

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

LCA analýza jako podklad pro navrhování trvale udržitelných budov

Diplomová práce

Autorka: Bc. Zuzana Vaněčková

Školitel: prof. Dr. Ing. Petr Horáček

2019

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Zuzana Vaněčková

Dřevařské inženýrství

Název práce

**LCA analýza jako podklad pro navrhování trvale udržitelných budov**

Název anglicky

**LCA analysis as a base for designing sustainable buildings**

---

### Cíle práce

1. Analyzovat způsoby posuzování environmentálního dopadu stávajících bytových staveb.
2. Stanovit vhodné metody posuzování, určit funkční jednotku a následně zanalyzovat na základě funkční jednotky.
3. Zvolit vhodné konstrukční systémy, určit materiálové skladby a vlastnosti konstrukcí.
4. Provést analýzu LCA různých konstrukčních systémů a výsledky vzájemně porovnat.

### Metodika

Obsahem práce je vypracovat odbornou rešerži na základě odborné literatury, týkající se navrhování trvale udržitelných budov. V práci bude na základě rešerže navržena vhodná metoda posuzování environmentálního dopadu budov, určeny základní požadavky a kritéria k posuzování. Bude vybrán vhodný konstrukční systém a materiálové skladby a provedena analýza LCA. Na základě výstupů budou zhodnoceny a porovnány výsledky práce.

## **Doporučený rozsah práce**

40 – 50 stran

## **Klíčová slova**

LCA, obvodová konstrukce, životní prostředí, Cradle to Grave

---

## **Doporučené zdroje informací**

- CURRAN, Mary Ann. LIFE CYCLE ASSESSMENT: a Systems Approach to Environmental Management and Sustainability. Chemical Engineering Progress. 2015, vol. 111, no. 10, s. 26. ISSN 0360-7275.
- ČSN EN ISO 14040. Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- ČSN EN ISO 14044. Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- KOČÍ, Vladimír a Květa REMTOVÁ. Posuzování životního cyklu: Life cycle assessment – LCA. Vyd. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009. ISBN 8086832422;9788086832425;

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FLD

## **Vedoucí práce**

prof. Dr. Ing. Petr Horáček

## **Garantující pracoviště**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

## **Konzultant**

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 2. 4. 2019

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 2. 4. 2019

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Děkan

V Praze dne 20. 04. 2019

"Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma LCA analýza jako podklad pro navrhování trvale udržitelných budov vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele.

Souhlasím se zveřejněním disertační práce dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby."

V Praze dne

Podpis autora

## **ABSTRAKT**

Cílem práce bylo zmapovat způsoby posuzování environmentálního dopadu bytových staveb, stanovit vhodné metody posuzování a provést analýzu LCA vhodného konstrukčního systému. Byla zvolena obvodová stěna budovy, vybráno pět variant, dvě na bázi dřeva a tři na bázi silikátů a bylo provedeno posuzování životního cyklu, pomocí ISO norem v softwaru Athena. Byly posouzeny jednotlivé fáze životního cyklu od kolébky do hrobu a na závěr porovnány. Nejhorší výsledky měla železobetonová konstrukce a nejlepší sloupková obvodová stěna.

Klíčová slova: LCA, obvodová konstrukce, životní prostředí, Cradle to Grave

## **ABSTRACT**

The goal of the work was to chart the ways of assessing the environmental impact of residential buildings, to determine appropriate methods and make LCA analysis of appropriate structural system. The construction system was chosen, five variants selected, two wood-based and three silicate-based, and a life cycle assessment was made using ISO standards in Athena software. The individual phases of the life cycle from the cradle to grave were assessed and finally compared. The worst results were found for the reinforced concrete structure and the best for wood-based frame element wall.

Key words: LCA, exterior wall construction system, environment, Cradle to Grave

## OBSAH

1. Úvod .....	11
2. Literární přehled.....	12
2.1. Hodnocení staveb .....	12
2.2. Udržitelné stavebnictví a certifikace staveb .....	12
2.2.1. BREEAM.....	12
2.2.2. LEED.....	13
2.2.3. DGNB .....	13
2.2.4. SBToolCZ.....	14
2.2.5. CESBA tool .....	14
2.2.6. Analýza životního cyklu (LCA).....	14
2.2.7. Environmentální prohlášení o produktu (EPD) .....	15
2.2.8. Průkaz energetické náročnosti budov (PENB).....	15
2.2.9. Certifikát pasivního domu .....	15
2.2.10. Certifikát Kvalitní stavba .....	15
2.2.11. Dokument národní kvality (DNK) .....	15
2.3. Normy.....	16
2.3.1. Normy ISO 14000 .....	16
2.3.2. ČSN EN 15804+A1:2014 Udržitelnost staveb - Environmentální prohlášení o produktu - Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů .....	18
2.3.3. ČSN EN 15643 Udržitelnost staveb - Posuzování udržitelnosti budov .....	18
2.4. Posuzování životního cyklu .....	18
2.4.1. LCA.....	18
2.4.2. Životní cyklus budov.....	22
2.5. Ekodesign .....	23
2.6. Dřevo jako materiál udržitelného rozvoje ve stavebnictví .....	24
2.7. Athena impact estimator .....	25
2.7.1. Globální oteplování.....	26
2.7.2. Acidifikace .....	26
2.7.3. Eutrofizace.....	26

2.7.4.	Poškození ozonové vrstvy .....	27
2.7.5.	Primární energie.....	27
2.7.6.	Vázaná energie.....	27
2.7.7.	Spotřeba fosilních paliv .....	27
3.	Cíle práce.....	28
4.	Materiál a metodika.....	29
4.1.	Požadavky na stavební konstrukce .....	29
4.2.	Kritéria k posouzení vhodných konstrukčních řešení .....	29
4.2.1.	Objem a vlastnosti konstrukcí .....	30
4.2.2.	Součinitel prostupu tepla .....	30
4.3.	Výběr stavebních konstrukcí .....	30
4.4.	Výběr vhodné metody hodnocení.....	30
4.4.1.	Stanovení cíle .....	30
4.4.2.	Inventarizační analýza .....	31
4.4.3.	Posuzování dopadů životního cyklu .....	31
4.4.4.	Interpretace .....	31
4.5.	Stavební konstrukce.....	32
4.5.1.	Sloupková difuzně otevřená konstrukce.....	32
4.5.2.	Masivní dřevěná konstrukce - CLT panel .....	33
4.5.3.	Železobetonová konstrukce .....	33
4.5.4.	Zděná konstrukce .....	34
4.5.5.	Konstrukce z pórobetonových tvárníc .....	35
4.6.	Porovnání konstrukcí pomocí programu Athena .....	35
5.	Výsledky .....	37
5.1.	Porovnání metod a postupů hodnocení .....	37
5.1.1.	Od výroby materiálu po provoz budovy.....	37
5.1.2.	Posouzení provozu budovy .....	39
5.1.1.	Posouzení výstavby .....	39
5.1.1.	Pro celý životní cyklus .....	40
5.2.	Výsledky LCA analýzy konstrukcí.....	42
5.2.1.	Sloupková konstrukce .....	42

5.2.2.	Konstrukce z CLT panelů .....	42
5.2.3.	Železobetonová konstrukce .....	43
5.2.4.	Zděná konstrukce z porothermových tvárnic .....	43
5.2.5.	Zděná konstrukce z pórobetonových tvárnic.....	43
5.3.	Srovnání konstrukčních variant.....	44
5.3.1.	Globální oteplování .....	44
5.3.2.	Acidifikace .....	44
5.3.3.	Eutrofizace.....	45
5.3.4.	Poškození ozonové vrstvy .....	45
5.3.5.	Primární energie.....	46
5.3.6.	Vázaná energie.....	46
5.4.	Celkové zhodnocení výsledků .....	47
6.	Diskuze .....	48
6.1.	Porovnání metod.....	48
6.2.	Zhodnocení výsledků.....	48
6.3.	Porovnání výsledků s literaturou .....	49
6.4.	Objektivita výsledků .....	50
6.5.	Ochrana životního prostředí .....	52
6.6.	Dřevostavba jako rodinný dům .....	52
7.	Závěr.....	54
8.	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	55



## **SEZNAM TABULEK, OBRÁZKŮ A GRAFŮ**

Tabulky:

Tab. 1 – Skladba sloupkové konstrukce – výpis materiálů a jejich vlastností

Tab. 2 – Skladba konstrukce z CLT panelu – výpis materiálů a jejich vlastností

Tab. 3 – Skladba železobetonové konstrukce – výpis materiálů a jejich vlastností

Tab. 4 – Skladba zděné konstrukce z cihelných bloků – výpis materiálů a jejich vlastností

Tab. 5 – Skladba konstrukce z pórobetonových tvarovek – výpis materiálů a jejich vlastností

Tab. 6 – Porovnání metod hodnocení staveb

Tab. 7 – Kategorie dopadu – sloupková konstrukce

Tab. 8 – Kategorie dopadu – konstrukce z CLT panelů

Tab. 9 – Kategorie dopadu – železobetonová konstrukce

Tab. 10 – Kategorie dopadu – zděná konstrukce z porothermových tvárnic

Tab. 11 – Kategorie dopadu – zděná konstrukce z pórobetonových tvárnic

Obrázky:

Obr. 1 – Životní cyklus budov

Obr. 2 – Skladba sloupkové konstrukce

Obr. 3 – Skladba konstrukce z CLT panelu

Obr. 4 – Skladba konstrukce ze železobetonu

Obr. 5 – Skladba konstrukce z porothermových tvarovek

Obr. 6 – Skladba konstrukce z pórobetonových tvarovek

Grafy:

Graf 1 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu globální oteplování

Graf 2 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii acidifikace

Graf 3 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu eutrofizace

Graf 4 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu poškození ozónové vrstvy

Graf 5 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu primární energie

Graf 6 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu vázaná energie

Graf 7 – Srovnání všech konstrukčních variant

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

ADMD - Asociace dodavatelů montovaných dřevostaveb

apod. - a podobně

atd. - a tak dále

BRE - Building Research Establishment

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CESBA - Common European Sustainable Building Assessment

CLT - cross laminated timber

CPD - Centrum pasivního domu

ČR – Česká republika

ČSN - česká technická norma

DGNB - Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - Německá rada pro šetrnou výstavbu

DNK - Dokument národní kvality

EIA - posuzování vlivů na životní prostředí

EN - norma vytvořená Evropskou komisí pro technickou normalizaci

EPD - Environmental Product Declaration, Environmentální prohlášení o produktu

EPE - hodnocení environmentální výkonnosti

EU - Evropská unie

FLD - Fakulta lesnická a dřevařská

FSC - Forest Stewardship Council

ISO - mezinárodní norma vydaná Mezinárodní organizací pro normalizaci

LCA - Life cycle assessment, Analýza životního cyklu

LCI - Life cycle impact, Inventarizace životního cyklu

LCIA - Life cycle impact assessment, Posuzování dopadu životního cyklu

LEED - Leadership in Energy and Environmental Design

např. - například

OSB - Oriented strand board

PENB - Průkaz energetické náročnosti budov

PHPP - Passive House Planning Package

SCAQMD - South Coast Air Quality Management District

tl. - tloušťka

tzn. - to znamená

tzv. - tak zvaný

VOC – Volatile Organic Compounds

VŠCHT - Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

## 1. ÚVOD

Stavební produkce v České republice v poslední době narůstá. Hlavní podíl navrhování budov leží v konstrukcích na bázi silikátových materiálů. Zděné, železobetonové a panelové objekty tvoří téměř 85 % výstavby bytových domů v ČR. Konstrukční materiál, který v poslední době zažívá zvyšující se oblibu je dřevo a materiály na bázi dřeva. Podíl dřevostaveb na českém trhu roste a v současné době dosahuje 14,8% podílu výstavby. (ČSÚ)

Dřevostavby postupně stávají poměrně oblíbeným stavebním konstrukčním systémem. Podle dostupných údajů bylo v roce 1999 v České republice dokončeno pouze 92 rodinných domů na bázi dřeva a v roce 2017 jich bylo již 2 159. To znamená, že podíl dřevostaveb z celkového počtu dokončených rodinných domů u nás dosahuje již téměř patnácti procent a neustále meziročně roste.

Může to být díky rychlosti výstavby, možnosti suché stavby za každého počasí, vlastnostem dřeva, které vytváří příjemné vnitřní prostředí nebo ekologii stavby. Mezi nevýhody se uvádí zvýšená hlučnost, kterou lze z velké části řešit vhodným konstrukčním řešením a jiné vlastnosti dřeva, oproti silikátovým variantám, co se týká akumulace tepla.

Ráda bych se zaměřila na ekologickou stránku dřevostaveb i ostatních konstrukčních řešení bytových domů. Ve stavebnictví se ročně se použije 3 miliardy tun materiálu – což je 40 % všech surových materiálů, přičemž se ve stavebnictví spotřebuje 30 - 40 % z celkové energie, z níž je většina neobnovitelná. (World watch institute, program pro životní prostředí spojených národů, 2000).

Při svém studiu na fakultě architektury jsem se s pojmem dřevostavba setkala pouze okrajově. Hlavní konstrukční materiál byl železobeton, případně cihla. Začala jsem se postupem času o dřevostavby zajímat a při studiu na FLD jsem s překvapením zjistila, že dřevostavba není pouze roubenka, nebo srub, ale například lehká skeletová konstrukce, která se mnohdy nedá na první pohled od zděné stavby téměř rozeznat. Při tomto zjištění jsem se začala zabývat otázkou, proč není v Čechách dřevostaveb více?

Budoucí majitel domu se při výběru svého vysněného rodinného domku zabývá nejspíš nejdříve velikostí, následně cenou stavby a pak snad vzhledem a energetickou náročností domu. Ve většině převládá představa, že dřevostavba má nižší životnost, než zděný dům a celkově vydrží méně. Také jsou v nás zakořeněné historické předsudky týkající se požární bezpečnosti a toho, že se dřevostavby dlouho nesměly stavět ve městech. U rodinného domu může být technická životnost například 200 let, avšak sociální životnost pouze 80 let. Další výhodou dřevostaveb je, že jejich následné úpravy nebo demontáž jsou mnohem jednodušší než u zděných staveb a sociální životnost lze tedy snadněji prodloužit, nebo rodinný dům nahradit jinou novou a vyhovující stavbou. ([www.europahaus.cz/technologie/fakta-a-myty](http://www.europahaus.cz/technologie/fakta-a-myty))

Při předpokladu, že dřevostavby a zděné objekty budou mít stejnou životnost a podobné vlastnosti, bych se zaměřila na působení stavby na životní prostředí. Budoucí majitel by se tak nemusel rozhodovat o tom, z čeho bude jeho dům postaven, pouze na základě estetických preferencí či pocitového pohodlí, ale také na základě ekologické zátěže, kterou daná konstrukce pro životní prostředí představuje. Nejen architekti a projektanti by se měli zajímat o to z čeho staví ale i spotřebitelé by měli hledět na to v jaké stavbě bydlí.

Pokud bych chtěla stavět ekologicky a udržitelně, jaké konstrukce je vhodné k tomu použít? Lze posoudit dopady objektu na životní prostředí? Pomocí jakých nástrojů se v současné době tyto dopady hodnotí?

## 2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1. HODNOCENÍ STAVEB

Tradiční hodnocení staveb zaměřené pouze na ekonomiku nemůže adekvátně a srozumitelně uvažovat efekty typu životní prostředí, sociální a kulturní aspekty. Nenaplnuje principy udržitelného rozvoje. Stavby nejen v ČR jsou navrhovány dlouhý životní cyklus, a proto jakékoliv zlepšení v metodách jejich hodnocení sníží budoucí dopady na životní prostředí a posune je kvalitativně směrem k udržitelnému rozvoji.

Tradiční přístup k hodnocení stavby, investičního záměru, spočívá ve výpočtu ekonomické návratnosti. Hodnoty, kterých varianty dosahují v kritériích, jako jsou například čistá současná hodnota investice, návratnost investice, vnitřní výnosové procento apod., reprezentují pouze ekonomický pohled na stavbu. Stavby nemohou být hodnoceny pouze na základě finanční návratnosti, do jejich hodnocení je třeba zahrnout i otázky týkající se spotřeby energie, životního prostředí, sociální aspekty, po dobu celého životního cyklu. V současné době se do popředí zájmu dostávají i další aspekty, které jsou považované za rozhodující v oblasti udržitelného rozvoje ve stavebnictví. Patří mezi ně například uspokojování budoucích potřeb uživatelů, flexibilita, adaptabilita, používání místních zdrojů, stavební proces, efektivní využití území, snižování spotřeby vody a tak dále.

### 2.2. UDRŽITELNÉ STAVEBNICTVÍ A CERTIFIKACE STAVEB

Udržitelnost staveb a jejich klasifikace se postupně stává výraznou disciplínou nejen v rámci evropské legislativy, ale i v praxi. Hodnotí se celková udržitelnost staveb, to znamená široké spektrum kritérií z řady odborných oblastí. Energetická a environmentální stránka věci je významnou složkou v hodnocení, ale důležitá jsou i další kritéria z oblasti sociálně-kulturní, ekonomické a technické kvality (Vonka, 2013).

Kvalita budov a její hodnocení se již běžně v mnoha zemích stává součástí projektového a realizačního procesu. Kritéria, podle kterých se objekty hodnotí, se obecně liší nejen podle typu budovy a jejího použití (obytné, administrativní, výrobní), také podle hodnotícího nástroje a fáze posuzovaného životního cyklu (návrh, výstavba, provoz) (Pacáková, 2015).

Kritéria hodnocená při analýze environmentálního dopadu se většinou posuzují přes váhový vektor generující jednu výslednou hodnotu. Tato výsledná hodnota má být srozumitelná a použitelná, například v oblasti marketingu. Nejčastěji se opakující kritéria jsou např. vliv na globální oteplování, kvalita vnitřního prostředí, akustický a tepelný komfort a mnoho dalších. Metody hodnocení komplexní kvality staveb, certifikační systémy, a další možné způsoby hodnocení staveb, dřevostaveb, materiálů v ČR jsou uvedeny v přehledu níže.

#### 2.2.1. BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) je vyvíjený výzkumným ústavem Building Research Establishment (BRE). Jedná se o historicky první certifikační nástroj tohoto typu, který začal fungovat v roce 1990. Pracuje s národními předpisy, vyžaduje dodržení postupů a požadavků místních norem. Dnes má více, než 541 400 certifikovaných budov (BREEAM 2016).

BREEAM hodnotí devět kategorií podle jejich vlivu na životní prostředí ([www.bream.com](http://www.bream.com)). Kategorie celkového hodnocení jsou:

- energie, např. energetická účinnost, důraz na zamezení plýtvání energií, redukce emisí CO<sub>2</sub>;

- zdraví a pohoda prostředí, např. denní osvětlení, možnost přirozeného větrání, vizuální komfort, tepelný komfort, akustické vlastnosti, kvalita vody, ochrana a bezpečnost;
- materiály, např. použití materiálů s nízkým dopadem na životní prostředí, izolace;
- management, např. environmentální dopady výstavby, udržitelné zadávání veřejných zakázek;
- znečišťující látky, např. použití vhodného chladiva, emise sloučenin NOx, redukce světelného znečištění v noci;
- využití půdy a ekologie, např. zmírnění dopadu na životní prostředí, dlouhodobý dopad na biodiverzitu;
- doprava, např. dostupnost veřejnou dopravou, podpora ekologických způsobů dopravy (kolo, elektromobil);
- odpad, např. stavební odpady, využití recyklace;
- voda, např. úsporné spotřebiče, opatření pro detekci úniku vody;
- inovace, dodatečná kategorie.

### **2.2.2. LEED**

LEED je celosvětově uznávaná certifikace a v současné době s nejrychleji rostoucím počtem certifikací. Hodnotí budovu při jejím vzniku nebo při pozdějším provozu, případně se může certifikovat vnitřní vybavení nájemních prostor. Certifikace hodnotí dopad na okolí, spotřeby vody a energie, použité materiály, kvalitu vnitřního prostředí a uživatelské kvality nutné pro efektivní práci. LEED vznikl v roce 1998 a v současné době je jím označeno více než 72 500 budov po celém světě ([www.leed.cz](http://www.leed.cz)). Ve Spojených státech tato certifikace získala většinu trhu a mimo to se používá jako hlavní či alternativní systém hodnocení v dalších zemích po celém světě. V řadě států Evropy, včetně ČR, existují budovy certifikované metodikou LEED. Hodnocení se provádí v nelokalizované podobě, probíhá tedy podle amerických norem (Lupíšek, 2009).

Certifikace LEED se skládá z několika kategorií, kterým je přisouzeno určité bodové hodnocení. Toto hodnocení se může lišit např. podle typu či účelu budovy.

- Lokalita
- Hospodaření s vodou
- Energie a ovzduší
- Materiály a zdroje
- Kvalita vnitřního prostředí
- Inovace
- Místní priority

### **2.2.3. DGNB**

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) je původem německý certifikační systém, který funguje od roku 2008 a dnes je využíváný po celém světě. Hodnotí se tyto oblasti: ekologické, ekonomické, sociálně-kulturní a funkční aspekty, technické parametry, procesní kvalita a lokalita. Mezi kritéria z oblasti ekologických aspektů patří například potenciál globálního oteplování, rizika pro životní prostředí, šetrné využívání zdrojů/dřeva,

spotřeba primární energie a podíl obnovitelných zdrojů. Hodnocení ekonomických aspektů se zaměřuje především na náklady související s životním cyklem, zatímco z hlediska sociálně-kulturních a funkčních aspektů se hodnotí faktory, jako jsou tepelný a akustický komfort, kvalita vnitřního vzduchu, dostupnost veřejnou dopravou, ale také zajištění přístupu pro handicapované osoby a aspekty bezpečnosti. Technická kvalita stavby se odráží v kritériích, jako jsou požární bezpečnost, snadné čištění a údržba, zvuková izolace a těsnost obvodového pláště. (Heinlein, 2012)

#### **2.2.4. SBToolCZ**

Systém SBToolCZ je český národní certifikační nástroj hodnotící úroveň kvality budov v souladu s principy udržitelné výstavby, který je založen na mezinárodním schématu SBTool. Je určen pro developery, architekty, projektanty, klienty a další zájemce. Certifikace SBToolCZ je nastavená čistě na prostředí ČR, SBTool tedy nelze využít v jiných státech Evropy. Slouží jako marketingový nástroj, pro zhodnocení dopadu budovy na životní prostředí, pro zhodnocení budovy po stránce technického provedení, jako inspirace k nalezení inovativních řešení, k postihnutí sociálních dopadů stavby, jako nástroj, který pomůže snížit provozní náklady a zlepšovat uživatelský komfort a také pro vyhodnocení kvality lokality, ve které má navrhovaná budova stát.

SBToolCZ lze použít pro certifikaci bytových domů, rodinných domů a administrativních budov. Funguje na principu multikriteriálního hodnocení (v oblasti environmentálních kritérií, sociálních kritérií, ekonomiky a managementu, lokality). Jeho hlavní výhodou je, že respektuje české místní klimatické, stavební a legislativní poměry (Vonka, 2011). V případě hodnocení budovy ve fázi návrhu se hovoří o certifikaci návrhu budovy, po dokončení stavby budova může následně projít procesem certifikace skutečného provedení stavby.

#### **2.2.5. CESBA tool**

CESBA (Common European Sustainable Building Assessment) je certifikační nástroj a metodika pro hodnocení nových i stávajících staveb. Představuje kolektivní evropskou iniciativu zpřístupňující nástroje, zkušenosti a know-how pro harmonizované a holistické hodnocení budov. Tento evropský projekt má za cíl podporovat energetickou účinnost, soběstačnost a využívání obnovitelných zdrojů energie. Měl by posílit obecný trend směřující k vysoké kvalitě obytných a komerčních budov v Evropě. Reaguje také na různorodost certifikací a prosazuje sjednocení evropských systémů hodnocení udržitelnosti budov (Kolářek, 2014). Velkou výhodou tohoto nástroje je to, že je poskytován zdarma.

Jedná se o multikriteriální přístup: energetická bilance budovy je posuzována na základě mezinárodně uznávané metodiky pro pasivní domy programem PHPP. Následně navazuje hodnocení ekologických dopadů použitých materiálů, ekonomická návratnost a další faktory jako dopravní dostupnost budovy, hospodaření s vodou a kvalita vnitřního prostředí, spotřeba energie, primární energie i denní osvětlení.

#### **2.2.6. Analýza životního cyklu (LCA)**

Analýza životního cyklu (Life cycle assessment) je metoda posuzování životního cyklu produktu nebo služby z hlediska jeho působení na životní prostředí. Produktem je v tomto případě stavba. Komplexně se posuzují dopady lidské činnosti na životní prostředí v celém životním cyklu stavby. Jinými slovy stanovuje, kolik materiálu, energie, emisí a odpadu se spotřebuje či vyprodukuje od návrhu až po likvidaci stavby. Analýza se provádí dle normy ČSN EN ISO 14040 - Environmentální management – Posuzování životního cyklu.

### **2.2.7. Environmentální prohlášení o produktu (EPD)**

Environmentální prohlášení o produktu (Environmental Product Declaration) je nejrozšířenější formou užití LCA v praxi. Definováno je normou ČSN ISO 14025 jako „kvantifikované environmentální informace o životním cyklu produktu, které mají umožnit porovnávání mezi produkty plnícími stejnou funkci“. Jedná se o soubor měřitelných informací o vlivu produktu na životní prostředí v průběhu celého životního cyklu. Jedná se o podrobný průkaz produktu vyhodnocující jeho vliv na životní prostředí ([www.cenia.cz](http://www.cenia.cz)).

### **2.2.8. Průkaz energetické náročnosti budov (PENB)**

Průkaz energetické náročnosti budov, který je od roku 2013 v ČR ze zákona povinný, slouží k vyhodnocení energetické náročnosti budovy. Kvantifikuje všechny energie spotřebované při provozu hodnocené budovy a zařazuje budovu do příslušné energetické třídy v rozsahu A-G. Umožňuje jednoduché srovnání budov z hlediska nároků na energie (a tedy i nákladů) potřebných pro provoz. Průkaz hodnotí veškerou energii potřebnou pro provoz budovy, tedy energii na vytápění, přípravu teplé vody, chlazení, úpravu vzduchu větráním a klimatizací a energii na osvětlení, avšak nezabývá se energií spotřebovanou při výstavbě a odstraňování budovy. Průkaz lze zpracovat pro jakoukoliv budovu či její ucelenou část ([www.mpo.cz](http://www.mpo.cz)).

### **2.2.9. Certifikát pasivního domu**

Centrum pasivního domu (CPD) poskytuje kontroly stavby formou certifikace pasivních a nízkoenergetických domů dle definice Passivhaus Institutu (PHI). Samotný certifikát je dokladem výjimečné kvality stavby a zkušenost certifikačního orgánu pomáhá projektantům projekt optimalizovat (CPD, 2016). Certifikát pasivního domu je poměrně známý a rozšířený. Hodnotí však převážně energetické úspory v provozu, ne komplexní kvalitu stavby v celém jejím životním cyklu (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 2016).

### **2.2.10. Certifikát Kvalitní stavba**

Certifikát Kvalitní stavba je certifikátem dřevařského ústavu (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, s. p.), který kontroluje a dohlíží na kvalitu dřevostaveb a snaží se zvyšovat jejich stavební úroveň. Jedná se o nezávislou, odbornou a profesionální kontrolu procesu výstavby. Dřevařský ústav chce touto cestou podpořit kvalitní dodavatele a stavitele dřevostaveb a zároveň ochránit investora před nekvalitní výstavbou (Beránková, 2015). Je to služba pro majitele a stavitele dřevostaveb, kteří si chtějí nechat zkontrolovat kvalitu výstavby svého domu. (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 2016)

### **2.2.11. Dokument národní kvality (DNK)**

Dokument národní kvality zajišťuje technickou kvalitu montovaných staveb na bázi dřeva. Uděluje ho Asociace dodavatelů montovaných dřevostaveb (ADMD) ve spolupráci s Výzkumným a vývojovým ústavem dřevařským. Jedná se o metodiku hodnocení a kontroly kvality stavebního procesu se zaměřením na dřevostavby. Do rozsahu sledování DNK jsou zahrnuty všechny stavební prvky a konstrukce, které mají vliv na základní vlastnosti celé stavby. Například nesleduje technické zařízení budov, podlahové krytiny, vybavení interiéru, střešní krytiny a související příslušenství, ale stěny, stropy, střechy, terasy fasádní prvky atd. ([www.admd.cz](http://www.admd.cz))

## 2.3. NORMY

### 2.3.1. Normy ISO 14000

ISO normy jsou jednotné mezinárodní normy, které mají stejné znění a stejnou platnost pro všechny státy, které se rozhodly tyto normy akceptovat. Přispívají k efektivnějšímu, bezpečnějšímu a čistšímu rozvoji, výrobě a poskytování služeb. Jejich zavedení pomáhá podnikům pronikat na mezinárodní trh, zákazníkům rozšiřuje nabídku, všem pak zaručuje bezpečnost výrobků a snahu o ochranu životního prostředí. Jejich vytvářením se zabývá Mezinárodní organizace pro normalizaci.

ISO 14000 je rodina mezinárodních standardů zaměřená na management životního prostředí v organizacích. Všechny standardy rodiny ISO 14000 jsou vydávány Mezinárodní organizací pro standardizaci ISO. Jednotlivé standardy cílí na různé aspekty ochrany životního prostředí. (enviviki.cz)

- **ČSN EN ISO 14001:2016 Systémy environmentálního managementu – Požadavky s návodem pro použití**

Tato norma specifikuje požadavky na systém environmentálního managementu, které může organizace použít pro zvýšení environmentální výkonnosti.

- **ČSN EN ISO 14004: 2016 Systémy environmentálního managementu – Obecná směrnice pro implementaci**

Tato mezinárodní norma poskytuje organizaci návod pro vytváření, implementování, udržování a zlepšování robustního, důvěryhodného a spolehlivého systému environmentálního managementu.

- **ČSN ISO 14005 - Systémy environmentálního managementu – Směrnice pro fázovou implementaci systému environmentálního managementu včetně používání hodnocení environmentální výkonnosti**

Účelem této mezinárodní normy je podpořit a vést organizace, zejména mikropodniky, malé a středně velké podniky, k rozvoji a implementaci systému environmentálního managementu, který splňuje požadavky normy ISO 14001.

- **ČSN EN ISO 14006:2012 - Systémy environmentálního managementu – Směrnice pro začlenění ekodesignu**

Tato norma má pomoci organizacím v ustavení, dokumentování, zavedení, udržování a neustálému zlepšování managementu ekodesignu jako části systému environmentálního managementu. Používá se na environmentální aspekty související s produkty, které organizace může řídit nebo na které může mít vliv.

- **ČSN ISO 14015:2003 Environmentální management – Environmentální posuzování míst a organizací**

Tato norma uvádí postup pro environmentální posuzování míst a organizací, na základě vyhodnocení existujících a získaných informací poskytuje závěry týkající se důsledků environmentálních aspektů a environmentálních problémů pro podnikání.

- **dekáda 14020 - Environmentální značky a prohlášení**

Součástí norem je popis a zásady pro environmentální značení.

- **ČSN EN ISO 14031:2014 Environmentální management – Hodnocení environmentální výkonnosti – Směrnice**



Tato mezinárodní norma obsahuje návod k návrhu a používání hodnocení environmentální výkonnosti (EPE) v organizaci.

○ **ČSN EN ISO 14040:2006 - Environmentální management – Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova**

Norma stanovuje zásady a osnovu pro zpracování studií LCA – Posuzování životního cyklu. Zaměřuje se na environmentální aspekty a možné environmentální dopady (např. spotřeba zdrojů a environmentální následky úniků) v průběhu života produktu, od získávání surovin přes výrobu, užívání, úpravu po skončení životnosti, recyklaci a odstraňování (tzn. od kolébky po hrob).

Zahrnuje čtyři fáze posuzování životního cyklu:

- a) fázi stanovení cíle a rozsahu
- b) fázi inventarizační analýzy
- c) fázi posuzování dopadu
- d) interpretační fázi.

Norma uznává dva typy studií. Studii posuzování životního cyklu (studii LCA) a studii inventarizace životního cyklu (studii LCI). Studie LCI se od studie LCA liší pouze tím, že nezahrnuje fázi posuzování dopadů. Tato mezinárodní norma není určena pro smluvní nebo regulativní účely nebo registraci a certifikaci.

○ **ČSN EN ISO 14044:2006 Environmentální management – Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice**

Tato mezinárodní norma specifikuje požadavky a poskytuje podrobné informace pro posuzování životního cyklu v následujících bodech:

- a) definice cíle a rozsahu LCA
- b) fáze inventarizační analýzy životního cyklu (LCI)
- c) fáze posuzování dopadu životního cyklu (LCIA)
- d) fáze interpretace životního cyklu
- e) podávání zpráv a kritické přezkoumání LCA
- f) omezení LCA
- g) vztah mezi fázemi LCA
- h) podmínky pro použití výběrů hodnot a volitelných prvků.

Zamýšlené použití výsledků LCA a LCI je zvažováno v průběhu definování cíle a rozsahu, ale samotná aplikace stojí mimo rozsah této mezinárodní normy.

Předchozím dvěma normám se podrobněji věnuji v kapitole 2.4.

○ **ČSN ISO 14050:2010 - Environmentální management – Slovník**

Tato norma definuje termíny základních pojmů vztahujících se k environmentálnímu managementu publikované v mezinárodních normách rodiny 14000.

○ **ČSN EN ISO 14051:2012 - Environmentální management – Nákladové účetnictví materiálových toků - Obecný rámec**

Je norma, která doplňuje o ekonomické aspekty hodnocení životního cyklu a stanovuje obecné zásady a rámec pro nákladové účetnictví materiálových toků.

Normy ISO 14000 v prvé řadě usilují o to, aby organizace minimalizovala všechny rušivé vlivy své činnosti na životní prostředí. Cílem je aktivně podporovat vše, co je možné udělat pro prevenci škod na životním prostředí – ať už v průběhu výroby, nebo při používání výrobku – znečišťováním nebo vyčerpáváním přírodních zdrojů.

Normy ISO 14000 se zabývají způsobem, jakým organizace pracují, nikoliv výsledky jejich práce. Jinými slovy orientují se na procesy, nikoliv produkty, nicméně způsob, jakým organizace řídí své procesy, samozřejmě ovlivňuje finální produkt.

### **2.3.2. ČSN EN 15804+A1:2014 Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů**

Tato evropská norma poskytuje základní pravidla produktové kategorie (PCR) pro environmentální prohlášení typu III pro jakýkoliv stavební výrobek a stavební službu. Poskytuje strukturu, která zajistí, že budou všechna environmentální prohlášení o produktu (EPD) pro stavební výrobky, stavební služby a stavební procesy získávána, ověřována a prezentována harmonizovaným způsobem.

### **2.3.3. ČSN EN 15643 Udržitelnost staveb – Posuzování udržitelnosti budov**

Tato evropská norma poskytuje všeobecné principy a požadavky na posuzování budov z hledisek environmentálních, sociálních a ekonomických vlastností, vyjádřené pomocí souboru norem, a bere v úvahu technické charakteristiky a funkčnost budovy. Posuzování bude kvantifikovat příspěvek posouzené stavby k udržitelné výstavbě a udržitelnému rozvoji.

## **2.4. POSUZOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU**

Jednou z částí souboru metod environmentálního managementu je posuzování životního cyklu označováno LCA z anglického Life Cycle Assessment. Pro LCA je typické, že nebere v úvahu ekonomické nebo sociální aspekty produktu, ale přístup z hlediska životního cyklu a metodologie.

LCA je systémová analýza zaměřená na shromažďování a vyhodnocování vstupů, výstupů a možných dopadů výrobku nebo služby na životní prostředí během celého jeho životního cyklu. Při posuzování se tedy mapují všechny dopady spojené s výrobkem od těžby surovin, výroby, užívání až po konec životnosti výrobku a jeho zneškodnění.

### **2.4.1. LCA**

Norma ČSN EN ISO 14040:2006 rozděluje posuzování životního cyklu na čtyři fáze, fázi stanovení cíle a rozsahu, fázi inventarizační analýzy (LCI), fázi posuzování dopadu (LCIA) a interpretační fázi.

#### **2.4.1.1. Stanovení cíle**

V první fázi je nutné přesně definovat co a jak bude posuzováno. Rozsah závisí na předmětu a užití studie. V normě ISO neexistuje explicitní definice obsahu této fáze, a zatím nejsou potřeba žádná data ani počítány žádné výsledky. Měl by být jednoznačně definován plán celé studie stejně jako základní cíle a rozsah. (Curran, 2015)

Při stanovení cíle je vhodné odpovědět na otázky: proč se studie vykonává, pro koho a k čemu budou získané výsledky použity. Odpovědi na tyto otázky pak ovlivní celý zbytek LCA studie. Soukromý sektor začleňuje LCA do mnoha aplikací, včetně různých aspektů návrhu a vývoje výrobků, výroby, marketingu, použití a podobně. Proto často cíle zahrnují: porovnání alternativních výrobních postupů, umožnění průběžného vývoje produktu, nebo možnost identifikovat možné zlepšení v průběhu životního cyklu produktu. Pro státní, či veřejný sektor

slouží LCA analýza jako podpora k rozhodování a tomu jsou přizpůsobeny i cíle studie. (Malin 2005)

Cíl studie může být poměrně jednoduchý a přímočarý, například se může jednat o posouzení dopadů spotřeby energie a skleníkových plynů spojených s výrobou výrobku, jako měřítko pro hodnocení budoucích zlepšení procesu nebo změn výrobku. V jiných případech může cíl vést k velmi složité analýze, například srovnání veřejných požadavků, týkajících se životního prostředí, na konkurenční produkty.

Analýza LCA může být prováděna na jednom produktu, ale většina z nich je komparativní, tedy srovnávací. Výsledky mohou být určeny pro interní použití nebo je lze také externě sdílet. z toho vyplývá, že cíle můžeme rozlišit do několika skupin.

- První je určena pro jeden produkt a pouze pro interní použití. Analyzují a identifikují se možnosti snížení dopadu produktu na životní prostředí, případně se zjišťují základní hodnoty, se kterými se bude produkt porovnávat v případě budoucího vývoje a vylepšení. (Curran, 2015)
- Druhý cíl se zabývá analýzou jednoho produktu, avšak výsledek bude prezentován veřejně. Používá se pro environmentální prohlášení o produktu (EDP), což je dokument, který informuje o dopadu výrobku na životní prostředí během jeho životního cyklu a může být konkurenční výhodou, nebo marketingovým tahem při prodeji výrobku. V zahraničí může být EDP podmínkou ke spolupráci a odběru materiálu, či produktu. ([www.vups.cz](http://www.vups.cz))
- Třetím cílem může být srovnávací analýza pro interní použití. Jde pak o srovnání alternativních produktů uvnitř firmy. Mohou to být existující produkty, nebo porovnání stávající s novou alternativou, která je zatím pouze teoretická. Slouží také pro rozhodování o budoucím vývoji.
- Poslední cíl je srovnání produktů určené pro externí použití. Poskytuje srovnání více produktů, které je založeno na odborném posudku a může umožňovat i marketingovou výhodu oproti konkurenčnímu produktu.

Na základě stanovení cíle se stanoví rozsah studie a systém, jehož negativní dopad na životní prostředí bude sledován a určí se jeho hranice. Studie musí být dostatečně rozsáhlá a podrobná, aby bylo zajištěno, že cíle mohou být v rámci studie vyřešeny. Na druhou stranu příliš velký rozsah může způsobit, že studie nebude relevantní. Je nutné si uvědomit, že systém je model zjednodušující realitu a znamená, že skutečnost bude nějakým způsobem zkreslena.

Rozsah studie neboli hranice systému je soubor kritérií specifikujících, které jednotkové procesy jsou částí produktového systému. (ČSN EN ISO 14040 2006) Obecně se hranice systému v hodnocení životního cyklu specifikují v několika dimenzích: hranice mezi technologickým systémem a přírodou, vymezení zeměpisné oblasti, uvažovaného časového horizontu nebo hranice mezi jednotlivými životními cykly různých výrobků. Pro určení hranic systému se obvykle používají především tři metody: procesní strom, technologické hodnocení a socioekonomické hodnocení.

Hranicemi systému se definuje, v jakých hranicích bude analýza provedena. Existuje pět základních variant.

- **Cradle to Grave – od kolébky do hrobu**, která hodnotí celkově životní cyklus od získávání surovin (cradle - kolébka), přes použití až ke zpracování odpadu (grave - hrob).
- **Cradle to Gate – od kolébky po bránu**, je varianta, ve které se hodnotí životní cyklus od získávání surovin (cradle – kolébka) až po konečné zpracování před dodáním zákazníkovi (gate – brána) Nepočítá se tedy užívání a likvidace produktu.

- **Cradle to cradle, tedy od kolébky ke kolébce**, se hodnotí s přihlédnutím k recyklaci výrobků a tím se minimalizují vlivy na životní prostředí. z recyklace vznikají podobné, nebo srovnatelné výrobky. Nevzniká tak žádný odpad.
- **Gate to gate, od brány k bráně** hodnotí pouze jednu část výrobního řetězce.
- **Well to wheel, od zdroje ke kolům** je speciální metoda, která se zabývá hodnocením vlivu pohonných hmot a vozidel. ([www.envipak.sk](http://www.envipak.sk))

Musí se určit takzvaná funkční jednotka, což je kvantifikovaný výkon produktového systému, který slouží jako referenční jednotka. (ČSN EN ISO 14040 2006)

V případě analýzy jednoho produktu nebo materiálu může být funkční jednotka poměrně jednoduchá, například kilogram materiálu.

Ve srovnávací studii bývá složitější. Funkční jednotka musí být stejná pro všechny porovnávané produktové systémy. Měla by se, pokud možno, vztahovat spíše na funkce výrobku než na fyzický produkt. Kupříkladu je bezvýznamné porovnávat klasickou žárovku s LED žárovkou, protože mají rozdílnou životnost, odlišný výkon a cílem zákazníka není vlastnit žárovku, ale dopřát si světlo určité kvality. Proto je vhodné pojmut funkční jednotku, jako například: „osvětlení standardního pokoje o rozměru 15 m<sup>2</sup> po dobu jedné hodiny s osvětlením 1000 lm“. z toho vyplývá, že komparativní analýza nedokáže určit, zda je produkt „udržitelný“, nebo „ekologický“, ale porovnává produkty mezi sebou, určuje, který je „ekologičtější“, „udržitelnější“. (Curran, 2015)

Určují se také klíčové předpoklady, ze kterých bude studie vycházet a mohly by ji ovlivnit. Jedná se o základní předpoklady, které by mohly výsledek studie ovlivnit. Příkladem může být předpoklad, při porovnání dvou různých obalových materiálů k uchování balené vody, že druh materiálu nemá vliv na chuť a kvalitu nápoje. (Remtová, 2003)

Určují se také omezující kritéria, což je specifikace množství materiálového nebo energetického toku nebo stupeň environmentální významnosti související s jednotkovým procesem nebo produktovým systémem, který má být vyřazen ze studie (ČSN EN ISO 14044 2006). Tato kritéria bývají vyjádřena nejčastěji hmotnostně a omezuje se tedy nejmenší množství vstupu, které už nebude bráno v úvahu. Před rozhodnutím o vyloučení materiálů nebo procesů ze studie je však důležité pečlivě zvážit potenciální vliv na výsledky studie. i materiál s malým hmotnostním poměrem může mít významný dopad na životní prostředí. (Curran, 2015)

#### **2.4.1.2. Inventarizační analýza**

Cílem inventarizační analýzy je zjištění všech elementárních toků, to znamená materiálu nebo energie vstupujícího do posuzovaného systému ze životního prostředí bez předchozí přeměny člověkem, nebo materiál či energie vystupující z posuzovaného systému do životního prostředí bez následné přeměny člověkem (ČSN EN ISO 14040 2006). Inventarizace životního cyklu se také nazývá LCI fáze. Je to kvantitativní a kvalitativní popis všech vstupů a výstupů systému působících na životní prostředí.

Inventarizace životního cyklu je založena na jednotkovém procesu. Jednotkový proces je nejmenší prvek, pro který jsou kvantifikovány vstupní a výstupní údaje (ČSN EN ISO 14040 2006). Příkladem může být těžba uhlí, produkce oceli, výroba nábytku, recyklace papíru, i silniční nákladní přeprava. Každý z těchto procesů je možné popsat kvantitativně a definovat vstupy a výstupy.

Mezi vstupy se řadí například spotřeba přírodních zdrojů, suroviny, materiály, služby a energie. Výstupy jsou produkty (materiály, komponenty, díly, služby), odpady a neposledně dopady na životní prostředí (emise do půdy, vody ovzduší, hluk, odpadní teplo a podobně).

Jednotkový proces lze v analýze LCA chápat jako proces, který mění vstupy na výstupy. Je základním stavebním prvkem analýzy a spojením různých souvisejících jednotkových procesů se vytváří celý složitý systém. (Curran, 2015)

#### **2.4.1.3. Posuzování dopadů životního cyklu (LCIA)**

Třetí fáze hodnotí negativní vlivy posuzovaného životního cyklu na životní prostředí. Jedná se o kvalitativní a kvantitativní zhodnocení všech negativních efektů a nazývá se fází LCIA. Posouzení dopadů je vícestupňový proces, začínající výběrem a definováním kategorií dopadů, které jsou pro danou studii relevantní. Jedná se o interpretaci dat z fáze LCI. Podle ISO14040 se skládá ze tří kroků: klasifikace, charakterizace a celkové hodnocení.

Klasifikace je kvalitativní hodnocení, které rozřídí všechny negativní vlivy podle charakteru působení na životní prostředí do jednotlivých kategorií. z negativních vlivů mohou vznikat efekty druhého, či třetího řádu, což znamená, že působící negativní vlivy zapříčinily další jevy.

Charakterizace je kvantitativní hledisko posuzující celkový dopad sledovaného systému na životní prostředí. Může být prováděno jednostupňově, či dvoustupňově, pak se rozdělují na standardizaci a normalizaci. Při standardizaci se jednotlivé vlivy v té samé kategorii převádějí na charakterizační faktor. Jednotlivé vlivy se převádějí na společného jmenovatele a vzniká společná jednotka, díky které je možné údaje přehledněji hodnotit. Výsledkem standardizace je standardizovaný profil výrobku, často znázorňovaný jako sloupcový graf, v němž každý sloupec odpovídá určitému negativnímu vlivu na životní prostředí.

Normalizace zohledňuje poměrnou škodlivost jednotlivých vlivů v dané lokalitě. Závisí na systému a rozsahu prováděné studie. (Kočí, Remtová, 2009)

Cílem posuzování životního cyklu je porovnat environmentální dopady produktových systémů tak, aby byly měřitelné, a porovnává se pomocí veličiny kategorie dopadu. Protože nelze vzájemně porovnávat dva různé elementární toky, velikosti jednotlivých stejných elementárních toků v případě různých výrobků se liší a mají také odlišný dopad na životní prostředí, převádí se na přehledný soubor konkrétních problémů životního prostředí, tedy kategorie dopadu. Používají se k posouzení, který produkt se významněji podílí na zhoršování stavu životního prostředí. Kategorie dopadu je měřitelný nepříznivý dopad lidské činnosti na životní prostředí. Každou kategorii dopadu způsobuje určitá skupina elementárních toků a posloupnosti dějů vyvolané elementárním tokem, končící pozorovanými účinky. Nazývají se dopadový řetězec (cause-effect chain). Indikátor kategorie dopadu je měřitelná veličina, která udává, jak se daná kategorie zhoršuje a prohlubuje. Existují dva typy indikátorů, a to midpointový (midpoint = střední bod) a endpointový (endpoint = konečný bod) (Kočí, Remtová 2009). Charakterizace na úrovni midpointu modeluje dopad pomocí ukazatele umístěného podél mechanismu metodologie, zatímco charakterizace na úrovni endpointového přístupu bodu vyžaduje modelování až do kategorií popsanych oblastmi ochrany. Ve většině metodik jsou hlavními oblastmi ochrany: kvalita ekosystému, lidské zdraví, zdroje a klimatické změny. (Menoufi, 2011)

Pro hodnocení dopadů na životní prostředí existuje řada metodik hodnotících dopady životního cyklu, mezi nejdůležitější patří: EDIP 2003 (Environmental Design of Industrial Products), Eco-indicator 99, EPS 2000, IMPACT 2002+ atd.

#### **2.4.1.4. Interpretace**

Celkové zhodnocení dopadu systému na životní prostředí. Je to fáze, která se skládá z několika prvků. První je identifikace významných problémů založená na výsledcích fází LCI a LCIA, dále pak obsahuje hodnocení, s ohledem na kontrolu kompletnosti, citlivosti

a konzistence a neposlední součástí je nutnost vyvodit závěry, omezení a doporučení. (ČSN EN ISO 144040 2006).

Interpretace životního cyklu má poskytnout srozumitelnou, úplnou a konzistentní prezentaci výsledků studie v souladu definicí cílů a rozsahu studie (Khasreen et al., 2009). Aby bylo možné komparativně rozhodnout o výsledcích studie, stanovuje se před závěrečným hodnocením pořadí významnosti jednotlivých vlivů. Transparentnost hodnotících postupů, expertních řízení i stanovených vah je jedním z nejdůležitějších pravidel hodnocení, především proto, aby bylo možné doplnit do studie v případě potřeby další údaje.

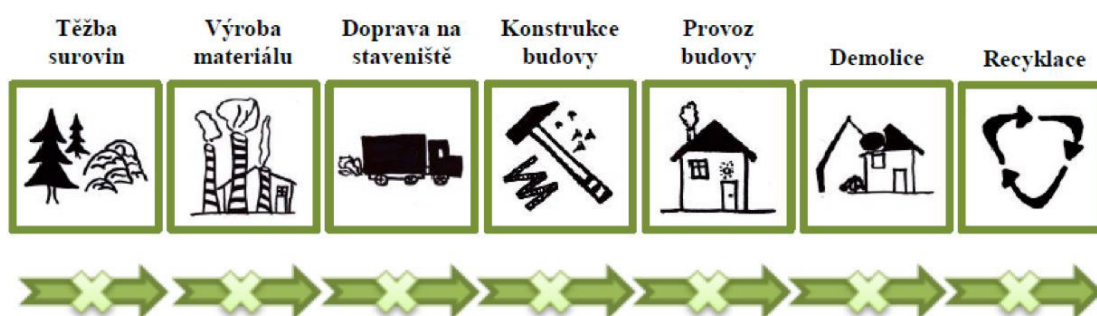
Text normy pojednává o interpretaci stručně a nejsou uvedeny žádné podrobnosti o postupech a technikách, které mají být použity. k hodnocení se používají procedurální i numerické přístupy. Procedurální přístup zahrnuje všechny typy analýz, které se zabývají daty a výsledky ve vztahu k ostatním zdrojům informací, jako je odporný posudek, zpráva o podobných produktech, intuice, údaje o získaných informacích a tak dále. Numerický přístup zahrnuje takové přístupy, které se nějakým způsobem zabývají údaji, které se používají při výpočtech, bez odkazu na jiné zdroje informací a pomocí algoritmů data vyhodnocují. Interpretace porovnává data mezi sebou, i s výsledky předchozích studií a zároveň systematicky analyzuje s pomocí statistiky nebo obdobných metod. (Curran, 2015)

#### 2.4.2. Životní cyklus budov

Každá budova je zdrojem lokálních, regionálních i globálních dopadů. Ty začínají vznikat už na samém začátku životního cyklu budovy (návrh konstrukce, výběr zdrojů materiálů atd.) a končí ve fázi její demontáže nebo demolice. Systémy pro hodnocení budov musejí brát v potaz celý životní cyklus budovy ([www.cz-wiki.cesba.eu](http://www.cz-wiki.cesba.eu)).

Pro určení celkového vlivu budovy na životní prostředí je třeba se zabývat nejenom samotnou výstavbou budovy a jejím provozem, ale i vlivy životních cyklů stavebních materiálů použitých k výstavbě, tj. těžbou surovin, výrobou materiálů, jejich dopravou, zabudováním, údržbou, a po skončení životnosti stavby také demolicí budovy a případnou recyklací stavebních materiálů.

K tomuto účelu je využívána metodika hodnocení životního cyklu LCA, použitelná na jakýkoliv produkt lidské činnosti, tedy i na stavební materiály nebo budovu.



Obr. 1 – Životní cyklus budov ([www.stavba.tzb-info.cz](http://www.stavba.tzb-info.cz))

Stavební objekty stejně jako kterýkoliv jiný výrobek mají svou životnost. Tedy určité časové období, po které jsou dané výrobky, ať stavební či jiné, schopny plnit svou funkci a jejich stav umožňuje vlastníkovvi mít užitek z této věci, resp. stavebního objektu.

Stavby se skládají z jednotlivých konstrukčních prvků. Do těchto konstrukčních prvků spadají např. svíslé nosné konstrukce, zastřešení, výplně otvorů, podlahy apod., a vzájemně tvoří ucelené části stavby.

Z časového hlediska životnosti konstrukčních prvků, rozdělujeme konstrukční prvky na:

- Prvky s dlouhodobou životností:  
Základy, svislé nosné konstrukce (i komíny), vodorovné nosné konstrukce, střešní nosné konstrukce, schodištvé konstrukce.
- Prvky s krátkodobou životností:  
Povrchové úpravy stěn (omítky, obklady, nátěry, ...), podlahy, oplechování, výplně otvorů, izolační vrstvy apod.  
Za prvky dlouhodobé životnosti označujeme konstrukční prvky, které svojí technickou životností dosahují min. 80 let.

## 2.5. EKODESIGN

Obecně lze ekodesign definovat jako systematický proces navrhování a vývoje výrobku, který vedle klasických vlastností jako je funkčnost, ekonomičnost, bezpečnost, ergonomičnost, technická proveditelnost, estetičnost apod. Velký důraz klade na minimalizaci negativního dopadu výrobku na životní prostředí, a to z hlediska celého jeho životního cyklu. To znamená, že se snaží snížit nejen negativní dopad výroby, nebo spotřeby, ale také se posuzuje způsob likvidace. Všechny tyto složky životního cyklu mají stejný podíl vlivu na jeho návrh. Environmentální design rozšiřuje základní prostředky designu (vzhled, materiály, funkčnost, bezpečnost) se současným zohledněním ekonomických aspektů, a především environmentálních dopadů výrobku. Ekodesign rozvíjí inovaci výrobku při dosahování udržitelného rozvoje a snaží se řešit rozpor mezi požadovanou službou výrobku a nežádoucími environmentálními dopady z pohledu celého jeho životního cyklu.

Ekodesign je soubor parametrů a při uvedení výrobku na trh EU je dodavatel, výrobce, nebo dovozce nucen tyto parametry dodržovat, patří mezi ně například energetická účinnost. Záměrem legislativy stanovující požadavky na ekodesign je podpořit rozšíření nejúčinnějších technologií a snížit tak spotřebu energie ve fázi používání výrobku. První tyto požadavky byly stanoveny v evropských směrniciích zacílených na teplovodní kotle na kapalná a plynná paliva, chladničky a předřadníky k zářivkám. Obecný rámec pro požadavky na ekodesign poprvé stanovila směrnice 2005/32/ES, která byla o čtyři roky později nahrazena směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES.

Česká republika implementovala požadavky této směrnice do novely zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií (§ 8a) a do vyhlášky č. 337/2011 Sb., o energetickém štítkování a ekodesignu výrobků spojených se spotřebou energie. ([www.mpo.cz](http://www.mpo.cz))

V rámci provádění směrnice o ekodesignu připravuje Evropská komise ve spolupráci s členskými státy a dotčenými stranami přímo použitelné právní předpisy a nařízení, v nichž se uvádí konkrétní parametry pro jednotlivé kategorie výrobků spojených se spotřebou energie. (Remtová, 2003)

Ekodesign často označovaný environmentální design<sup>9</sup> usiluje o takový design výrobku nebo služby, jenž minimalizuje dopady na životní prostředí ve všech fázích jeho životního cyklu, a to při zachování požadované funkčnosti a ekonomické efektivnosti. Mezi základní principy environmentálního designu patří snížení energetické náročnosti, dematerializace a detoxifikace. V ekodesignu je kladen důraz na zachování požadovaných vlastností produktu při udržení přijatelné ceny, spolehlivosti, kvality, a trvanlivosti. Při návrhu výrobku jde především o splnění požadovaných funkcí, které očekáváme, než o výrobek jako takový. Proto se v ekodesignu často aplikuje adaptovatelnost, multifunkčnost a aktualizovatelnost vyvíjených produktů. Jedním ze základních předpokladů ekodesignu je používat environmentálně šetrné materiály, například dřevo. (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 2016)

## 2.6. DŘEVO JAKO MATERIÁL UDRŽITELNÉHO ROZVOJE VE STAVEBNICTVÍ

Dřevo je přírodní materiál, má obnovitelný zdroj a širokou škálu použití v mnoha průmyslových odvětvích (nábytkářství, sportovní náčiní, hudební nástroje, papírenství, chemický průmysl, energetika, strojírenství a další). Jeden z největších potenciálů má dřevo ve stavebnictví.

Stavebnictví v Evropské unii spotřebuje 40 % celkově užitou energii a tvoří 36 % celkových emisí skleníkových plynů, především oxidu uhličitého (European Commission, 2011). Stavební průmysl je také jeden z hlavních spotřebitelů materiálůvých a energetických přírodních zdrojů a silně ovlivňuje kvalitu životního prostředí. Budovy proto představují vysoký potenciál k úsporám energie a snížení emisí CO<sub>2</sub> (Koláček, 2014).

Evropská legislativa se zpřísnuje a je postupně implementována do českých zákonů a norem. I z této strany je tedy vyvíjen značný tlak na efektivnější a udržitelnější stavby, které budou v celém svém životním cyklu šetrné k životnímu prostředí, ekonomicky výhodné i socio-kulturně přínosné. (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 2016)

Mezi principy udržitelného stavebnictví patří např. to, že udržitelný dům by měl:

- být postaven z přírodních nebo recyklovaných materiálů lokálního charakteru s malými nároky na dopravu;
- využívat převážně obnovitelné zdroje energie (např. slunce, vítr či biomasu) na vytápění a provoz, kombinací se zařízením na akumulaci energie se dům může stát částečně nebo plně nezávislým na sítích;
- mít celkově nízké nároky na spotřebu energie, jak primární, tak energie v provozu;
- produkovat co nejnižší emise CO<sub>2</sub> v celém životním cyklu a mít co nejmenší dopad na životní prostředí;
- být z recyklovatelných materiálů, aby se na konci životního cyklu budovy mohly jednotlivé stavební části nebo materiály znovu využít;
- vytvářet prostředí pro zdraví, spokojenost a pohodlí uživatelů;
- mít dlouhou životnost, být funkční a flexibilní pro případné změny;
- být ekonomicky výhodný.

Dřevostavby mohou snadno naplňovat všechny tyto požadavky. Stavby na bázi dřeva jsou velmi specifickým odvětvím stavebního průmyslu díky tomu, že využívají kompletně přírodní a obnovitelný zdroj suroviny. Dřevo je také jedinečné mezi stavebními materiály, protože je přírodním úložištěm uhlíku - až 50 % jeho hmotnosti v suchém stavu tvoří uhlík (Make it Wood, 2016). Dřevo umí ukládat oxid uhličitý, ten stromy pohltí za svého růstu, během životnosti výrobku ze dřeva (dřevěné stavby) je zde uložen a po dosloužení se CO<sub>2</sub> přirozeně vrátí do ovzduší (Kaufmann 2011). Jeden m<sup>3</sup> dřeva uchová až 1 tunu CO<sub>2</sub> (ProHolz Austria, 2015).

Když se v konstrukci použije dřevo, uhlík v ní zůstává integrovaný po mnoho let, dokud dřevo po ukončení svého životního cyklu přirozenou cestou neuvolní uhlík zpět do atmosféry (rozloží se, nebo shoří). Pokud je za dobu životnosti stavby vysazeno tolik stromů, kolik jich bylo kvůli dřevěné stavbě pokáceno, nezapříčiňuje využití dřeva jako stavebního materiálu nárůst CO<sub>2</sub> v našem ovzduší (bez započtení emisí doprovodných činností a materiálů). Proto mají dřevostavby potenciál velmi nízkých emisí oxidu uhličitého. Musí být však zajištěny správné postupy v celém životním cyklu stavby, mezi něž patří např. také celkové zkvalitnění navrhování a provádění dřevostaveb. (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 2016)



Dřevo má nízkou zabudovanou primární energii oproti ostatním stavebním materiálům jako jsou ocel, beton, cihla či plast (Make it Wood, 2016). Dřevostavby, díky tomu, že jsou většinou stavěny v nízkoenergetickém, nebo pasivním standardu, šetří také energii při provozu stavby. a při využití rychlé a efektivní halové prefabrikace je navíc zajištěna úspora energie, materiálu a menší produkce odpadu i při montáži.

Úspora energií a času znamená samozřejmě i úsporu finančních prostředků. Díky lehčím dřevěným konstrukcím můžeme dále snížit i související náklady (na základovou desku, dopravu apod.). Dřevo jako stavební materiál má dobré tepelně izolační vlastnosti, je univerzální a má dlouhou životnost, pokud se s ním správně zachází. Dřevěný odpad a recyklované dřevo se dá použít na výrobu dalších produktů, jako jsou například dřevotřískové, nebo dřevovláknité desky či jako palivo. i dřevěná stavba se na konci svého životního cyklu dá částečně recyklovat či znovu použít. (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 2016)

Dřevo má uzavřený životní cyklus. Např. dřevěný trám se dá dále využít jako nový stavební materiál, papír, tepelná a zvuková izolace atd. Na konci života je dřevo využito jako palivo (svázaný uhlík se tedy uvolní) nebo se biologicky odbourá díky kompostování – energie i uzamčený uhlík zůstane nepoužit, dosáhneme tedy záporné svázané energie (Kaufmann, 2011).

Dřevostavby poskytují zdravé, přirozené a kvalitní vnitřní klima, například se uvnitř stavby vyskytuje méně toxických a alergenních látek. Tím, že dřevo reaguje na změny vlhkosti, pozitivně ovlivňuje vnitřní mikroklima a stabilizuje vlhkost uvnitř budovy. Kvalita vnitřního prostředí je pro naše zdraví stěžejní, protože v dnešní době trávíme v budovách naprostou většinu našeho života. Stavby ze dřeva splňují téměř všechny požadavky na udržitelnou výstavbu. Díky tomu, že využívají obnovitelný zdroj suroviny, mají potenciál se stát těmi nejlépe udržitelnými stavbami. (Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 2016)

## **2.7. ATHENA IMPACT ESTIMATOR**

Athena Impact Estimator je softwarový nástroj, který je určen k vyhodnocení celé budovy na základě analýzy posuzování životního cyklu LCA. Tento nástroj je používán konstrukčními týmy k porovnání environmentální stopy různých možností výběru materiálu. Athena je vhodná pro posouzení nové výstavby i rekonstrukce a přístavby u všech typů budov. Lze modelovat více než 1200 kombinací konstrukcí a umožňuje rychlé porovnání více variant designu ([www.athenasmi.org](http://www.athenasmi.org)).

Výpočet dopadů zahrnuje v rámci hranice od kolébky do hrobu celou budovu. Výsledky inventarizace zahrnují toky z přírody a do ní: toky energie a surovin, emise do ovzduší, vody a půdy.

Program zohledňuje dopady na životní prostředí v těchto odvětvích:

- Materiálová výroba, včetně těžby surovin a recyklovaných materiálů
- Doprava
- Stavební práce
- Regionální rozdíly ve spotřebě energie, dopravy a dalších faktorech
- Druh stavby a předpokládaná životnost
- Údržba a opravy
- Demolice a likvidace

Výsledky program udává ve studii LCA (od kolébky po hrob), u následujících faktorů:

– Globálního oteplování	[kg CO <sub>2</sub> eq]
– Acidifikace	[kg SO <sub>2</sub> eq]
– Eutrofizace	[kg N eq]
– Poškození ozonové vrstvy	[kg CFC-11 eq]
– Primární energie	[MJ]
– Vázaná energie	[MJ]
– Spotřeba fosilních paliv	[MJ]

### 2.7.1. Globální oteplování

Je produkce skleníkových plynů vázajících v atmosféře energii. Mezi tyto plyn patří oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, metan CH<sub>4</sub>, oxid dusný N<sub>2</sub>O, halogenové uhlovodíky a hexafluorid sírový SF<sub>6</sub>. Na koncentraci skleníkových plynů v atmosféře se podílí přirozená schopnost prostředí vázat tyto plyny.

Nejvýznamnějším skleníkovým plynem je oxid uhličitý CO<sub>2</sub>. Ve srovnání s CO<sub>2</sub> jsou ostatní skleníkové plyny produkovány ve stopových koncentracích, ale mají schopnost ohřívat atmosféru mnohonásobně vyšší. Oxid uhličitý se do atmosféry ostává spalováním organické hmoty a je produkován také při vydechování organismů. Mezi hlavní produkce CO<sub>2</sub> patří spalování fosilních paliv, průmyslové procesy, spalování biomasy, zemědělství atd.

CO<sub>2</sub> je zpět do organické hmoty vázán pomocí fotosyntézy, doba přetrvání CO<sub>2</sub> v atmosféře závislá na způsobu jeho odstraňování a pohybuje se od 50 do 200 let. (Kočí, 2009)

Přepočítání na například CO<sub>2</sub> eq. umožňuje přímé srovnání emisí různých skleníkových plynů, respektive jejich celkového radiačního potenciálu. Plyny mají různý potenciál oteplujícího účinku; emise metanu a oxidu dusného (a případně dalších plynů) se proto přepočítávají na emise CO<sub>2</sub>. ([www.toulcuvdvur.cz](http://www.toulcuvdvur.cz))

### 2.7.2. Acidifikace

Acidifikace je způsobována látkami schopnými v prostředí působit kyselé a ovlivňovat tím například vegetaci. Zvýšené acidifikace způsobuje vymývání látek z půdního profilu, při kterém dochází k migraci živin i uvolňování prvků rizikových pro půdní organismy, dále zhoršení kvality půdy a snížení její odolnosti k ztuhnutí a erozi, zvýšené nebezpečí rozvoje chorob rostlin nebo snížení úrodnosti. Antropogenní acidifikace, jak se nazývá acidifikace ovlivněná nebo přímo způsobená člověkem a jeho činností, je způsobena kyselými dešťovými srážkami a sklizením vysoce výnosných plodin, které čerpají ze země potřebné prvky a minerály a které se následně do půdy nevrátí. Dešťové srážky jsou okyseleny kyselinotvornými plyny, jako jsou oxidy síry, oxidem uhličitým a oxidy dusíku.

### 2.7.3. Eutrofizace

Eutrofizace je proces zvyšování obsahu živin v povrchových vodách a půdách. Nadměrná eutrofizace vede k narušení rovnováhy ekosystémů a dlouhodobě i k jejich rozvratu. Přírodní eutrofizace je způsobena uvolňováním dusíku a fosforu, případně silikátů, z půdy, sedimentů a odumřelých vodních organismů. Umělá eutrofizace je způsobena intenzivní zemědělskou výrobou, některými druhy průmyslových odpadních vod, používáním polyfosforečnanů v pracích a čistících prostředcích a například zvýšenou produkcí komunálních odpadních vod. Viditelným důsledkem eutrofizace je zarůstání povrchových sladkovodních i mořských vod vodním květem sinic a řas.

Eutrofizace způsobuje například narušení kyslíkového režimu vod, což ohrožuje organismy žijící při dně, produkci toxických látek sinicemi, které především v létě ovlivňují kvalitu vody a druhové složení ekosystémů, změnu druhového složení ekosystémů a neposledně má vliv i na nedostatek pitné vody. Eutrofizací jsou poškozeny především povrchové vody – řeky, rybníky, jezera i moře. z hospodářského hlediska pak dochází ke zhoršování kvality zdrojů pitné vody a k omezené rekreační využitelnosti vod. Úprava eutrofizovaných vod na vodu pitnou je ekonomicky náročnější.

#### **2.7.4. Poškození ozonové vrstvy**

Stratosférický ozon je jedním z nejdůležitějších stopových plynů v atmosféře. Působí jako přirozený filtr chránící život na Zemi před biologicky aktivní složkou ultrafialového záření. Úbytek stratosférického ozónu umožňuje větší pronikání slunečního UV záření na zemský povrch, což negativně ovlivňuje zdraví lidí, kvalitu přírodního prostředí, přírodních zdrojů i lidských výtvorů. Látky podílející se na rozkladu ozónu jsou především freony, halony, což jsou halogenové uhlovodíky, dále například oxidy dusíku.

Narušení ozonové vrstvy se může projevit změnami regionálního i globálního klimatu a může mít přímé biologické důsledky. Může způsobovat častější výskyt kožních onemocnění, snížení imunity u lidí i zvířat, narušení ekosystému souší, nebo snížení zemědělských výnosů. ([www.toulcuvdvr.cz](http://www.toulcuvdvr.cz))

#### **2.7.5. Primární energie**

Primární energie je energie, která neprošla žádným procesem přeměny, to znamená taková, jaká se vyskytuje v přírodě. Lze ji rozdělit na energii obnovitelnou, tedy získanou například ze slunečního záření, větru, vodní energie či biomasy, a na energii neobnovitelnou, která je získávána z neobnovitelných zdrojů jako například z fosilních paliv, uhlí, ropy, zemního plynu, nebo jaderné energie.

#### **2.7.6. Vázaná energie**

Vázaná, tedy neobnovitelná energie, je míra energie potřebná k výrobě materiálu. Lze ji vnímat jako samotnou energii materiálu, energie pro těžbu a dopravu.

#### **2.7.7. Spotřeba fosilních paliv**

Spalováním fosilních paliv v energetice vznikají emise znečišťujících látek – oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), tuhé znečišťující látky neboli prašné částice a také oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Dopady těchto látek na znečištění ovzduší jsou s určitostí největším environmentálním problémem v otázce nakládání s fosilními palivy.

### **3. CÍLE PRÁCE**

1. Analyzovat způsoby posuzování environmentálního dopadu stávajících bytových staveb.
2. Stanovit vhodné metody posuzování, určit funkční jednotku a následně zanalyzovat na základě funkční jednotky.
3. Zvolit vhodné konstrukční systémy, určit materiálové skladby a vlastnosti konstrukcí.
4. Provést analýzu LCA různých konstrukčních systémů a výsledky vzájemně porovnat.

## 4. MATERIÁL A METODIKA

### 4.1. POŽADAVKY NA STAVEBNÍ KONSTRUKCE

Při návrhu domu je možné použít velkou řadu stavebních konstrukcí. Při výběru nutné zohlednit velkou řadu kritérií. Veškeré konstrukce musí splňovat požadavky dle vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, ale při návrhu a výběru konstrukcí je vhodné zohledňovat i další kritéria.

- Použití stavby a požadavky, které má splňovat. Odlišné konstrukce se budou požívat, pokud půjde o objekt, který není trvale obydlen a slouží pouze pro sezónní užití, nebo o stavbu celoročně obývanou. Další jsou požadavky. Jiné konstrukce mohou být použity, pokud se bude jednat o otevřený prostor s výhledem do exteriéru, a řadový domek uprostřed rušného města, který je uzavřen směrem do sebe. Provozní požadavky, například v podobě krytého bazénu v suterénu jsou také významnou základnou rozhodování o konstrukčním řešení objektu.

- Lokalita a umístění stavby. S tím se pojí rozdílné přírodní podmínky, kterým musí objekt odolávat. Návrh a konstrukce musí reflektovat například častou sněhovou pokrývku v oblasti, nebo pravidelné záplavy, výskyt větrných smrštů, nebo i zvýšenou vlhkost, složení terénu pod stavbou.

- Tepelně technické požadavky na budovu. Tepelně technické vlastnosti materiálů tvořících obvodový plášť budovy jsou významnými činiteli, kteří značně ovlivňují celkovou energetickou náročnost budov. Spotřeba energie na vytápění budovy představuje největší podíl z celkové spotřeby energií budovy. Nejen z důvodu stoupajících cen energií, ale především z hlediska ekologického (snížení produkce skleníkových plynů vyjádřených v množství CO<sub>2</sub>) vyvstaly požadavky na snižování energetické náročnosti budov. Dodržení tepelně technických požadavků zamezí vzniku tepelně technických vad a poruch budov a zároveň vytvoří tepelnou pohodu uživatelů uvnitř objektu. Dodržování tepelně technických požadavků se požaduje při běžné údržbě a předpokládaném provozu po celou dobu předpokládané životnosti stavby. Tepelně technické požadavky zohledňují šíření tepla, vzduchu a vlhkosti konstrukcemi a prostup tepla obálkou budovy.

U veškerých novostaveb je v současnosti požadován takzvaný energetický štítek budovy. Zařazuje budovy do jednotlivých klasifikačních tříd je závislé na průměrném součiniteli prostupu tepla  $U_{em}$ .

- Design a vzhled stavby. V rámci veškerých technických požadavků je vhodné najít místo pro požadovaný vzhled a designu budovy. Jak pravil římský architekt Vitruvius Pollonio, stavba musí splňovat tři základní stěžní body: musí se přihlížet ke stabilitě stavby, potom k použití a pak estetiky. Estetika se nesmí přeceňovat, ale také se nesmí podceňovat, protože stavby se staví pro lidi a ti se v nich musí cítit dobře.

### 4.2. KRITÉRIA K POSOUZENÍ VHODNÝCH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ

Pro porovnání jednotlivých konstrukcí se nejdříve stanovují kritéria, která mají splnit. Například počítáme s nosnou funkcí a určitými tepelně technickými požadavky. Další požadavek je na porovnávání srovnatelného. Nelze objektivně srovnat například dvě odlišné budovy, které mají různé využití, odlišnou zastavěnou plochu a objem budovy. Pro porovnání se musí zvolit určitá jednotka, která bude pro porovnávání výchozí.

#### 4.2.1. Objem a vlastnosti konstrukcí.

Pro možnost určení environmentálního zatížení je třeba nejdříve skladby veškerých konstrukcí. Z nich lze vypočítat základní objemy použitých konstrukcí. Dále je třeba znát také ostatní vlastnosti nutné k porovnání, jako je hustota, měrná tepelná kapacita a další.

#### 4.2.2. Součinitel prostupu tepla

Výpočet tepelně technických požadavků se konkrétně týká především součinitele prostupu tepla konstrukcí U.

$$U = \frac{1}{R_r} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad [\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$$

U je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce

$R_{si}$  je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [ $\text{m}^2 \text{K}^1 \text{W}^{-1}$ ];

$R_{se}$  je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [ $\text{m}^2 \text{K}^1 \text{W}^{-1}$ ]

R, tepelný odpor konstrukce se stanovuje podle vztahu:

$$R = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2\text{KW}^{-1}]$$

d tloušťka i – té vrstvy

$\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [ $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]

### 4.3. VÝBĚR STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Pro porovnání variant jednotlivých konstrukčních variant bytových objektů byla vybrána obvodová konstrukce. Při porovnávání uvažujeme vliv pouze obvodové stěny objektu.

### 4.4. VÝBĚR VHODNÉ METODY HODNOCENÍ

Metoda posuzování životního cyklu budovy by měla zahrnovat všechny fáze, kterými prochází budova a konstrukční materiály. Mezi tyto fáze patří: těžba surovin (včetně jejich dopravy do výroby finálního produktu), výroba materiálu, doprava materiálu na stavbu, zabudování materiálu do stavby, údržba materiálu během jeho životnosti, likvidace materiálu po dožití a recyklace materiálu.

Pro celkové porovnání vybraných konstrukcí byla vybrána metoda LCA, Life cycle assesment.

#### 4.4.1. Stanovení cíle

Cílem je zjistit, jakou z konstrukčních variant obvodového pláště bytového domu je vhodné použít s ohledem na environmentální dopady životního cyklu objektu. Jedná se o porovnání konstrukčních variant obecně, aby bylo možné v případě návrhu budovy vybrat tu nejvíce vhodnou. Tato analýza by měla sloužit pro projektanty i investory.

Předpokládá se, že studie bude provedena v rozsahu Cradle to Grave, tedy od kolébky do hrobu, což zahrnuje těžbu, výrobu materiálu, dopravu materiálu, výstavbu, užívání stavby a následnou likvidaci objektu.

Funkční jednotka byla určena jako 1 m<sup>2</sup> konstrukce obvodové stěny a její životnost 50 let.

Jedním z předpokladů je, že dané obvodové konstrukce budou pasivním energetickém standardu, to znamená součinitel prostupu tepla menší než 0,18 W/m<sup>2</sup>K, v tomto případě hodnotu 0,17 W/m<sup>2</sup>K. Tím se zajistí, že environmentální dopad provozu budovy bude ve všech případech stejný, proto jej nebudeme zahrnovat do výsledků.

#### **4.4.2. Inventarizační analýza**

Elementární toky posuzujeme jako objemy konstrukcí použitých na 1 m<sup>2</sup> obvodového pláště. Tyto hodnoty musí být transparentně zaznamenány. Součástí dat je i popis základních vlastností materiálu.

#### **4.4.3. Posuzování dopadů životního cyklu**

Posuzování dopadů životního cyklu probíhá pomocí softwaru Athena. Posuzované negativní vlivy jsou:

- Globálního oteplování
- Acidifikace
- Eutrofizace
- Poškození ozonové vrstvy
- Primární energie
- Vázaná energie

Dále provedeme normalizaci, aby bylo možné jednotlivé hodnoty a materiály porovnat mezi sebou. Vybereme jednu konstrukci jako vztažnou, tedy hodnoty, kterých bude nabývat budou vždy 100 %. Výsledky se budou moci porovnávat mezi sebou.

#### **4.4.4. Interpretace**

Identifikujeme významné problémy vycházející s předchozích fází analýzy. Následně interpretujeme výsledky posuzování jednotlivých konstrukcí a komparativně rozhodneme, která z konstrukcí obvodového pláště vychází jako nevhodnější.

#### 4.5. STAVEBNÍ KONSTRUKCE

Byly porovnány čtyři konstrukční systémy obvodových stěn, které jsou běžně používány ve stavebnictví. Pro porovnání byly vybrány nejčastější konstrukce pro rodinné domy podle českého statistického úřadu.

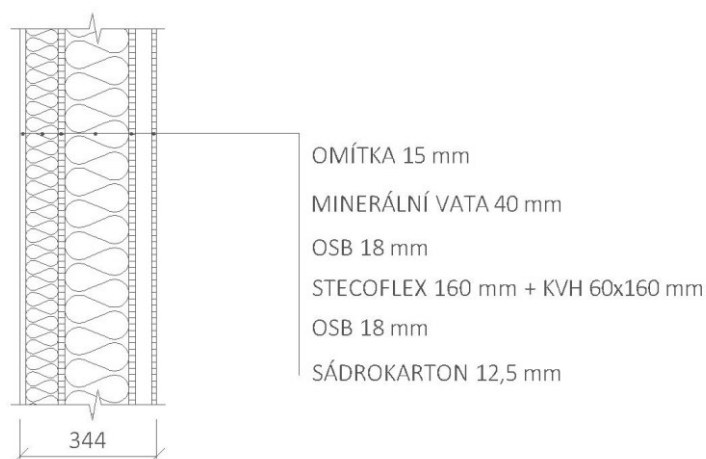
Součinitel prostupu tepla  $U=0,17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , což je hodnota vyhovující pasivnímu energetickému standardu objektu.

##### 4.5.1. Sloupková konstrukce

Sloupková konstrukce se skládá z dřevěného rámu 160x60 mm opláštěného z obou stran deskami OSB, z exteriéru opláštěné minerální vatou tl. 180 mm a v interiéru sádrokartonem.

Tab. 1 – Skladba sloupkové konstrukce – výpis materiálů a jejich vlastností

		Sloupková konstrukce (difuzně otevřená)					
		Materiál	D [mm]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [-]
interiér		Sádrokartonová deska	12,5	0,32	1000	1250	13
		OSB	18	0,13	1700	650	50
		Minerální vata	160	0,044	840	100	1
		Dřevo	160x60	0,18	2510	400	157
exteriér		OSB	18	0,13	1700	650	50
		Minerální vata	40	0,036	800	100	1
		Omítka	15	0,12	850	400	10



Obr. 2 – Skladba sloupkové konstrukce

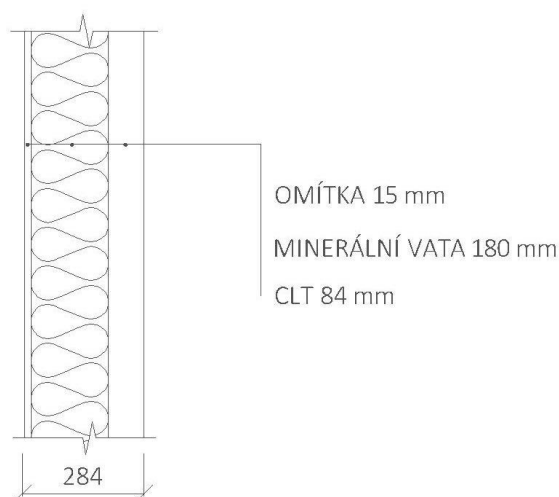


#### 4.5.2. Masivní dřevěná konstrukce - CLT panel

Konstrukce je tvořena CLT panelem 84 mm, minerální vatou tl. 180 mm a exteriérovou omítkou tl. 15 mm.

Tab. 2 – Skladba konstrukce z CLT panelu – výpis materiálů a jejich vlastností

interiér ---- exteriér	Konstrukce z CLT panelu					
	Materiál	D [mm]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [-]
	CLT panel	84	0,18	2510	400	157
	Minerální vata	180	0,036	840	100	1
	Omítka	15	0,12	850	400	10



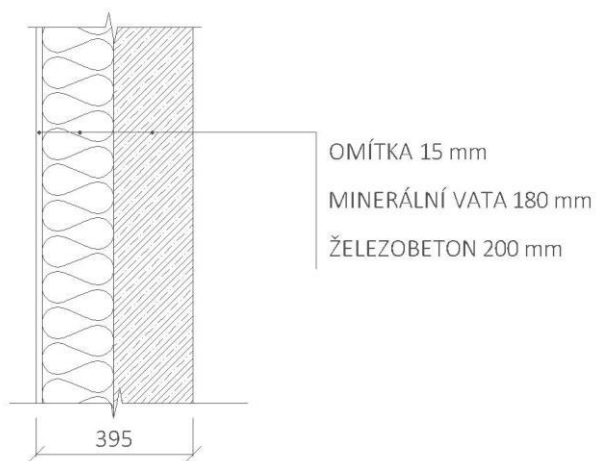
Obr. 3 – Skladba konstrukce z CLT panelu

#### 4.5.3. Železobetonová konstrukce

Konstrukce je tvořena železobetonem tl. 200 mm, minerální vatou 180 mm a exteriérovou omítkou.

Tab. 3 – Skladba železobetonové konstrukce – výpis materiálů a jejich vlastností

interiér ---- exteriér	Železobetonová konstrukce					
	Materiál	D [mm]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [-]
	Železobeton	200	1,58	1020	2400	29
	Minerální vata	180	0,036	800	100	1
	Omítka	15	0,12	850	400	10



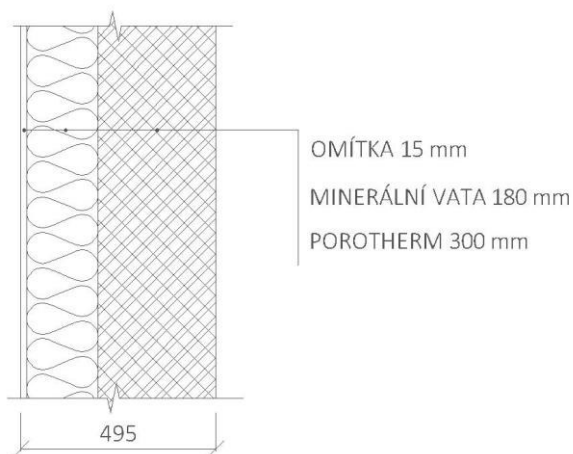
Obr. 4 – Skladba konstrukce ze železobetonu

#### 4.5.4. Zděná konstrukce

Konstrukce je z cihelného bloku Porotherm tl. 300 mm, minerální vaty 180 mm s exteriérovou omítkou.

Tab. 4 – Skladba zděné konstrukce z cihelných bloků – výpis materiálů a jejich vlastností

		Zděná konstrukce Porotherm					
		Materiál	D [mm]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [-]
interiér ---- exteriér		Cihelný blok	300	0,31	960	1000	5/10
		Minerální vata	180	0,036	800	1000	1
		Omítka	15	0,12	850	400	10



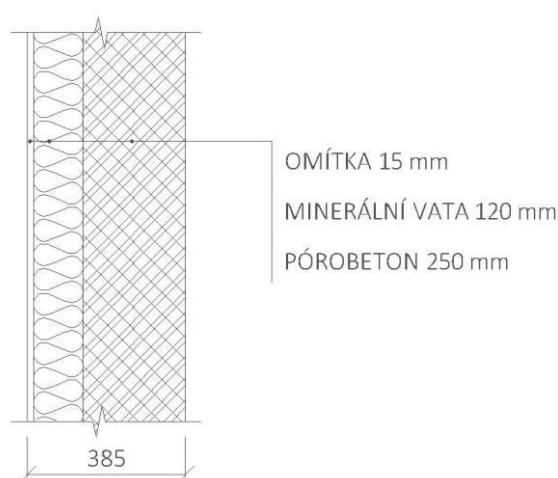
Obr. 5 – Skladba konstrukce z porothermových tvarovek

#### 4.5.5. Konstrukce z pórobetonových tvárnic

Konstrukce je z pórobetonových tvárnic tl. 250 mm, na kterých je 120 mm tepelné izolace z minerální vaty.

Tab. 5 – Skladba konstrukce z pórobetonových tvarovek – výpis materiálů a jejich vlastností

interiér ---- exteriér	Pórobetonové tvárnice					
	Materiál	D [mm]	$\lambda$ [W/mK]	c [J/kgK]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\mu$ [-]
	Pórobeton	250	0,11	835	440	5/10
	Minerální vata	120	0,036	800	100	1
	Omítka	15	0,12	850	400	10



Obr. 6 – Skladba konstrukce z pórobetonových tvarovek

#### 4.6. POROVNÁNÍ KONSTRUKCÍ POMOCÍ PROGRAMU ATHENA

Konstrukce a jejich dopad na životní prostředí bude porovnáván v programu Athena Impact Estimator for Buildings 5.3.0112 (Version 5.3 Build 0112). Volíme životní cyklus od kolébky do hrobu.

Pro uvedené skladby se nejdříve musí vypočítat základní hmotnosti a objemy, které odpovídají zkoumané jednotce, o znamená hmotnost a objem všech použitých materiálů pro 1 m<sup>2</sup> obvodové konstrukce. Objem použitého materiálu se vypočítá z tloušťky materiálu vynásobené plochou. Hmotnost vynásobením objemu a hustoty zvoleného materiálu.

Program Athena při posuzování připočítává k výslednému objemu ještě 5 % materiálu, se kterým se počítá jako s odpadním.

V programu se nejdříve nastaví lokace (Amerika), jeho předpokládaná životnost (50 let) a druh objektu (rodinný dům). Potom se zvolí typ konstrukce, v tomto případě obvodová stěna. Vyhledávání materiálů probíhá v databázi, kde se podle názvu a vlastností vybere materiál a zadá se jeho objem. Je možné používat také přednastavené skladby stěn, ale v tomto případě nevyhovovaly požadavkům, a proto se zadávaly objemy a plochy materiálů.

Po volbě všech materiálů se model exportuje. Lze exportovat více výstupy, mezi které patří grafy, tabulky, nebo inventarizace všech použitých prvků a jejich objemy a vlastnosti. Toho lze využít v případě, že se jedná o rozsáhlou analýzu s velkým počtem materiálů. Lze volit i fáze životního cyklu, které chceme do analýzy zahrnout.

V rámci analýzy budeme porovnávat tyto kategorie dopadu:

–Globálního oteplování (uhlíková stopa – množství oxidu uhličitého)	[kg CO2 eq]
–Acidifikace	[kg SO2 eq]
–Eutrofizace	[kg N eq]
–Poškození ozonové vrstvy	[kg CFC-11 eq]
–Primární energie	[MJ]
–Vázaná energie	[MJ]

Doprava v tomto případě není zkoumané kritérium. Řadí se mezi kategorie dopadu, ale z důvodu obecného charakteru a cílům celé studie, které hledají výsledek nikoli pro konkrétní lokalitu, ji nebudeme brát v potaz.

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1. POROVNÁNÍ METOD A POSTUPŮ HODNOCENÍ

Pro srovnání je důležité rozdělit zkoumané metody do čtyř skupin. Je to z důvodu, že každá posuzuje odlišné fáze životního cyklu, jak lze vidět v tabulce.

Tab. 6 – Porovnání metod hodnocení staveb

	LEED	BREAM	SBToolCZ	CESBA tool	PENB	CPD	Certifikát Kvalitní stavba	DNK	DGNB	EPD	LCA
<b>materiál</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ano
<b>výstavba</b>	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ano	ano	ano	ano	ano
<b>provoz</b>	ano	ano	ano	ano	ano	ano	ne	ne	ano	ano	ano
<b>likvidace</b>	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ne	ano	ano	ano

#### 5.1.1. Od výroby materiálu po provoz budovy

První skupinou jsou metody posuzující výhradně stavby, a to od návrhu projektu až po provoz budovy. Neuvažují likvidaci objektu, ani rekonstrukci. Na základě rozdílných kritérií hodnotí výstavbu a užívání objektů.

##### 5.1.1.1. LEED

Certifikace LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) hodnotí způsob návrhu, výstavby a provozu budov – od jednotlivých domů, přes komplexy budov až po celé čtvrtě. Jedná se o komplexní a flexibilní nástroj využitelný v průběhu životního cyklu budovy od návrhu až po výstavbu a provoz. Do této metody se nezahrnuje likvidace.

Hodnota stavebního materiálu z hlediska vlivu na životní prostředí se zaměřuje na tyto vlastnosti:

- Obsah recyklované složky – pro dokumentaci této vlastnosti je nutno správně chápat definice pro tzv. předspotřebitelskou a pospotřebitelskou složku recyklovaného materiálu (definice jsou zakotveny v ISO 14021) a správně je interpretovat osobám odpovědným za získání potřebné dokumentace, eventuálně přímo výrobcí.
- Regionalitu – je nutno doložit místa získávání surovin pro výrobu a místa zpracování surovin na finální výrobek.
- Rychlost obnovitelnosti – v potaz se berou pouze materiály rostlinného původu s periodou získávání suroviny z těchto materiálů kratší než deset let.
- Obsah těkavých organických látek (VOC – Volatile Organic Compounds) – tato vlastnost se sleduje u lepidel, tmelů, těsnících hmot, nátěrů, maleb, stěrkových podlah apod., včetně materiálů na bázi aglomerovaného dřeva, které musí být bez přidaného močovinnového formaldehydu. Maximální přípustné limity těkavých látek jsou v LEED dány americkými normami (SCAQMD).
- Původ materiálu – u dřeva jde o certifikát FSC. Znamená to, že dřevo bylo získáno ekologicky přijatelným způsobem. Jiný certifikát, než FSC není pro LEED relevantní.

Lze certifikovat i existující budovy.

#### **5.1.1.2. BREAM**

Certifikát BREEAM® (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) hodnotí především energetickou účinnost. Hodnocení BREEAM se zabývá specifikací budovy, jejího designu, konstrukce a užívání. Neuvažuje likvidaci stavby.

- Energie (energetická účinnost a důraz na zamezení plýtvání energií)
- Zdraví a pohoda prostředí (denní osvětlení a možnost přirozeného větrání, apod.)
- Materiály (použití materiálů s nízkým dopadem na životní prostředí)
- Management (např. environmentální dopady výstavby)
- Znečišťující látky (např. použití vhodného chladiva, emise sloučenin oxidů dusíku)
- Využití půdy a ekologie (zmírnění dopadu na životní prostředí)
- Doprava (dostupnost veřejnou dopravou a podpora ekologických způsobů dopravy, apod.)
- Odpad (stavební odpady, využití recyklace, apod.)
- Voda (např. úsporné spotřebiče a opatření pro detekci úniku vody)

Existující budovy lze certifikovat ve schématu In-Use.

#### **5.1.1.3. SBToolCZ**

Certifikační nástroj SBToolCZ jediným lokalizovaným nástrojem v ČR a respektuje místní klimatické, stavební a legislativní poměry.

Struktura kritérií je rozdělena do základních skupin:

- environmentální kritéria (životní prostředí),
- sociální kritéria (také sociálně-kulturní),
- ekonomika a management
- lokalita (hodnotí se a výsledek se prezentuje, ale nevstupuje do výsledného certifikátu kvality)

Nelze certifikovat již existující budovy.

#### **5.1.1.4. CESBA tool**

CESBA je optimalizačním a certifikačním nástrojem pro hodnocení budov, který uplatňuje holistický přístup k nalezení udržitelného řešení. Hodnotí se ve dvou fázích, při dokončení projektu a po dokončení stavby.

Hodnocení budov se provádí bodovým systémem s maximálním počtem bodů 1000. Tyto body jsou rozděleny do 5 kritérií:

- 50 bodů pro kvalitu místa a vybavení
- 200 bodů pro kvalitu procesu plánování
- 450 bodů pro energie a zásobování
- 200 bodů pro zdraví a komfort
- 200 bodů pro stavební materiály a konstrukce

### **5.1.2. Posouzení provozu budovy**

Druhá skupina jsou metody hodnotící pouze provoz stavby. Každá s určitými standardy rozděluje stavby především na základě energetických nároků.

#### **5.1.2.1. PENB**

Průkaz energetické náročnosti budovy (PENB), je dokument, který zpracovává oprávněná osoba Ministerstvem průmyslu a obchodu – oprávněný energetický specialista. Energetický specialista spočítá na základě dostupných nebo osobně zjištěných informací energetickou náročnost budovy.

Jedná se o posouzení provozu budovy, na základě kterého se vyhodnotí energetická náročnost objektu.

#### **5.1.2.2. CPD**

Certifikace pasivních domů PHPP podle Passivhaus Institutu v Darmstadtu, je užívaná především v německy mluvících zemích pro návrh pasivních domů.

Posuzují se následující kritéria a požadavky na provoz stavby jsou:

- měrná roční potřeba tepla na vytápění je maximálně 15 kWh/(m<sup>2</sup>a),
- neprůvzdušnost obálky budovy ověřená tlakovou zkouškou nesmí překročit hodnotu 0,6-1/hod, což znamená, že při přetlaku nebo podtlaku 50 Pa se nesmí za hodinu vyměnit netěsnostmi v obálce více než 60 % vnitřního objemu vzduchu,
- celková potřeba primární energie spojená s provozem budovy včetně domácích spotřebičů je nižší než 120 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Lze hodnotit novostavby, rekonstrukce i stávající objekty.

### **5.1.1. Posouzení výstavby**

Třetí skupina hodnotí materiály výstavby a neuvažuje provoz ani likvidaci. Vybrané metody posuzování se orientují také pouze na dřevostavby.

#### **5.1.1.1. Certifikát Kvalitní stavba**

Vydání certifikátu „Kvalitní stavba“ se realizuje na základě ověření kvality stavby, kontroly realizace projektu, prověření vzduchotěsnosti konstrukce a pozitivní závěrečné zprávy. Je to služba orientovaná výhradně na dřevostavby.

Kvalita stavby domu se ověřuje:

- dvěma návštěvami technika na rozestavěné stavbě v určené fázi,
- kontrolou projektové dokumentace na stavbě,
- kontrolou použitého stavebního materiálu a provedení stavby v porovnání s projektovou dokumentací na stavbě,
- dle situace doporučení návštěvy technických pracovníků výrobců stavebních materiálů,
- měřením vlhkosti dřeva ve stavbě,
- vizuální kontrolou osazení oken a propojení na vzduchotěsnicí vrstvu,

- kontrolu vybraných oblastí stavby dle metodiky Dřevařského ústavu (mechanická odolnost a stabilita, požární bezpečnost, úspora energie a ochrana tepla)
- kontrolou vzduchotěsnosti budovy (tzv. Blower Door test, měření metodou 2(B)).

Tento certifikát nelze vydat na již stávající objekty.

#### **5.1.1.2. DNK (dokument národní kvality)**

Cílem dokumentu národní kvality je zajištění technické kvalitativní úrovně montovaných staveb na bázi dřeva formou nepovinné certifikace. Do rozsahu sledování DNK jsou zahrnuty všechny stavební prvky a konstrukce, které mají vliv na základní vlastnosti celé stavby.

Sledované oblasti konstrukcí:

- statika
- požární bezpečnost
- ochrana proti hluku
- tepelně technické vlastnosti a ochrana proti vlhkosti
- průvzdušnost

Certifikace se vztahuje pouze na konstrukce dřevostaveb z lehkých skeletů, těžkých skeletů a sendvičové konstrukce. Nelze certifikovat stávající objekty.

#### **5.1.1. Pro celý životní cyklus**

Čtvrtou skupinou jsou analýzy hodnotící celý životní cyklus budovy. Uvažují vstupy materiálu, výstavbu, provoz budovy i konečnou likvidaci objektu. Nejsou určené pouze pro posuzování staveb a stavebních konstrukcí, ale veškerých výrobků, procesů a služeb.

##### **5.1.1.1. DGBN**

Certifikace DGBN (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – Německá rada pro šetrnou výstavbu) hodnotí budovu a její vlastnosti jako celek. Podporuje integrovaný návrh budovy, díky čemuž nabízí potenciál pro optimalizaci celého cyklu – počínaje výstavbou, provozem až po demolici budovy na konci její životnosti.

Certifikace pro novostavby kanceláří a administrativních budov se skládá z 49 kritérií. 43 kritérií popisuje kvalitu budovy a jsou rozdělena do pěti oblastí kvality:

- Ekologická (22,5 %)
- Ekonomická (22,5 %)
- Sociálně-kulturní (22,5 %)
- Technická kvalita (22,5 %)
- Kvalita procesu (10 %)

Na území ČR nelze certifikovat stávající objekty.

##### **5.1.1.2. LCA**

Life cycle assesment je systematický přístup, jímž se hodnotí dopady produktu na životní prostředí. Za produkt se zde považuje definovaný výrobní systém zahrnující všechny vstupy materiálů, energií a dopravy potřebné pro výrobu produktu, jeho vlastní výrobu a užití až po fázi likvidace. Je tak zahrnut celý životní cyklus daného produktu a posuzují se všechny



environmentální dopady, které jsou s tímto životním cyklem spojené. Vychází z normy ČSN EN ISO 14040 - Environmentální management - Posuzování životního cyklu.

Příklady kategorií dopadů:

- Čerpání abiotických zdrojů
- Čerpání biotických zdrojů
- Změna klimatu
- Poškození stratosférického ozonu
- Acidifikace
- Tvorba fotooxydantů
- Lidské zdraví – toxicita
- Ekotoxicita
- Nutrifikace

Tato analýza není specificky určena pouze pro posuzování budov. Používá se ve všech možných oblastech.

### **5.1.1.3. EDP**

Environmentální prohlášení o produktu jsou dokumenty obsahující měřitelné informace o vlivu produktu na životní prostředí získané na vědeckém základě – např. přesné materiálové složení produktu, spotřeby surovin a energie v jednotlivých fázích jeho životního cyklu a míru emisí přispívajících ke skleníkovému efektu, poškození ozónové vrstvy, okyselování půdy a vody, eutrofizaci vod a tvorbě fotochemických oxidantů. Získání těchto údajů je založeno na metodice posouzení životního cyklu (LCA) a samotné výsledné prohlášení je konečným výstupem obsahujícím informace o produktu s přehledně uspořádanými výsledky LCA.

Základní norma ČSN ISO 14025 (pro EPD) byla v roce 2012 doplněna normou ČSN EN 15804 Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních výrobků, která definuje základní postupy tvorby EPD v oblasti stavebních výrobků. Výstupy EPD se využívají v metodách komplexního hodnocení kvality budov z hlediska jejich celého životního cyklu (LEED, BREEM, SBToolCZ).

Postup zpracování EPD spočívá zejména:

- ve zpracování podrobných schémat výroby;
- v definici jednotkových procesů na potřebných úrovních;
- v definici deklarované/funkční jednotky produktu;
- v definici míst v jednotkových procesech, kde je možno získat data (sledování vstupů/výstupů);
- u všech použitých dat vždy dokumentovat cestu k těmto datům.

## 5.2. VÝSLEDKY LCA ANALÝZY KONSTRUKCÍ

### 5.2.1. Sloupková difuzně otevřená konstrukce

Hodnoty kategorií dopadu jsou uvedeny v tabulce níže. Vliv materiálu je určován pro čtyři kategorie, tedy výrobu, výstavbu konstrukce, likvidace a účinek který má konstrukce po konci života. Z tabulky vyplývá, že výroba je nejvíce zatěžující fází životního cyklu konstrukce. Hodnoty po konci života jsou minimální.

Jelikož se konstrukce skládá ze dřeva, které váže CO<sub>2</sub>, je hodnota po konci životnosti záporná, protože dřevo nese molekuly i po skončení životnosti.

Tab. 7 – Kategorie dopadu – sloupková konstrukce

Kategorie dopadu	Jednotky	Výroba	Výstavba	Likvidace	Po konci života	Celkem
Globální oteplování	kg CO <sub>2</sub> eq	2,126	0,262	0,322	-7,577	-4,866
Acidifikace	kg SO <sub>2</sub> eq	0,0209	0,0026	0,0043	0	0,0278
Eutrofizace	kg N eq	0,002572	0,000223	0,000269	0	0,003063
Poškození ozonové vrstvy	kg CFC-11 eq	5,878E-09	3,160E-10	1,350E-11	0	6,207E-09
Primární energie	MJ	71,47	5,82	4,78	0,02	82,08
Vázaná energie	MJ	30,08	3,75	4,77	0	38,61

### 5.2.2. Konstrukce z CLT panelů

Hodnoty kategorií dopadu jsou uvedeny v tabulce níže. Vliv materiálu je určován pro čtyři kategorie, tedy výrobu, výstavbu konstrukce, likvidace a účinek který má konstrukce po konci života. Z tabulky vyplývá, že výroba je nejvíce zatěžující fází životního cyklu konstrukce. Hodnoty po konci života jsou minimální.

Po konci života má skladba s CLT panelem opět zápornou hodnotu, která je vyšší než v případě sloupkové konstrukce, protože je v konstrukci větší podíl dřeva.

Tab. 8 – Kategorie dopadu – konstrukce z CLT panelů

Kategorie dopadu	Jednotky	Výroba	Výstavba	Likvidace	Po konci života	Celkem
Globální oteplování	kg CO <sub>2</sub> eq	8,314	6,392	1,471	-32,560	-16,383
Acidifikace	kg SO <sub>2</sub> eq	0,0713	0,0701	0,0198	0	0,1613
Eutrofizace	kg N eq	0,004163	0,004329	0,001237	0	0,009729
Poškození ozonové vrstvy	kg CFC-11 eq	3,123E-08	7,930E-10	6,195E-11	0	3,208E-08
Primární energie	MJ	395,89	95,46	21,84	0,15	513,34
Vázaná energie	MJ	149,54	92,95	21,84	0	264,33

### 5.2.3. Železobetonová konstrukce

Hodnoty kategorií dopadu jsou uvedeny v tabulce níže. Z tabulky plyne, že pro obvodovou stěnu tvořenou železobetonovou konstrukcí opláštěnou minerální vatou, je opět výroba nejvíce zatěžující fází životního cyklu konstrukce.

Tab. 9 – Kategorie dopadu – železobetonová konstrukce

Kategorie dopadu	Jednotky	Výroba	Výstavba	Likvidace	Po konci života	Celkem
Globální oteplování	kg CO2 eq	60,331	6,094	5,104	2,911	74,439
Acidifikace	kg SO2 eq	0,1860	0,0389	0,0660	0,01	0,3008
Eutrofizace	kg N eq	0,065614	0,005120	0,004115	0	0,074849
Poškození ozonové vrstvy	kg CFC-11 eq	1,43E-07	7,15E-09	2,10E-11	0	1,50E-07
Primární energie	MJ	399,97	64,83	75,59	13,25	553,64
Vázaná energie	MJ	383,06	63,97	75,56	0	522,58

### 5.2.4. Zděná konstrukce z porothermových tvárnic

Hodnoty kategorií dopadu opět dokumentují, že výroba převažuje nad ostatními fázemi dopadu. Z hlediska porovnání všech ostatních kategorií dopadu následuje výstavba, likvidace a po konci života jsou hodnoty nulové.

Tab. 10 – Kategorie dopadu – zděná konstrukce z porothermových tvárnic

Kategorie dopadu	Jednotky	Výroba	Výstavba	Likvidace	Po konci života	Celkem
Globální oteplování	kg CO2 eq	7,799	0,832	0,131	0	8,762
Acidifikace	kg SO2 eq	0,0682	0,0076	0,0013	0	0,0770
Eutrofizace	kg N eq	0,000631	0,000219	0,000079	0	0,000928
Poškození ozonové vrstvy	kg CFC-11 eq	5,496E-09	2,978E-10	4,584E-12	0	5,798E-09
Primární energie	MJ	125,76	12,96	1,92	0	140,63
Vázaná energie	MJ	121,91	12,69	1,91	0	136,51

### 5.2.5. Zděná konstrukce z pórobetonových tvárnic

Poslední je zděná konstrukce z pórobetonových tvárnic, kde opět sledujeme majoritní podíl výrobní fáze v posuzování dopadů na životní prostředí.

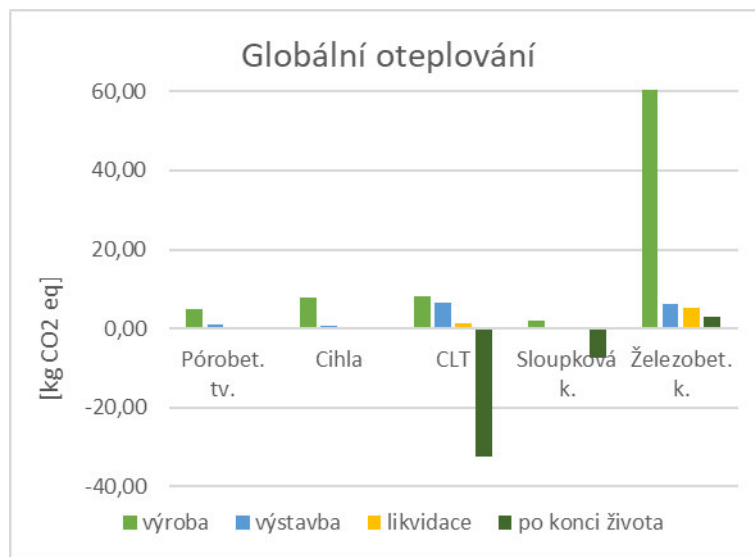
Tab. 11 – Kategorie dopadu – zděná konstrukce z pórobetonových tvárnic

Kategorie dopadu	Jednotky	Výroba	Výstavba	Likvidace	Po konci života	Celkem
Globální oteplování	kg CO2 eq	4,846	1,051	0,305	0	6,202
Acidifikace	kg SO2 eq	0,0288	0,0092	0,0029	0,009	0,0500
Eutrofizace	kg N eq	0,000600	0,000514	0,000183	0	0,001296
Poškození ozonové vrstvy	kg CFC-11 eq	2,100E-08	1,091E-09	1,065E-11	0	2,210E-08
Primární energie	MJ	51,27	14,32	4,45	0	70,04
Vázaná energie	MJ	50,60	14,28	4,45	0	69,33

## 5.3. SROVNÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VARIANT

### 5.3.1. Globální oteplování

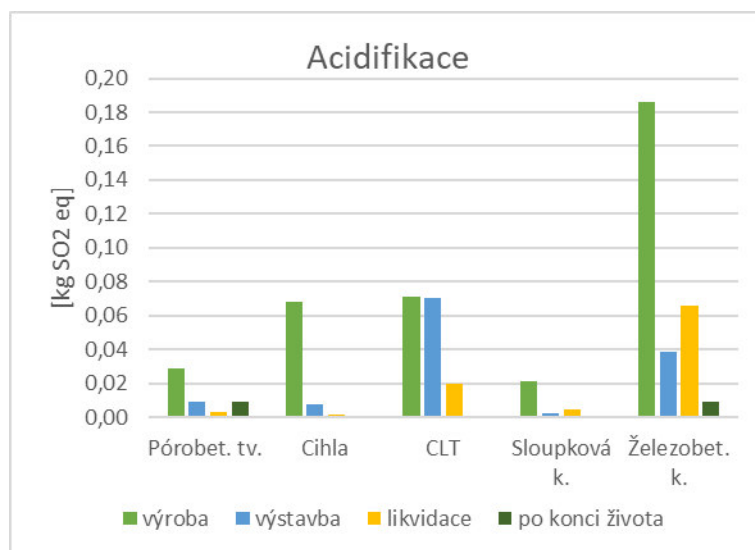
Ze srovnání materiálů na základě globálního oteplování vyplývá, že největší množství oxidu uhličitého produkuje železobetonová konstrukce. Výroba železobetonu několikanásobně převyšuje dopady výroby všech ostatních materiálů. Při porovnání konstrukce z pórobetonových tvárnic a cihelných bloků vyplývá, že cihlové bloky mají celkem vyšší podíl na globálním oteplování. Porovnání stavebních konstrukcí na bázi dřeva ukazuje, že sloupková konstrukce vyprodukuje celkem méně CO<sub>2</sub>, než konstrukce z CLT panelů, ta ale váže CO<sub>2</sub> i po skončení životnosti více.



Graf 1 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu globální oteplování

### 5.3.2. Acidifikace

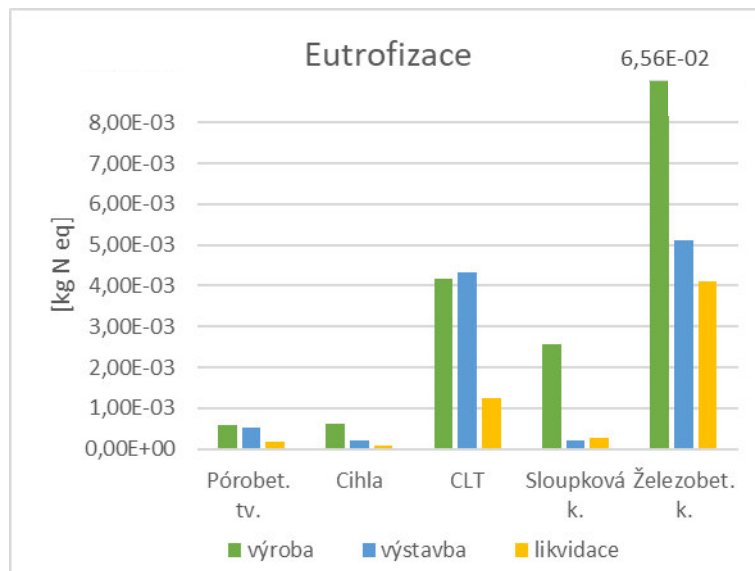
Pokud se porovnávají konstrukční varianty na základě acidifikace, železobetonová konstrukce vychází s největšími dopady na životní prostředí. Následuje ji konstrukce z CLT panelů, potom cihlová konstrukce, stěna z pórobetonových tvárnic a nejnižší dopad má konstrukce sloupková.



Graf 2 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii acidifikace

### 5.3.3. Eutrofizace

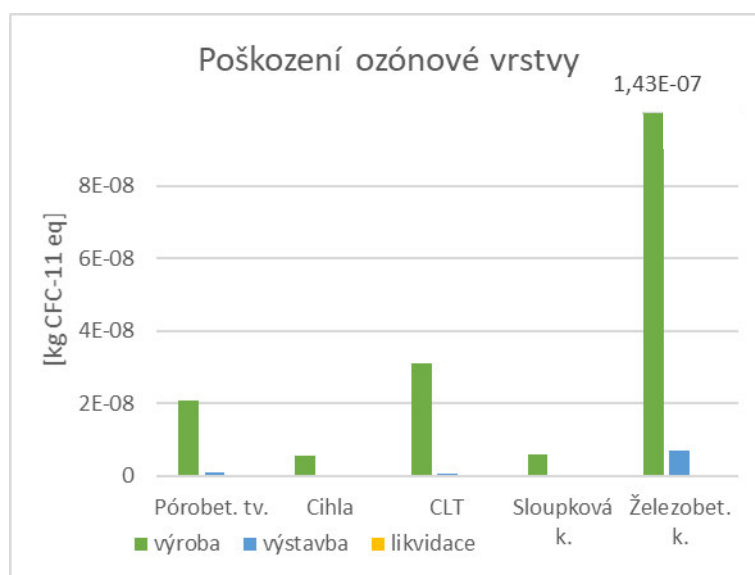
Nejlepší výsledky má obvodová konstrukce z cihlových bloků Porotherm. Druhou konstrukční variantou je stěna zděná pórobetonovými tvárniciemi. Výsledky dopadu se liší pouze nepatrně. Z obvodových konstrukcí na bázi dřeva má nižší hodnoty konstrukce sloupková. Železobetonová konstrukce je o jeden řád výše než všechny předchozí konstrukce. Dopad vychází více jak sedmkrát větší než v případě CLT konstrukce, která je ze zbývajících nejvyšší.



Graf 3 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu eutrofizace

### 5.3.4. Poškození ozónové vrstvy

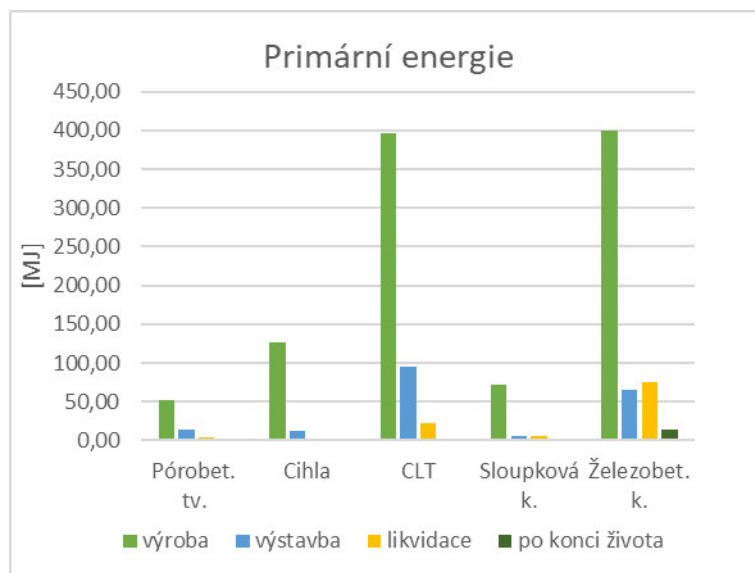
Při porovnávání v kategorii poškození ozónové vrstvy vychází nejnižší hodnoty pro cihlovou konstrukci. Téměř stejné hodnoty nabývají dopady na životní prostředí pro dřevěnou sloupkovou obvodovou konstrukci. Následuje konstrukce z pórobetonových tvárníc a potom řešení s deskami CLT. Železobetonová obvodová konstrukce vykazuje opět nejvyšší hodnoty. Ty jsou asi desetkrát vyšší než u ostatních konstrukčních variant.



Graf 4 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu poškození ozónové vrstvy

### 5.3.5. Primární energie

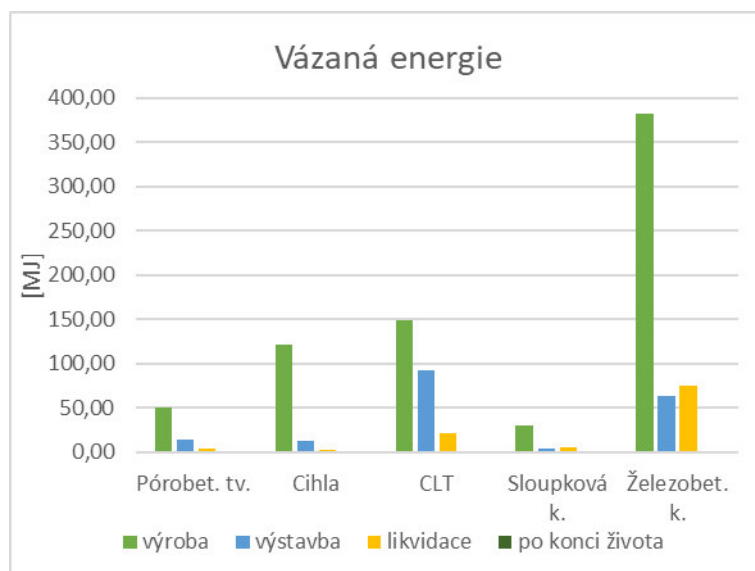
Při hodnocení primární energie je většinový podíl opět ve výrobě jednotlivých materiálů. Železobetonová konstrukce má celkově nejvyšší hodnoty primární energie, těsně následuje konstrukce z CLT panelů. Ostatní konstrukce mají nižší jak polovinu hodnoty předchozích. Stěna z cihlových tvarovek je třetí nejnižší, potom je to sloupková konstrukce a celkově nejnižší primární energii má stěna z pórobetonových tvarovek.



Graf 5 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu primární energie

### 5.3.6. Vázaná energie

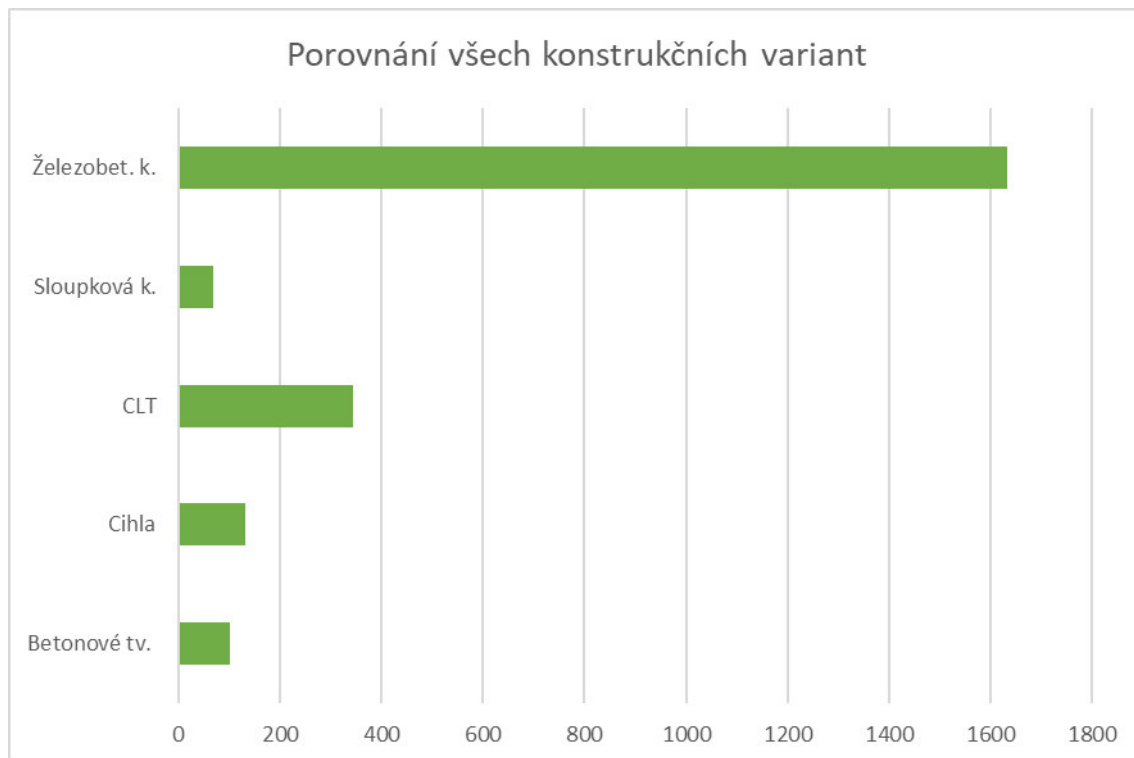
Nejvyšší hodnoty vázané energie má železobetonová konstrukce. Výroba má opět dominantní podíl na spotřebě energie. Druhá konstrukce s nejvyššími hodnotami je z CLT panelů. Nejnižší hodnoty má konstrukce sloupková.



Graf 6 – Srovnání konstrukčních variant v kategorii dopadu vázaná energie

## 5.4. CELKOVÉ ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Pro celkové zhodnocení dopadu u všech konstrukcí bylo nutné provést normalizaci výsledků a to interně, tedy tak, že hodnoty konstrukce z pórobetonových tvárnic byly určeny za vztažné, to znamená součet veškerých dopadů této konstrukce byl považován za 100 %. Ostatní varianty reflektují poměr k dané hodnotě.



Graf 7 – Srovnání všech konstrukčních variant

Porovnáním jednotlivých variant konstrukcí obvodového pláště má největší dopad na životní prostředí konstrukce železobetonová. Její dopad je více než čtyřikrát větší než dopad v pořadí druhé konstrukce, tedy konstrukce z CLT panelů. V porovnání rozdílu mezi hodnotami železobetonové konstrukce a zbylých variant se rozdíly ostatních příliš neliší.

Ze zbylých konstrukčních variant má největší environmentální dopad konstrukce z CLT panelů. Jeho hodnota je více než dvojnásobná oproti v pořadí třetí variantě zděné z cihelných bloků. Na čtvrtou nejvyšší hodnotu, a tedy druhou nejnižší má stěna z pórobetonových tvarovek. Konstrukce s nejnižšími hodnotou je sloupková konstrukce.

Ve srovnání obvodových stěn na bázi dřeva lze říci, že konstrukce sloupková má téměř pětkrát menší dopad na životní prostředí než konstrukce z CLT panelů.

Porovnání takzvaných tradičních materiálů ukazuje, že nejnižší hodnotu má stěna z pórobetonových tvárnic, následována těsně stěnou z cihelných tvarovek. Železobetonová konstrukce se dle výsledků výrazně vychyluje.

## 6. DISKUZE

### 6.1. POROVNÁNÍ METOD

Metod pro hodnocení životního cyklu budov je velké množství. Při výběru, který postup je nejvhodnější je třeba se zamyslet nad cílem, kterého chceme dosáhnout. Jedním z možných cílů je například dokázat určité environmentální dopady budovy. Nebo naopak teprve zjistit, jaké dopady budova bude mít, případně porovnat možné konstrukční varianty objektů.

Do první skupiny bych zařadila metody zkoumající budovy z pohledu od výroby materiálu, přes výstavbu až k provozu objektu. Do této skupiny patří BREAM, LEED, SBTool CZ a CESBA tool. Všechny tyto metody hodnotí konstrukční materiály, ze kterých je stavba postavena, ovšem rozdílnými způsoby, dále výstavbu i provoz objektu. Všechny tyto nástroje se používají od návrhu, až po dokončenou stavbu, kdy se hodnotí její energetická náročnost.

Druhá skupina posuzuje energetickou náročnost provozu budovy. Spotřeba energie objektu je v současné době kritériem, které je pro novostavby povinné dokládat, a to průkazem energetické náročnosti budov. Provoz budov je v současné době jednou z nejdůležitějších fází životního cyklu, protože představuje až 50 % nákladů v celém životním cyklu stavby.

Poslední skupina posuzuje životní cyklus od výroby materiálu, přes dopravu až k likvidaci objektu. Tato zahrnuje všechny fáze, kterými budova za svůj život prochází. Z mého pohledu je likvidace a případná recyklace materiálu také velice důležitou součástí hodnocení. Ten názor, že záleží na současnosti a budoucnost nechme příštím generacím, považuji za jednoduchý a malicherný.

### 6.2. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Při srovnání konstrukčních variant jsme vycházeli z podmínky, že konstrukce mají stejný součinitel tepelné prostupnosti a to  $0,17 \text{ Wm}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ . Z tohoto vycházíme proto, aby se shodovala fáze užívání a spotřeba tepla v průběhu životnosti budovy ve všech variantách, proto jsme fázi užívání neuvažovali. Posuzovaná jednotka  $1 \text{ m}^2$  konstrukce byla zvolena proto, aby bylo možné konstrukce hodnotit nezávisle na jakémkoli konkrétním objektu. I přesto, že je obvykle zvažována doprava materiálu, v tomto případě ji neuvažujeme, a to především z důvodu obecného řešení a variability umístění případné stavby. Hodnocení probíhalo v hranicích od kolébky do hrobu se životností objektu 50 let.

Z celkového hodnocení vychází, že konstrukce s nejvyšším dopadem je železobetonová stěna s minerální vatou. Hlavní příčinu bych viděla v tom, že na rozdíl od ostatních variant vyjma CLT, se jedná o masivní hmotnou strukturu bez dutin, jako jsou v porothermové tvarovce, nebo vylehčené pórobetonové tvárnici. Železobetonová stěna má ve všech kategoriích dopadu nejvyšší hodnoty.

Druhou konstrukční variantou je stěna z CLT panelu a minerální vaty. Ve většině zkoumaných kategoriích má významný podíl výroba. Je to pravděpodobně použitím lepidla při lepení lamel. CLT panel ovšem vyšel výrazně kladně při posuzování dopadu globálního oteplování, a to především proto, že dřevo váže  $\text{CO}_2$  i po likvidaci. Tato konstrukční varianta vychází jako druhá v pořadí s nejvyššími hodnotami dopadu na životní prostředí.

Ve středu posuzovaných variant vyšla stěna zděná z porothermových tvárníc s minerální vatou. Při srovnání hodnot jednotlivých kategorií dopadu je nejnáročnější její výroba, zatímco výstavba a užívání mají většinou malé podíly na celkovém hodnocení.

Druhá nejlepší konstrukční varianta je obvodová stěna z pórobetonových tvárníc. Řekla bych, že je překvapivé, že ačkoli obsahuje beton, který nejspíš v případě železobetonové



konstrukce zvýšil všechny dopady na životní prostředí, v tomto případě jsou dopady výrazně menší. Domnívám se, že by to mohlo být způsobeno strukturou a vlastnostmi pórobetonových tvárnic.

Sloupková konstrukce s opláštěním OSB deskami vychází z této analýzy jako nejlepší. Nejnižší hodnoty vycházely ve třech ze šesti sledovaných kategoriích dopadu, a především v celkovém porovnání materiálů. Sloupková konstrukce je také v současné době nejčastějším používaným konstrukčním systémem na bázi dřeva, ze kterého se staví rodinné domy v ČR. (ČSÚ)

### 6.3. POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S LITERATUROU

Při hodnocení životního cyklu budov a jejich environmentálních dopadů se obvykle přistupuje k hodnocení jednoho objektu. Může to být reálná stavba, případně stavby, nebo pouze projekt, ale hodnotí se samostatně, jako jeden produkt a určují se dopady na životní prostředí. Hodnotí se nejen bytové stavby (Mithraratne, Vale 2003; Hoxha et al. 2017) nebo administrativní budovy (Wallhagen et al, 2011). Tyto práce se ke srovnání nedají použít, protože jsou to konkretizované komplexní studie.

Dalšími variantami jsou hodnocení konkrétních staveb s více variantami konstrukčních řešení. Opět jsou velice specifické a nelze mezi sebou porovnávat konkrétně jednotlivé hodnoty. Komparativně ale můžeme posoudit jednotlivé konstrukční varianty.

V italské studii (Guardigli et al., 2011) se porovnává železobetonová a sloupková dřevěná konstrukce trojpodlažního bytového objektu. Je porovnávána celá budova a z výsledků vyplývá, skeletová dřevěná konstrukce má celkově nižší dopady než železobetonová stavba.

Další studie se zabývá porovnáním environmentálních dopadů administrativní budovy v Kanadě (Robertson, et al., 2012). Porovnává se opět železobetonový skelet a skeletová konstrukce s použitím CLT panelů a lepené dřevěné konstrukce glulam. Stavba je posuzována od kolébky po bránu a z výsledků vyplývá, že dřevěná konstrukce má nižší dopad na životní prostředí v desíti z jedenácti kategoriích než železobetonová stavba.

Ze studií posouzení životního cyklu v ČR, bych jmenovala studii Fakulty technologie ochrany prostředí VŠCHT - Posouzení životního cyklu dřevostavby a cihlového domu z roku 2018 ([www.imaterialy.dumabyt.cz](http://www.imaterialy.dumabyt.cz)). Studie se zabývá porovnáním dřevostavby a odpovídajícímu zděnému domu. Studie byla provedena v několika fázích. Bylo zjištěno, že z hlediska konstrukce staveb má dřevostavba vyšší environmentální dopady téměř ve všech kategoriích s výjimkou kategorie dopadu globálního oteplování. V případě využití stavebních materiálů po demolicí budov a v případě energetického využití dřevěných částí jsou environmentální dopady stavby a demolice dohromady pro oba typy budov srovnatelné. Bylo zjištěno, že při zhodnocení celého životního cyklu domu s provozem po dobu 50 let se zahrnutím vytápění domu má dřevostavba oproti cihlovému domu větší environmentální dopady v devíti z jedenácti sledovaných parametrů.

Studie zabývající se přímo obvodovými pláštěmi, je práce ze zvolenské univerzity (Mitterpach et al., 2018). Je posuzován životní cyklus 1m<sup>2</sup> osmi variant obvodového pláště dřevostaveb. Z této analýzy vyplývá, že nejvyšší negativní dopad ze zkoumaných konstrukcí měla skladba pláště s CLT deskou a nejnižší sloupková konstrukce vyplněná izolací z ovčí vlny.

V případě studií ze zahraničí vychází, že dřevěné konstrukční systémy v porovnání se železobetonovými konstrukcemi jsou z pohledu environmentálního dopadu výhodnější. Toto zjištění se shoduje s výsledky v této práci. Na druhou stranu analýza týkající se porovnání dřevostavby a cihlového domu upřednostňuje při posouzení celého životního cyklu zděný dům. V našem případě se po posouzení výhodnější jeví sloupková dřevostavba. V celém životním

procesu stavby vzniká velké procento dopadů při užívání staveb, kde záleží na mnoha faktorech, jako je například součinitel prostupu tepla konstrukce a tím i energetická náročnost objektu, a také proto se mohou výsledky jednotlivých studií lišit.

#### 6.4. OBJEKTIVITA VÝSLEDKŮ

Problematika klasifikace a hodnocení budov na základě environmentálních dopadů je velice složitá. Existuje spousta programů a metod, jak tuto analýzu provádět. Metody se liší a mohou vygenerovat rozdílné druhy výsledků. Záleží na definici vstupních kritérií a jak se k analýze přistupuje. S tím se také spojuje objektivita výsledků.

Za první kritérium považují celkovou hloubku podrobností, které považujeme za relevantní. Při návrhu domu se používá velké množství materiálů. Záleží na typu analýzy, kterou chceme použít, ale ve většině případů se přistupuje k určité míře zjednodušení. Není možné spočítat každý hřebíček který se použije, každý gram materiálu, veškeré odpady vzniklé při stavbě a podobně. Proto se při posuzování pracuje se zjednodušenými modely, které nemohou obsahovat veškerá data. Platí to, že se při většině metod připočítává určité procento ke všem materiálům, co se hodnotí jako odpad, nebo nepřesnost. V rámci velkých projektů budov a s nimi souvisejících analýz LCA se často přistupuje ke generalizaci primárních vstupů do objektu. To znamená, že se určí hranice, nejčastěji objemová, nebo hmotnostní, která určí, jaké materiály se započítávají a jaké ještě ne. Je řečeno, že záleží na osobách, které analýzu provádí, jakou si tuto minimální hranici určí. Vychází nejčastěji ze zkušeností, nebo předpisů ale rozhodnutí je na nich. Některé materiály se pak do analýzy ani nezahrnou.

Podle toho, jak je zjednodušení vstupů nastaveno, mohou se výsledky lišit i pro stejné objekty řešené stejnou metodou, ale rozdílnými týmy.

Mezi další faktor, který ovlivňuje výsledky analýzy, bych zařadila systém databází používaných pro environmentální posuzování výrobků, objektů a konstrukcí. Existuje řada databází, které shromažďují veškeré vlastnosti, dopady a působení jednotlivých materiálů. Nejznámější a nejpoužívanější je nejspíš databáze ecoinvent, ale existují i mnohé další, na úrovni jednotlivých států, nebo i společností. Každá bude mít svoje vlastní parametry pro jednotlivé materiály, které sice můžou být stejné, ale také se mohou částečně lišit.

Objektivita výsledků by mohla být také ovlivněna záměrně. Osobně doufám, že to není častý trend, ale protože celkové posouzení je velice komplikované, může k tomu docházet. V případě úmyslného ovlivňování výsledků se dá manipulovat jak se vstupními toky, ať už objemy, nebo vlastnostmi materiálů. Při bližším zkoumání by se jistě na tyto problémy přišlo, protože by mělo být samozřejmostí, že veškeré vstupní hodnoty jsou zdokumentované a podložené. Protože je ale hodnocení poměrně složitý proces, který závisí na mnoha faktorech a výstupy lze interpretovat přehledně, ale v praxi je ihned nelze nijak ověřit, na ovlivnění výsledků analýzy se nemusí hned přijít.

Za poslední důležitou součást, týkající se výsledků analýzy, bych jmenovala samotnou relativitu posuzování. Veškeré dopady na životní prostředí, které se sledují jsou podloženy vědeckými pracemi a objektivním pozorováním. Ale myslím si, že stejně jako člověk nemůže předpovídat budoucnost, nezná veškeré případné dopady na životní prostředí, které budou výrobkem způsobeny. Považuji hodnocení životního cyklu za významnou součást pohledu na konání lidstva, výstavby, výroby, dopravy a podobně, a myslím si, že v rámci udržitelnosti a budoucnosti naší planety je důležité se o životní prostředí zajímat. Přesto bych stále měla na paměti, že všechny tyto metody vymysleli lidé a že sice hodnoty mohou vycházet nějak, ale realita se ve skutečnosti může lišit.

Uvedla bych příklad rozdílu zkoumání na posuzování životního cyklu pomocí metod LCA, kdy může na základě stejných vstupních dat vzniknout analýza rozdílná. Přístupy se mohou lišit

již v první fázi analýzy, tedy stanovení rozsahu a cíle zkoumání. Příkladem bude výběr funkční jednotky a životnost objektu v této práci.

Výběr funkční jednotky závisí na přístupu k analýze. Zvolená plocha 1 m<sup>2</sup> konstrukce obvodového pláště a její životnost 50 let, podle mého názoru nejlépe prezentuje vlastnosti jednotlivých konstrukcí. Byla zvolena především proto, že se nejedná o žádnou konkrétní stavbu a pomocí analýzy obvodové konstrukce lze alespoň částečně předpovědět environmentální dopad celé budovy.

Při analýze konkrétního návrhu, nebo stávající budovy by se pravděpodobně volila funkční jednotka jiná. Obvykle se používá 1 m<sup>3</sup>, nebo celý objekt a vždy se určuje jeho předpokládaná životnost. Avšak pro základní rozhodování a počáteční definování materiálu vhodného pro stavbu je tato jednotka nevhodnější.

Předpokládaná životnost je také klíčovým kritériem. Je známo, že u stavebních objektů rozeznáváme základní druhy životností, jako je

- technická životnost – doba, kterou počítáme od vzniku stavby do jejího zchátrání a technického zániku za předpokladu běžné údržby. Obvykle převyšuje ekonomickou životnost;
- ekonomická životnost – doba, kterou počítáme od vzniku stavby do okamžiku ztráty ekonomické užitečnosti a smysluplnosti, tzn. okamžik trvalé ztráty výnosů nebo ztráta využitelnosti změnou vnějších podmínek bez možnosti jiného využití;
- morální životnost – doba, kterou počítáme od vzniku stavby do okamžiku zastarání stavby – dispoziční řešení, styl, standardy a technologie, změny trhu, rozvoj území apod.;
- právní životnost – doba od kolaudačního souhlasu do okamžiku rozhodnutí, respektive povolení o odstranění stavby. (Beránková, 2012)

Při navrhování nelze mnohdy předem určit, jaká přesně životnost objektu bude, a proto je to jedno z nejtěžších rozhodnutí. Pro obytné budovy se počítá většinou 50–300 let, v závislosti na typu konstrukce, a především kvalitě jejího provedení. Mnohdy se může stát, že technická životnost překročí životnost morální a ekonomickou. Následuje rozhodování, co si s takovou stavbou počít. Jednou volbou je rekonstrukce a další je likvidace. Likvidace objektu může být náročné řešení.

Jako příklad bych uvedla Dolní oblast Vítkovice v Ostravě. Tam se průmyslový pozemek, na němž skončila výroba v roce 1998, revitalizuje a řeší možnost budoucího využití celé oblasti. Je zapsán v seznamu Evropského kulturního dědictví, a nejen proto není možné celý areál zlikvidovat. V roce 2009 získal projekt na oživení a nové využití vysokých pecí a dalších památkově chráněných objektů dotaci z prostředků Evropské unie a České republiky. Hlavním cílem projektu „Zpřístupnění a nové využití kulturní národní památky Vítkovice“ je reaktivace hlavních částí Národní kulturní památky Vítkovice, jejich zpřístupnění veřejnosti a využití jeho potenciálu pro edukativní a kulturně-společenské aktivity. V roce 2012 byla dokončena 1. část projektu a byly zpřístupněny tři základní objekty národní kulturní památky, vysoká pec č. 1, plynojem a budova VI. energetické ústředny. I když životnost objektu zastarala, je zde snaha o revitalizaci a nové využití prostoru.

## 6.5. OCHRANA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Odvážím se říci, že každý člověk v České republice slyšel o ochraně životního prostředí. Mnozí si představí ochranu přírody a krajiny, která představuje ochranu krajiny, rozmanitosti druhů, přírodních hodnot a estetických kvalit přírody, ale také ochranu a šetrné využívání přírodních zdrojů. Jiné napadne environmentalismus, tedy snahu o zachování, obnovu a zlepšení přírodního prostředí usilující o změnu společenských, politických a ekonomických mechanismů, které životní prostředí poškozují. Další vzpomenu na odpadové hospodářství, recyklaci, posuzování vlivů na životní prostředí (EIA), program Zelná úsporám, obnovitelné zdroje energie, biopaliva, národní parky a mnoho dalších. V rámci ochrany životního prostředí si asi všichni umíme něco představit.

V rámci oblasti stavebnictví je ale, podle mého názoru, informovanost slabší. V rámci požadavků směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, mají být nejpozději od roku 2020 všechny nové budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Podíl budov na celkové spotřebě energie v EU činí 40 % a tento sektor se rozrůstá, což bude mít za následek zvýšení spotřeby energie. Snížení spotřeby energie a využívání energie z obnovitelných zdrojů v sektoru budov proto představují důležitá opatření nutná ke snížení energetické závislosti EU a emisí skleníkových plynů.

Z celkového životního cyklu budovy se téměř 50 % nákladů vynaloží na provoz stavby. Požadavkem na nulovou spotřebu energie se tyto náklady sníží. Tím více se v rámci posouzení životního cyklu objektu zvýrazní fáze výstavby a likvidace objektu. Všechny novostavby budou mít téměř nulovou spotřebu energie, ale dopady, které způsobuje výstavba a likvidace nejsou do požadavků zahrnuty. K celkovému hodnocení dopadů na životní prostředí podle mě nezáleží výhradně na spotřebě energie ale také na materiálech, ze kterých je dům postaven, délce užívání, samotném návrhu a stavebním provedení.

Proč v oblasti stavebnictví není o zkoumání dopadů na živní prostředí taková poptávka? Prvním důvodem může být malá osvěta, a tedy nevědomost zákazníka, architekta i stavební firmy, že něco takového, jako hodnocení budov z pohledu environmentálního zatížení, existuje. Další může být nezájem, a to třeba z důvodu vysoké ceny, nebo doby potřebné pro certifikační proces. Dalším problémem mohou být také nároky na odbornost certifikátorů a nároky na kontrolu objektivitu. Poslední matoucí záležitost je velké množství systémů hodnocení, které se někde překrývají a jinde třeba doplňují, takže zákazník neví, co si má vybrat.

## 6.6. DŘEVOSTAVBA JAKO RODINNÝ DŮM

Zděné, železobetonové a panelové objekty tvoří téměř 85 % výstavby rodinných domů. Podíl dřevostaveb na trhu roste a v roce 2017 se v ČR dostavělo 2 156 domů z materiálů na bázi dřeva. Jaký je důvod, že silikátové stavby svým počtem natolik převyšují dřevostavby? Prvním důvodem by mohla být přepokládaná životnost stavby. U dřevostavby se předpokládá, že je objekt méně trvanlivý. Z mého pohledu ale velice záleží na tom, jak je stavba navrhována, jak je kvalitně je konstrukce provedena, jak se používá a jakým způsobem se o ni majitel v průběhu užívání stará. Dům ze dřeva byl dlouhou dobu považován za něco, co není dostatečně trvanlivé a je jen alternativou k bydlení. Životnost dřevostavby je v současné době určena na 80 let a v souladu s evropskou směrnicí ETAG 007 je akceptována předvídatelná životnost nosné konstrukce na 50 let, avšak to je určená spodní hranice a ve skutečnosti může být životnost mnohem delší.

Následně bych jmenovala zakořeněnou představu spojenou se životností, ale také bezpečností, a tou je hmota konstrukce. Většinou asi imponuje pocitová pevnost zděné stavby a jistota, že jim ji jen tak něco nesfoukne, jako vlk sfouknu domeček ze dřeva v pohádce

o třech prasátkách. S tím se asi spojuje historický vývoj bydlení a to, že zděnou a kamennou stavbu si dříve, v období středověku, mohli dovolit pouze bohatí lidé ve městech a šlechta, zatímco na venkově chudé obyvatelstvo žilo v roubených stavbách. Později, v polovině 18. století byly dokonce dřevěné stavby ve městech zakázány, z důvodu požární bezpečnosti. Tak došlo ke změně celkového pohledu na dřevostavby, se kterými se potýkají v Čechách až dosud. Významnou měrou k tomu přispěla také moderní architektura a navrhování staveb na bázi železobetonu a klasických materiálů.

Při návrhu stavby a výběru materiálů záleží na preferencích majitele budoucí stavby, návrhu architekta a konstrukčním řešení.

## 7. ZÁVĚR

Udržitelnost budov je komplexní téma, které se v současné době dostává do popředí zájmu. Hodnocení udržitelnosti úzce souvisí se životním cyklem objektu. V rámci této práce byly porovnány metody a hodnocení posuzující environmentální dopady budov. Bylo zjištěno, že některé metody hodnotí materiály použité na stavbě, samotnou výstavbu, používání i likvidaci objektu (například certifikace DGNB, analýza LCA, atd.), další nezahrnují poslední fázi, tedy likvidaci (například BREAM, LEED, atd.) a jiné se orientují pouze na posouzení jedné fáze životního cyklu: výstavby (DNK) nebo provozu (PENB).

Jako nejvhodnější metoda posuzování udržitelnosti budov byla zvolena LCA analýza, podle normy ČSN EN ISO 14040 - Environmentální management – Posuzování životního cyklu. Pro posuzování bylo zvoleno pět konstrukčních variant obvodové konstrukce se součinitelem prostupu tepla  $0,17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , tři na bázi silikátů: železobetonová konstrukce s minerální vatou, zděná konstrukce z porothermových tvarovek s tepelnou izolací z minerální vaty a pórobetonová konstrukce také s tepelnou izolací z minerální vaty; a dvě stavební konstrukce na bázi dřeva: sloupková konstrukce a konstrukce z masivního dřeva z CLT panelů.

Byla určena funkční jednotka ( $1 \text{ m}^2$  obvodové konstrukce), životnost 50 let a provedena LCA analýza v programu Athena Impact Estimator for Buildings s hranicemi systému od kolébky do hrobu. Bylo zjištěno, že nejvyšší dopady na životní prostředí má železobetonová konstrukce a nejnižší konstrukce sloupková. Zděná konstrukce, která je v současnosti nejoblíbenější při výstavbě rodinných domů, se umístila ve středu hodnocených materiálů.

Při porovnání konstrukčních variant na bázi dřeva a ostatních silikátových variant vyplývá, že nelze obecně říct, že dřevostavba má nižší environmentální dopad než klasické stavební konstrukce. Skladba z CLT panelů je hodnocena jako druhá nejhorší, co se týká dopadu na životní prostředí.

## 8. SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method. What is BREEAM? 2019. [Online] cit. 19. 3. 2019. Dostupné z: <http://www.breeam.com/>

Cesta ke zvýšení spotřeby dříví vyrobeného v ČR v soudobém středoevropském kontextu. Praha: Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, Praha, s. p., 2016.

CURRAN, Mary Ann. LIFE CYCLE ASSESSMENT: a Systems Approach to Environmental Management and Sustainability. *Chemical Engineering Progress*. 2015, vol. 111, no. 10, s. 26. ISSN 0360-7275.

ČESKO. Část 1 vyhlášky č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2019 [cit. 29. 3. 2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268#cast1>

Český statistický úřad [online]. Praha: s.n., 2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.czso.cz>

ČSN EN ISO 14040. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova. 2. vyd. Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN ISO 14044. Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice. Praha: Český normalizační institut, 2006.

Ekodesign výrobků spojených se spotřebou energie. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 25.3.2019 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-legislativa/legislativa-cr/ekodesign-vyrobu-spojenych-se-spotrebou-energie--222025/>

Environmentální prohlášení o produktu. *Cenia* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/spolecenska-odpovednost/epd/>

*Enviwiki* [online]. 2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.enviwiki.cz>

EVA, Beránková. Životnost stavebních objektů. *Krajské zařízení pro další vzdělávání pedagogických pracovníků a informační centrum* [online]. [2012] Nový Jičín [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: [https://www.kvic.cz/soubor/3343/12-Zivotnost\\_stavebnich\\_objektu.pdf](https://www.kvic.cz/soubor/3343/12-Zivotnost_stavebnich_objektu.pdf)

FOUSEK, Jan. *LCA různých konstrukčních systémů obálky budov*. Brno, 2017. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.

GUARDIGLI, Luca, Filippo MONARI a Marco Alvisè BRAGADIN. Assessing Environmental Impact of Green Buildings through LCA Methods: A comparison between Reinforced Concrete and Wood Structures in the European Context. *Procedia Engineering*. 2011, vol. 21, s. 1199-1206. ISSN 1877-7058.

GUARDIGLI, Luca, Filippo MONARI a Marco Alvisè BRAGADIN. Assessing Environmental Impact of Green Buildings through LCA Methods: A comparison between Reinforced Concrete and Wood Structures in the European Context. *Procedia Engineering*. 2011, vol. 21, s. 1199-1206. ISSN 1877-7058.

HEINLEIN, Frank. Německý certifikační systém DGNB. Energeticky soběstačné budovy [online]. 2012, 2012(4) [cit. 2019-04-16]. Dostupné z:

<http://www.czgbc.org/zpravy/zprava/177/nemecky-certifikacni-system-dgnb->

HOXHA, Endrit et al. Influence of construction material uncertainties on residential building LCA reliability. *Journal of Cleaner Production*. 2017, vol. 144, s. 33-47. ISSN 0959-6526.

KHASREEN, Mohamad Monkiz, Phillip F.G. BANFILL a Gillian F. MENZIES. Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: a Review. *Sustainability* [online]. 2009, (1), 1-28 [cit. 2019-02-17]. DOI: 10.3390/su1030674. ISSN 2071-1050. Dostupné z:

<https://www.mdpi.com/journal/sustainability>

KOČÍ, Vladimír a Květa REMTOVÁ. *Posuzování životního cyklu: Life cycle assessment - LCA*. Vyd. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009. ISBN 8086832422;9788086832425;

KOLÁČEK, K. Pasivní domy vs. „Běžné domy“. In: Elektronický sborník z mezinárodní konference ZLÍN THERM 2014. Energetická agentura Zlínského kraje, o.p.s. (EAZK). : Zlín. 2014. [Online] cit. 19. 3. 2019. Dostupné z: <http://www.eazk.cz/wpcontent/gallery/Pasivn%C3%AD-domy-vs-B%C4%9B%C5%BEEn%C3%A9-domy.pdf>

LUPÍŠEK, A. Hodnocení a certifikace budov. tzb-info.cz. 2009. [Online] citace: 20. 3. 2019.

Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/5885-hodnoceni-a-certifikace-budov>

MAKE IT WOOD. Wood encouragement policy. 2016. [Online] citace: 31. Květen 2016.

Dostupné na World Wide Web: <<http://makeitwood.org/wep/>>, <<http://makeitwood.org/about/>>, <<http://makeitwood.org/news/display/1008>>

MALIN, Nadav. *Life cycle assessment for whole buildings: Seeking the holy grail* [online]. Arlington Heights: Reed Business Information, Inc. (US), 2005. 56 s. ISBN 0007-3407.

MENOUI, Karim Ali Ibrahim. *Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: a state of the art*. Universitat de Lleida, 2011. Diplomová práce. Universitat de Lleida, Escola Politècnica Superior. Vedoucí práce Dr. Albert Castell Casol, Dr. Luisa F.Cabeza.

MITHRATNE, Nalanie a Brenda VALE. Life cycle analysis model for New Zealand houses. *Building and Environment*. 2004, vol. 39, no. 4, s. 483-492. ISSN 0360-1323.

MITTERPACH, Jozef, Jozef ŠTEFKO a Rastislav IGAZ. LCA - Hodnotenie drevostavby s alternatívnymi skladbami plášťa. In: *Dřevostavby*. Volyně: Vyšší odborná škola a střední průmyslová škola, 2018, s. 185-196. ISBN 978-80-86837-90-1.

*Naučná stezka* [online]. Praha: Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT, 2008 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.toulcuvdvur.cz/stezkazp/index.html>

*Normy.biz* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://shop.normy.biz>

PACÁKOVÁ, Petra. *Návrh dřevostavby podle principů trvale udržitelného rozvoje*. Brno, 2015. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jitka Čechová.



Posouzení životního cyklu dřevostavby a cihlového domu – výsledky studie.

In: IMateriály [online]. 1.8.2018 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z:

[https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/aktuality/veda-a-vyzkum/posouzeni-zivotniho-cyklu-drevostavby-a-cihloveho-domu-vysledky-studie\\_46047.html](https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/aktuality/veda-a-vyzkum/posouzeni-zivotniho-cyklu-drevostavby-a-cihloveho-domu-vysledky-studie_46047.html)

Průkaz energetické náročnosti budov. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 2014 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/energeticka-ucinnost/prukaz-energeticke-narocnosti-budov/prukaz-energeticke-narocnosti-budov--119528/>

REMTOVÁ, Květa. Ekodesign [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2003 [cit. 2019-04-16]. ISBN 80-721-2230-4. Dostupné z:

[https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/7907A38F19E1D57EC1256FC0004FE74D/\\$file/ekodesign.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/7907A38F19E1D57EC1256FC0004FE74D/$file/ekodesign.pdf)

REMTOVÁ, Květa. *Posuzování životního cyklu - Metoda LCA*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2003. ISBN 80-7212-232-0.

ROBERTSON, Adam B., Frank C. F. LAM a Raymond J. COLE. A Comparative Cradle-to-Gate Life Cycle Assessment of Mid-Rise Office Building Construction Alternatives: Laminated Timber or Reinforced Concrete. *Buildings*. 2012, vol. 2, no. 3, s. 245-270. ISSN 2075-5309.

ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 9788080760809;8080760438;9788080760434;8080760802;

*Vítejte na zemi...: Multimediální ročenka životního prostředí* [online]. [cit. 2019-04-18]. Dostupné z:

[http://www.vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=znecistení\\_ovzduší\\_ze\\_spalování&site=energie](http://www.vitejenazemi.cz/cenia/index.php?p=znecistení_ovzduší_ze_spalování&site=energie)

VONKA, Martin. Metodika certifikace budov. Vyšlo v MM Průmyslové spektrum, rubrika Stavebnictví & Strojírenství. 2013. s. 127. [Online] citace: 2. 4. 2019. Dostupné z:

<http://www.mmspektrum.com/clanek/metodika-certifikace-budov.html>

VOCHOC, Luděk et al. Envimat – vliv stavebních konstrukcí a materiálů na životní prostředí.

In: *Tzbinfo* [online]. 2019, 23.4.2012 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzbinfo.cz/hruba-stavba/8519-envimat-vliv-stavebnich-konstrukci-a-materialu-na-zivotni-prostredi>

WALLHAGEN, Marita et al. Basic building life cycle calculations to decrease contribution to climate change – Case study on an office building in Sweden. *Building and Environment*. 2011, vol. 46, no. 10, s. 1863-1871. ISSN 0360-1323.

Životnost staveb. *Oceňování nemovitostí* [online]. 12.08.2013 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <https://ocenovani-znojensko.webnode.cz/news/zivotnost-staveb/>