámení s LCA metodou, její následné posloupnosti při jejím vypracování a seznámení s LCA software. Druhá praktická část se zabývá provedením LCA analýzy pro tři typy konstrukcí u totožných domů s danými kritérii. Jedná se o dřevostavbu z CLT panelů za použití především obnovitelných materiálů, poté sloupkovou dřevostavbu taktéž tvořenou pomocí obnovitelných materiálů. Třetí stavba je tvořena pórobetonovými tvárnicemi za pomoci dalších neobnovitelných materiálů. V rámci práce byla provedena inventarizační analýza s následným zjištěním dopadů na životní prostředí v rámci každé stavby, pomocí metody LCA. V práci byly zjištěny velikosti dopadů daných kategorií, kdy z celkového hlediska nejmenší dopad na životní prostředí vytváří stavba tvořená převážně z CLT panelů, zatímco největší dopad tvoří stavba pórobetonová.

Klíčová slova:

Posuzování životního cyklu, CLT, Životní prostředí

Abstract:

This bachelor thesis is divided into two parts, where the first part is devoted to an introduction to the issue of CLT panels, as well as acquaintance with the LCA method, its subsequent sequence in its development and acquaintance with LCA software. The second practical part deals with the implementation of LCA analysis for three types of structures for identical houses with the given criteria. It is a wooden building made of CLT panels using mainly renewable materials, then a column wooden building also created with the help of renewable materials. The third building consists of aerated concrete blocks using other non-renewable materials. As part of the study, an inventory analysis was performed with the subsequent determination of environmental impacts within each building, using the LCA method. The magnitude of the impacts of the given categories was found in the work, when from the overall point of view the smallest impact on the environment is created by a structure consisting mainly of CLT panels, while the largest impact is formed by an aerated concrete structure.

Key words:

Life Cycle Assessment, CLT, Environment

Obsah

1	ÚVOD	12
2	CÍLE PRÁCE	13
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	14
3.1	CLT PANELY	14
3.1.1	<i>Historie CLT</i>	14
3.1.2	<i>Suroviny pro výrobu CLT</i>	15
3.1.3	<i>Výroba CLT panelů</i>	15
3.1.4	<i>Použití CLT panelů</i>	17
3.1.5	<i>Výhody CLT panelů</i>	17
3.2	METODA LCA	17
3.2.1	<i>Fáze 1: Stanovení cílů a rozsahu</i>	19
3.2.2	<i>Fáze 2: Inventarizační analýza</i>	19
3.2.3	<i>Fáze 3: Posuzování dopadů životního cyklu</i>	20
3.2.4	<i>Fáze 4: Interpretace</i>	21
3.2.5	<i>Použití LCA</i>	21
3.2.6	<i>Zjednodušení LCA</i>	22
3.3	SOFTWARE PRO PROVÁDĚNÍ LCA	23
4	METODIKA	25
4.1	KRITÉRIA PRO VYHODNOCENÍ LCA	25
5	INVENTARIZAČNÍ ANALÝZA	27
5.1	DŮM TVOŘEN CLT PANELY	27
5.1.1	<i>Výpočet součinitele prostupu tepla</i>	28
5.2	DŮM TVOŘEN SLOUPKOVOU KONSTRUKCÍ	30
5.3	DŮM TVOŘEN PÓROBETONOVÝMI TVÁRNICEMI	30
6	VÝSLEDKY	32
6.1	VYBRANÉ KATEGORIE DOPADŮ	32
6.1.1	<i>Potenciál globálního oteplování</i>	32
6.1.2	<i>Potenciál acidifikace</i>	36

6.1.3	<i>Částice lidského zdraví</i>	40
6.1.4	<i>Potenciál eutrofizace</i>	44
6.1.5	<i>Úbytek stratosférického ozonu</i>	48
6.1.6	<i>Potenciál smogu</i>	52
6.1.7	<i>Celková primární energie</i>	56
6.1.7.1	<i>Neobnovitelná energie</i>	56
6.2	SHRNUTÍ KATEGORIÍ DOPADŮ VŠECH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ	60
7	DISKUZE	62
8	ZÁVĚR	64
9	SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	66
10	SEZNAM PŘÍLOH	70
11	PŘÍLOHY	71

Seznam tabulek, obrázků a grafů

Seznam tabulek:

Tabulka 1 Software pro LCA.....	24
Tabulka 2: Celkové vyhodnocení LCA pro všechny tři stavby	61

Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Rozměry elementů CLT panelu.....	16
Obrázek 2 - Fáze LCA	18
Obrázek 3: Skladba stěny z CLT panelu.....	27
Obrázek 4: Dům tvořen CLT panely.....	28
Obrázek 5: Výpočet součinitele prostupu tepla.....	29
Obrázek 6: Výsledek výpočtu součinitele prostupu tepla.....	29
Obrázek 7: Dům tvořen sloupkovou konstrukcí	30
Obrázek 8: Dům tvořen pórobetonovými tvárnicemi	31

Seznam grafů:

Graf 1: LCA dle konstrukcí - Potenciál globálního oteplování.....	33
Graf 2: LCA dle životního cyklu - Potenciál globálního oteplování	36
Graf 3: LCA dle konstrukcí - Potenciál acidifikace	37
Graf 4: LCA dle životnosti cyklu - Potenciál acidifikace	40
Graf 5: LCA dle konstrukcí - Částice lidského zdraví.....	41
Graf 6: LCA dle životního cyklu - Částice lidského zdraví.....	44
Graf 7: LCA dle konstrukcí - Potenciál eutrofizace	45
Graf 8: LCA dle životního cyklu - Potenciál eutrofizace	48
Graf 9: LCA dle konstrukcí - Úbytek stratosférického ozonu	49
Graf 10: LCA dle životního cyklu - Úbytek stratosférického ozonu	52

Graf 11: LCA dle konstrukcí - Potenciál smogu.....	53
Graf 12: LCA dle životního cyklu - Potenciál smogu	55
Graf 13: LCA dle konstrukcí - Celková primární energie	58
Graf 14: LCA dle životního cyklu - Celková primární energie.....	60
Graf 15: Procentuální vyjádření aritmetického průměru všech celkových výsledků vybraných kategorií dopadu	61

1 Úvod

Planeta Země je pro lidský život nejdůležitější aspekt. Lidé ale postupně většími nároky pro pohodlí svého života tuto planetu devastují, proto je aktuálně velkým trendem životní prostředí, ekologie a udržitelnost naší planety ve stávajícím či lepším stavu pro další generace.

Jedním ze základních požadavků pro kvalitní život je zajištění bydlení, v ideálním případě v rodinném domě. Zároveň výstavby budov mají za následek velké dopady pro planetu Zemi a je tedy důležité zabývat se tím, jaký materiál či zvolená konstrukce pro rodinný dům tvoří dopady a jaké materiály je vhodné používat k jejich snížení.

Vzhledem k tomuto trendu vznikla nová celosvětově uznávaná metoda hodnocení dopadů na životní prostředí pro celou životnost objektu, takzvaně od kolébky po hrob. Jde o metodu nazývanou LCA, která se zabývá dopady od samotné těžby produktu, výstavbu, používání až po demolici a recyklaci. Stejně tak se i na trhu objevují nové materiály vhodné nejen pro stavbu rodinných domů, ale i jiných konstrukcí. Jedním z nich je právě CLT panel, jakožto materiál z obnovitelných zdrojů, který je schopen zajistit totožný komfort na bydlení jako byl u stávajících materiálů a je ekonomicky přijatelný. Je tedy důležité věnovat se tomu, který materiál je přínosný ke zmenšování dopadů na planetu Zemi a které materiály jsou z tohoto hlediska vhodné pro výstavbu rodinných domů. Smyslem práce je tedy i posouzení, zda je vhodným materiálem již zmíněný CLT panel a zda pro životní prostředí přináší spíše negativa či pozitiva, oproti posouzení se sloupkovou dřevostavbou a stavbou z pórobetonu pomocí metody LCA.

Bez ohledu na nové možnosti a trendy je stále málo informací, co se týče materiálů a stavebních konstrukcí na výstavbu rodinných domů a zhodnocení jejich následných dopadů metodou LCA.

Motivací pro zvolení tohoto tématu je zájem o nalezení nejvhodnějšího konstrukčního materiálu pro budoucí domov nové generace.

2 Cíle práce

Cílem této práce je zjistit pozitivní a negativní vlivy plynoucí z hodnocení životního cyklu dřevostavby z CLT panelů na životní prostředí, které je doplněné o výsledné porovnání se stavbou z pórobetonu a sloupkovou dřevostavbou při dodržení stanovených kritérií. Těmito kritérii jsou: zachování totožného vnitřního objemu domu, shodný součinitel prostupu tepla, identický návrh domu s totožným geografickým umístěním, propočítaným s dobou životnosti stavby na 80 let. Vyhodnocení je provedeno pomocí metody LCA a s využitím zvoleného software Athena Impact Estimator for Buildings, která zajistí objektivní posouzení.

3 Literární rešerše

Literární rešerše se dělí na tři části, kdy v první kapitole jsou představeny CLT panely, následující kapitola se zabývá LCA metodou a ve třetí je krátké seznámení se software pro provádění LCA.

3.1 CLT panely

CLT panely neboli celým názvem cross-laminated timber. Často také nazývány jako X-LAM nebo českým obdobným názvem: konstrukční systém dřevěných panelů z masivních vrstvených lamel. Jedná se o novou technologii zpracování dřeva, která se využívá převážně ve stavebnictví, přesněji o masivní panel, který tvoří určitý počet vrstev, které jsou k sobě vždy pokládány křížem. Vrstvy dále tvoří dřevěné lamely. Toto kolmé vrstvení zajišťuje panelům vysokou tvarovou stálost.

Tyto panely jsou vhodné pro konstrukce stropů, stěn a střech. Jedná se o prefabrikovanou výrobu, tudíž každý prvek jako jsou okna, dveře či schodiště jsou dokonale vyříznuty už ve výrobních halách podle stavebního plánu. Jediné omezení při výrobě CLT panelů je velikost výrobních linek a dopravních limitů, které značně ovlivňují velikost prefabrikovaného panelu (Pavlas, 2016).

3.1.1 Historie CLT

První CLT panel byl vyroben v Rakousku firmou KLH Massivholz GmbH s čím je i spjato označení CLT panelů jako KLH. Tato firma vznikla roku 1999 a dodnes si drží přední pozici v produkci CLT panelů. Na rozvoji CLT panelů se podílejí vědecká pracoviště a vlivné podniky dřevozpracujícího průmyslu. Na svém začátku nebyla šíře výrobců CLT nikterak velká, avšak postupem času se výroba velice rozšířila. Většina odborné veřejnosti předpokládá značný růst toho trendu, především v oblasti Ameriky, zejména Kanady jakožto velkého producenta dřevostaveb. S tímto trendem je spjatý i budoucí vývoj panelů z obdobných dřevin, jakožto reakce na zvyšující se konkurenci a udržitelný rozvoj lesů (Pavlas, 2016).

3.1.2 Suroviny pro výrobu CLT

Pro výrobu CLT panelů se používají především jehličnaté dřeviny jako je smrk, jedle či borovice. V budoucnu se uvažuje také o dřevinách listnatých, jako je akát či buk, jelikož dojde k obměně druhových skladeb v lesích (Růžička, 2019).

Pro výrobu se výhradně používají fošny a prkna, která nejsou opracována a nachází se v okrajové části kmene daného stromu. Tyto dřeviny jsou vybrány pro dobré mechanické vlastnosti, kterými jsou pevnost a tuhost, ale především pro nižší cenu.

Rozměry jednotlivých formátů jsou dány v poměru 4:1, kdy šířka je okolo 80 až 240 mm a tloušťka 10 až 45 mm, avšak rozměry se mohou lišit dle výrobce (Kuklík a kol., 2011).

Vlhkost prken je po vysušení $12\% \pm 2\%$, čímž je zajištěna vysoká stabilita a zabráněno tvorbě trhlin. Jejich hustota se pohybuje kolem 500 kg/m^3 (Storaenso, 2015).

3.1.3 Výroba CLT panelů

Pro přesnost veškerých prvků, rychlost montáže a také rychlost výroby se materiál zpracovává na CNC strojích. Nejprve dochází k třídění dřeva. Vnější vrstvy požadují minimální pevnostní třídu C24. Jako jeden z kroků je vyřezání vad z lamel. Následuje podélné lepení za pomoci zubovitých spojů, kdy se musí dodržet rozestup spojů minimálně o jednu třetinu šířky lamely. Dále se ohobluje každá strana lamely. Jako následující krok se provede spojování do vrstev, kdy jsou lamely bočně spojovány pomocí drážek, per, na sraz či kónicky. Vrstvy se k sobě následně ukládají, tak aby byl směr lamel vždy kolmo na předchozí vrstvu (Kuklík a kol., 2013).

Většinou mají panely tři až sedm vrstev, které jsou slepeny polyuretanovým lepidlem (Jakoubková, 2017).

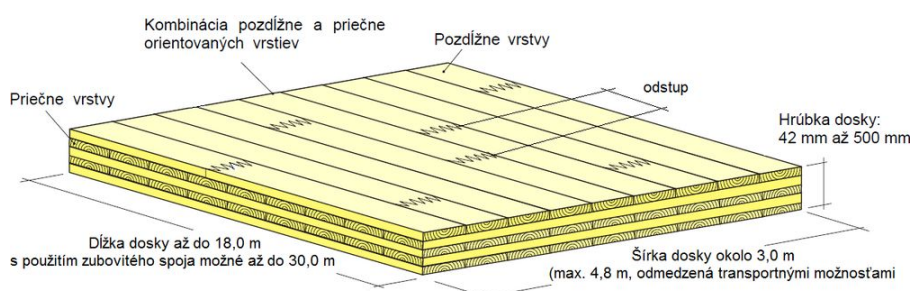
Také se používají lepidla melaminová či fenolická, od kterých se však z důvodu potenciálního úniku formaldehydu do interiéru v posledních letech upouští.

Další možností je spojování pomocí mechanických spojovacích prostředků (Kuklík a kol., 2013).

Aby byla zajištěna tuhost spoje, nanáší se lepidlo po celé ploše v rovnoměrné vrstvě. Následující proces je lisování panelů (Kuklík a kol., 2011).

Poté dochází k finálnímu opracování a následné expedici, která je jedním z faktorů určující velikost samotného CLT panelu. Jako další faktor je technologické vybavení daného provozu. Vzhledem k limitujícím přepravním možnostem se většinou maximální velikost panelů pohybuje v rozmezí 10 – 13 m délky, 2,5 – 3,5 m výšky a 0,06 – 0,4 m tloušťky. Pokud je požadován delší rozměr panelu, je možné ho buď v celku vyrobiť prefabrikací a následně připlatit za přepravu nadměrného nákladu, anebo ho nastavit zubovitým spojem přímo na místě stavby. Panely se rozlišují na tři třídy pohledové kvality a to: průmyslová, pohledová a nepohledová.

Při montáži dochází k osazení panelů spojovacím kováním a jejich následné spojení. Jako poslední krok je opláštění panelů tepelnou izolací, omítkou či jinou úpravou (Kuklík a kol., 2013).



Obrázek 1 - Rozměry elementů CLT panelu (Sandanus a kol., 2014)

CLT panely nejsou schopné zajistit tepelnou ochranu, která je vyžadována a proto je nutné opláštění tepelnou izolací. Toto opláštění se provádí zpravidla na vnější stranu obvodové stěny daného panelu pomocí vláknitých materiálů. Tepelná ochrana neboli izolace se dále zakryje například difuzní fólií a následně dřevěným obkladem. U vnitřní strany panelu se následné obložení řeší podle zvolené třídy pohledové kvality, kdy je možné ponechat panel surový či použít sádkartonové obložení (Havířová, 2006).

3.1.4 Použití CLT panelů

CLT panely mají hojné využití ve stavebnictví, a to jako vnitřní a obvodové stěny. Také jsou používány jako stropní či střešní konstrukce, průvlaky anebo sloupy. Pokud mají tyto panely v sobě otvory na okna, dveře či schody je možné je použít bez jakéhokoliv dalšího vyztužení. Při požití panelů na balkóny je nutné desku vykonzolovat či alespoň bodově podepřít (Kuklík a kol., 2013).

Panely se obecně hojně využívají pro stavby rodinných domů. V poslední době se jejich užití rozšířilo i pro vícepodlažní budovy. Jednou z těchto staveb je devítipodlažní budova zvaná Murray Grove Tower v Londýně, která je zároveň pilotním projektem stavby těchto rozměrů z CLT panelů (Pavlas, 2016).

3.1.5 Výhody CLT panelů

Jedna z výhod CLT je to, že je postaven ze dřeva, a tudíž je ekologický. Je výhodný i z pohledu spotřeby energie pro výrobu a přepravu. Také se vyznačuje jako velmi dobrý izolant, má výbornou protipožární odolnost, je rozměrově stabilní a tím se vyznačuje i velkou stabilní únosností. Další výhodou je i pozitivní bilance CO₂. Výstavba je velmi rychlá a snadná. Vzhledem k tloušťce stěn, zajistí také více jak o 10% obytné plochy. Staví se převážně za sucha, má výrazně nižší hmotnost oproti jiným běžně používaným materiálům a především je stavba z CLT panelů odolná proti zemětřesení (Storaenso, 2013).

Mnozí také ocení zdravotní nezávadnost, vůni dřeva a nezávadné klima uvnitř objektu. Panely mají nižší náklady na výstavbu. A jejich výhody jsou i vzduchotěsnost a pevnost (Jakoubková, 2017).

3.2 Metoda LCA

Metoda LCA se začala používat kolem 70. a 80. let dvacátého století. V 90 letech pro ni byla přijata norma mezinárodní organizací pro normalizaci. Tato norma je označena jako ISO 14 400. Tím se od roku 1990 metoda LCA začala používat ve stavebnictví. Je to metoda, která porovnává takzvaně od kolébky

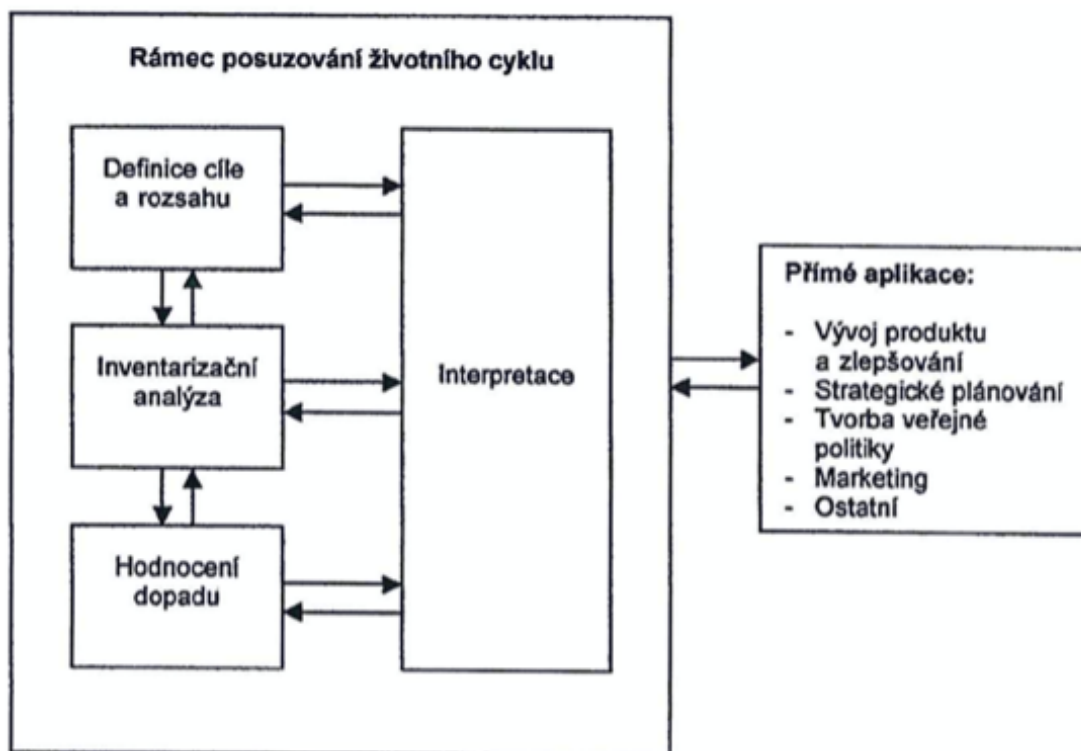
do hrobu. Přesněji se jedná o posouzení dopadu na životní prostředí, kdy se posuzuje vliv procesu nebo produktu na životní prostředí po celou jeho životnost (Cabeza a kol., 2014).

Tedy od samotné těžby suroviny na daný výrobek, výroby, zpracování materiálu, použití, úpravu, produkci energie, likvidaci, ale i následnou recyklaci.

Tento přehled zajišťuje identifikaci a případné vyvarování se environmentálnímu dopadu mezi jednotlivými procesy či fázemi životního cyklu (ČSN EN ISO 14040, 2006).

Metoda LCA se dělí na 4 následující fáze:

- 1) Stanovení cílů a rozsahu,
- 2) Inventarizační analýza,
- 3) Posuzování dopadů životního cyklu,
- 4) Interpretace výsledků (Cabeza a kol., 2014).



Obrázek 2 - Fáze LCA (ČSN EN ISO 14040, 2006)

„Rozsah, včetně hranice systému a úrovně detailu LCA, závisí na předmětu a zamýšleném užití studie. Hloubka a šíře LCA se může významně lišit v závislosti na cíli dané studie LCA (ČSN EN ISO 14044, 2006).“

3.2.1 Fáze 1: Stanovení cílů a rozsahu

V prvotní fázi je zapotřebí stanovit určité parametry. Mezi tyto parametry patří funkce neboli služba produktu. Jedná se o to, za jakých podmínek a k čemu tato služba slouží. U funkce je avšak nutné určit, která daná funkce produktu je ta klíčová. Dalším parametrem je funkční jednotka. Funkční jednotka určuje velikost funkce. Funkční jednotka musí být z pravidla měřitelná a také v konkrétních jednotkách (např. kg, t, m³, l, kus/rok). Při metodě LCA je důležité srovnávat pouze stejnou funkci, která je definována stejnou funkční jednotkou. Dalším parametrem je referenční tok, který zajišťuje množství výrobku potřebné k dosažení funkce danou funkční jednotkou. Toto množství se většinou měří v kilogramech, litrech nebo kusech. Na rozdíl od funkční jednotky se referenční tok může lišit v závislosti na produktu. Dále se také berou v potaz toky pomocné, čímž se rozumí nátěrový materiál, obalový materiál, nátěry a podobně. Pro studii jsou také potřebné hranice systému, které mají za úkol oddělit podstatné procesy od těch nepodstatných. Důležitost a větší obsáhlost těchto procesů totiž působí na výstupy LCA, ale také na samotnou komplikovanost a obtížnost vypracovávané studie. Pokud nedochází ke zhoršení kvality, je vhodné se pokusit tyto hranice, co nejvíce definovat a omezit. Hranice systému se definují i z geografického hlediska, protože v každé lokalitě mohou mít jiný dopad. Následné získání prvních předběžných výsledků umožňuje upravení hranic systému, protože některé procesy jsou pro danou studii zanedbatelné (Kočí, 2012).

3.2.2 Fáze 2: Inventarizační analýza

Inventarizační analýza slouží k vyčíslení množství veškerých energetických a materiálových vstupů a výstupů. V prvotní fázi se tvoří model produktového systému, kdy je zapotřebí identifikovat veškeré aplikované procesy a s nimi související vstupy a výstupy. Tím že se tyto procesy spojí do funkčního celku pomocí energetických a materiálových toků vznikne již zmiňované schéma produktového systému. K tomu je zapotřebí dostatek vstupů, výstupů a velikost daných toků. Tyto informace lze získat od provozovatelů zařízení či z databází.

Dále je možné se setkat s tím, že několik produktů, může mít jeden nebo i několik společných procesů. Typickým příkladem je situace, kdy se vypaluje více různých cihel v jedné cihlářské peci. Vhodným rozdělením vstupů a výstupů ke konkrétnímu produktu se zabývá takzvaná alokace. Ta se uskutečňuje většinou na základě počtu kusů, hmotnosti produktu nebo ekonomické hodnotě (Kočí, 2012).

„Vyskytují se tři základní případy, kdy je třeba otázku alokace řešit:

- 1. Z procesu či skupiny procesů vystupuje větší množství vedlejších produktů s různými funkcemi.*
- 2. Do procesu vstupuje více paralelních vstupů.*
- 3. Dochází k recyklaci (Kočí, 2012). “*

Následujícím krokem je výpočet ekovektoru produktového systému, který se tvoří tím, že sečteme veškeré ekovektory jednotlivých procesů. Ekovektor propočítává potřebné množství spotřebovávaných surovin a také množství látek, které jsou vyzařované do okolního prostředí. Hlavním úkolem je získat konečné hodnoty veškerých elementárních toků. Ekovektory mohou být celého životního cyklu, meziprojektu složené a také jednotkové. K prezentaci vypočtených dat slouží takzvaná inventarizační tabulka, která se zabývá souhrnem všech materiálů a energií, které nesplňují hranice produktového systému (Kočí, 2012).

3.2.3 Fáze 3: Posuzování dopadů životního cyklu

Posuzování dopadů životního cyklu již není možné posuzovat na základě ekovektoru nebo vyloučených látek do prostředí. Posuzuje se hlavně vyčíslení určitých škod, které působí na životní prostředí. K tomu se používají indikátory kategorie dopadu, které hodnotí velikost negativních vlivů mající dopady na životní prostředí. Tyto indikátory se dělí na 2 druhy, a to na mindpointový, který definuje případnou schopnost způsobit dopady, a indikátor endpointový, který představuje míru konečných dopadů na životní prostředí. Dále je zapotřebí provést charakterizační model kategorie dopadu, který vyčísluje pomocí tabulek velikost škodlivosti dané látky. Metod, jak se může charakterizovat, je

více, ale v normách ISO není dáno, který charakterizační model se má použít. Proto se pro LCA používá vždy jeden, který je nejvhodnější. Mezi již zmíněné dopady patří: globální oteplování, úbytek nerostných surovin, úbytek fosilních energetických surovin, acidifikace půdy a vodních zdrojů, vznik fotooxidantů, eutrofizace a úbytek stratosférického ozonu (Kočí, 2012).

3.2.4 Fáze 4: Interpretace

Interpretace slouží k prezentaci námi zjištěných výsledků. Dělí se na tři okruhy činností. První je identifikace významných zjištění, kdy se z předešlých informací sestaví strukturalizační tabulky. Z těchto tabulek se identifikují důležité poznatky, které se nazývají významná zjištění. Dalším okruhem je hodnocení studie LCA. V tomto kroku je snaha o navýšení důvěryhodnosti dané studie. Které lze docílit kontrolou úplnosti, kdy se hodnotí, zda nám nechybí důležité informace. Také analýzou nejistot, která bere v potaz vliv nepřesností dat na následný výsledek studie. Dále analýzou citlivosti, která posuzuje, zda nenastane změna ve výsledcích, pokud se změní nějaké vstupní data. Jako další se hodnotí kvalita vstupních informací a také analýza obměny. Analýza obměny hodnotí, jak velký nastane rozdíl ve výsledcích, pokud se pozmění materiál či proces. Posledním okruhem je podávání zpráv z LCA studií, kdy se tyto zprávy dělí na dva druhy. Jedním z nich je úplná zpráva pro zadavatele, která je v plném znění s veškerými informacemi. Zatímco druhá zpráva je pouze tvořena pouze zkrácenou verzí, kde nejsou uvedeny diskrétní informace jako je například obchodní tajemství. Tato zpráva se nazývá „third-party-report“ a slouží komukoliv (Kočí, 2012).

3.2.5 Použití LCA

LCA využívají především architekti, inženýři, urbanisté, developeři, klienti, a to k mnoha účelům. Architekti ve spolupráci s inženýry v raném stádiu procesu navrhují design, kdy lze metodu LCA použít pro porovnání možností návrhu, přesněji například pro orientaci či technické volby. Developeři se zákazníky naopak v předběžné fázi používají LCA pro výběr staveniště a dimenzování

projektu. Urbanisté využívají LCA pro stanovení cílů v obci, pro definování kancelářských a obytných zón a dále také k definování cílů pro rozvíjející se oblasti (Bribián a kol., 2009).

LCA je přínosem také ve směrech marketingu, kde se využívá například u tvorby environmentálního prohlášení o produktu neboli EPD. Také ji lze uplatnit k vylepšení environmentálního profilu v jakékoliv jeho životní fázi nebo v informování osob například při stanovení priorit či ve strategickém plánování (ČSN EN ISO 14044, 2006).

Vytvoření LCA pro budovy je komplikovaný proces, jelikož se tyto objekty v průběhu životnosti mění. Jejich funkce není pouze jedna, některé prostory jich mají mnoho (jako například kanceláře a podobné prostory). Budovy jsou vyráběny lokálně, jsou jedinečné, způsobují místní dopad, jsou integrovány se strukturou a hranice systému nejsou jasně dané (Bribián a kol., 2009).

3.2.6 Zjednodušení LCA

LCA metoda je považována za složitou a velmi komplexní metodu, kterou není snadné použít v praxi, a to především na objekty jako jsou budovy. Vzhledem ke složitosti LCA, je pomocí energetické certifikace, snaha nalézt kompromisní řešení. LCA je totiž zatím stále novinkou, zatímco energetická certifikace je naopak brána jako velmi zjednodušená metoda, která je jako povinný nástroj životního cyklu budov využívána v celé EU a je v souladu se směrnicí 2010/31/EU. Obě tyto metody však přispívají ke zlepšení životního prostředí, a to pomocí snižování negativního dopadu na životní prostředí prostřednictvím zvýšení energetické účinnosti budov neboli eko-designu (Lewandowska a kol., 2015).

Vzhledem ke složitosti LCA je vhodné použít softwarovou aplikaci, která zajistí, že daná studie bude provedena více efektivněji. Jde vlastně o volné propojení s aplikací energetické certifikace. Jedním z problémů jsou totiž potíže s porozuměním a uplatňováním výsledků. Za účelem rozvoje je zapotřebí zvážit některé aspekty. Jedním z těchto aspektů je například to, že vstupních dat nemá být v projektu příliš a také že mají být snadno dohledatelná. Dále

mají být vybrané ukazatele a kategorie dopadů jednoduché, aby jejich výsledky byly snadno pochopitelné. Vybrané ukazatele by také měli doplnit výsledky energetické certifikace a vytvořit propojení mezi certifikací budov a metodou LCA (Bribián a kol., 2009).

Protože dochází k problémům se shromažďováním údajů pro rodinné domy, je zapotřebí vyvinout společná kritéria, kterými definujeme několik procesů jako jsou konstrukce, přeprava, použití, údržba, výměna, oprava, renovace a procesy až po konec jejich životnosti podle jejich regionálních charakteristik, které pomohou zlepšit a poskytnout záruku porovnávaných výsledků (Soust - Verdaguer a kol., 2016).

3.3 Software pro provádění LCA

Vzhledem k velkému množství dat pro vytvoření LCA, pracnosti a také složitosti jejich propočtů, je snaha vytvářet programy, které tuto práci alespoň částečně ulehčí. Dosud však neexistuje jednotný postup pro vypracování této metody a proto je nutné dodržování stanovených norem, které požadují dodržení rámcového postupu, průkaznost, opakovatelnost a samozřejmě přesné ohraničení sledovaného systému. (Reisner, 2005)

Software zabývající se metodou LCA se dělí do dvou skupin. První z nich se věnuje LCA obecně, zatímco druhá skupina se přímo specializuje na budovy. Tato druhá skupina je značně výhodnější pro architekty a projektanty, vzhledem k tomu, že počítá stavbu komplexně. Z hlediska času je o něco rychlejší. Zatímco první skupina je určena spíše pro obecné využití a projevuje se na ní značné prodloužení času ohledně kvantifikace dat a složitého sběru potřebných materiálů (Bribián a kol., 2009).

Tabulka 1 Software pro LCA (Bribián a kol., 2009)

Obecné softwarové nástroje pro LCA		Softwarové nástroje pro LCA se specializací na budovy	
Boustead	www.boustead-consulting.co.uk	ATHENA	www.athenaSML.ca
Eco-it	www.pre.nl	ECO-QUANTUM	www.ecoquantum.nl
Ecopro	www.sinum.com	LEGEP	www.legep.de
Ecoscan	www.ind.tno.nl	EQUER	www.izuba.fr
Euklid	www.ivv.fhg.de	ECO-SOFT	www.ibo.at/de/ecosoft.htm
KCL Eco	www.kcl.fi/eco	BEES	www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees.html
Gabi	www.gabi-software.com	ENVEST 2.0	envestv2.bre.co.uk
LCAit	www.ekologik.cit.chalmers.se	BECOST	www.vtt.fi/rte/esitteet/ymparisto/lcahouse.html
Team	www.ecobilan.com	OGIP	www.ogip.ch/
Pems	www.piranet.com/pack/lca_software.htm	GREENCALC	www.greencalc.com
SimaPro	www.pre.nl	ECOEFFECT	www.ecoeffect.se
Miet	www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software		
Wisard	www.pwcglobal.com		
Umberto	www.umberto.de		

4 Metodika

V práci je vyhodnocena stavba na bázi CLT panelů, která se hodnotí metodou LCA pomocí programu Athena Impact Estimator for Buildings. Dále je práce doplněna o porovnání s identickými stavbami na bázi pórobetonu a sloupkové konstrukce z práce (Jaworková, 2019), kdy byla vzata data materiálové spotřeby z inventarizační fáze. Pro věcné výsledky jsou tyto stavby posouzeny totožným programem jako u stavby z CLT panelů. Pro objektivní zhodnocení je nutné pro všechny tyto stavby zachovat a dodržet níže uvedená kritéria.

4.1 Kritéria pro vyhodnocení LCA

- 1) Součinitel prostupu tepla obvodové stěny je $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
- 2) Zachování totožného vnitřního objemu domu.
- 3) Jedná se o shodný jednopatrový (dvoupodlažní) rodinný dům bez podsklepení. Dům je jednogenerační pro užívání čtyřčlennou rodinou.
- 4) Stavba má identické geografické umístění – Trutnov s nadmořskou výškou 290 m. n. m.
- 5) Životnost stavby je propočítána na dobu 80 let.

Pro stavbu z CLT panelů byla stanovena skladba konstrukčního řešení domu, za pomoci které se následně propočítaly objemy všech materiálů potřebných pro vstupy. Tedy základová konstrukce, obvodové stěny, příčky, střešní konstrukce a stropní konstrukce. Pro zjednodušení bylo vynecháno schodiště, vnitřní povrchová úprava stěn, rozvody vody, kanalizace a zařizovací předměty.

Následovalo vyhodnocení výsledků pro všechny tři zmíněné stavby a jejich následná analýza, kdy se porovnal vybrané kategorie dopadů, kterými jsou potenciál globálního oteplování, potenciál acidifikace, částice lidského zdraví, potenciál eutrofizace, poškození ozonu, potenciál smogu, celková primární energie, neobnovitelná energie a spotřeba fosilních paliv. Výsledky byly porovnány pro každý určitý dopad s rozdělením dle zatížení tvořené konstrukcí stavby, kdy se rozdělují podle podlah, základové konstrukce, střešní

konstrukce, konstrukcí stěn a jejich celkového dopadu. Dále byly také výsledky porovnány pro dopady tvořené po celou dobu životnosti stavby. Tedy od produktu, který podrobněji řeší výrobu materiálu, dopravu materiálu a celek. Poté konstrukční proces, který se zabývá procesem výstavby a instalací, dopravou a celkem. Dále také kategorií použití, rozdělující se na opravy, dopravu na opravy a celkem. Následující kategorie hodnotí konec životnosti stavby, tedy přesněji demolici, likvidaci, zpracování odpadu, dopravu pro tyto účely a celkové shrnutí. Předposlední kategorie se zabývá dopadem způsobeným po životnosti budovy, neboli recyklací materiálu, dopravou materiálu a celkové dopady. Na závěr se hodnotí celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. Rozdělující se do kategorie A-C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití, po konec životnosti. A do kategorie A – D obsahující výsledky A – C spolu s dopadem po životnosti budovy.

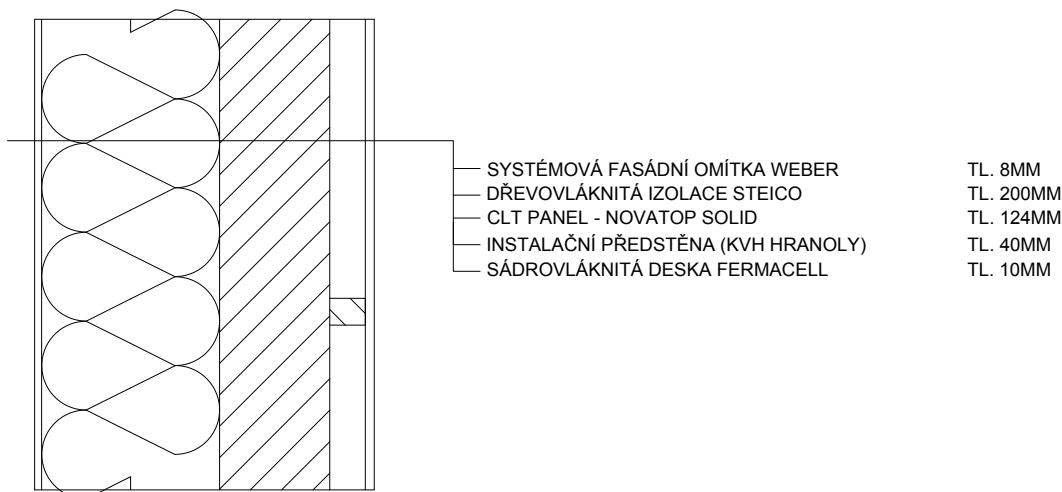
Na závěr bylo provedeno shrnutí celkových výsledků pro dané stavby. Výsledky byly porovnány pouze pro použitý materiál.

5 Inventarizační analýza

V inventarizační analýze lze vidět skladby konstrukčních částí pro dům tvořený z CLT panelů, dům tvořený sloupkovou konstrukcí a pro dům tvořený pórobetonovými tvárnicemi.

5.1 Dům tvořen CLT panely

Základová konstrukce domu je tvořena ztraceným bedněním, které je vyztuženo ocelovými pruty. Základovou desku dále utváří šterkopískové lože spolu s betonem. Základy také obsahují protiradonovou izolaci spolu s gumoasfaltovou hydroizolací. Mezi základovou konstrukcí a CLT panelem je nanášeno maltové lože, na které je následně panel osazen. CLT panely tvoří obvodové stěny domu, které jsou z vnější strany pokryty dřevovláknitou izolací a systémovou fasádní omítkou. Z vnitřní strany panelu je instalační předstěna sestavena pomocí KVH hranolů a sádrovláknité desky. Obvodovou skladbu stěny je možné vidět na obrázku č. 3.



Obrázek 3: Skladba stěny z CLT panelu (Horáková, 2020)

Ostatní svislé a vodorovné konstrukce tvoří smrkový rám z KVH hranolů, který je vyplněn tepelně izolační měkkou dřevovláknitou deskou. Jeho opláštění je z vnitřní strany sádrokartonová deska a z vnější strany deska OSB. Pro okna a dveře je zvolené smrkové dřevo, které je následně ošetřené nátěrem. Pokrývka střechy je plastem potažený plech, který vytváří střešní krytinu a

oplechování. Na podlahu bylo použito jasanové masivní dřevo. Tato stavba je difuzně otevřená, sestavena co nejvíce možno za pomoci obnovitelných materiálu.



Obrázek 4: Dům tvořen CLT panely (Horáková, 2020)

5.1.1 Výpočet součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je vypočítán za pomoci stránky (Topinfo s.r.o., [2020]), která pro provedené výpočty používá normy ČSN 73 0540-4 a ČSN EN ISO 6946, s následným porovnáním požadavků dle aktuální normy ČSN 73 0540-2:2011.

Součinitel prostupu tepla je vypočítán pro oblast Trutnova s nadmořskou výškou 290 metrů. Parametry vnitřního prostředí jsou zvoleny s výpočtovou vnitřní teplotou vzduchu $20,6^{\circ}\text{C}$, kdy vnitřní teplota v zimním období je 20°C . Následně je zadána již zmíněná skladba stěny do takzvané typové konstrukce viz. obrázek č.5, která vypočítá zmíněný součinitel prostupu tepla, který musí být v tomto případě $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Dle obrázku č.6 je vidět, že byl dodržen zadaný součinitel prostupu tepla a skladba byla dále porovnána s požadavky pro hodnoty pasivních domů, kterým dle normy ČSN 73 0540-2:2011 vyhovuje.

TYP KONSTRUKCE

stěna obvodová jednoplášťová konstrukce

Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce R_{si} 0.13 m²K/W $\theta_0 = 20.1$ °C

j	Materiál	d [m]	λ_u [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	R_j [m ² K/W]	θ_j [°C]
1	Sádrovláknitá deska fermacell (tl. 1	0,01	0,32	0.031	19.98
2	Dřevo rostlé měkké, tepelný tok kol	0,124	0,18	0.689	17.31
3	Dřevovláknité desky měkké	0,20	0,046	4.348	0.46
4	Omítka perlitová	0,008	0,1	0.08	0.15

Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce R_{se} 0.04 m²K/W $\theta_e = 0$ °C

[Přidat vrstvu konstrukce](#)

Celková tloušťka konstrukce $d = 0.342$ m

Tepelný odpor konstrukce $R = 5.15$ m²K/W

Obrázek 5: Výpočet součinitele prostupu tepla (Horáková z Topinfo s.r.o., 2020)

VYHODNOCENÍ KONSTRUKCE

Součinitel prostupu tepla konstrukce

$U = 0.17 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Odpor při prostupu tepla konstrukce

$R_T = 5.75 \text{ m}^2.\text{K/W}$

dle ČSN 73 0540-4 a ČSN EN ISO 6946

POROVNÁNÍ S POŽADAVKY ČSN 73 0540-2:2011

Posuzovaná konstrukce Stěna vnější - těžká

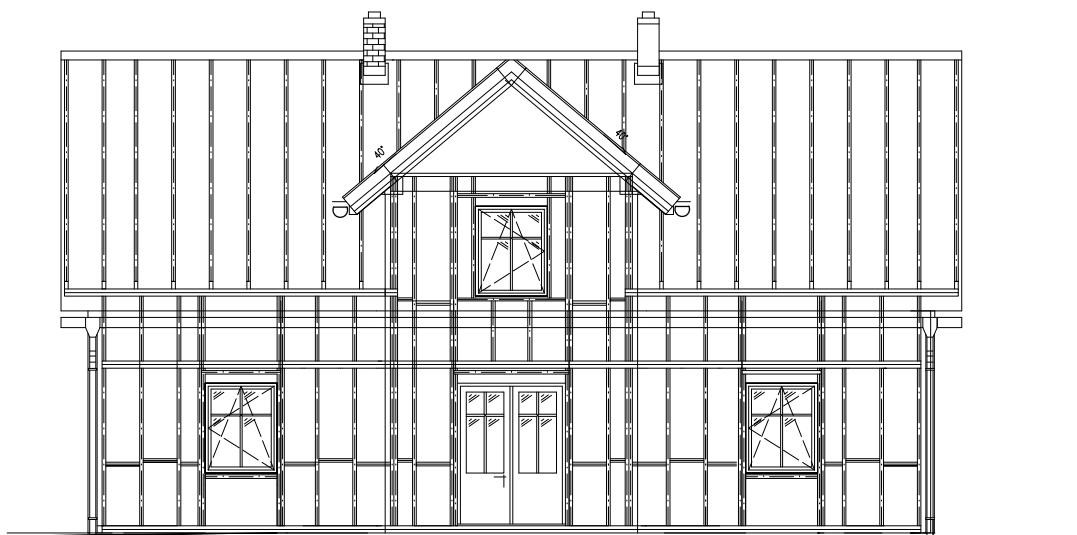
Převažující návrhová vnitřní teplota většiny prostorů v objektu θ_{im} 20 °C

Součinitel prostupu tepla konstrukce $U = 0.17 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ VYHOVUJE
doporučené hodnotě pro pasivní domy $U_N = 0.18 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
dle ČSN 73 0540-2:2011

Obrázek 6: Výsledek výpočtu součinitele prostupu tepla (Horáková z Topinfo s.r.o., 2020)

5.2 Dům tvořen sloupkovou konstrukcí

Základová konstrukce domu je také tvořena ztraceným bedněním, které je vyztuženo ocelovými pruty. Základovou desku dále utváří štěrkopískové lože spolu s betonem. Základy také obsahují protiradonovou izolaci spolu s gumoasfaltovou hydroizolací. Veškeré svislé a vodorovné konstrukce tvoří smrkový rám z KVH hranolů, který je vyplněn tepelně izolační měkkou dřevovláknitou deskou. Jeho opláštění je z vnitřní strany sádkartonová deska a z vnější strany deska OSB. Pro okna a dveře je zvolené smrkové dřevo, které je následně ošetřené nátěrem. Pokrývka střechy je plastem potažený plech, který vytváří střešní krytinu a oplechování. Na podlahu bylo použito jasanové masivní dřevo. Tato stavba je difuzně uzavřená, sestavena co nejvíce možno za pomoci obnovitelných materiálů.



Obrázek 7: Dům tvořen sloupkovou konstrukcí (Jaworková, 2019)

5.3 Dům tvořen pórobetonovými tvárniciemi

Základová konstrukce domu je také tvořena ztraceným bedněním, které je vyztuženo ocelovými pruty. Základovou desku dále utváří štěrkopískové lože spolu s betonem. Základy také obsahují protiradonovou izolaci spolu s gumoasfaltovou hydroizolací. Na obvodové stěny a příčky objektu jsou použity tepelně-izolačními tvárniciemi z pórobetonu značky Ytong spojené pomocí vápenocementové malty. Stejně tak je z vápenocementové malty

a pórobetonových stropních dílců sestavena stropní konstrukce domu. Okna a dveře jsou v této variantě zvoleny plastová. Pro pokrytí střechy jsou zvoleny betonové tašky. Na podlahu byla použita plovoucí podlaha z vysokotlakého laminátu. Tato stavba je sestavena z neobnovitelných materiálů.



Obrázek 8: Dům tvořen pórobetonovými tvárnicemi (Jaworková, 2019)

6 Výsledky

Ve výsledcích jsou vybrané kategorie dopadů, kdy u každé kategorie je velikost dopadu znázorněna v grafu. Veškerá podrobná data v absolutních hodnotách je možné najít v příloze č. 4 a 5.

6.1 Vybrané kategorie dopadů

Mezi vybrané kategorie dopadů patří potenciál globálního oteplování, potenciál acidifikace, částice lidského zdraví, potenciál eutrofizace, úbytek stratosférického ozonu, potenciál smogu a celková primární energie.

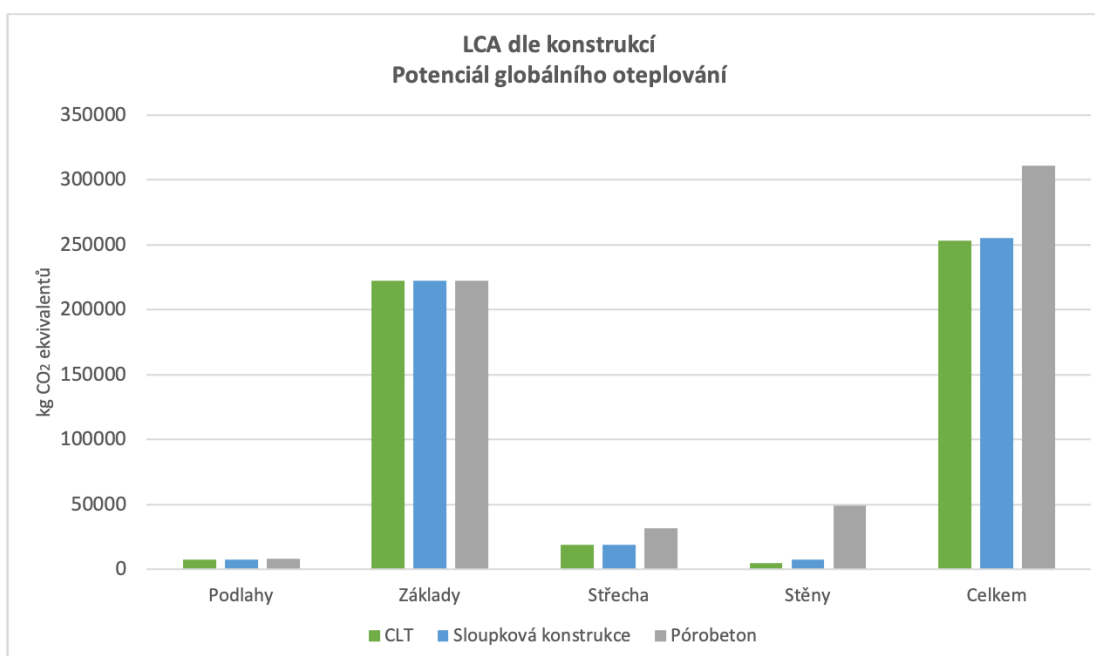
6.1.1 Potenciál globálního oteplování

Globální oteplování má za důsledek posun vegetačních pásem, zvyšování hladiny moří, ale hlavně má dopad na lidské zdraví. Globální oteplování neboli skleníkový jev je způsoben zvyšováním množství tepelné energie, která je zadržována v atmosféře. Přesněji se jedná o zadržované skleníkové plyny v atmosféře, které mají za následek zvyšování tepelné energie a tím dochází ke změně klimatu. Do skleníkových plynů řadíme oxid uhličitý, oxid dusný, hexafluorid sírový, metan, halogenové uhlovodíky, ale i vodní páru. Ve stavebnictví je ovšem globální oteplování ovlivňováno především výrobou cementu, spalováním fosilních paliv a také změnou využití půdy (Kočí, 2012).

Na grafu č. 1 lze vidět vyhodnocení LCA dle stavebních konstrukcí pro potenciál globálního oteplování, který se udává v jednotkách kg CO₂ ekvivalentů. Tento graf porovnává LCA dle konstrukcí pro všechny tři stavby, tedy pro stavbu na bázi CLT, stavbu ze sloupkové konstrukce a stavbu na bázi pórobetonu.

U všech těchto staveb jsou pouze nepatrné odchylky ve složení podlah a základových konstrukcí. Respektive podlahy se liší pouze v izolaci, kdy u stavby na bázi pórobetonu byla zvolena izolace v podobě kameninové vaty, zatímco u stavby na bázi CLT a stavby ze sloupkové konstrukce byla použita měkká dřevovláknitá deska. Vzhledem k těmto odchýlkám je vidět, že výsledky

vycházejí téměř totožně, při detailním pohledu je ovšem patrné mírné zhoršení u podlah stavby na bázi pórobetonu. Dále je možné z grafu vyčíst, že z hlediska střešní konstrukce a konstrukce stěn má největší dopad rodinný dům na bázi pórobetonu. Je tedy očividné, že tento markantní rozdíl způsobují zvolené pórobetonové tvárnice Ytong společně s maltou. Rodinný dům na bázi CLT je v kategorii stěn na nepatrně lepších výsledcích než rodinný dům ze sloupkové konstrukce. Tento rozdíl by mohl být tvořen difuzní otevřeností stavby na bázi CLT či použitím OSB desek u stavby ze sloupkové konstrukce. V kategorii celkem je vyobrazeno, že z hlediska potenciálního globálního oteplování bude mít největší dopad stavba na bázi pórobetonu, zatímco nejmenší dopad stavba na bázi CLT.



Graf 1: LCA dle konstrukcí - Potenciál globálního oteplování (Horáková z dat Athena IEfB, 2020)

V následujícím grafu č. 2 je znázorněno celkové LCA v kategorii potenciálu globálního oteplování pro stavby tvořené převážně z CLT, pórobetonu a sloupkové konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti výsledků bylo použito logaritmické měřítko, na kterém ovšem nelze vynést záporné hodnoty. Z tohoto důvodu byli hodnoty v kategorii: „po životnosti budovy (D)“ pro znázornění vloženy jako absolutní čísla, které jsou označeny světlejšími odstíny oproti standartnímu značení z legendy.

Z grafu je možné vyčíst různé etapy dané životnosti pro určitý druh stavby. V kategorii produktu, který se zabývá samotnou výrobou a dopravou potřebných materiálů, lze vidět vysoké hodnoty v podkategorii výroba především pro materiály určené na stavbu z pórobetonu. Pro stavbu z CLT panelů a ze sloupkové konstrukce se hodnoty rovnají. Zatímco u dopravy materiálu si velmi dobře vedou materiály pro výstavbu pórobetonového domu, což může být způsobeno menším rozsahem komponentů oproti stavbě sloupkové, která si naopak vede nejhůře. CLT panely v tomto případě vychází jako kompromis. Je to nejspíše dáno menší mírou komponentů, ale většími rozměry daného dřeva na výrobu CLT panelů. Z celkového hlediska mají však nejvyšší způsobené dopady stále materiály na výrobu pórobetonové stavby.

Následující kategorie se zabývá konstrukčním procesem neboli procesem výstavby, instalace a samotné dopravy materiálu na místo určení. Ze sloupců procesu výstavby a instalace jsou nejnižší výsledky pro CLT panely. Vzhledem k velkým formátům a prefabrikaci jsou stavby z CLT panelů velmi rychlé. Hned v zápatí za nimi se řadí sloupková konstrukce a nakonec pórobeton. Podkategorie dopravy se vyznačuje přesně opačným pořadím, jelikož na stavbu domu z CLT panelů je vázána potřeba užití těžkých strojů, například jeřábů. Z celkového vyhodnocení kategorie konstrukčního procesu vytváří největší dopad stavba z CLT panelů, poté stavba sloupková a nejmenší dopad je u stavby pórobetonové.

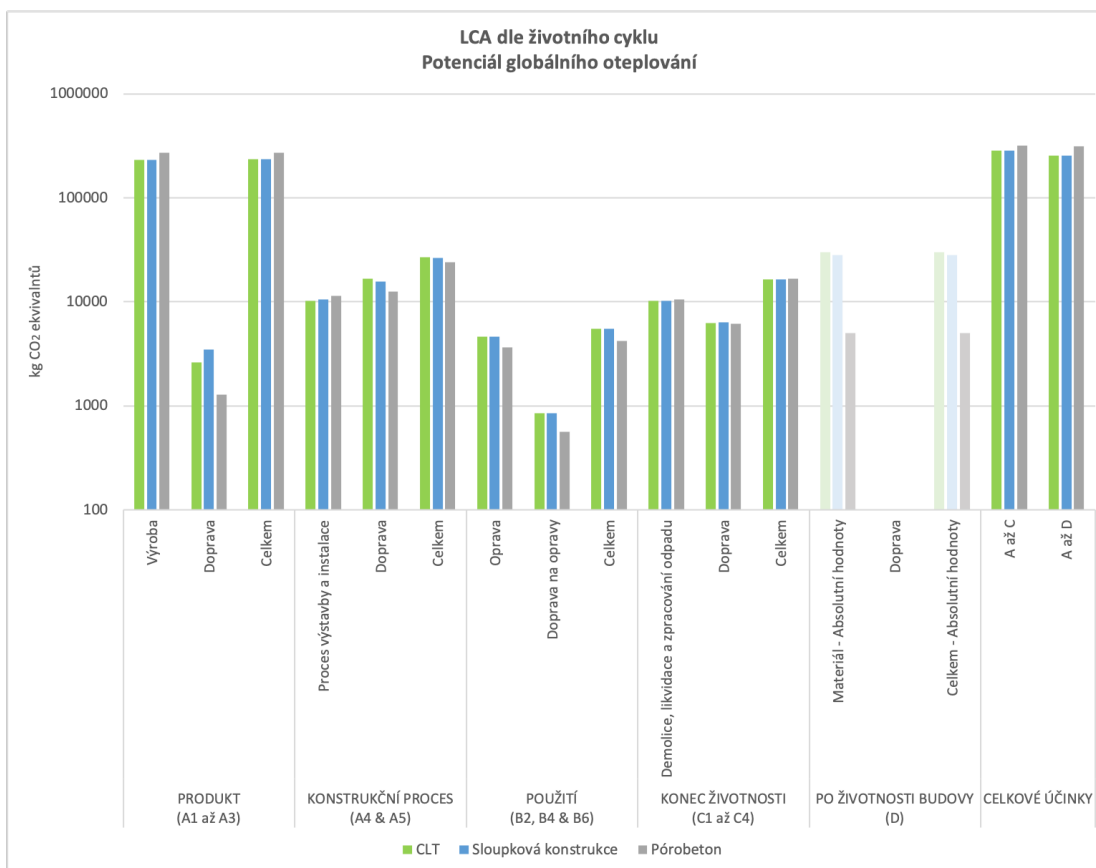
Kategorie použití se zabývá především opravami a dopravou materiálu na již zmíněné opravy. Z grafu je patrné, že v těchto situacích si nejlépe vede stavba na bázi pórobetonu, zatímco nejhůře stavba z CLT panelů. Z hlediska dopravy na opravy má nejvyšší výsledky stavba ze sloupové konstrukce a naopak nejnižší stavba pórobetonová. Celkové výsledky této kategorie ale ukazují, že vzhledem k potenciálu globálního oteplování z hlediska použití má nejvyšší dopad stavba na bázi CLT.

Dále se hodnotí konec životnosti a s tím spjaté demolice, likvidace, zpracování odpadu a doprava pro tyto účely. Z hlediska demolice, likvidace a zpracování odpadu je možné dle největšího potenciálního dopadu na globální oteplování seřadit stavby od rodinného domu z pórobetonu přes dům z CLT panelů po

stavbu tvořenou sloupkovou konstrukcí. V podkategorii doprava se stavby nachází v přesně opačném pořadí. V celkovém souhrnu se však stavby z CLT panelů a sloupkové konstrukce rovnají a největší dopad tvoří stavba na bázi pórobetonu.

Předposlední kategorie se zabývá tím, jaký bude dopad na globální oteplování po životnosti budovy, tedy přesněji recyklací. Takže se dopady nenavysují, nýbrž snižují. K největšímu snížení dopadů dochází u CLT panelů, vzhledem k velkému obsahu dřevní hmoty. Nižší snížení je vykazováno u sloupkové stavby a nejmenší snížení je u stavby pórobetonové, jakožto stavby, která je z velké části tvořena z neobnovitelných surovin. Vzhledem k nulové dopravě jsou celkové výsledky totožné. Doprava se v tomto případě nepočítá z důvodu zahrnutí do minulé kategorie. V tomto případě by se již jednalo o dopravu na nový produkt nebo stavbu a tedy i o LCA pro tento jiný produkt či stavbu.

Poslední hodnoty znázorněné v grafu jsou celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. V levém sloupci je možné vidět celkové účinky pro kategorie A až C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití až po konec životnosti. V tomto případě se stavba na bázi CLT panelů a stavba ze sloupkové konstrukce rovnají a největší dopad na globální oteplování má stavba na bázi pórobetonu. V pravém sloupci jsou započítány totožné kategorie spolu s kategorií „po životnosti budovy“ tedy od A po D. Celkově lze vyhodnotit nejnižší potenciální dopad v oblasti globálního oteplování pro stavbu na bázi CLT a naopak nejvyšší dopad pro stavbu na bázi pórobetonu.



Graf 2: LCA dle životního cyklu - Potenciál globálního oteplování (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

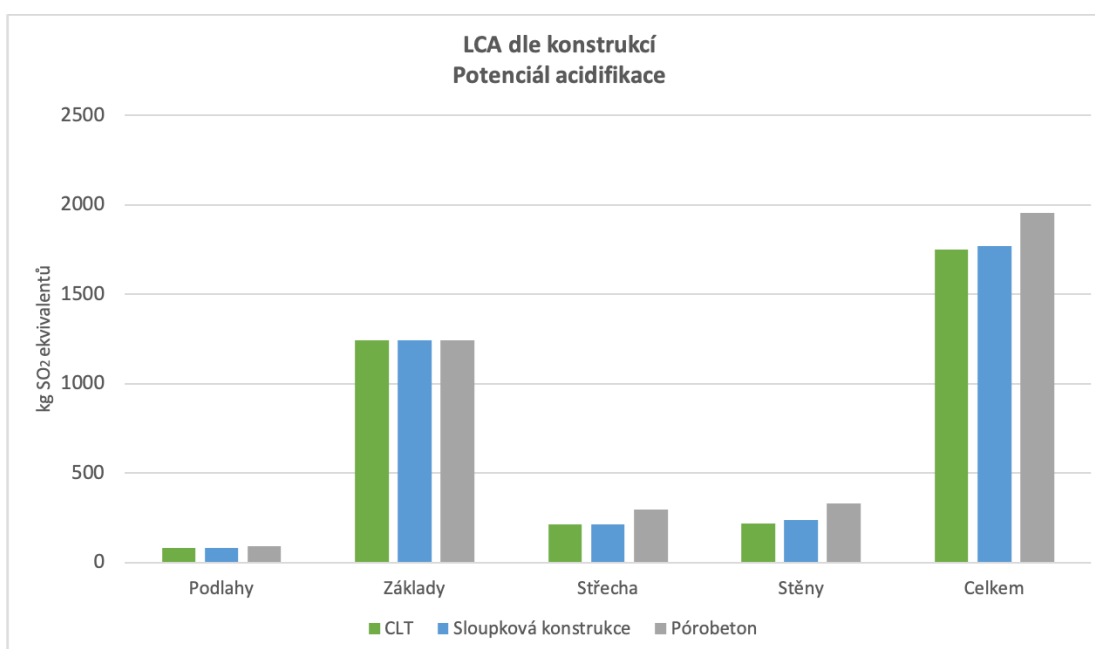
6.1.2 Potenciál acidifikace

Důsledkem acidifikace dochází k hynutí rostlin a stromů. Příčinou tohoto jevu je okyselení půdy a vody kyselinotvornými látkami. Přesněji se jedná o látky jako oxid siřičitý, anorganické kyseliny, sirovodík, oxidy dusíku, čpavek a amonné ionty. Tyto látky je možné najít v průmyslových oblastech, především oxidy dusíku, které jsou produkovány v dopravě jako emise ze spalovacích motorů (Kočí, 2012).

Na grafu č. 3 lze vidět vyhodnocení LCA dle stavebních konstrukcí pro potenciál acidifikace, který se udává v jednotkách kg SO₂ ekvivalentů. Tento graf porovnává LCA dle konstrukcí pro všechny tři stavby, tedy pro stavbu na bázi CLT, stavbu ze sloupkové konstrukce a stavbu na bázi pórobetonu.

Z grafu č. 3 lze vyčíst poměrně nízký dopad v oblasti podlah pro všechny tři konstrukce. Ačkoli konstrukce tvořená pomocí pórobetonu je z hlediska dopadu nejhorší vzhledem k použití kameninové izolace. Zbylé konstrukce se

rovnají. Sloupec, který je označen jako základy, vyznačuje největší potenciální dopad acidifikace pro stavbu na bázi CLT panelů. Stavba na bázi pórobetonu a stavba ze sloupkové konstrukce mají výsledky totožné, a to vzhledem k shodnému složení základové konstrukce. V další kategorii nazývané střecha je možné vidět opět vyšší dopad pro rodinný dům tvořený pórobetonem. Tento rozdíl nejspíše způsobila izolace na bázi kameninové vlny. Výsledky na stavbu z CLT a sloupkové konstrukce jsou shodné. Avšak v následující kategorii stěn lze vidět, že nejmenší dopad mají celomasivní dřevěné panely neboli CLT. Větší dopad byl zjištěn pro sloupkovou dřevostavbu a nejvyšší dopad způsobuje pórobetonová stavba. Celek dle očekávání poukazuje na vysoký dopad v ohledu acidifikace způsobený u stavby na bázi pórobetonu. Sestupné hodnoty jsou poté u sloupkové dřevostavby a dřevostavby tvořené CLT panelem.



Graf 3: LCA dle konstrukcí - Potenciál acidifikace (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

V následujícím grafu č. 4 je znázorněno celkové LCA v kategorii potenciálu acidifikace pro stavby tvořené převážně z CLT, pórobetonu a sloupkové konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti výsledků bylo použito logaritmické měřítko, na kterém ovšem nelze vynést záporné hodnoty. Z toho důvodu byly hodnoty v kategorii: „po životnosti budovy (D)“ pro znázornění vloženy jako absolutní čísla, které jsou označeny světlejší odstíny oproti standardnímu značení z legendy.

Z kategorie produktu lze vyčíst nízký dopad na acidifikaci pro výrobu materiálů pro stavbu na bázi CLT na rozdíl od rostoucích hodnot pro materiály na sloupkovou dřevostavbu. První v potenciálu acidifikace v podkategorii výroba jsou materiály pro stavbu domu na bázi pórobetonu. Nicméně v další podkategorii má nejmenší potenciální dopad pro dopravu stavba na bázi pórobetonu. Vyšším dopadem disponuje stavba na bázi CLT a nejvyšší hodnoty jsou u stavby ze sloupkové konstrukce.

Další kategorie se zabývá konstrukčním procesem, který obsahuje podkategorie proces výstavby, instalace a doprava. Z hlediska procesu výstavby a instalace je dosaženo nejpříznivějších hodnot u stavby z CLT panelů, poté u sloupkové stavby a nejméně příznivé hodnoty lze vidět u stavby z pórobetonu. Tyto hodnoty pravděpodobně ovlivňuje rychlost výstavby určitých staveb. Podkategorie doprava však disponuje přesně opačnými hodnotami. Tedy v pořadí od nejvyššího dopadu pro acidifikaci lze vidět stavbu z CLT, poté sloupkovou stavbu a na závěr stavbu z pórobetonu. Tyto hodnoty mohou být ovlivněny použitím těžkých strojů u CLT stavby, které u ostatních staveb již nejsou potřebné. Z celkového hlediska hodnoty zůstávají totožné jako u podkategorie doprava.

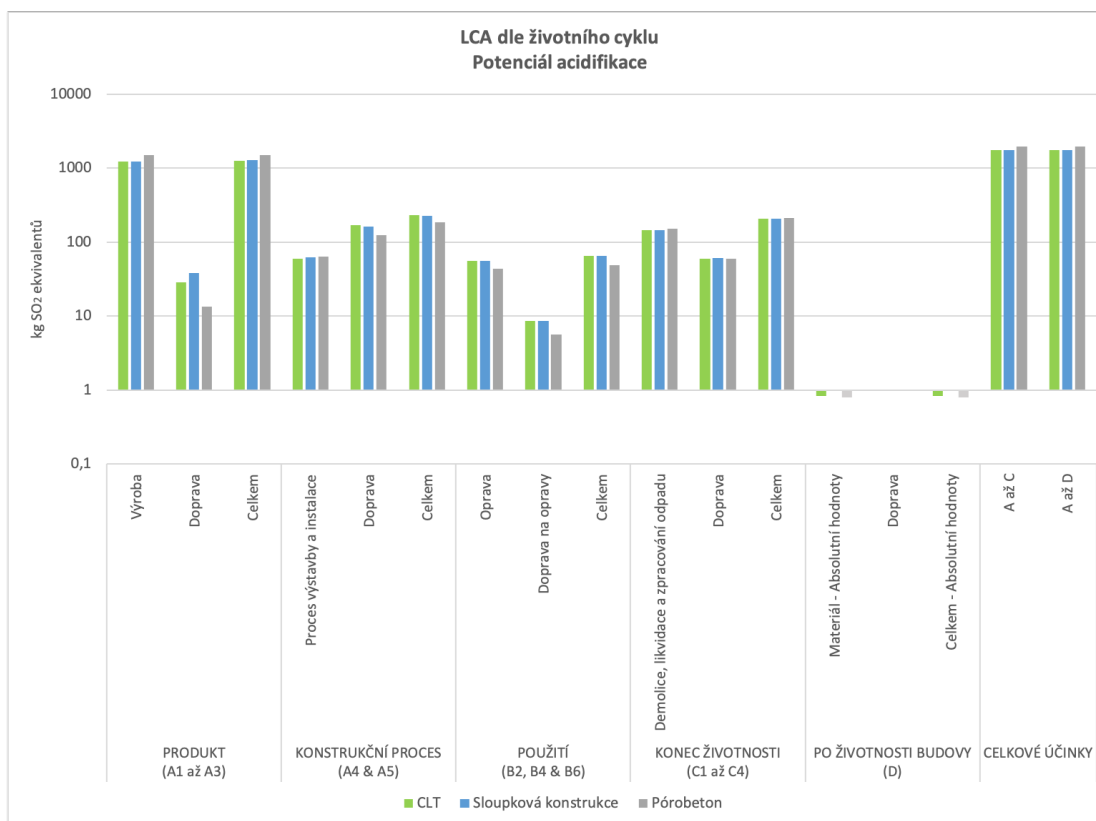
Následující kategorie řeší potenciální dopad acidifikace v oblasti použití. V této oblasti jsou zahrnuty podkategorie oprava, doprava na opravy a celek jako takový. V podkategoriích oprava, doprava na opravy a celkem lze vidět nejvyšší dopad u stavby na bázi CLT a na bázi sloupkové stavby, kdy se jejich hodnoty rovnají. Stavba na bázi pórobetonu má v těchto kategoriích dopad nejnižší. Tyto hodnoty pravděpodobně ovlivňuje vyšší náročnost oprav pro dřevostavby na rozdíl od oprav u zděného domu.

Další kategorií je konec životnosti porovnávaných staveb, kde lze vidět dopady pro acidifikaci tvořené demolicí, likvidací, zpracováním odpadů, dopravou a jejich shrnutí v podobě celku. Z hlediska demolice, likvidace a zpracování odpadu tvoří největší dopad stavba na bázi pórobetonu, poté stavba na bázi CLT a nejnižší dopad tvoří stavba ze sloupkové konstrukce. Podkategorie doprava je tvořena nejvyšším dopadem u stavby ze sloupkové konstrukce, s prostředními hodnotami stavba na bázi CLT a nejnižší dopad utváří stavba

na bázi pórobetonu. Z celkového hlediska jsou však stavby seřazeny od nejvyššího potenciálního dopadu, tedy počínaje stavbou z pórobetonu přes stavbu z CLT až ke sloupkové stavbě, která má nejnižší potenciální dopad.

Předposlední kategorie se zabývá dopadem na acidifikaci po životnosti budovy, přesněji recyklací. Z toho důvodu se dopady nenavysují, nýbrž snižují. Vzhledem k logaritmickému měřítku jsou hodnoty zadány s absolutní hodnotou a označeny světlejším odstínem používaných barev pro jednotlivé dané stavby. Jelikož dopady na acidifikaci jsou v tomto případě necelá jednotka, jejich znázornění je na číselné ose z hlediska logaritmického měřítka značeno pod číslicí jedna celá, což se na grafu ukáže jako hodnota pod osou X. K nejnižšímu snížení dopadu z hlediska materiálu dochází u sloupkové dřevostavby. Menší snížení je poté u CLT stavby a nejmenší snížení můžeme vidět u stavby z pórobetonu. S dopravou se v tomto případě nepočítá z důvodu započítání již v minulé kategorii. V tomto případě by se již jednalo o dopravu na nový produkt nebo stavbu a tedy i o LCA pro jiný produkt či stavbu. Vzhledem k nulové dopravě jsou celkové výsledky totožné jako u výsledku v podkategorii materiál.

Poslední hodnoty znázorněné v grafu představují celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. V levém sloupci je možné vidět celkové účinky pro kategorie A až C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití až po konec životnosti. V tomto případě má nejnižší dopad z uvedených staveb dřevostavba na bázi CLT panelů, zatímco stavba na bázi pórobetonu způsobuje dopad největší. V pravém sloupci jsou započítány totožné kategorie spolu s kategorií „po životnosti budovy“ tedy od A po D. Celkově lze vyhodnotit nejnižší potenciální dopad v oblasti globálního oteplování pro stavbu na bázi CLT a naopak nejvyšší dopad pro stavbu na bázi pórobetonu, a to vzhledem k minimálním hodnotám v kategorii po životnosti budovy.



Graf 4: LCA dle životnosti cyklu - Potenciál acidifikace (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

6.1.3 Částice lidského zdraví

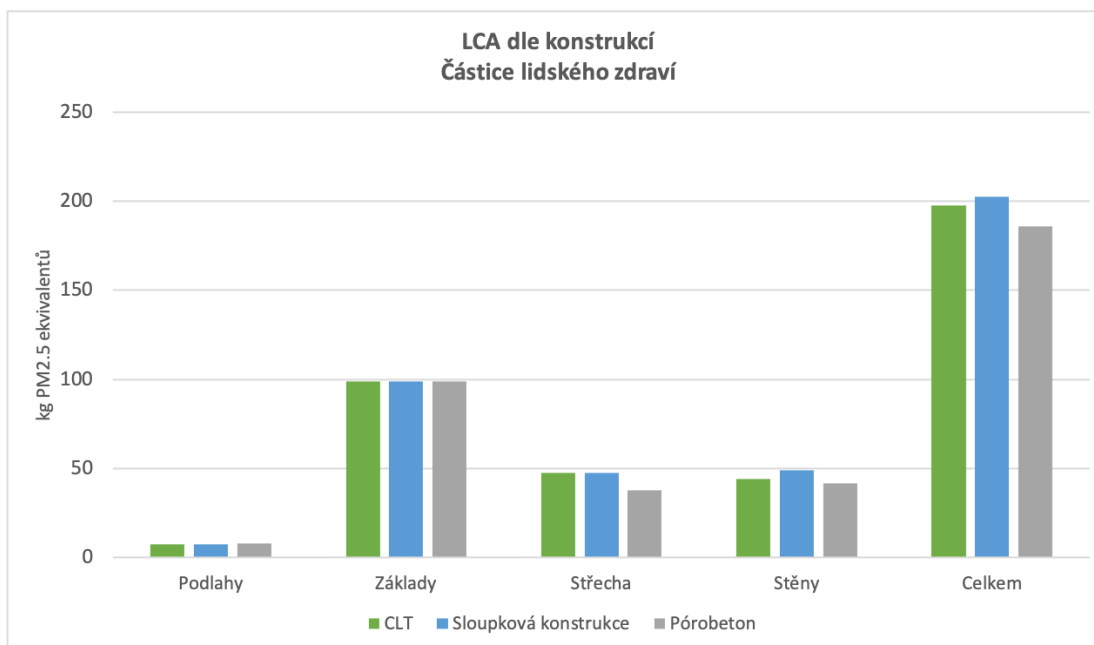
Další kategorií jsou částice lidského zdraví z doslovného překladu Human health particulate, neboli polévatý prach, též nazývané jako pevné částice (McCubbin a kol., 2003).

Pevné částice mají dopad především na lidské zdraví, a to zejména na dýchací systém člověka. Mohou způsobit kašel, dušnost, kardiovaskulární a respirační onemocnění, rakovinu plic, ale i mrtvici nebo náhlé zhoršení astmatu. Polévatý prach je následkem spalování motorové nafty, která obsahuje sírany a křemičitany, které následně zanášejí atmosféru. Dále je možné se s částicemi setkat na staveništích v podobě prachu z cementu, betonu, siliky a dřeva. Jedná se o okem neviditelné částice velkého množství (CRDR spol. s.r.o., 2020).

Na grafu č. 5 lze vidět vyhodnocení LCA dle stavebních konstrukcí pro částice lidského zdraví, který se udávají v jednotkách kg PM_{2.5} ekvivalentů. Tento graf

porovnává LCA dle konstrukcí pro všechny tři stavby, tedy pro stavbu na bázi CLT, stavbu ze sloupkové konstrukce a stavbu na bázi pórobetonu.

Ve sloupci podlah je znázorněn nejvyšší dopad pro materiály použité na podlahy ve stavbě z pórobetonu. Nižší dopad lze vidět u stavby z CLT a u stavby ze sloupkové konstrukce, kdy se jejich hodnoty rovnají. Další sloupec poukazuje na dopady tvořené základovou konstrukcí daných staveb, kde mají vyšší dopad základy pro rodinný dům z CLT panelů. Tyto výsledky zřejmě ovlivňuje maltové lože, které se nanáší pod CLT panely. V další kategorii nazývané střecha, lze vidět vyšší výsledky u stavby na bázi CLT panelů, které se rovnají výsledkům stavby ze sloupkové konstrukce. Stavba na bázi pórobetonu vykazuje nižší výsledky oproti ostatním posuzovaným stavbám. Následující kategorie zobrazuje nejvyšší dopad u stěn ze sloupkové konstrukce. Jako další má z hlediska dopadů pevných částic vyšší hodnoty stavba z CLT panelů. Stěny tvořené z pórobetonových tvárnic mají dopad nejnižší. Z celkového hlediska lze vidět, co se týče částic lidského zdraví, že největší dopad tvoří sloupková dřevostavba, poté stavba z CLT a nejmenší dopad tvoří pórobetonová stavba.



Graf 5: LCA dle konstrukcí - Částice lidského zdraví (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

V následujícím grafu č. 6 je znázorněno celkové LCA v kategorii částic lidského zdraví pro stavby tvořené převážně z CLT, pórobetonu a sloupkové konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti výsledků bylo použito logaritmické

měřítko, na kterém ovšem nelze vynést záporné hodnoty. Z tohoto důvodu byly hodnoty v kategorii: „po životnosti budovy (D)“ pro znázornění vloženy do grafu jako absolutní čísla, které jsou označeny světlejším odstínem oproti standardnímu značení z legendy.

Z grafu jsou možné vyčíst různé etapy dané životnosti pro určitý druh stavby. V kategorii produktu, který se zabývá samotnou výrobou a dopravou potřebných materiálů, lze vidět vysoké hodnoty pro podkategorii výroba, která velmi ovlivňuje celkové hodnoty. Zde nejnižší dopad tvoří výroba materiálů pro pórobovovou stavbu, nepatrně vyšší hodnoty lze vidět u CLT stavby a nejvyšší hodnoty jsou u sloupkové stavby. V další podkategorii doprava je vzhledem k logaritmickému měřítku jinak znázorněna stavba na bázi pórobetonu. To je zapříčiněno tím, že samotná hodnota se nachází až za desetinou čárkou. Vyplyvá z toho tedy, že stavba na bázi pórobetonu je na tom v této fázi nejlépe a tvoří nejmenší dopad na částice lidského zdraví. Nejvyšší dopad tvoří naopak stavba ze sloupkové konstrukce. Celkový dopad tedy zůstává totožný s výsledky u podkategorie výroba.

Následující kategorie se zabývá konstrukčním procesem neboli procesem výstavby, instalace a samotné dopravy materiálu na místo určení. Ze sloupců procesu výstavby a instalace lze vidět nepatrný rozdíl mezi CLT stavbou a pórobovovou stavbou, avšak vyšší výsledky tvoří stavba na bázi pórobetonu. Naopak nízké dopady jsou zaznamenány u sloupkové stavby. Tyto výsledky jsou pravděpodobně ovlivněny prašností daných materiálů, přesněji cementu a betonu. V další podkategorii doprava je možné vidět nejvyšší hodnoty u CLT stavby, poté u sloupkové stavby a nejnižší u stavby pórobovové. Stejně tak je tomu i v celkovém zobrazení, a to i přesto že je stavba na bázi z pórobetonu tvořena prašnými materiály.

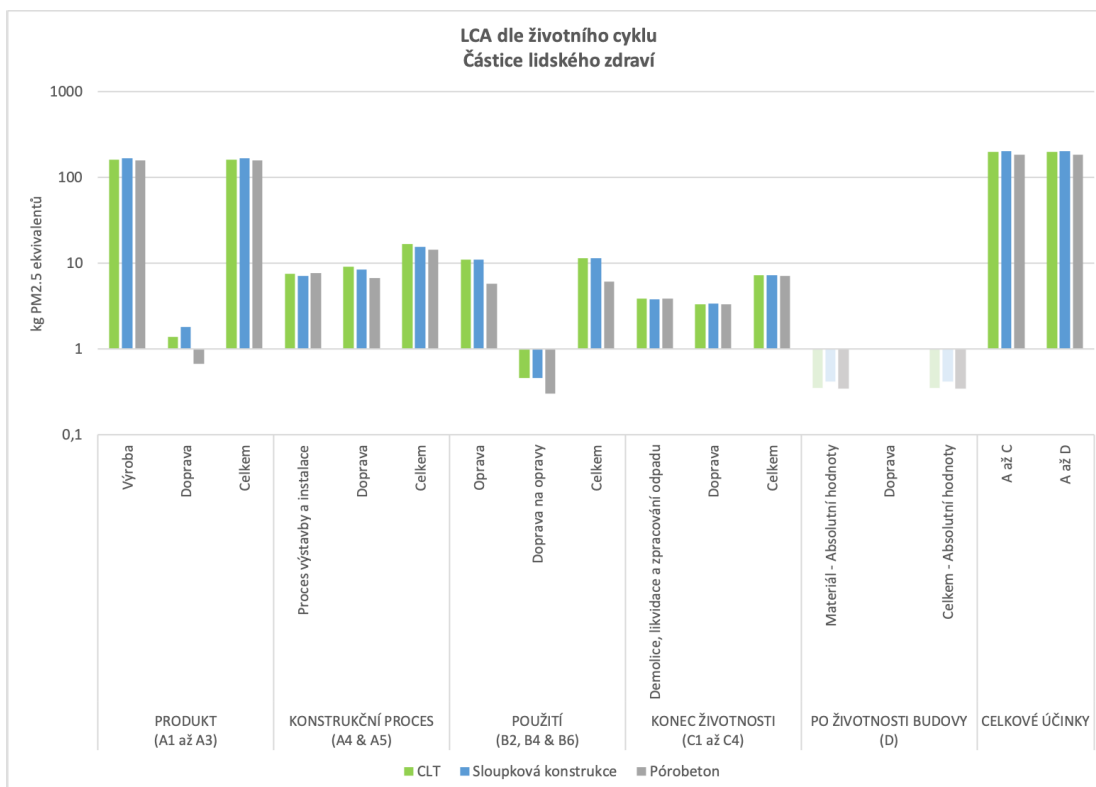
Kategorie použití se zabývá především opravami a dopravou materiálu na již zmíněné opravy. Z grafu je patrné, že v situacích oprav si nejlépe vede stavba na bázi pórobetonu, zatímco nejvyšší dopad je u CLT stavby. V podkategorii doprava na opravy lze vidět opět hodnoty, které nedosahují celého čísla. Čím níže pod osou celého čísla sloupec je, tím lepší výsledky daná konstrukce má. Z grafu je zřejmé, že stavba na bázi pórobetonu tvoří nejmenší dopad

z hlediska pevných částic. Nepatrně nižší hodnoty oproti stavbě sloupkové tvoří stavba z CLT panelů. Celkové dopady v kategorii použití tedy jsou nejvyšší u stavby na bázi CLT, poté u sloupkové dřevostavby a nejnižší u stavby pórobetonové.

Dále se hodnotí konec životnosti a s tím spjaté demolice, likvidace, zpracování odpadu a doprava pro tyto účely. Z hlediska demolice, likvidace a zpracování odpadu je možné dle největšího dopadu na částice lidského zdraví seřadit stavby od rodinného domu z CLT panelů přes pórobetonovou stavbu po sloupkovou dřevostavbu. Z hlediska dopravy jsou výsledky nejvyšší u stavby sloupkové. Nepatrně menší u stavby z CLT panelů a nejnižší u stavby tvořené pórobetonovými tvárnicemi. V celkovém souhrnu kategorie konec životnosti je vyobrazena s největším dopadem, ačkoliv jsou rozdíly opravdu nepatrné, stavba tvořená sloupkovou konstrukcí, poté CLT stavba a nejmenší dopad má pórobetonová stavba.

Předposlední kategorie se zabývá tím, jaký bude dopad z hlediska částic lidského zdraví po životnosti budovy, tedy přesněji recyklací. Ta dopady nenavysuje, nýbrž snižuje. K největšímu snížení dopadů z hlediska materiálů dochází u stavby sloupkové, poté u stavby z CLT panelů a nejmenší snížení dopadů je u stavby z pórobetonu. Vzhledem k nulové dopravě jsou celkové výsledky totožné. Doprava se v tomto případě nepočítá z důvodu započítání již v minulé kategorii. V tomto případě by se již jednalo o dopravu na nový produkt nebo stavbu a tedy i o LCA, pro jiný produkt či stavbu.

Poslední hodnoty znázorněné v grafu jsou celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. V levém sloupci je možné vidět celkové účinky pro kategorie A až C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití až po konec životnosti. V tomto případě tvoří velký dopad rodinný dům postavený pomocí sloupkové konstrukce. Nižší dopad je možné vidět u rodinného domu z CLT panelů a nejlepší výsledky jsou zaznamenány u rodinného domu z pórobetonu. V pravém sloupci jsou započítány totožné kategorie spolu s kategorií „po životnosti budovy“, tedy od A po D. Celkově lze vyhodnotit nejnižší potenciální dopad v oblasti částic lidského zdraví pro stavbu na bázi pórobetonu a naopak nejvyšší pro sloupkovou dřevostavbu.



Graf 6: LCA dle životního cyklu - Částice lidského zdraví (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

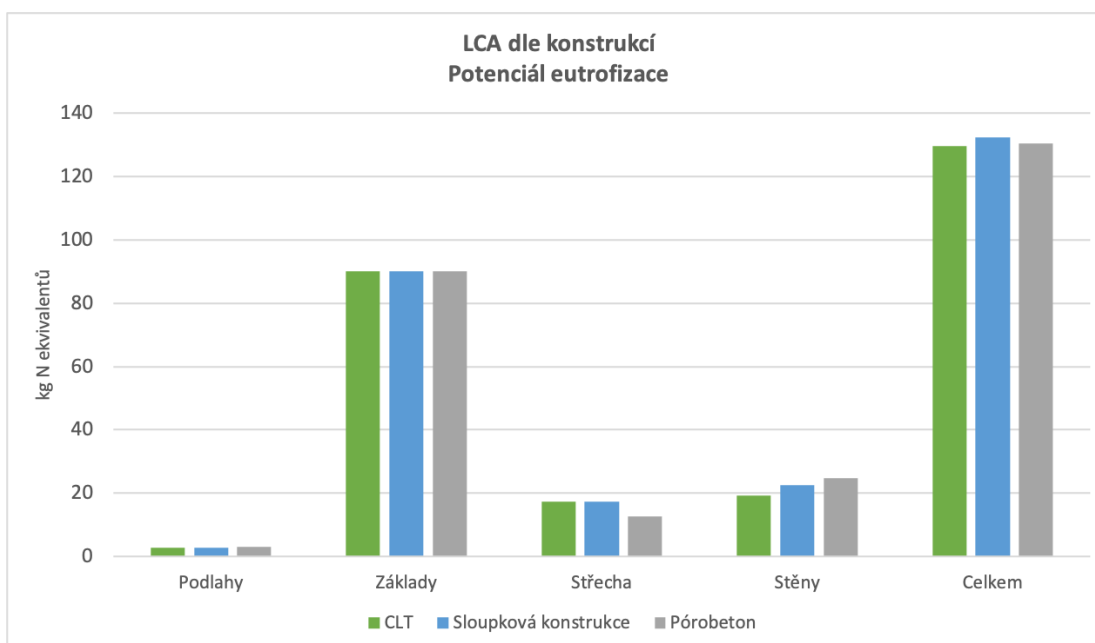
6.1.4 Potenciál eutrofizace

Eutrofizace způsobuje nekvalitní pitnou vodu, také zhoršení vod povrchových, ale i zarůstání vod řasami, sinicemi a zajištění méně potřebného kyslíku ve vodách. Eutrofizace je zapříčiněna uvolněním dusíku a fosforu. Lidský faktor způsobuje eutrofizaci produkováním komunálních a průmyslových odpadních vod, zemědělskou produkcí, ale i používáním čisticích pracích prášků s obsahem polyfosforečnanů (Kočí, 2012).

Na grafu č. 7 lze vidět vyhodnocení LCA dle stavebních konstrukcí pro potenciál eutrofizace, který se udává v jednotkách kg N ekvivalentů. Tento graf porovnává LCA dle konstrukcí pro všechny tři stavby, tedy pro stavbu na bázi CLT, stavbu ze sloupkové konstrukce a stavbu na bázi pórobetonu.

Na níže uvedeném grafu lze vidět nepatrně vyšší výsledky u sloupce podlah pro pórobetonovou stavbu, na rozdíl od stavby z CLT panelů a stavby sloupkové, kdy se jejich hodnoty rovnají. V dalším sloupci je znázorněn dopad z hlediska základů, kdy má nejvyšší výsledky základová konstrukce rodinného

domu z CLT panelů. Výsledky pro rodinný dům ze sloupkové konstrukce a rodinný dům z pórobetonů vychází totožné. Tyto výsledky pravděpodobně ovlivňuje maltové lože nanášené pod CLT panely. Následující sloupec znázorňující dopady jednotlivých střech ukazuje nejnižší dopad z hlediska eutrofizace pro stavbu tvořenou pórobetonem. Kdy se výsledky pro zbylé stavby rovnají. Další kategorií jsou vyhodnoceny konstrukce stěn, nejnižší výsledky tvoří dřevostavba z CLT panelů, poté dřevěná stavba ze sloupkové konstrukce a nejvyšší dopad vykazuje stavba na bázi pórobetonu. Z celkového hlediska vytváří nejhorší dopad stavba sloupková, poté stavba z pórobetonu a nejlépe si vede stavba z celomasivních panelů.



Graf 7: LCA dle konstrukcí - Potenciál eutrofizace (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

V následujícím grafu č. 8 je znázorněno celkové LCA v kategorii potenciálu eutrofizace pro stavby tvořené převážně z CLT, pórobetonu a sloupkové konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti výsledků bylo použito logaritmické měřítko, na kterém ovšem nelze vynést záporné hodnoty. Z toho důvody byly hodnoty v kategorii: „po životnosti budovy (D)“ pro znázornění vloženy jako absolutní čísla, které jsou znázorněny světlejšími odstíny oproti standardnímu značení z legendy.

Z grafu jsou možné vyčíst různé etapy dané životnosti pro určitý druh stavby. V kategorii produktu, který se zabývá samotnou výrobou a dopravou potřebných materiálů, lze vidět vysoké hodnoty u podkategorie výroba u stavby

z pórobetonových tvárnic. Nepatrně nižší dopad na eutrofizaci tvoří stavba tvořená sloupkovou konstrukcí a nejnižší hodnoty má v tomto případě stavba z celomasivních panelů. Hodnoty v podkategorii doprava jsou značně nižší oproti hodnotám kategorie výroba, kde nejmenší dopad utváří stavba na bázi pórobetonu, poté stavba na bázi CLT a největší dopad stavba ze sloupkové konstrukce. Z celkového hlediska v kategorii produktu má tedy nejlepší hodnoty v dopadu eutrofizace u těchto posuzovaných domů dřevostavba z CLT panelů. Druhá v pořadí vychází nejlépe sloupková dřevostavba a největší potenciální dopad eutrofizace je od pórobetonové stavby.

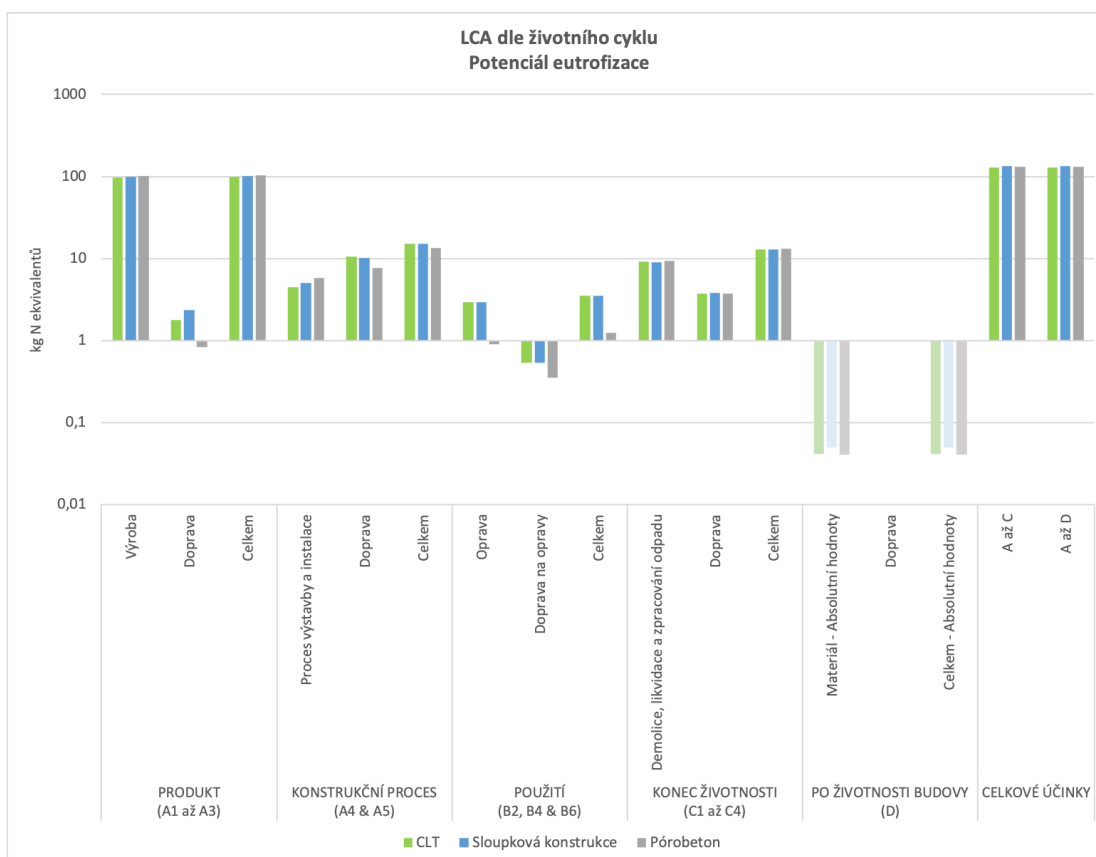
Následující kategorie se zabývá konstrukčním procesem neboli procesem výstavby, instalace a samotné dopravy materiálu na místo určení. Ze sloupců procesu výstavby a instalace vyplývají příznivé výsledky pro stavbu z CLT panelů oproti stavbě sloupkové nebo dokonce stavbě z pórobetonu, která je v tomto případě nejhorší. Naopak u podkategorie doprava lze vidět opačné výsledky na potenciální dopad eutrofizace, které svou velikostí převažují nad výsledky z podkategorie procesu, výstavby a instalace. Celkové výsledky této podkategorie jsou tedy seřazeny v pořadí od stavby způsobující nejhorší dopad, tedy od stavby na bázi CLT, přes stavby ze sloupkové konstrukce. Nejnižší dopad je u stavby pórobetonové.

Kategorie použití se zabývá především opravami a dopravou materiálu na již zmíněné opravy. Vzhledem k nízkým číslům jsou některé hodnoty v podkategorii oprava a doprava na opravy značeny pod hranicí celé jednotky neboli pod osou X. Čím níže v tomto případě hodnoty sahají, tím menší dopad způsobují. Z grafu je tedy patrné, že v podkategorii oprav se z hlediska nejnižšího dopadu nachází stavba pórobetonová. Následuje stavba sloupková a o nepatrný kousek se s největším dopadem v této podkategorii nachází stavba z CLT panelů. Ve sloupci doprava na opravy má stále nejmenší dopad stavba na bázi pórobetonu. Stavba na bázi CLT vychází jako druhá v pořadí a stavba ze sloupkové konstrukce vytváří dopad nejhorší. Další sloupec znázorňuje celkové výsledky v podkategorii použití, kdy nejnižší dopad je tvořen rodinným domem z pórobetonu a nejvyšší rodinným domem z CLT panelů.

Dále se hodnotí konec životnosti a s tím spjaté demolice, likvidace, zpracování odpadu a doprava pro tyto účely. Z hlediska demolice, likvidace a zpracování odpadu je možné dle největšího dopadu seřadit stavby od konstrukce pórobetonové, poté stavby z CLT panelů a na závěr s nejmenším dopadem stavba sloupková. V následující podkategorii doprava se výsledky staveb liší pouze minimálně, avšak nejvyšší hodnoty, a tím i největší dopad, má rodinný dům ze sloupkové konstrukce. Nejnižší hodnoty má rodinný dům z pórobetonu. Celkové vyhodnocení kategorie konec životnosti zobrazuje nejvyšší dopad pro stavbu na bázi pórobetonu, druhý nejvyšší dopad způsobuje stavba na bázi CLT a nejlepší výsledky jsou u stavby ze sloupkové konstrukce.

Předposlední kategorie se zabývá tím, jaký bude dopad po životnosti budovy, tedy přesněji recyklací. Tato kategorie dopady nenavyšuje, ale snižuje. K největšímu snížení dopadů dochází u stavby ze sloupkové konstrukce. Další v pořadí je u konstrukce tvořené CLT panelem a nejmenší snížení je u konstrukce z pórobetonových tvárnic. Doprava se v tomto případě nepočítá z důvodu započítání již v minulé kategorii. V tomto případě by se již jednalo o dopravu na nový produkt nebo stavbu, a tedy i o LCA pro jiný produkt či stavbu. Celkové výsledky jsou tedy tvořeny recyklací materiálu.

Poslední hodnoty znázorněné v grafu jsou celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. V levém sloupci je možné vidět celkové účinky pro kategorie A až C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití až po konec životnosti. V tomto případě se ukázal největší dopad u sloupkové dřevostavby. Nejnižší dopad byl zjištěn pro dřevostavbu z CLT panelů. V pravém sloupci jsou započítány totožné kategorie spolu s kategorií „po životnosti budovy“, tedy od A po D. Celkově lze vyhodnotit, že největší dopad v kategorii eutrofizace má za následek stavba sloupková, poté stavba z pórobetonu a nejnižší dopad způsobuje stavba z celomasivních panelů.



Graf 8: LCA dle životního cyklu - Potenciál eutrofizace (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

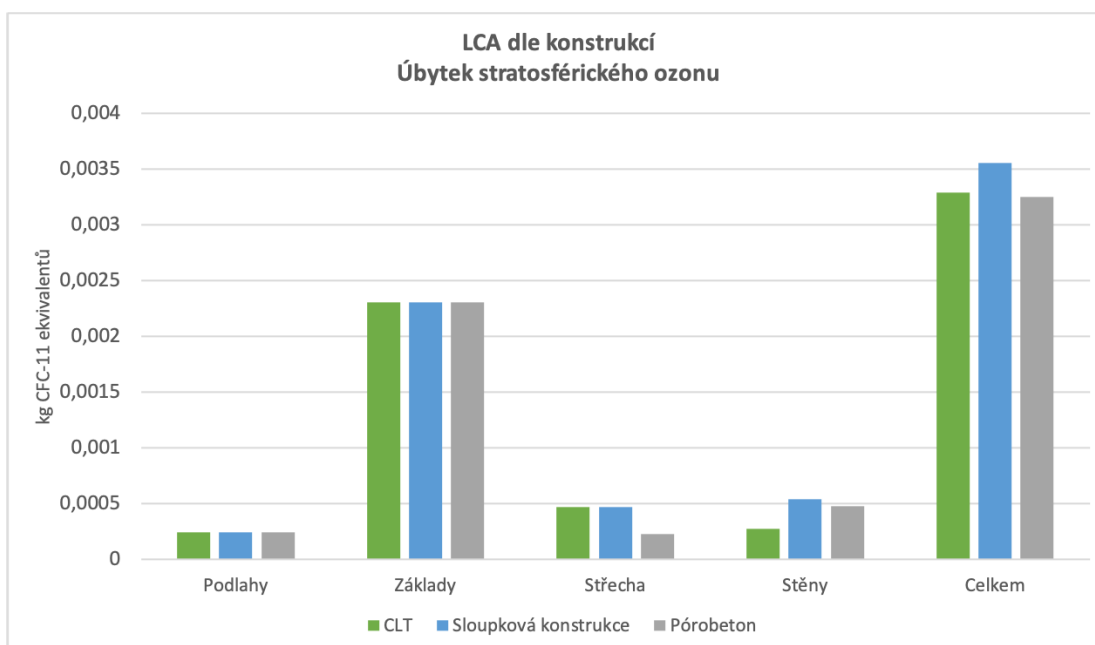
6.1.5 Úbytek stratosférického ozonu

Poškozováním ozonu je zapříčiněno pronikání UV záření a tím je i způsobeno mnoho dopadů na lidské zdraví, kvalitu přírody, jejich zdrojů a materiálů. Za příčinou poškozování ozonu stojí vodní pára, sloučeniny bromu a chloru, ale především oxidy dusíku, metany a halogenové uhlovodíky (Kočí, 2012).

Na grafu č. 9 lze vidět vyhodnocení LCA dle stavebních konstrukcí pro úbytek stratosférického ozonu, který se udává v jednotkách kg CFC-11 ekvivalentů. Tento graf porovnává LCA dle konstrukcí pro všechny tři stavby, tedy pro stavbu na bázi CLT, stavbu ze sloupkové konstrukce a stavbu na bázi pórobetonu.

Na grafu lze vidět pouze nepatrné odchylky ve výsledcích podlah, kdy největší dopad je vytvořen u pórobetonové stavby, pravděpodobně je to zapříčiněno zvolenou izolací. Zbylé dvě stavby se v kategorii podlah rovnají. Následující sloupec ukazuje výsledky základových konstrukcí, kdy je velmi malý rozdíl

k horšímu u konstrukce pro CLT panely. Další vyhodnocené data jsou pro střešní konstrukci, kdy se opět rovnají výsledky pro stavbu na bázi CLT a sloupkovou stavbu, zatímco potenciální úbytek stratosférického ozonu má pórobetonová konstrukce v porovnání s ostatními menší. Předposlední vyhodnocení v grafu patří konstrukcím stěn, kdy je zřejmé, že CLT panely tvoří nejmenší dopad z hlediska úbytku stratosférického ozonu, zatímco sloupková stavba tvoří dopad největší i přesto, že se také jedná o dřevostavbu. Z celkového hodnocení je očividné, že úbytek stratosférického ozonu nejvíce způsobuje stavba sloupková, poté stavba z CLT panelů a nejmenší dopad je u stavby z pórobetonu.



Graf 9: LCA dle konstrukcí - Úbytek stratosférického ozonu (Horáková z dat Athena IEfB, 2020)

V následujícím grafu č. 10 je znázorněno celkové LCA v kategorii úbytku stratosférického ozonu pro stavby tvořené převážně z CLT, pórobetonu a sloupkové konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti výsledků bylo použito logaritmické měřítko, na kterém ovšem nelze vynést záporné hodnoty. Z toho důvodu byly hodnoty v kategorii: „po životnosti budovy (D)“ pro znázornění vloženy jako absolutní čísla, které jsou označeny světlejšími odstíny oproti standardnímu značení z legendy. V tomto grafu hodnoty nedosahují celých čísel. Vzhledem k použitému logaritmickému měřítku se může zdát, že se hodnoty v grafu č.10 zobrazují pod osou grafu. Je to ale dáno tím, že se

veškeré hodnoty pohybují za desetinnou čárkou a tedy čím níže sloupec dosahuje, tím menší dopad způsobuje.

Z grafu jsou možné vyčíst různé etapy dané životnosti pro určitý druh stavby. V kategorii produktu, který se zabývá samotnou výrobou a dopravou potřebných materiálů, lze vidět, že v podkategorii výroba způsobuje nejmenší úbytek stratosférického ozonu stavba pórobetonová. Druhý nejmenší úbytek má stavba z CLT panelů a největší dopad v podkategorii výroba tvoří sloupková stavba. Taktéž je tomu u podkategorie doprava, avšak hodnoty jsou mnohem nižší. Z celkového hodnocení produktu tedy vyplívají totožné hodnoty s podkategorií výroby.

Následující kategorie se zabývá konstrukčním procesem neboli procesem výstavby, instalace a samotné dopravy materiálu na místo určení. Ze sloupců procesu výstavby a instalace jsou značné nízké dopady pro CLT dřevostavbu, vyšší pro sloupkovou dřevostavbu a nejvyšší úbytek stratosférického ozonu v tomto případě způsobuje pórobetonová stavba. Další podkategorií je doprava, která má opět nižší hodnoty vůči předchozí podkategorii, avšak její hodnoty stoupají v opačném pořadí. Z celkového hodnocení konstrukčního procesu lze vidět, že největší dopad je způsoben u stavby pórobetonové, poté u stavby sloupkové a nejlépe je na tom ohledně úbytku stratosférického ozonu stavba tvořená z CLT panelů.

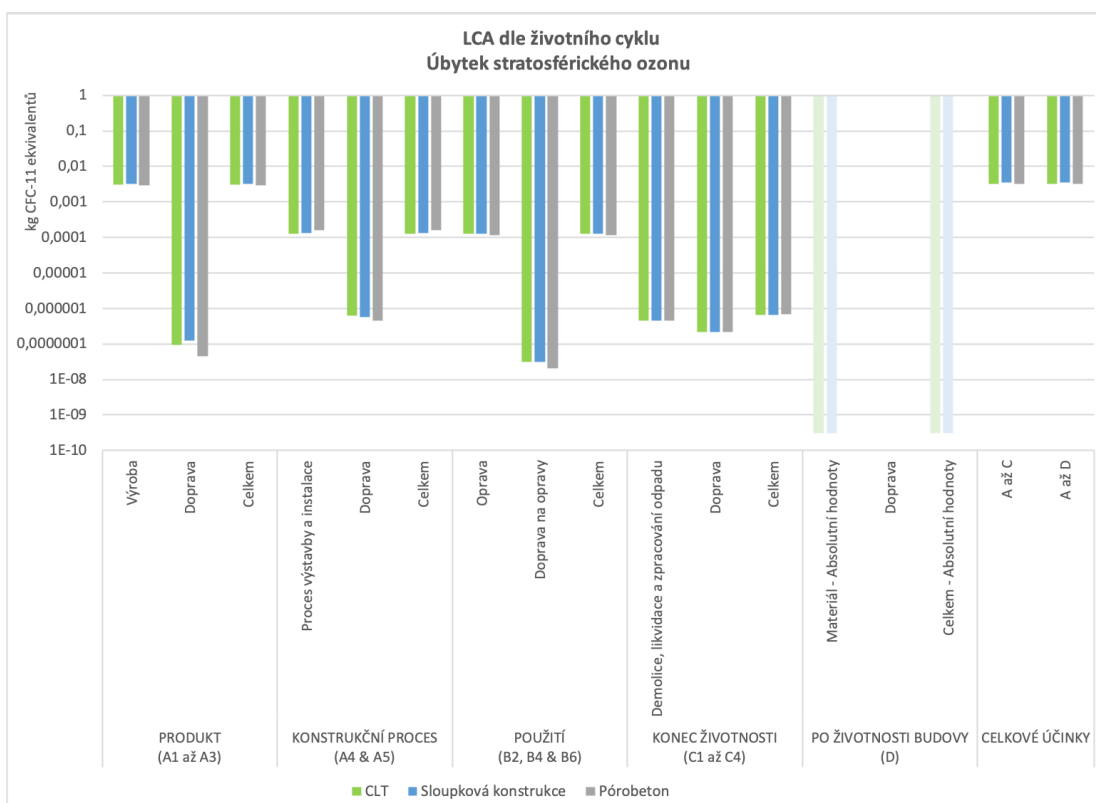
Kategorie použití se zabývá především opravami a dopravou materiálu na již zmíněné opravy. V podkategorii oprav má nejnižší dopad stavba z pórobetonových tvárnic, zatímco stavba z CLT panelů způsobuje největší úbytek. Stejně tak je tomu i u další podkategorii zvané doprava na opravy, avšak v tomto případě způsobuje největší dopad sloupková dřevostavba. Z celkového hlediska lze vidět nejmenší úbytek u stavby pórobetonové, poté sloupkové a největší dopad je způsoben stavbou z CLT panelů.

Dále se hodnotí konec životnosti a s tím spjaté demolice, likvidace, zpracování odpadu a doprava pro tyto účely. Z hlediska demolice, likvidace a zpracování odpadu je možné vidět velmi podobné hodnoty, avšak nejmenší úbytek stratosférického ozonu je u sloupkové dřevostavby, poté u dřevostavby z CLT panelů a největší dopad je tvořen stavbou pórobetonovou. V podkategorii je

dopad ve zcela opačném pořadí vůči demolici, likvidaci a zpracování odpadu. Podkategorie znázorňující celkové hodnoty v kategorii konec životnosti ukazuje nejmenší způsobený dopad u sloupkové dřevostavby, poté nepatrně větší dopad u CLT dřevostavby a nejvyšší úbytek ozonu u stavby z pórobetonových tvárnic.

Předposlední kategorie se zabývá tím, jaký bude způsobený úbytek stratosférického ozonu po životnosti budovy, tedy přesněji recyklací. Tato kategorie dopady nenavyšuje, nýbrž snižuje. U CLT dřevostavby a sloupkové dřevostavby se dopady sníží identicky, avšak u stavby pórobetonové nedojde ke snížení dopadů vůbec. Doprava se v tomto případě nepočítá z důvodu započítání již v minulé kategorii. V tomto případě by se již jednalo o dopravu na nový produkt nebo stavbu a tedy i o LCA pro jiný produkt či stavbu. Celkové výsledky se tedy shodují s výsledky recyklací materiálu.

Poslední hodnoty znázorněné v grafu jsou celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. V levém sloupci je možné vidět celkové účinky pro kategorie A až C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití až po konec životnosti. V tomto případě se nejmenším úbytkem vyznačuje stavba pórobetonová, poté stavba z CLT panelů a největší dopad je u stavby sloupkové. V pravém sloupci jsou započítány totožné kategorie spolu s kategorií „po životnosti budovy“ tedy od A po D. Vzhledem k nepatrným výsledkům u kategorie po životnosti budovy jsou však tyto výsledky shodné s výsledky u A až C.



Graf 10: LCA dle životního cyklu - Úbytek stratosférického ozonu (Horáková z dat Athena IEfB, 2020)

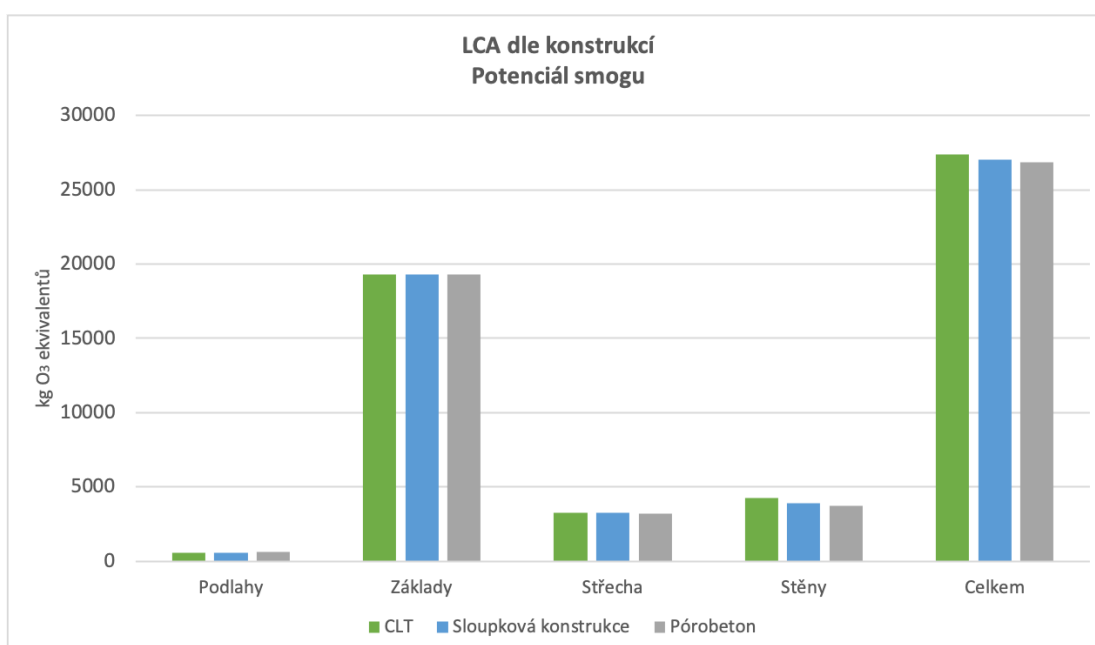
6.1.6 Potenciál smogu

Následky smogu jsou různé, mohou způsobovat rozdílné problémy, konkrétně od bolestí hlavy či pálení očí až po poškození flóry. Smog je tvořen popílky, sazími a chemickými sloučeninami. Je důsledkem především výfukových plynů z automobilové dopravy, ale také je způsobován lokálními topeništi či nízkými komíny (Víden, 2005).

Na grafu č. 11 lze vidět vyhodnocení LCA dle stavebních konstrukcí pro potenciál smogu, který se udává v jednotkách kg O₃ ekvivalentů. Tento graf porovnává LCA dle konstrukcí pro všechny tři stavby, tedy pro stavbu na bázi CLT, stavbu ze sloupkové konstrukce a stavbu na bázi pórobetonu.

Ve sloupci podlah je možné vidět nepatrně vyšší dopad z hlediska smogu u stavby z pórobetonových tvárnic, zatímco u stavby z celomasivního panelu jsou dopady nižší, avšak totožné se stavbou ze sloupkové konstrukce. Další kategorie znázorňuje výsledky pro základy, kde je pro všechny tři stavby dopad shodný. Následující výsledky pro střešní konstrukci znázorňují nejvyšší dopad

z hlediska použitých materiálů u stavby na bázi CLT panelů a stavby ze sloupkové konstrukce. Nejnižší dopad tvoří stavba na bázi pórobetonu. Předposlední sloupec značí dopady smogu z hlediska stěnových konstrukcí. V tomto případě tvoří v poměru k ostatním konstrukcím vysoké dopady dřevostavba tvořená CLT panely, kdy je pravděpodobné větší použití těžkých strojů, které vytváří více výfukových plynů a tedy horší dopad z hlediska smogu. Další v pořadí je sloupková dřevostavba a nejnižší dopad tvoří pórobetonová stavba. Z celkového hlediska tvoří nejhorší dopad stavba na bázi CLT panelů, poté stavba ze sloupkové konstrukce a nejnižší dopad stavba na bázi pórobetonu.



Graf 11: LCA dle konstrukcí - Potenciál smogu (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

V následujícím grafu č. 12 je znázorněno celkové LCA v kategorii potenciál smogu pro stavby tvořené převážně z CLT, pórobetonu a sloupkové konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti výsledků bylo použito logaritmické měřítko, na kterém ovšem nelze vynést záporné hodnoty. Z tohoto důvodu byly hodnoty v kategorii: „po životnosti budovy (D)“ pro znázornění vloženy jako absolutní čísla, které jsou označeny světlejšími odstíny oproti standardnímu značení z legendy.

Z grafu jsou možné vyčíst různé etapy dané životnosti pro určitý druh stavby. V kategorii produktu, který se zabývá samotnou výrobou a dopravou potřebných materiálů, lze vidět, že v podkategorii výroba způsobují největší

dopad materiálu pro výrobu stavby na bázi pórobetonu. Nižší dopad vykazuje materiál pro stavbu z CLT panelů a nejnižší dopad způsobují materiály pro sloupkovou stavbu. V další podkategorii je znázorněn dopad způsobený dopravou materiálu. V tomto případě je vidět, že nejmenší hodnoty a tím i nejmenší dopad jsou u konstrukce tvořené pórobetonem. Vyšší hodnoty pak jsou u konstrukce tvořené CLT panely a nejvyšší hodnoty jsou u sloupkové konstrukce. Celkové výsledky v kategorii použití jsou tedy nejvyšší pro pórobetonovou stavbu, nižší pro stavbu z CLT masivních dílců a nejnižší hodnoty lze vidět u stavby sloupkové.

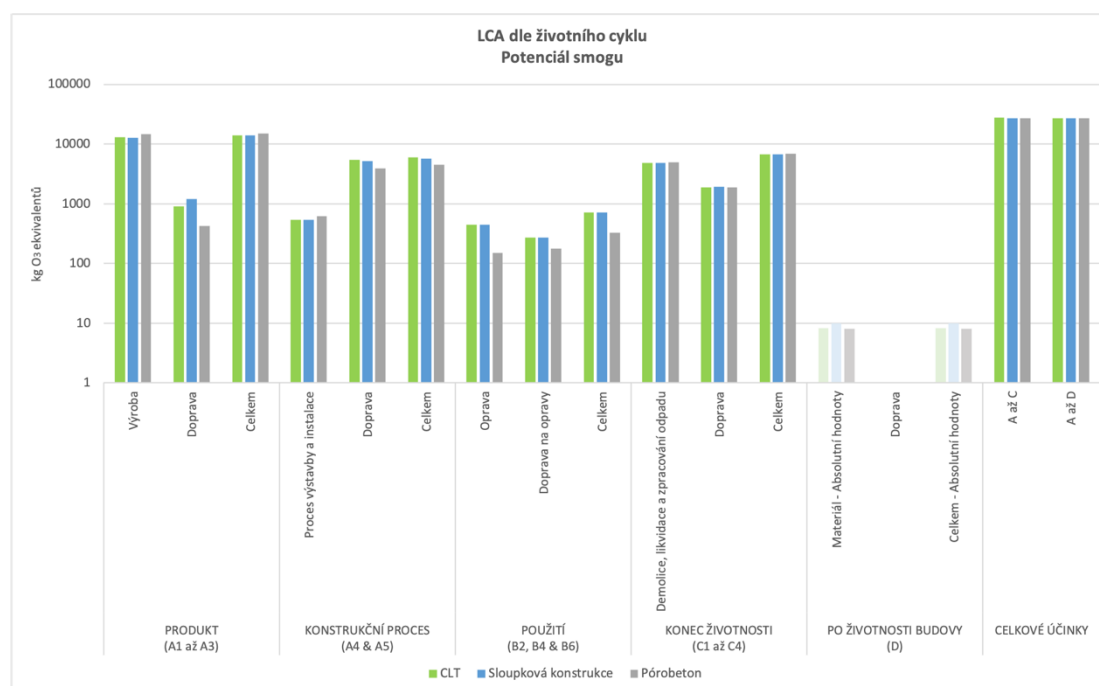
Následující kategorie se zabývá konstrukčním procesem neboli procesem výstavby, instalace a samotné dopravy materiálu na místo určení. Ze sloupců procesu výstavby a instalace jsou značně nízké hodnoty pro dřevostavbu z CLT panelů. O trochu vyšší jsou u dřevostavby sloupkové a nejvyšší u stavby z pórobetonových tvárnic. Z hlediska dopravy lze vidět opačné pořadí těchto staveb, stejně jako v celkovém vyhodnocení v kategorii konstrukčního procesu.

Kategorie použití se zabývá především opravami a dopravou materiálu na již zmíněné opravy. V podkategorii oprav má nejvyšší hodnoty stavba na bázi CLT, zatímco v podkategorii doprava na opravy má naopak nejvyšší hodnoty stavba ze sloupkové konstrukce. U obou zmíněných podkategorií tvoří nejnižší dopad potenciálu smogu stavba na bázi pórobetonu. Taktéž tomu je i z celkového hlediska, kde nejvyšší dopad tvoří dřevostavba z CLT panelů.

Jako další se hodnotí konec životnosti a s tím spjaté demolice, likvidace, zpracování odpadu a doprava pro tyto účely. Z hlediska demolice, likvidace a zpracování odpadu je možné dle největšího dopadu seřadit stavby následovně: pórobetonová stavba, CLT stavba a sloupková stavba. V následujícím sloupci má naopak nejmenší dopad stavba z pórobetonových tvárnic, poté stavba z celomasivních panelů a nejvyšší dopad tvoří stavba sloupková. Celkové vyhodnocení této kategorie nejlépe vychází pro stavbu sloupkovou, nepatrně větší dopad z hlediska smogu vytváří stavba CLT a největší dopad vychází u stavby pórobetonové.

Předposlední kategorie se zabývá tím, jaký budou mít jednotlivé stavby dopad na životní prostředí z hlediska potenciálu smogu po životnosti budovy, tedy přesněji recyklací. Ta dopady nezvyšuje, ale naopak snižuje. K největšímu snížení dopadů dochází u sloupkové dřevostavby, dále dochází k menšímu snížení dopadů u dřevostavby z CLT panelů oproti sloupkové konstrukci. Nejmenší snížení, ač jen nepatrné oproti CLT stavbě, je u stavby pórobetonové. Doprava se v tomto případě nepočítá z důvodu započítání již v minulé kategorii. V tomto případě by se již jednalo o dopravu na nový produkt nebo stavbu, a tedy i o LCA pro jiný produkt či stavbu. Celkové výsledky jsou tedy totožné s výsledky recyklace materiálu.

Poslední hodnoty znázorněné v grafu jsou celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. V levém sloupci je možné vidět celkové účinky pro kategorie A až C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití až po konec životnosti. V tomto případě byla vyhodnocena konstrukce na bázi CLT panelů jako stavba s největším potenciálem tvorby smogu. Jako druhá v pořadí se umístila stavba ze sloupkové konstrukce a s nejmenšími výsledky vyšla stavba na bázi pórobetonu. V pravém sloupci jsou započítány totožné kategorie spolu s kategorií „po životnosti budovy“ tedy od A po D. Celkové výsledky A až D jsou totožné s výsledky A až C.



Graf 12: LCA dle životního cyklu - Potenciál smogu (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

6.1.7 Celková primární energie

Tato energie je získávána především z přírody, a to v podobě, v jaké se v přírodě nachází, respektive neprošla jakýmkoliv procesem úprav či přeměn. Celkovou primární energii dělíme na obnovitelnou a neobnovitelnou. Mezi obnovitelnou energii řadíme energii získanou pomocí vody, větru, biomasy nebo slunečního záření, tedy takové prostředky, které jsou snadno obnovitelné, respektive proces jejich obnovy netrvá déle, než je jeden lidský život, což je i pomyslná hranice definující rozdíl mezi obnovitelnými a neobnovitelnými zdroji. Zatímco energie neobnovitelná je získávána z ropy, uhlí a zemního plynu. I tato energie je obnovitelná, avšak délka trvání její obnovy je více než několik lidských životů, a tím pádem je označována jako energie neobnovitelná (Novotný a kol., 2017).

Obnovitelnou energii utváří sluneční energie, kterou lze získat pomocí fotovoltaických a termických kolektorů. Tyto kolektory dokáží nastřádat a přeměnit sluneční záření, a to následně přeměnit na teplo a elektřinu. Dále je možné obnovitelnou energii získávat z vody, pomocí vodních elektráren. Také za pomoci větru ale i pomoci biomasy, respektive procesem spalování rostlinné hmoty. Mezi obnovitelné zdroje se také řadí energie z prostředí a geotermální energie, které jsou získávány ze zemského jádra, vzduchu, vody a půdy (Carbounion, 2017).

6.1.7.1 Neobnovitelná energie

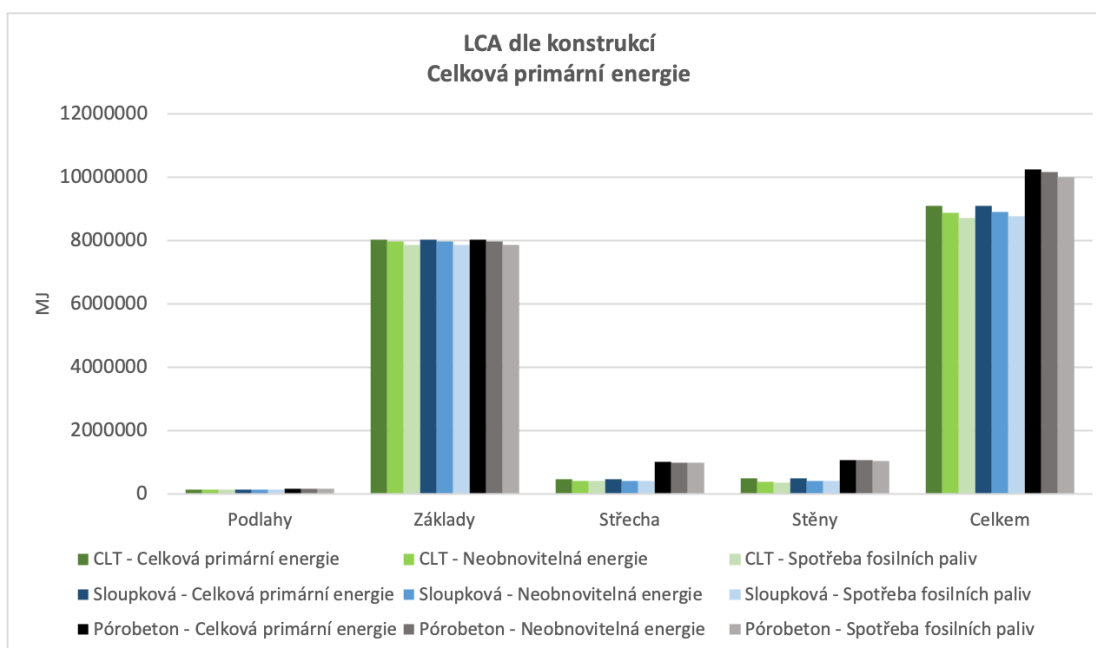
Do neobnovitelné energie řadíme fosilní zdroje, ale i takzvanou energii atomu. Jedná se o jadernou energii, kterou lze získat díky štěpení jádra atomu obohaceného uranu. Respektive uvolněním vazby mezi protony a neutrony obsažené v atomu. A tím následně získání tisícnásobně více energie oproti fosilním zdrojům (Gabrielová a kol., 2010).

Fosilní paliva lze získat pomocí uhlí, které je utvářeno z odumřelých rostlin či stromů. Jako další zdroj této energie je ropa neboli tekutá hořlavá hornina, kterou lze získat rozkladem rostlin či menších živočichů. V návaznosti na ropu

je možné neobnovitelnou energii získávat pomocí zemního plynu, který lze získat v podobě metanu v místě zdroje ropy. Rozkladem rostlin je možné dále také získat rašelinu, která se též řadí mezi zdroje neobnovitelné energie (Carbounion, 2017).

Na grafu č. 13 lze vidět vyhodnocení LCA dle stavebních konstrukcí pro všechny tři stavby v kategorii celková primární energie, která se dále dělí na energii neobnovitelnou a na spotřebu fosilních paliv. Všechny tyto energie se udávají v jednotkách MJ.

Ve sloupci podlah lze vidět totožné údaje pro stavbu z CLT panelů a stavbu sloupkovou, zatímco stavba pórobetonová vytváří dopad větší. V následujícím sloupci základové konstrukce mají největší dopad základy pro dřevostavbu z CLT panelů, zatímco sloupková dřevostavba a stavba z pórobetonu vykazují nižší výsledky, které jsou shodné. Základová konstrukce vytváří větší dopad u stavby z CLT panelů nejspíše kvůli přidanému maltovému loži, které je nanášeno pod CLT panely. Ve střešní konstrukci má znatelně největší dopad na celkovou primární energii stavba z pórobetonu, zbylé dvě konstrukce tvoří dopad nižší a opět shodný. Sloupec stěn znázorňuje znovu největší dopad u stěn z pórobetonových tvárnic. Jako druhá nejhorší vychází v tomto případě sloupková konstrukce a nejnižší dopad je způsoben stavbou z CLT panelů. Z celkového hlediska je patrné, že největší dopad způsobuje stavba z pórobetonu, a to vzhledem k použití převážně neobnovitelných materiálů. O mnoho nižší dopad tvoří stavba sloupková a nejmenší dopad je znovu u stavby z CLT panelů.



Graf 13: LCA dle konstrukcí - Celková primární energie (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

V následujícím grafu č. 14 je znázorněno celkové LCA v kategorii primární energie pro stavby tvořené z CLT, pórobetonu a sloupkové konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti výsledků bylo použito logaritmické měřítko, na kterém ovšem nelze vynést záporné hodnoty. Z toho důvodu byli hodnoty v kategorii: „po životnosti budovy (D)“ pro znázornění vloženy jako absolutní čísla, které jsou označeny světlejšími odstíny oproti standardnímu značení z legendy.

Z grafu jsou možné vyčíst různé etapy dané životnosti pro určitý druh stavby. V kategorii produktu, který se zabývá samotnou výrobou a dopravou potřebných materiálů, lze vidět nejvyšší dopad u stavby z pórobetonu zatímco nejnižší u dřevostavby z CLT panelů. V podkategorii doprava je naopak pórobeton s nejnižšími výsledky, vyšší výsledky vykazuje stavba z CLT panelů a nejhorší hodnoty jsou u stavby sloupkové. Z celkového hlediska jsou výsledky seřazeny totožně s výsledky u podkategorie výroba.

Následující kategorie se zabývá konstrukčním procesem neboli procesem výstavby, instalace a samotné dopravy materiálu na místo určení. Ze sloupců procesu výstavby a instalace jsou značně horší hodnoty u stavby pórobetonové oproti stavbě sloupkové, zatímco stavba z CLT panelů je na tom nejlépe. V podkategorii doprava jsou hodnoty seřazeny totožně, avšak v opačném pořadí. Následující podkategorie celkem znázorňuje nejnižší hodnoty pro

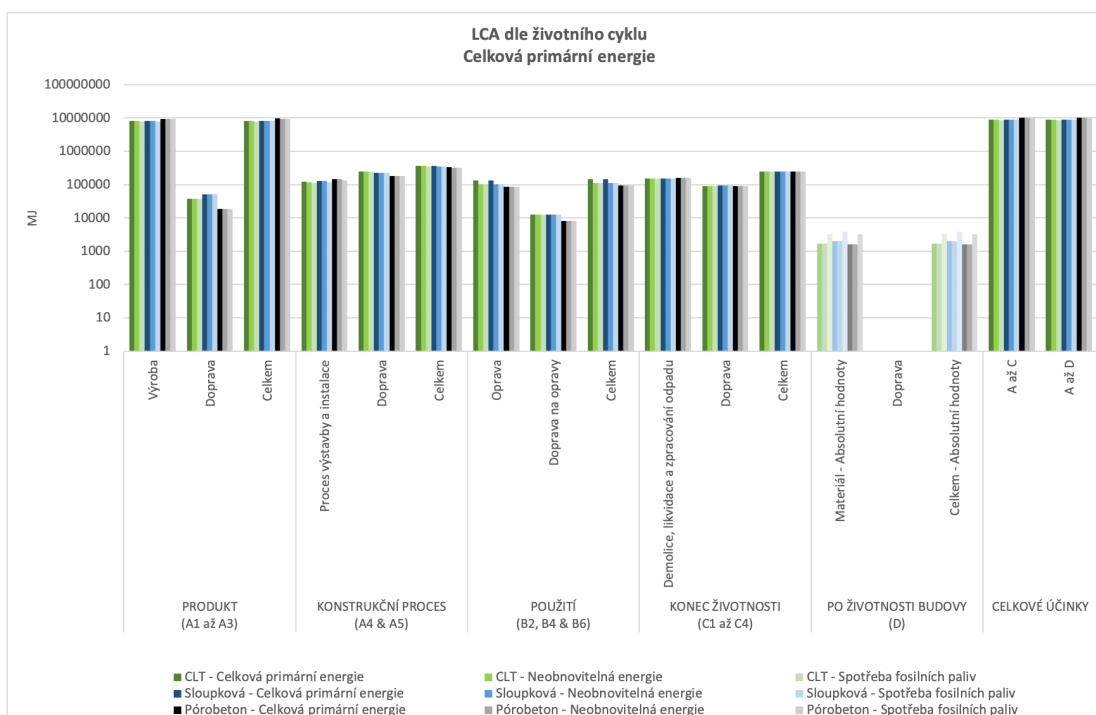
stavbu tvořenou pórobetonem z hlediska konstrukčního procesu, naopak nejvyšší dopad je u stavby z CLT panelů.

Kategorie použití se zabývá především opravami a dopravou materiálu na již zmíněné opravy. Z grafu je patrné že ve všech podkategoriích pro použití má nejmenší dopad stavba na bázi pórobetonu, avšak v podkategorii oprav tvoří největší dopad stavba na bázi CLT panelů a u podkategorie doprava na opravy je to naopak stavba ze sloupkové konstrukce, ačkoliv z celkového vyhodnocení tvoří nejvyšší dopad stavba z CLT panelů.

Dále se hodnotí konec životnosti a s tím spjaté demolice, likvidace, zpracování odpadu a doprava pro tyto účely. Z hlediska demolice, likvidace a zpracování odpadu je možné dle největšího dopadu seřadit stavby od stavby pórobetonové přes stavbu z CLT panelů až po stavbu s nejmenším dopadem, a to stavbu sloupkovou. V podkategorii doprava jsou hodnoty seřazeny v opačném pořadí, tedy nejvyšší dopad je u stavby sloupkové a nejmenší u stavby pórobetonové. Z celkového vyhodnocení je ale stavbou s nejnižšími dopady vzhledem k celkové primární energii stavba sloupková a nejhorší stavba pórobetonová.

Předposlední kategorie se zabývá tím, jaký bude dopad na celkovou primární energii po životnosti budovy ve vazbě na recyklaci. Ta dopady nenavýšuje, nýbrž snižuje. K největšímu snížení dopadů dochází u sloupkové dřevostavby, poté u dřevostavby z CLT panelů a nejnižší snížení lze vidět u stavby z pórobetonu. Podkategorie materiálu a celkových výsledků jsou totožné, jelikož podkategorie doprava se nepočítá, vzhledem k započítání již v minulé kategorii. V tomto případě by se jednalo o dopravu na nový produkt nebo stavbu, a tedy i o LCA pro jiný produkt či stavbu.

Poslední hodnoty znázorněné v grafu jsou celkové účinky neboli celkové dopady daných staveb. V levém sloupci je možné vidět celkové účinky pro kategorie A až C, tedy od produktu přes konstrukční proces a použití až po konec životnosti. V tomto případě je nejmenší dopad u stavby z CLT panelů, poté u stavby sloupkové a nejvyšší hodnoty lze vidět u stavby pórobetonové. V pravém sloupci jsou započítány totožné kategorie spolu s kategorií „po životnosti budovy“ tedy od A po D. Celkově však stavby mají stejné pořadí z hlediska primární energie jako u kategorie A až C.



Graf 14: LCA dle životního cyklu - Celková primární energie (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

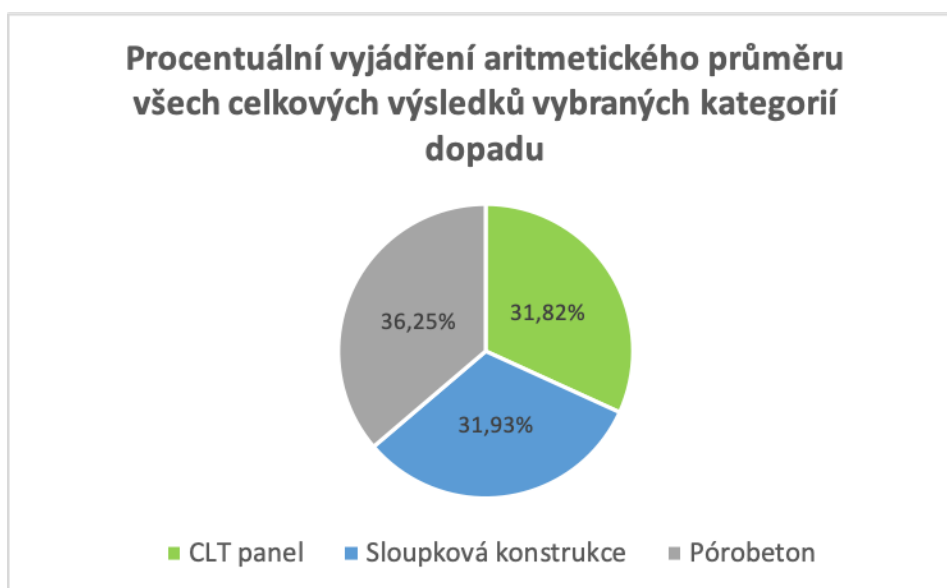
6.2 Shrnutí kategorií dopadů všech konstrukčních řešení

V následující tabulce č. 2 lze vidět výsledné hodnoty dopadů pro tři posuzované stavby, tedy pro stavbu tvořenou z CLT panelů, stavbu tvořenou ze sloupkové konstrukce a stavbu tvořenou z pórobetonu. Pro větší přehlednost jsou data v tabulce označena barevně, kdy zelená značí nejmenší způsobený dopad a červená největší způsobený dopad. Lze vidět, že nejmenší dopad kromě kategorie částic lidského zdraví, úbytku stratosférického ozonu a potenciálu smogu, tvoří stavba na bázi CLT panelů. V těchto třech výše uvedených kategoriích naopak tvoří nejmenší dopad stavba z pórobetonu, která je ale kromě potenciálu eutrofizace stavbou tvořící největší dopad z těchto tří posuzovaných staveb. Veškeré výsledné hodnoty sloupkové stavby nevyšly v rámci třech posuzovaných konstrukčních řešeních jako nejmenší, nicméně v kategorii částic lidského zdraví, potenciálu eutrofizace a úbytku stratosférického ozonu vyšly hodnoty jako největší.

Tabulka 2: Celkové vyhodnocení LCA pro všechny tři stavby (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

Kategorie dopadu	Jednotka	CLT panel	Sloupková konstrukce	Pórobeton
Potenciál globálního oteplování	kg CO ₂ ekv.	253575,772	255446,340	311125,165
Potenciál acidifikace	kg SO ₂ ekv.	1750,64913	1769,29508	1956,84764
Částice lidského zdraví	kg PM _{2.5} ekv.	197,591647	202,272406	185,781338
Potenciál eutrofizace	kg N ekv.	129,547021	132,514059	130,443642
Úbytek stratosférického ozonu	kg CFC-11 ekv.	0,00328838	0,00355459	0,00324818
Potenciál smogu	kg O ₃ ekv.	27367,4188	26998,3023	26831,5438
Celková primární energie	MJ	9094994,80	9104416,23	10238131,4
Neobnovitelná energie	MJ	8878297,92	8909706,82	10151887,3
Spotřeba fosilních paliv	MJ	8721919,35	8766801,13	9997638,43

Na následujícím grafu č. 15 lze vidět, že celkově nejmenší dopad způsobuje stavba na bázi CLT s 31,82%. Ačkoliv se stavba ze sloupkové konstrukce může zdát z hlediska dopadu na životního prostředí nevýhodná, má jen mírně horší výsledky než stavba z CLT panelů. Sloupková konstrukce v procentuálním aritmetickém průměru tvoří 31,93% z hlediska celkového dopadu, zatímco stavba z pórobetonu z celkových dopadů disponuje 36,25% a tím je i označena jako stavba vytvářející největší dopady v životním cyklu z hlediska uvedených kategorií dopadu v rámci porovnávaných staveb v této práci.



Graf 15: Procentuální vyjádření aritmetického průměru všech celkových výsledků vybraných kategorií dopadu (Horáková z dat Athena IEFB, 2020)

7 Diskuze

Zjištěné výsledky v této práci jsou vypracované pomocí software Athena Impact Estimator for Buildings, který je pouze jedním z mála programů pro použití metody LCA, což je zapříčiněno novostí této metody. Vzhledem k tomuto úzkému výběru a samotné novosti těchto programů dochází k omezenému výběru sortimentu v daných programech vůči rozmanitosti trhu s materiály. Například jsou uváděny pouze určité tloušťky materiálů, které je nutné přepočítat vzhledem k danému objemu tloušťky materiálu zvoleného ve skladbě domu či je na výběr pouze jeden druh parozábrany a dalších materiálů. Je to tedy i jeden z ukazatelů, který může ovlivnit výsledky. Dále také každý software provádí své propočty trochu jiným způsobem a s jinými naprogramovanými daty, což může ovlivnit výsledky totožných staveb v různých software.

Dle Jaworkové (2019) byly pomocí metody LCA porovnány dva typy konstrukcí. Jedním z nich je stavba sloupková a druhá stavba pórobetonová pro totožný dům, shodný s touto prací, se stejnými kritérii. Byl však vyhodnocen za pomoci MT konzult, kdy ve výsledném hodnocení vyšla ve všech kategoriích dopadu lépe stavba sloupková. Tyto výsledky korespondují s výslednými hodnotami v této práci, vyjma kategorií dopadu eutrofizace a úbytku stratosférického ozonu, jakožto shodné kategorie dopadů obsahující obě tyto práce. Z uvedeného tedy vyplývá, že výsledky mohla ovlivnit energie na používání, s kterou se v této zmiňované práci nepočítá anebo je to způsobeno odlišností programu a odlišnou různorodostí materiálů obsažených v programu ve vazbě na uvedené vstupní hodnoty pro tyto konstrukce.

Ve své studii Maoduš a kol. (2016) uvádí porovnání skeletové skladby stěny se skladbou z klasických pálených cihel a skladbou z pórobetonu, kdy v jeho LCA vyhodnocení vychází jako skladba tvořící nejmenší dopad skladba z pórobetonu. Tyto výsledky jsou tedy v rozporu s výsledky uvedenými v této práci, avšak může to být zapříčiněno použitím neobnovitelného materiálu v podobě kameninové vlny u skeletové stavby, a tím tedy zhoršení dopadu pro dřevostavbu oproti stavbě zděné. Vyplývá z toho, že každý prvek ve zvolené

skladbě má velkou váhu na dopad pro životní prostředí a záleží na zvolené kombinaci materiálu v daných skladbách.

Z vyhodnocení také plynou značné dopady z hlediska konstrukčního složení, kdy je zřejmé, že celkové dopady navyšuje základová konstrukce a tím se i navyšují celkové dopady. Dalo by se tedy uvažovat o alternativní konstrukci základů, při které by byl ve velké míře snížen dopad na životní prostředí.

8 Závěr

Vzhledem k celkovému aritmetickému průměru veškerých kategorií dopadů vyhodnocených metodou LCA pomocí programu Athena Impact Estimator for Buildings bylo zjištěno, že z celkového aritmetického průměru vytváří nejnižší dopady na životní prostředí stavba na bázi CLT panelů s výslednými 31,82%. Při rozdělení na kategorie dopadů bylo zjištěno, že v porovnání se sloupkovou dřevostavbou a pórobetonovou stavbou má stavba z CLT panelů nejnižší dopad v kategoriích potenciálu globálního oteplování, potenciálu acidifikace, potenciálu eutrofizace a v kategorii celkové primární energie. Naopak vytváří největší dopad v kategorii potenciálu smogu. Bylo zjištěno, že sloupková dřevostavba tvoří větší dopad o malý rozdíl vůči dřevostavbě z CLT panelů, konkrétně o 0,11%, a to i přesto, že z těchto posuzovaných staveb nevytváří v žádné kategorii nejmenší dopad. Naopak vytváří největší dopad v kategorii částic lidského zdraví, potenciálu eutrofizace a v kategorii úbytku stratosférického ozonu. Pórobetonová stavba vytváří největší dopady v kategoriích potenciálu globálního oteplování, potenciálu acidifikace a celkové primární energie, tedy skoro ve všech kategoriích, v kterých vytváří nejmenší dopady stavba z CLT panelů. Nejmenší dopad vytváří v kategorii částic lidského zdraví, úbytku stratosférického ozonu a potenciálu smogu. Z hlediska celkového aritmetického průměru jsou výsledky pórobetonové stavby o 4,43% horší v kategoriích dopadů oproti stavbě z CLT panelů.

Dále bylo zjištěno, že ve všech kategoriích dopadu z hlediska konstrukčního řešení vytváří největší dopad základy, které jsou pro všechny tři posuzované stavby téměř identické. Také z hlediska fází životnosti LCA bylo zjištěno, že velkou část dopadů ovlivňuje samotná výroba materiálů potřebných pro proces výstavby u veškerých kategorií dopadu a u všech hodnocených staveb.

Na základě těchto zjištěných výsledků lze pracovat na snížení dopadů na životní prostředí upřednostněním výstavby dřevostaveb oproti zděným stavbám, přesněji dřevostaveb z CLT panelu, které z hlediska metody LCA vytváří nejlepší výsledky z hlediska dopadů na životní prostředí z těchto tří posuzovaných staveb. Je tedy možné je hodnotit jako více ekologický a

udržitelný materiál a tím i tedy jako vhodný materiál pro výstavbu rodinných domů pro budoucí generace.

Dalším řešením pro udržitelnost planety Země v aktuálním či lepším stavu by bylo posouzení jednotlivých materiálů z inventarizační fáze metodou LCA, kdy by bylo zjištěno, který materiál tvoří jaký dopad a zda je tedy vhodné jeho nahrazení či obměna materiálem tvořícím menší dopad oproti materiálu stávajícímu a následným vyhodnocením nové skladby domu pro účely zjištění, zda daný dům vytváří menší dopady a lze ho vyhodnotit jako nejlepšího adepta pro ekologickou stavbu nezatěžující naši planetu v takové míře.

9 Seznam literatury a použitých zdrojů

BRIBIÁN, Ignacio Zabalza; USÓN, Alfonso Aranda; SCARPELLINI, Sabina.

Life cycle assessment in buildings : State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* [online]. 2009, vol. 44, no. 12 [cit. 2020-03-05]. Dostupné z WWW: <<https://www.journals.elsevier.com/building-and-environment>>. ISSN: 0360-1323.

CABEZA, Luisa F.; RINCÓN, Lidia; VILARIÑO, Virginia; PÉREZ, Gabriel;

CASTELL, Albert. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector : A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2014, vol. 29 [cit. 2020-03-05]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113005777?via%3Dihub>>.

CARBOUNION BOHEMIA, spol. s. r. o.. Jasně a přehledně: co patří mezi

obnovitelné a neobnovitelné zdroje energie?. *Carbounion : Carbounion rádce* [online]. 2017-01-16 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z WWW: <<https://www.carbounion.cz/radce/jasne-a-prehledne-co-patri-mezi-obnovitelne-a-neobnovitelne-zdroje-energie>>.

CRDR SPOL. S.R.O.. Znečištění ze stavebnictví. Druhy, důsledky a

prevence, jak ho snížit. *BOZP.cz Koordinace* [online]. 2020-01-08 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.koordinacebozp.cz/aktuality/znecesteni-ze-stavebnictvi/>>.

ČSN EN ISO 14040. *Environmentální management - posuzování životního cyklu - zásady a osnova*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 36 s.

ČSN EN ISO 14044. *Environmentální management - posuzování životního cyklu - požadavky a směrnice*. Praha : Český normalizační institut, 2006. 68 s.

GABRIELOVÁ, Hana; RUMAN, Michal. Výroba energie a její dopady na životní prostředí. *Calla* [online]. [S.l.] : Calla, 2010 [cit. 2020-05-24].

Dostupné z WWW: <http://www.calla.cz/data/hl_stranka/ostatni/vyroba-energie.pdf>.

HAVÍŘOVÁ, Zdeňka. *Dům ze dřeva*. 2. vyd. Brno : ERA group spol s.r.o., 2006. [99 s.] ISBN 80-7366-060-1.

JAKOUBKOVÁ, Dana. CLT panel je 5krát lepším izolantem než beton. *Dřevo a stavby* [online]. 2017-09-18 [cit. 2019-09-26]. Dostupné z WWW: <<https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/4724-technologie-drevostaveb-clt-panel-je-5krat-lepsim-izolanem-nez-beton>>.

JAWORKOVÁ, Petra. *Hodnocení životního cyklu domu na bázi dřeva metodou LCA* [online]. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019 [2020-05-29]. Dostupné z WWW: <<https://is.czu.cz/auth/lide/clovek.pl?id=69352;zalozka=13;studium=209456;zp=231759>>.

KOČÍ, Vladimír; HODKOVÁ, Julie; LHOTÁK, Petr; REMTOVÁ, Květoslava; LUPÍŠEK, Antonín; ŠRÁMEK, Ondřej. *LCA a EPD stavebních výrobků: Posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. 1. vyd. Praha : Česká rada pro šetrné budovy, o.s., 2012. 151 s. ISBN 978-80-260-3504-6.

KUKLÍK, Petr; KUKLÍKOVÁ, Anna. Vícepodlažní dřevostavby. *tzbinfo* [online]. 2011-08-01 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z WWW: <<https://stavba.tzb-info.cz/nosne-systemy-drevostaveb/7690-vicepodlazni-drevostavby>>. ISSN 1801-4399.

KUKLÍK, Petr; VELEBIL, Lukáš. Křížem vrstvené dřevo s mechanickými spoji. *tzbinfo* [online]. 2013-12-30 [cit. 2020-03-6]. Dostupné z WWW: <<https://stavba.tzb-info.cz/nosne-systemy-drevostaveb/10738-krizem-vrstvene-drevo-s-mechanickymi-spoji>>. ISSN 1801-4399.

LEWANDOWSKA, Anna; NOSKOWIAK, Andrzej; PAJCHROWSKI, Grzegorz; ZAREBSKA, Joanna. Between full LCA and energy certification methodology—a comparison of six methodological variants of buildings environmental assessment. *The International Journal of Life Cycle*

- Assessment* [online]. 2015, vol. 20 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z WWW: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11367-014-0805-3>>.
- MAODUŠ, Nikola; AGARSKI, Boris; MIŠULIČ, Tatjana Kočetov; BUDAK, Igor; RADEKA, Miroslava. Life cycle and energy performance assessment of three wall types in south-eastern Europe region. *Energy and Buildings* [online]. 2016, vol. 33 [cit. 2020-06-03]. Dostupné z WWW: <<https://www.journals.elsevier.com/energy-and-buildings>>. ISSN 0378-7788.
- MCCUBBIN, Donald R; DELUCCHI, Mark A. The Health Effects of Motor Vehicle-Related Air Pollution. *Handbook of Transport and the Environment* [online]. 2003, vol. 4 [cit. 2020-05-30]. Dostupné z WWW: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/9781786359513-022/full/html>. ISBN: 978-0-080-44103-0>. ISBN: 978-0-080-44103-0.
- NOVOTNÝ, Jiří; MATUŠKA, Tomáš. Neobnovitelná primární energie. *tzbinfo*. [online]. 2017-12-30 [cit. 2020-05-24]. Dostupné z WWW: <<https://vytapani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vytapani/16491-neobnovitelna-primarni-energie>>.
- PAVLAS, Marek. *Dřevostavby z vrstvených masivních panelů Technologie CLT*. 1. vyd. Praha : Grada Publishing, a.s., 2016. 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2.
- REISNER, Jan. *Možnosti použití metody LCA(hodnocení životního cyklu) při hodnocení recyklace stavebních materiálů* [online]. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z WWW: <http://www.arasm.cz/dok/sbor_rec_2005/050_Reisner.pdf>.
- RŮŽIČKA, Vlastimil. Dřevostavbám kraluje křížem lepené dřevo. *Můj dům* [online]. 2019-05-23 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z WWW: <https://www.mujdum.cz/rubriky/stavba/drevostavbam-kraluje-krizem-lepene-drevo_4513.html>.
- SANDANUS, Jaroslav; KATONA, Orsolya. Navrhovanie nosných konštrukcií z krížom lepeného dreva. *tzbinfo* [online]. 2014-10-13 [cit. 2019-11-14].

Dostupné z WWW: <<https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11824-navrhovanie-nosnych-konstrukcii-z-krizom-lepeneho-dreva>>.

SOUST-VERDAGUER, Bernardette; LLATAS, Carmen; GARCÍA-MARTÍNEZ, Antonio. Simplification in life cycle assessment of single-family houses : A review of recent developments. *Building and Environment* [online]. 2016, vol. 103 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z WWW: <<https://www.journals.elsevier.com/building-and-environment>>. ISSN 0360-1323.

STORAENSO. *Stora Enso Wood Products Building Solutions* [online]. [S.l.] : Storaenso, 2015 [cit. 2020-03-23]. Dostupné z WWW: <<https://www.clt.info/wp-content/uploads/2015/10/Technicka-slozka-CLT-CS.pdf>>.

STORAENSO. Výhody CLT. *Storaenso* [online]. 2013 [cit. 2020-03-07]. Dostupné z WWW: <<https://www.clt.info/cz/produkty/clt-system-z-masivniho-dreva/vyhody/>>.

TOPINFO S.R.O.. *tzl-info : Prostup tepla vicevrstvou konstrukci a prubeh teplot v konstrukci* [Online]. [S.l.] : Topinfo s.r.o., [2020]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z WWW: <<https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>>.

VÍDEN, Ivan. *Chemie ovzduší*. 1. vyd. Praha : Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005. 98 s. ISBN 80-7080-57 1-4.

10 Seznam příloh

Příloha 1: Vstupy – Dřevostavba z CLT panelů	71
Příloha 2: Vstupy – Sloupková dřevostavba	72
Příloha 3: Vstupy – Pórobetonová stavba.....	73
Příloha 4: Výsledky kategorií dopadů podle konstrukcí	74
Příloha 5: Výsledky LCA	75

11 Přílohy

Dřevostavba z CLT panelů	Objem/Množství	Jednotky
Písek	10,5044	t
Štěrka	14,5320	t
Ztracené bednění (beton)	53634,1501	ks (cihel 10")
Kari (ocelová) síť (Průměr drátu 5 mm)	0,2463	t
Beton ne nosný (C16/20)	15,555	m3
Beton nosný (C20/25)	16,6176	m3
Protiradonová izolace (Asfaltové izolační pásy)	112,3200	kg
Hydroizolace (gumoasfalt)	117,0000	m2
Cement	3,8604	t
Hrubá stěrka (tl. 4mm)	270,4670	m2
Armovací perlinka na omítku, typ R131 VERTEX (tl. 1 mm)	229,6296	m2
Finální stěrka vrchní (tl. 3 mm)	270,4670	m2
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknitá deska tl. 0,2 m)	1671,7173	m2 (25mm)
Butylkaučuková páska	4964,3600	m2
CLT panel - NOTATOP SOLID (tl. 124 mm)	24,9202	m3
Sádrovláknitá deska FERMACELL (tl. 10 mm)	1534,3579	m2 (1/2")
Spojovací prvky ocelové	176,7613	t
Chemická malta/kotva	0,0026	m ³
Hoblované KVH hranoly (smrk)	15,1291	m3
Okna dřevěná (eurookna)	464,3600	kg
Zasklení oken (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,0882	m2
Lepidlo pro lepení EURO hranolků okna	0,0099	m3
Povrchová nátěrová hmota na rámy oken	3,9500	l
Hliníková okapnice okna	0,0030	t
Okapnice okna	0,0018	t
Celoobvodové kování (ocelové)	0,0050	t
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly	0,0376	t
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,0671	m3
Dřevo pro vchodové dveře	0,4194	m3
Ocelové zárubně dveří	0,0379	t
Zasklení oken dveří (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,0156	m2
Lepidlo pro lepení biodesky	0,0018	m3
Povrchová nátěrová hmota na vchodové dveře a zárubně	6,6680	l
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly	0,0134	t
Celoobvodové kování (ocelové)	0,0029	t
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,0239	m3
Šikmé střešní trámký přístřešku (celý)	1,3965	m3
OSB deska (tl. 15 mm)	47,4800	m2 (25mm)
Sádrokartonová deska (tl. 12,5 mm) - vnitřní plášť	5149,5063	m2 (1/2")
Parozábrana	69631,4000	m2
Lepidlo (PUR, D4) (FIX FLEX - Den Braven)	5,7500	l
OSB deska (tl. 22 mm)	860,1086	m2 (9mm)
Sádrokartonová deska (tl. 15 mm)	2241,1417	m2 (1/2")
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknité desky tl. 100 mm)	1151,605	m2 (25mm)
Jasanová podlaha z masivního dřeva (tl. 0,01 m)	1497,2310	kg
Cementová stěrka (tl. 0,05 m)	5,4248	m3
Polyethylenová folie (tl. 0,00125 m, přelepené spoje)	108,4960	m2
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknitá deska měkká, tl. 0,15 m)	650,9700	m2 (25mm)
Střešní krytina (betonové tašky Bramac, tl. 0,025 m)	273,7092	m2 (25mm)
Cihly komínovky	2,1176	m2
Vložkovací roura (Nerezová ocel)	2,1176	t

Příloha 1: Vstupy – Dřevostavba z CLT panelů (Horáková, 2020)

Sloupková dřevostavba	Objem/Množství	Jednotky
Písek	10,2869	t
Štěrka	14,2311	t
Ztracené bednění (beton)	53634,1501	ks (cihel 10")
Kari (ocelová) síť (Průměr drátu 5 mm)	0,2463	t
Beton ne nosný (C16/20)	10,6600	m3
Beton nosný (C20/25)	16,6176	m3
Protiradonová izolace (Asfaltové izolační pásy)	112,3200	kg
Hydroizolace (gumoasfalt)	117,0000	m2
Hoblované lepené KVH hranoly (smrk)	25,1416	m3
OSB deska (tl. 15 mm)	754,0983	m2 (9mm)
Sádkartonová deska (tl. 12,5 mm)	11561,8598	m2 (1/2")
Parozábrana	77739,5720	m2
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknité desky tl. 140 mm)	2366,0414	m2 (25mm)
Lepidlo (Vinylacetát, D4)	16,750000	l
Spojovací prvky ocelové	0,1260	t
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknité desky tl. 80 mm)	2479,5321	m2 (25mm)
Hrubá stěrka (tl. 17 mm)	307,7748	m2
Armovací perlinka na omítku, typ R131 VERTEX (tl. 1 mm)	192,8087	m2
Finální stěrka vrchní (tl. 15 mm)	279,2110	m2
Okna dřevěná (eurookna)	464,3600	kg
Zasklení oken (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,0882	m2
Lepidlo pro lepení EURO hranolků okna	0,009854	m3
Povrchová nátěrová hmota na rámy oken	3,9500	l
Hliníková okapnice okna	0,0030	t
Okapnice okna	0,0018	t
Celoobvodové kování (ocelové)	0,0050	t
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly	0,0376	t
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,0671	m3
Dřevo pro vchodové dveře	0,4194	m3
Ocelové zárubně dveří	0,0379	Tun
Zasklení oken dveří (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,0156	m2
Lepidlo pro lepení biodesky	0,0018	m3
Povrchová nátěrová hmota na vchodové dveře a zárubně	6,6680	l
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly	0,0134	t
Celoobvodové kování (ocelové)	0,0029	t
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,023940	m3
Šikmé střešní trámký přístřešku (celý)	1,3965	m3
OSB deska (tl. 22 mm)	860,1086	m2 (9mm)
Jasanová podlaha z masivního dřeva (tl. 0,01 m)	1497,2310	kg
Cementová stěrka (tl. 0,05 m)	5,4248	m3
Polyethylenová folie (tl. 0,00125 m, přelepené spoje)	108,4960	m2
Tepelná izolace STEICO (dřevovláknitá deska měkká, tl. 0,15 m)	650,9700	m2 (25mm)
Střešní krytina (betonové tašky Bramac, tl. 0,025 m)	273,7092	m2 (25mm)
Cihly komínovky	10,5286	m2
Vložkovací roura (Nerezová ocel)	2,1176	t

Příloha 2: Vstupy – Sloupková dřevostavba (Horáková z práce Jaworkové, 2020)

Stavba z pórobetonu	Objem/Množství	Jednotky
Písek	10,2869	t
Štěrka	14,2311	t
Ztracené bednění (beton)	53634,1501	ks (cihel 10")
Kari (ocelová) síť (Průměr drátu 5 mm)	0,2463	t
Beton ne nosný (C16/20)	10,6600	m3
Beton nosný (C20/25)	16,6176	m3
Protiradonová izolace (Asfaltové izolační pásy)	112,3200	kg
Hydroizolace (gumoasfalt)	117,0000	m2
Hoblované lepené KVH hranoly (smrk)	4,2200	m3
Trámky a řezivo z masivního dřeva (smrk)	2,1800	m3
OSB deska (tl. 15 mm)	237,7778	m2 (9mm)
OSB deska (tl. 22 mm)	207,7778	m2 (9mm)
Sádrokartonová deska (tl. 12,5 mm)	2692,9134	m2 (1/2")
Parozábrana (Extrusion, plastic film)	197384,0000	m2
Parozábrana (A1)	197384,0000	m2
Tepelná izolace ISOVER (kameninová vlna tl. 140 mm)	1870,8000	m2 (25mm)
Lepidlo (Vinylacetát, D4)	5,2500	l
Spojovací prvky ocelové	0,0550	t
Objem YTONG tvárnice P2-400; P2-500	4591,4170	ks (cihel 10")
Objem YTONG překladů P4, 4-600	176,4921	ks (cihel 10")
Objem YTONG stropů, stropních vložek	942,0540	ks (cihel 10")
Tenkovrstvá zdící malta YTONG	0,8080	m3
Malta zakládací TI YTONG	24,2412	m3
Tepelná izolace (kameninová vata ISOVER, tl. 80 mm)	176,1380	m2 (25mm)
Hrubá stěrka (tl. 17 mm)	55,2588	m2
Armovací perlinka na omítku, typ R131 VERTEX (tl. 1 mm)	16,5800	m2
Finální stěrka vrchní (tl. 15 mm)	55,2593	m2
Plast pro kna plastová (PVAC)	0,4291	Kg
Zasklení oken (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,0932	m2
Ocelové kování rámu okna, tl.1mm	0,0419	t
Ocelové kování křídla okna, tl.1 mm	0,0401	t
Okapnice okna, tl. 1 mm, pozinkovaný plech	0,0022	t
Celoobvodové kování (ocelové) pro okna, 0,001 x 0,01 m	0,0114	t
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly pro okna	0,0283	t
Polysulfid pro izolaci okenního skla	0,0846	m3
Plast pro vchodové dveře (PVAC)	0,6156	Kg
Polyuretanová výplň dveří	3,1724	m2 (25mm)
Ocelové kování křídla dveří	0,0133	t
Ocelové kování rámu dveří	0,0138	t
Ocelové zárubně dveří	0,0379	t
Zasklení oken dveří (izolační trojsklo tloušťky 4 mm)	0,0395	m2
Nerezové distanční izolační rámečky mezi skly	0,0115	t
Polysulfid pro izolaci dveřního skla	0,0239	m3
Cihly komínové (šamotované)	10,7615	m2
Vložkovací roura komínová (Nerezová ocel)	1,2987	t
Plovoucí podlaha (vysokotlaký laminát, tl.0,01 m)	1497,2310	kg
Cementová stěrka (vyrovnávací, podlahová tl. 0,05 m)	5,4248	m3
Polyethylenová folie izolační(tl. 0,00125 m)	108,4960	m2
Tepelná izolace (kameninová vata ISOVER, tl. 0,15m)	650,9700	m2 (25mm)
Střešní krytina (betonové tašky Bramac, tl. 0,025 m)	273,7092	m2 (25mm)

Příloha 3: Vstupy – Pórobetonová stavba (Horáková z práce Jaworkové, 2020)

LCA Measure Table By Assembly Groups (A to D)

Project: CLT

LCA Measures	Unit	Foundations	Walls	Columns and Beams	Roofs	Floors	Project Extra Materials	Total
Global Warming Potential	kg CO2 eq	222269,7296	5089,027631	0	18959,40696	7257,607402	0	253575,7716
Acidification Potential	kg SO2 eq	1241,363966	216,9492139	0	210,3262209	82,00973375	0	1750,649134
HH Particulate	kg PM2.5 eq	98,86011983	43,99570685	0	47,41214620	7,323674464	0	197,5916473
Eutrophication Potential	kg N eq	90,22903553	19,22806546	0	17,21344682	2,876473291	0	129,5470211
Ozone Depletion Potential	kg CFC-11 eq	0,002307832	0,000269941	0	0,000469997	0,000240610	0	0,003288380
Smog Potential	kg O3 eq	19295,48420	4231,284942	0	3264,555194	576,0944949	0	27367,41883
Total Primary Energy	MJ	8021613,056	481903,0189	0	454956,8384	136521,8836	0	9094994,797
Non-Renewable Energy	MJ	7971245,726	361821,4663	0	410353,2468	134877,4767	0	8878297,916
Fossil Fuel Consumption	MJ	7850774,198	346650,0123	0	391033,8432	133461,2915	0	8721919,345

LCA Measure Table By Assembly Groups (A to D)

Project: Sloupková konstrukce

LCA Measures	Unit	Foundations	Walls	Columns and Beams	Roofs	Floors	Project Extra Materials	Total
Global Warming Potential	kg CO2 eq	222073,2420	7156,083633	0	18959,40696	7257,607402	0	255446,3400
Acidification Potential	kg SO2 eq	1240,788199	236,1709280	0	210,3262209	82,00973375	0	1769,295081
HH Particulate	kg PM2.5 eq	98,72917831	48,80740700	0	47,41214620	7,323674464	0	202,2724060
Eutrophication Potential	kg N eq	90,00635294	22,41778589	0	17,21344682	2,876473291	0	132,5140589
Ozone Depletion Potential	kg CFC-11 eq	0,002303164	0,000540819	0	0,000469997	0,000240610	0	0,003554589
Smog Potential	kg O3 eq	19283,42781	3874,224838	0	3264,555194	576,0944949	0	26998,30234
Total Primary Energy	MJ	8020397,317	492540,1958	0	454956,8384	136521,8836	0	9104416,234
Non-Renewable Energy	MJ	7970081,838	394394,2556	0	410353,2468	134877,4767	0	8909706,817
Fossil Fuel Consumption	MJ	7849686,831	392619,1657	0	391033,8432	133461,2915	0	8766801,132

LCA Measure Table By Assembly Groups (A to D)

Project: Pórobeton

LCA Measures	Unit	Foundations	Walls	Columns and Beams	Roofs	Floors	Project Extra Materials	Total
Global Warming Potential	kg CO2 eq	222073,2420	49397,72611	0	31641,22063	8012,976247	0	311125,1650
Acidification Potential	kg SO2 eq	1240,788199	331,2097451	0	295,5115703	89,33812545	0	1956,847639
HH Particulate	kg PM2.5 eq	98,72917831	41,53239602	0	37,51007248	8,009690947	0	185,7813378
Eutrophication Potential	kg N eq	90,00635294	24,79596792	0	12,59698512	3,044336066	0	130,4436420
Ozone Depletion Potential	kg CFC-11 eq	0,002303164	0,000478915	0	0,000223051	0,000243054	0	0,003248184
Smog Potential	kg O3 eq	19283,42781	3696,504885	0	3219,821945	631,7891360	0	26831,54378
Total Primary Energy	MJ	8020397,317	1056292,628	0	1015293,770	146147,6688	0	10238131,38
Non-Renewable Energy	MJ	7970081,838	1048439,725	0	988864,8829	144500,8442	0	10151887,29
Fossil Fuel Consumption	MJ	7849686,831	1027264,789	0	977611,0605	143075,7529	0	9997638,434

Příloha 4: Výsledky kategorií dopadů podle konstrukcí (Horáková z dat Athena IeFB, 2020)

