



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

## EKOLOGIE DŘEVOSTAVEB A PASIVNÍ DŘEVOSTAVBY

ECOLOGY OF WOODEN BUILDINGS AND PASSIVE WOODEN BUILDINGS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michaela Servusová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV VÝSKALA, Ph.D.

BRNO 2020



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607R038 Management stavebnictví
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavební ekonomiky a řízení

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Michaela Servusová
<b>Název</b>	Ekologie dřevostaveb a pasivní dřevostavby
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Miloslav Výskala, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2019
<b>Datum odevzdání</b>	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

HUDEC, Mojmir, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. Pasivní domy z přírodních materiálů. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.

RŮŽIČKA, Martin. Moderní dřevostavba. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Cílem práce je zhodnotit ekologické parametry výstavby, představit cestu k pasivnímu domu, udržitelnému rozvoji výstavby a posoudit dopad výstavby na životní prostředí.

1. Dřevo a dřevostavby, definice, materiály,

2. pasivní a nízkoenergetické dřevostavby,

3. ekologická analýza výstavby, ekologické trendy ve stavebnictví,

4. porovnání výstavby dřevostaveb pomocí ekologických ukazatelů.

Porovnání konstrukcí dřevostaveb pomocí ekologických ukazatelů, analýza materiálů na trhu.

## **STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Miloslav Výskala, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá ekologickým dopadem stavební výroby. Je zaměřena na výstavbu dřevostavby a její dopad na životní prostředí. V teoretické části jsou popsány pojmy související s dřevostavbou a pasivní výstavbou a jsou popsány způsoby environmentálního hodnocení. V praktické části jsou hodnoceny environmentální aspekty konstrukcí a jednotlivých materiálů. Jsou zde definovány také ceny vhodných přírodních materiálů a je navrženo neoptimálnější řešení pro ekologickou výstavbu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Dřevostavba, ekologie, pasivní domy, životní cyklus materiálu, udržitelná výstavba, přírodní materiály.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with an ecological impact of a building process. The work is focused on the impact of wooden buildings on environment. In theoretical part of the thesis concepts related to the construction of wooden buildings and passive houses are described and possible environmental assessment methods are defined. In the practical part of the thesis environmental aspects of construction production and materials are evaluated. Prices of natural materials are also defined and the most suitable ecological solution is selected.

## **KEYWORDS**

Wooden building, ecology, passive houses, Life Cycle Assesment, sustainable development, natural materials.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Michaela Servusová *Ekologie dřevostaveb a pasivní dřevostavby*. Brno, 2020. 59 s., 14 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení. Vedoucí práce Ing. Miloslav Výskala, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Ekologie dřevostaveb a pasivní dřevostavby* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 4. 6. 2020

---

Michaela Servusová  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Ekologie dřevostaveb a pasivní dřevostavby* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 4. 6. 2020

---

Michaela Servusová  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Miloslavu Výskalovi, Ph.D. za pedagogickou pomoc při vypracování bakalářské práce.

## Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>DŘEVO A DŘEVOSTAVBY .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>DŘEVO JAKO STAVEBNÍ MATERIÁL .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>KONSTRUKČNÍ DŘEVO A DŘEVO PRO DALŠÍ STAVEBNÍ ÚČELY .....</b>	<b>12</b>
<b>2.3</b>	<b>CHARAKTERISTIKA DŘEVOSTAVBY .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>VÝVOJ A TYPY DŘEVOSTAVEB.....</b>	<b>12</b>
2.4.1	VÝVOJ DŘEVOSTAVEB .....	12
2.4.2	TYPY KONSTRUKCÍ .....	13
2.4.3	SKELETOVÉ KONSTRUKCE.....	13
2.4.4	TĚŽKÝ DŘEVĚNÝ SKELET.....	14
2.4.5	PANELOVÉ DŘEVOSTAVBY .....	14
2.4.6	MASIVNÍ DŘEVOSTAVBY.....	14
<b>3</b>	<b>PASIVNÍ A NÍZKOENERGETICKÉ DŘEVOSTAVBY .....</b>	<b>15</b>
<b>3.1</b>	<b>UDRŽITELNÝ ROZVOJ .....</b>	<b>16</b>
3.1.1	FILOZOFIE UDRŽITELNÉHO ROZVOJE .....	16
3.1.2	ZÁKLADNÍ POJMY UDRŽITELNÉHO ROZVOJE.....	16
<b>3.2</b>	<b>NÍZKOENERGETICKÝ DŮM.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3</b>	<b>PASIVNÍ DOMY .....</b>	<b>17</b>
3.3.1	SPRÁVNÝ NÁVRH PASIVNÍHO DOMU .....	17
3.3.2	INVESTOVÁNÍ DO NÍZKOENERGETICKÉ A PASIVNÍ VÝSTAVBY .....	18
3.3.3	OPTIMALIZACE .....	20
<b>4</b>	<b>EKOLOGICKÁ VÝSTAVBA .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1</b>	<b>LEGISLATIVA.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>DOTAČNÍ PROGRAMY .....</b>	<b>22</b>
4.2.1	PROGRAM „ZELENÁ ÚSPORÁM“.....	22
4.2.2	PROGRAM „NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM“ .....	22
4.2.3	SOLÁRNÍ A FOTOVOLTAICKÉ PANELY.....	23
4.2.4	HOSPODAŘENÍ S VODOU.....	23
4.2.5	EKOLOGICKÉ VYTÁPĚNÍ.....	24
4.2.6	REKUPERACE .....	24
<b>5</b>	<b>EKOLOGICKÉ MATERIÁLY .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>SPRÁVNÝ VÝBĚR MATERIÁLŮ.....</b>	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>HODNOCENÍ MATERIÁLŮ A STAVEB.....</b>	<b>25</b>



5.2.1	HODNOCENÍ LCA.....	25
5.2.2	ENVIRONMENTÁLNÍ HODNOCENÍ KVALITY BUDOV .....	26
5.2.3	VYHODNOCENÍ A CERTIFIKACE KVALITY BUDOV.....	27
5.2.4	DALŠÍ HODNOCENÍ A CERTIFIKACE .....	27
<b>5.3</b>	<b>PŘÍKLADY EKOLOGICKÝCH MATERIÁLŮ.....</b>	<b>28</b>
5.3.1	DŘEVO.....	28
5.3.2	DŘEVOVLÁKNITÁ IZOLACE .....	28
5.3.3	KONOPI .....	28
5.3.4	HLÍNA.....	29
5.3.5	CELULÓZA .....	29
5.3.6	SLÁMA .....	29
5.3.7	OVČÍ VLNA.....	30
5.3.8	EXPANDOVANÝ PERLIT .....	30
5.3.9	KERAMZIT .....	30
5.3.10	KÁMEN .....	30
5.3.11	PĚNOVÉ SKLO.....	31
<b>6</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST: VLIV ENVIRONMENTÁLNÍHO HODNOCENÍ NA TVORBU STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ.....</b>	<b>32</b>
<b>6.1</b>	<b>ÚVOD PRO SPRÁVNÉ NAVRŽENÍ EKOLOGICKÉHO DOMU.....</b>	<b>32</b>
6.1.1	VÝBĚR DATABÁZE.....	32
6.1.2	EKOLOGICKÉ UKAZATELE .....	33
6.1.3	PŘEDPOKLAD .....	34
6.1.4	NÁPLŇ PRÁCE .....	34
<b>6.2</b>	<b>HODNOCENÍ SKLADEB VYBRANÝCH KONSTRUKCÍ.....</b>	<b>35</b>
6.2.1	KONSTRUKCE.....	35
6.2.2	VYHODNOCENÍ KONSTRUKCÍ .....	38
<b>6.3</b>	<b>POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH MATERIÁLŮ .....</b>	<b>39</b>
6.3.1	IZOLAČNÍ MATERIÁL .....	39
6.3.2	ANALÝZA CEN IZOLACÍ .....	42
6.3.3	VYHODNOCENÍ IZOLACÍ: .....	45
6.3.4	OMÍTKY .....	46
<b>6.4</b>	<b>KONSTRUKCE PŮVODNÍ VS. S EKOLOGICKÝMI MATERIÁLY .....</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>52</b>
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	54
	POUŽITÉ ZNAKY A ZKRATKY.....	58

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>58</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>59</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>59</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>59</b>

# 1 Úvod

Výstavba domů prochází svým specifickým životním cyklem a skládá se z několika fází. Na stavební produkci má vliv současná ekonomika, ekologie, technologické možnosti a další požadavky společnosti. Stavebnictví a výroba stavebních materiálů má také velký vliv na životní prostředí využíváním neobnovitelné energie, proto je nezbytné reagovat zpřísněním požadavků energeticky úsporné výroby a výstavby. Dnes je tedy z hlediska těchto podmínek a požadavků stále významnější stavba pasivních nebo nízkoenergetických domů. Pasivní domy jsou z dlouhodobého hlediska ekonomické, vykazují minimální náklady na provoz. Jen pasivní dům jako takový ale není řešením zdražujících se neobnovitelných surovin a znečišťování životního prostředí, zatížení životního prostředí souvisí s produkovanými emisemi a tyto emise je nutné redukovat výběrem vhodných převážně obnovitelných materiálů. Z tohoto ekologického pohledu se pro výběr hlavního konstrukčního materiálu nabízí dřevo. Dřevostavba u nás v ČR není tak rozvinutá jako v jiných státech Evropy nebo USA, avšak za posledních pár let se tyto konstrukce stávají stále populárnějšími. I u nás v ČR mají dnes značný podíl na celkové výstavbě.

V teorii této práce bych chtěla poskytnout základní informace o pasivní výstavbě se zaměřením na dřevostavby. Dále se chci zaměřit na nízkoenergetické a pasivní stavění. Nízkoenergetické stavění ve spojení s dřevostavbou je právě optimálním ekologickým řešením a nabízí mnoho úsporných řešení. Také chci poukázat na negativní dopad staveb na životní prostředí, vliv využití ekologických materiálů na výstavbu a tím zvýšit snahu stavitelů o snižování negativního dopadu na životní prostředí. V závěru teorie naznačím principy nástrojů pro hodnocení budovy a materiálů, kde nejvýznamnější roli hraje nástroj hodnocení životního cyklu LCA (Life Cycle Assessment), také uvedu příklady některých přírodních stavebních materiálů. Hlavním úkolem praktické části bude environmentální posouzení jednotlivých variant konstrukcí nebo materiálů, tím se vytvoří podklad pro výběr ekologicky vhodného materiálu do konstrukcí s přihlédnutím i k ekonomickému faktoru. Budou posouzeny jednotlivé konstrukce i materiály, které mají vliv na ekologickou stránku stavby. Nakonec bych chtěla vybrané vhodné materiály použít do zvolených konstrukcí a porovnat rozdíly jejich dopadů na životní prostředí. Cílem mé práce je informovat o možnostech ekologicky výhodnějších variant výstavby a snaha snížit využívání neobnovitelných zdrojů energie pro stavební výrobu.

## **2 Dřevo a dřevostavby**

### **2.1 Dřevo jako stavební materiál**

Dřevo je přírodní, tedy i ekologický materiál. Pro člověka je to materiál, který ho obklopuje v celé historii a motivuje ho nejen ke stavbě obydlí. Dnes je na stavební materiály kladen velký důraz v oblasti environmentalistiky, proto mnozí dnes vybírají právě pro svou stavbu dřevěný jako přírodní obnovitelný materiál, který má výborné fyzikální vlastnosti. Jednou z jeho nejvíce ceněných vlastností je jeho nízká hmotnost, jež umožňuje snadnou manipulaci, snadnou opracovatelnost, vysokou pevnost vzhledem k hmotnosti nebo dobrou izolaci. Je ekologicky zcela nezávadný, CO<sub>2</sub> se díky růstu stromů neprodukuje, ale spotřebovává. Mezi nevýhody dřeva i jiných přírodních materiálů můžeme zahrnout hořlavost, degradaci vlhkem, povětrnostními podmínkami nebo škůdci. Tyto faktory je nutné eliminovat a dřevo chránit [1].

### **2.2 Konstrukční dřevo a dřevo pro další stavební účely**

K dnešní výstavbě dřevostavby se používají prvky ze surového dřeva, jako jsou trámy, nosníky, fošny, prkna, latě, lepené nosníky nebo lepené lamelové dřevo. Další možnosti využití jsou materiály na bázi dřeva [1]. Dále jsou to velkoplošné materiály jako třískové desky, lepené dřevo, překližky, vláknité desky, OSB nebo vrstvené dřevo. Vrstvené dřevo je materiál na bázi dřeva vyráběný pod značkou Parallam nebo Intrallam. Vláknité desky se využívají pro tepelnou a akustickou izolaci [3].

### **2.3 Charakteristika dřevostavby**

Pojem dřevostavba znamená objekt ze dřeva. Jde o stavbu, která pro svou nosnou konstrukci, zajišťující přenos zatížení a celkovou prostorovou tuhost a integritu, využívá v převážné míře dřevo a materiály na jeho bázi. [2, s.13] [3]

Dřevostavba je u mnoha lidí spjatá s pojmem srub, roubenka nebo chata, ale konstrukce na bázi dřeva jsou vhodné jak pro účely bydlení, průmyslu, tak i pro další účely. Dřevostavby nabízí nejen energeticky úsporné, ale také komfortní a pohodlné bydlení. Zároveň jsou jako konstrukce vysoce šetrné k životnímu prostředí. Celosvětově jsou dřevostavby velmi oblíbené a v některých zemích převažuje počet dřevostaveb nad zděnými, nicméně v ČR se výstavba začala prosazovat až v posledních letech.

### **2.4 Vývoj a typy dřevostaveb**

#### **2.4.1 Vývoj dřevostaveb**

Dřevo patří na vrchol seznamu nejstarších stavebních materiálů. Podoby těchto staveb se v průběhu vývoje měnily a ty nejstarší známe pouze z nálezů a nejsou snadno doložitelné. Počátky těchto staveb představovala stanová obydlí. V dalším vývoji se již objevily pokusy o konstrukce domů se svislými stěnami a konstrukcí střechy. S prvním

přistěhování do Ameriky se začala rozvíjet stavba hrázděných konstrukcí, z nichž vznikl systém sloupkové konstrukce. Nejprve v USA vznikl systém s názvem „Timber-Frame“. Skelet této konstrukce je tvořena stejnými profily, a to buď dvakrát šest palců, nebo dvakrát čtyři palce. Tyto rozměry daly vzniknout názvu systému „Two by Six“ nebo „Two by Four“. Tento princip stavitelství ovlivnil výstavbu ve střední Evropě a vyvinuly se dnešní rámové konstrukce. Dřevostavby se časem přesunuly od řemeslné práce k průmyslové výrobě. Začala výroba prefabrikovaných dílců pro dřevěné panelové stavby. Vyšší využití prefabrikace nastává u výroby prostorových buněk, které se pouze zakotví na základ [3].

#### **2.4.2 Typy konstrukcí**

Dnešní konstrukční systémy se dají rozdělit do několika skupin, podle Vaverky [3] se dělí konstrukce do tří skupin:

- Elementární
- skeletové
- masivní

Jiné dělení může být:

- Skeletové konstrukce
- Panelové dřevostavby
- Panely z vrstveného dřeva
- Sruby a roubenky [4]

#### **2.4.3 Skeletové konstrukce**

Lehký skelet nebo lehká rámová konstrukce je dnes nejvíce využívaným typem konstrukce. Do ČR se tento typ konstrukce dostal z USA. Jde o systém fošen stejné tloušťky, ze kterých jsou tvořeny rámy. Nejčastěji používaný systém je tzv. Two by Four systém, kde dva krát čtyři jsou rozměry fošen v palcích. [3, s.33-34] [2]

Výhody spočívají v tom, že se dají provést přímo na stavbě, není nutná prefabrikace předem. Další z výhod je variabilita konstrukce, jednoduchá proveditelnost, nejsou nutné velké stroje na stavbě. Mezi nevýhody můžeme zařadit povětrnostní vlivy ovlivňující průběh výstavby. Dnes se používají i průřezy lepeného lamelového dřeva a vrstveného dřeva. [6]



**Obrázek 1** – Fošnová konstrukce Two by Four  
(Zdroj: [2])

#### **2.4.4 Těžký dřevěný skelet**

Konstrukce skeletu jsou z masivních nebo složených profilů. Konstrukce je tvořena vodorovnými a svislými prvky. Dobrou estetickou variantou je přiznání skeletu, což umožňuje výhodné dispoziční řešení. V tomto konstrukčním řešení pak lze doplnit obvodový plášť architektonickými prvky nebo velkoplošným zasklením.

#### **2.4.5 Panelové dřevostavby**

V dnešní době se jedná o nejvíce používaný systém dřevostaveb v ČR i v Evropě. Části staveb jsou předem zhotoveny ve výrobnách. Jedná se o velkoplošné konstrukční díly, které se pak montují na stavbě. Tyto velkoplošné díly neboli panely mohou mít různé skladby a mohou mít v sobě zabudované například i rozvody elektro, vytápění a další. Mezi největší přednosti patří rychlost výstavby na staveništi. Mezi nevýhody zahrnujeme nutnou prefabrikaci, tj. výrobu, nutné přepravní prostředky a potřebu moderních výrobních technologií.

#### **2.4.6 Masivní dřevostavby**

Masivní stavby jsou alternativou k masivním zděným stavbám. Výhodou z hlediska ekologie je velké využití obnovitelných materiálů, tedy dřeva. Masivní bloky jsou na sebe skládány a poté jsou k sobě přilepeny nebo spojeny pomocí kolíkových spojů. Tímto způsobem se staví domy srubové a roubené. Srubová stavba je z vodorovných vrstev trámů různého profilu. Spoj je spojen na „pero a drážku“ a utěsněn speciálním tmelem.

Alternativou ke srubům jsou roubenky. Dnešní roubenky mají dvouplášťovou skladbu a tím dosáhnou lepších vlastností z tepelně-izolačního hlediska. Mají dvě pohledové části, mezi které je vložena tepelná izolace. Masivní stavby jsou často zasazeny do horských a podhorských oblastí, kam se tyto stavby urbanisticky lépe začleňují. [3, s.38-63]

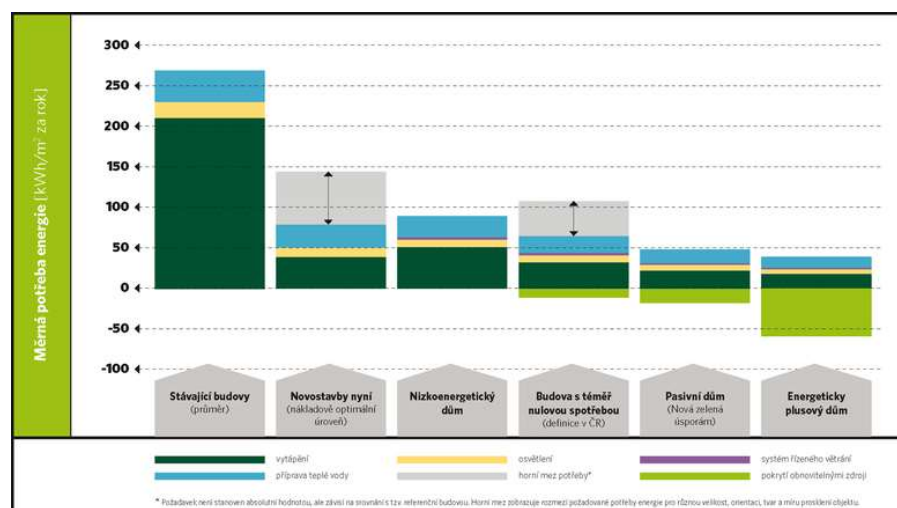
### 3 Pasivní a nízkoenergetické dřevostavby

Výstavba domů se dnes pohybuje ve standardu nízkoenergetických, pasivních, nulových či aktivních domů. Dnešním trendem je stavět úsporně, což má vliv nejen na stránku ekonomickou, ale i ekologickou.

„V rámci pasivního stavění se snažíme na základě poznatků a možností vědy a techniky přiblížit genialitě a udržitelnosti přírody a navrhovat a stavět takové stavby a obydli, které by co nejjednodušeji a s minimem dodané energie zaručovaly komfortní, zdravé a pro uživatele příjemné bydlení.“ Martin Růžička [2, s.69]

Jde o snahu změnit naše návyky a přístupy ke stavbám. Je nutné si uvědomit, jak energeticky náročná je stavba a chtít to změnit. Snaha hledání nových zdrojů energie nastala po uvědomění si závislosti na ropě a energii. Dnes se dostáváme na vrchol energetické krize, tím se navyšuje cena ropy a energií. Musíme se proto zaměřovat na snižování spotřeby ve všech oblastech, tedy i ve stavebnictví, jež je jedním z největších energetických spotřebitelů. V Evropě je téměř 40 % veškeré energie spotřebováváno budovami. Na tento stav reaguje stavebnictví prostřednictvím udržitelné výstavby a výstavbou energeticky úsporných domů. V pasivním domě se spotřebuje až o 90 % energie méně.

Pasivní domy se od svých počátků mění, nejvíce pasivních domů se postavilo v Německu, avšak největší růst za poslední roky můžeme vidět v Rakousku. U nás a v celé Evropě, kde byly stavby převážně zděné, se ke konstrukcím přidávala větší tloušťka tepelné izolace, aby stavba vyhovovala standardu nízkoenergetické stavby. Začaly se také navrhovat solární skleníky, tepelná čerpadla, řízené větrání s rekuperací, solární panely a další. Dřevostavby, které se u nás rozšířily až během posledních let, jsou lépe přizpůsobivé pro pasivní a nízkoenergetické stavění a lze ušetřit tloušťka nosné konstrukce. [2] [5]



Obrázek 2 - Porovnání celkové potřeby energie pro jednotlivé energetické standardy (Zdroj: [7])

Dřevostavby v nízkoenergetických požadavcích vynikají novými možnostmi a vlastnostmi. Dnešní dřevostavby nemají žádné problémy s vyhověním parametrů podmínek nízkoenergetické a pasivní výstavby a nabízí mnoho řešení a variant [2].

### 3.1 Udržitelný rozvoj

#### 3.1.1 Filozofie udržitelného rozvoje

Udržitelný rozvoj neboli udržitelná výstavba může být chápána jako vize budoucí výstavby po celém světě s co nejmenším zásahem do přírody. Čím více by se dodržovalo snižování nároků na energie, tím déle by naše příroda zůstala zachována. V tomto zájmu je důležitý faktor čerpání zdrojů energií a faktor zatížení životního prostředí. [8, s.22]

Dnes se stále více rozvíjejí návrhy staveb, které podporují výstavbu z přírodních materiálů. Jde o snahu používat co nejvíce přírodních materiálů nezasahujících do environmentálního prostředí a vytvářet vnitřní prostředí s ohledem na lidské zdraví a ochranu přírody [2].

Definice udržitelného rozvoje podle zákona o životním prostředí: „*Udržitelný rozvoj je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachová možnost uspokojovat jejich životní potřeby, a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů.*“ [9]

#### 3.1.2 Základní pojmy udržitelného rozvoje

##### **Baubiologie:**

Baubiologie je nazývána stavební biologii, zkoumá vztah člověka a jeho bydlení. Pojednává o využití přírodních materiálů, o základech ekologické výstavby a upozorňuje na škodliviny působící v jeho okolí. Využívá znalosti architektury, ekologie, psychologie, sociologie i dalších oborů. [7] Základem je taktéž výběr pozemku, který dle baubiologie má být bez přírodních odchylek, se zelení v okolí, bez hluku a emisí, bez jedovatých látek, vibrační a podobně. [1, s.32]

##### **Feng-šuej:**

Feng-šuej je čínská teorie o zákonitosti energie v přírodě. Teorie odráží náš charakter, udává životní harmonii. V praxi hodnotí kvalitu života člověka v jeho přirozeném prostředí.

„*Cílem feng-šuej je využít energie prostoru a jeho uživatelů k vytvoření harmonického prostředí, kde se budou obyvatelé cítit dobře.*“ [8, s.25-26]

### 3.2 Nízkoenergetický dům

Navrhování nízkoenergetického domu se provádí podle normy ČSN 730540-2 [15]. V této normě je považován za nízkoenergetický dům takový, který má spotřebu tepla nižší než 50 kWh/m<sup>2</sup>, a to bez ohledu na tvar budovy. Je však dokázáno, že čím je jednodušší



tvar domu, tím je energetická náročnost na vytápění snadněji dosažitelná než v členitém domě.

S dalším vývojem v oblasti energetických standardů se význam nízkoenergetického domu už ztrácí, měla by tento standard splňovat každá dnešní novostavba. Splnění požadavků je nutné dle vyhlášky o technických požadavcích na stavby. [8] [9]

### 3.3 Pasivní domy

Pasivní stavba je taková stavba, která se díky slunečnímu záření a vnitřním tepelným ziskům vytopí téměř sama, tzn. měla by mít minimální potřebu energie na zajištění tepla vnitřních prostor. Také by měla mít minimální potřebu primární energie z neobnovitelných zdrojů na výstavbu i provozování. Pasivní stavba je tedy maximálně zateplená a dodává tepelnou pohodu. Řízený větrací systém zajišťuje trvalý přísun čerstvého vzduchu. Obálka budovy by měla být maximálně vzduchotěsná a bez tepelných mostů. Všechny tyto parametry pak zajišťují suchost objektu, bezporuchovost. [10, s.14]

*„Pro pasivní domy jsou nejvhodnější konstrukce, které dokážou zabezpečit dostatečnou izolační schopnost při co nejmenší tloušťce stěn. Této konstrukci nejlépe odpovídá konstrukční skladba dřevostavby.“* [10, s.26]

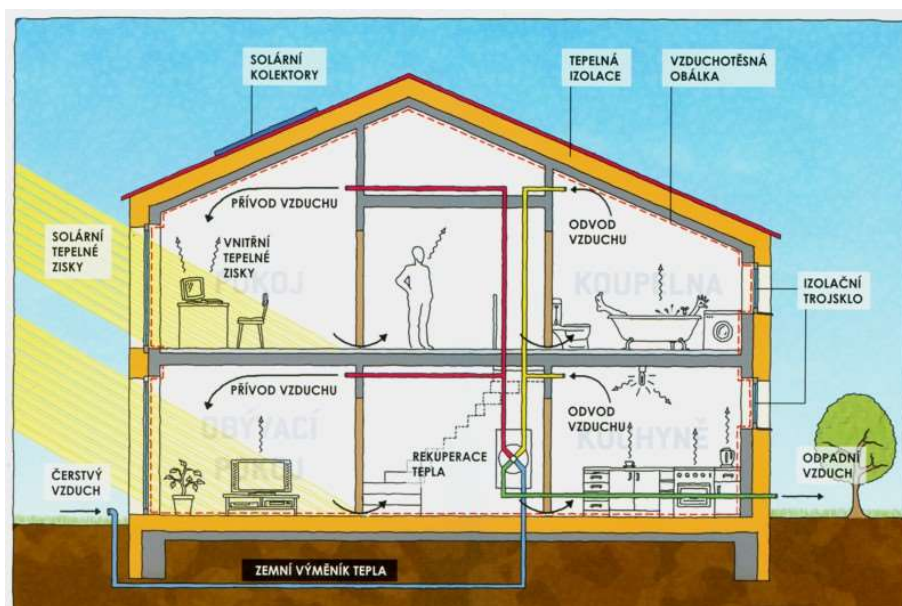
#### 3.3.1 Správný návrh pasivního domu

Požadavky pasivního domu:

- Měrná potřeba tepla na vytápění je do 15kWh/(m<sup>2</sup>.a)
- Maximální topný výkon 10 W/m<sup>2</sup>
- Neprůvzdušnost obálky n<sub>50</sub>, ověřena tlakovým zkoušením a nesmí překročit 0,6 h<sup>-1</sup>, kdy se při přetlaku a podtlaku nesmí vyměnit 60 % vzduchu díky těsnosti obálky
- Primární energie včetně domácích spotřebičů za rok má být méně než 120 kWh/(m<sup>2</sup>.a)
- Vzduchotechnické zařízení s rekuperací

U správného návrhu pasivního domu jde zejména o:

- návrh koncepce budovy
- návrh umístění pozemku
- správný výběr materiálů [8][10]



**Obrázek 3** – Schéma principu pasivního domu  
(Zdroj: [11])

**Tabulka 1** – Porovnání spotřeb a cen energií

Parametry		Pasivní dům		NE dům	Úsporný dům
Spotřeba energie na m <sup>2</sup> vytápěné plochy za rok	kWhod/m <sup>2</sup> .a	10	15	50	80
Velikost domu - užitná plocha	m <sup>2</sup>	130	130	130	130
Spotřeba energie za rok	kWhod	1 300	1 950	6 500	10 400
Cena tepelné energie	Kč/kWhod	4,5	4,5	4,5	4,5
<b>CENA ENERGIE na vytápění za rok</b>	<b>Kč/kWhod</b>	<b>5 850</b>	<b>8 775</b>	<b>29 250</b>	<b>46 800</b>

(zdroj: [11])

### 3.3.2 Investování do nízkoenergetické a pasivní výstavby

Když se investor (stavitel) rozhoduje, zda zvolit pasivní či běžný dům, klade si otázky o rozdílu ceny, o době návratnosti a podobně. Nicméně při výstavbě nejsou tak důležité pořizovací náklady, ale je nutné uvažovat i náklady na provoz tohoto domu. Provozní náklady zahrnují například vytápění, ohřev vody, elektrické spotřebiče, vodné, jiné poplatky, náklady na opravy a další. Čím více se vloží peněz do pasivního nebo nízkoenergetického domu, tím nižší jsou pak provozní náklady.

V našich podmínkách má kvalitně navržený pasivní dům asi o 15-20 % vyšší cenovou hladinu než běžný dům, který je navržený dle minimálních požadavků normy na

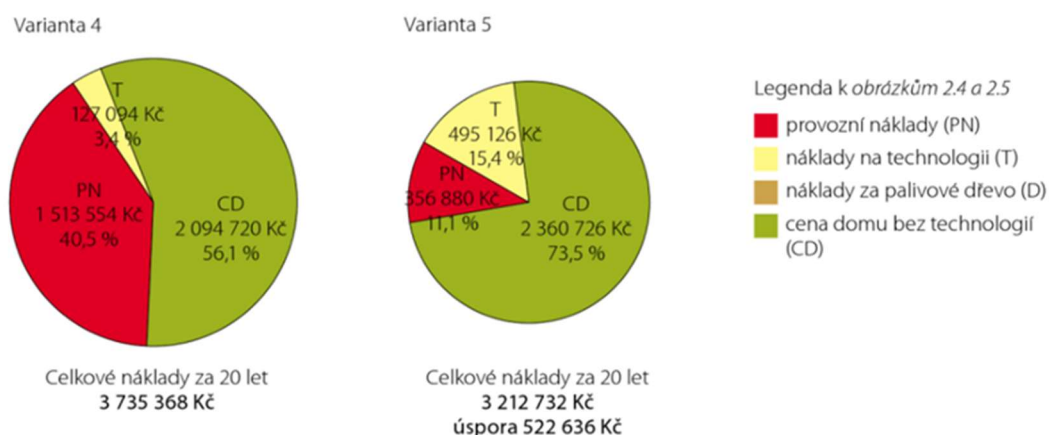
tepelnou ochranu budov. Přesná cena pak záleží na použitých technologiích a materiálu. Návrhovatelská investice do pasivního domu spočívá v kvalitním provedení stavby, která bude splňovat všechny požadavky na kvalitní život v tomto domě. [10][2]

Výstižně to shrnuje pan Růžička ve své knize: „Zaplatit to musíme tak jako tak. Je však na naší volbě, zda budeme investovat do hodnoty svého majetku, anebo to postupně zaplatíme energetické společnosti.“ [2, s.78]

Rozlišujeme tedy 4 ceny domu:

- Pořizovací = cena při pořízení domu
- Udržovací = cena údržby domu, podle kvality provedení domu
- Provozní = náklady na provoz domu (vytápění, ohřev, ostatní energie).
- Prodejní = za kolik jsme schopni dům prodat

Když uvažujeme cenu domu, je důležité zaměřit se nejen na cenu pořizovací, ale také na všechny možné ceny, podle kterých se stavby dají hodnotit. Udržovací a provozní cena zahrnuje náklady, které vznikají až při provozu nebo údržbě stavby. Pořizovací cena může být vyšší u pasivního domu, avšak provozní náklady by měly být menší. Tento kvalitně provedený stav se v konečné fázi pozitivně promítne do prodejní ceny domu.



**Obrázek 4** – Investiční a provozní náklady na dům  
(Zdroj [2, s.77])

Na obrázku č. 4 vidíme dvě varianty domu. První je navržen na minimální požadavky, druhou variantou je dům pasivní s vyššími počátečními výdaji na pořizovací cenu domu a technologií. Na obrázku jsou vyobrazeny podíly nákladů domu. Z obrázku plyne, pokud vložíme více peněz do počáteční hodnoty (tj. počáteční ceny domu bez technologií) a k tomu přidáme větší náklady na technologie pasivního domu, jsou pak provozní náklady domu menší. Tyto ušetřené náklady potom můžeme využít na jiné věci jako na splátky úvěru pro počáteční pořizovací hodnotu.

### 3.3.3 Optimalizace

Optimalizace návrhu stavby je postup nejlepšího návrhu pasivního domu tak, aby vyhovoval všem podmínkám, parametrům a měl pouze určité žádoucí náklady. K tomuto návrhu byl vytvořen software PHPP, který slouží architektům a projektantům. Tímto programem je také tvořena certifikace pro pasivní domy. [4]



Obrázek 5 – Optimalizace návrhu pasivního domu  
(zdroj: [20])

## 4 Ekologická výstavba

Tendence udržitelné výstavby vyžaduje bilanci mezi ekonomickou, architektonickou a ekologickou stránkou. Jde o vizi udržitelné budoucnosti, tedy být v souladu s přírodou a celkově se Zemí. Jedná se o stavbu, která splňuje požadavek energetické úspory, má minimální tepelné ztráty, ekologický zdroj vytápění, je postavena z materiálů s minimální ekologickou náročností, má minimální zdroje odpadů, využívá dešťové vody a využívá přírodních materiálů při výstavbě. [12]

*„Podíl budov na celkové spotřebě energie v Unii činí 40 %. 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 Unie a emisí skleníkových plynů.“ [14, bod 3]*

Myslím si, že zohlednění ekologické stopy výrobků se postupně stává trendem ve všech průmyslových oblastech, tedy i u stavitelství. Lidé si uvědomují dopady průmyslové výroby na přírodu, klade se důraz na environmentální hodnocení. V budoucnu se snad budou stavět domy výhradně s ohledem na životní prostředí, v souladu s vizí udržitelné výstavby, tím dojde k výraznému snížení negativních dopadů na přírodu a životní prostředí.

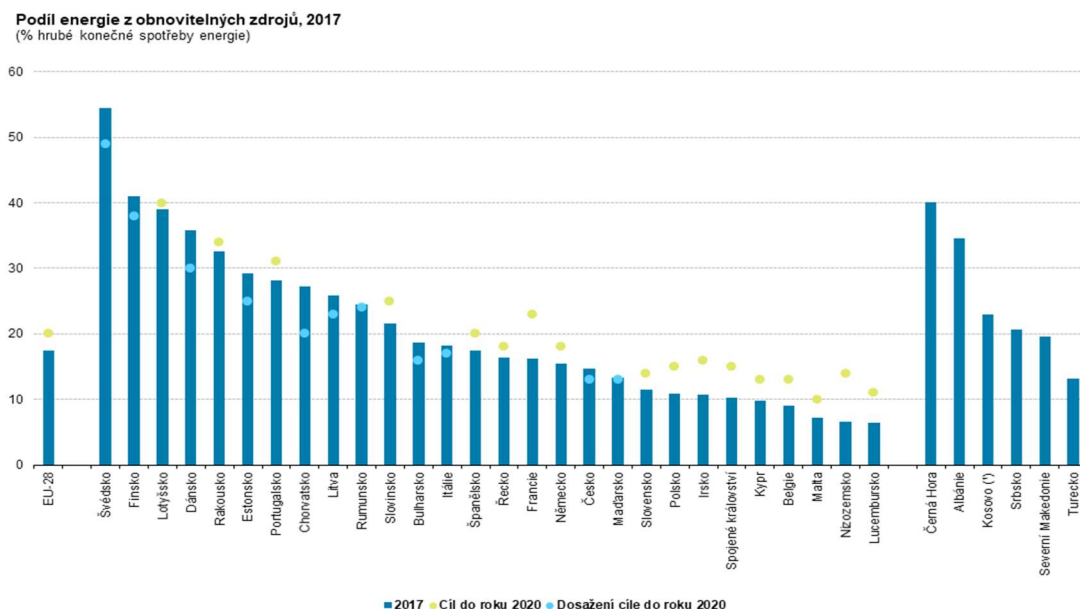
## 4.1 Legislativa

Existuje Evropská legislativa v podobě směrnice náročnosti budov EPBD I [13], ta vyšla v roce 2002. Poté byla v roce 2010 novelizována na směrnici EPBD II [14], kde doplněním první verze je mimo jiné stanovení metody výpočtu celkové energetické náročnosti budov jednotně pro všechny členské státy. Nové budovy by od konce roku 2020 měly splňovat parametr „budovy s téměř nulovou spotřebou energie“ [14, čl.9] (orientačně definovány v ČSN 730540-2 [15]).

EPBD II také zavedla slogan „20-20-20“, který dává za cíl ES snížit do roku 2020 oproti roku 1990 emise skleníkových plynů o 20 %, snížit spotřebu energie o 20 % a na 20 % zvýšit podíl energie vyráběné z obnovitelných zdrojů. [14]

V roce 2011 byla vydána Evropská vyhláška č. 305/2011 požadující také nezávadnost stavebních výrobků vůči životnímu prostředí, nově zavádí požadavek na udržitelné využívání přírodních zdrojů: *"Stavba musí být navržena, provedena a zbourána takovým způsobem, aby bylo zajištěno udržitelné použití přírodních zdrojů a také: a) recyklovatelnost staveb, použitých materiálů a částí po zbourání; b) trvanlivost staveb; c) použití surovin a druhotných materiálů šetrných k životnímu prostředí při stavbě."* [16]

V roce 2018 byla provedena nová úprava EPBD III a Evropská unie ustanovila cíle: snížení emise skleníkových plynů (CO<sub>2</sub>) do roku 2030 oproti roku 1990 o 40 %, podíl na spotřebě obnovitelných zdrojů zvýšit o 32 % a zvýšit energetickou účinnost o 32,5 %. Během let 1990-2016 došlo ke snížení emisí skleníkových plynů o 22 %. [17] Z grafu níže lze vidět, že hodnoty cíle k roku 2020 byly již dosaženy, hodnoty podílu spotřeby neobnovitelných zdrojů klesají nejen v ČR, ale také v celé Evropě.



(\*) Tímto označením nejsou dotčeny postoje k otázce statusu a označení je v souladu s rezolucí Rady bezpečnosti OSN 1244/1999 a se stanoviskem Mezinárodního soudního dvora k vyhlášení nezávislosti Kosova.

**Obrázek 6 - Podíl energie z obnovitelných zdrojů v roce 2017**  
(zdroj: [18])

## 4.2 Dotační programy

Dotace na výstavbu je myšlenka podpory těch, kteří chtějí do ekologického nebo pasivního standardu investovat a chtějí podpořit rozvoj udržitelné výstavby v ČR. Stát nabízí různé podpory a dotace, u RD se jedná o využívání energií, vody, přes instalaci solárních panelů, izolací či stavbu v pasivním standardu.

### 4.2.1 Program „Zelená úsporám“

Program na podporu životního prostředí poskytovaný Státním fondem životního prostředí ČR, který je zaměřený na energetickou úsporu rodinných a bytových domů. Ačkoliv jde o dobrou myšlenku, ohlasy první vlny těchto dotací mezi lety 2009–2011 nebyly realizovány podle původních představ. [2] Nevýhodou financování byla samotná realizace programu, jeho výpočty a hodnocení projektů žádajících o dotace. Návrhy nebyly odborně vyhodnocovány, neboť rozhodovací pravidla měla nejasné cíle. Do roku 2015 se pak vyvíjel program „Nová Zelená úsporám“, který měl tyto nedostatky eliminovat.

### 4.2.2 Program „Nová Zelená úsporám“

Nová Zelená úsporám je dotační program fungující v ČR od roku 2015. Je založen na podporu snížení energetické náročnosti budov, zlepšení stavu životního prostředí snížením produkce emisí látek znečišťujících prostředí (především emisí CO<sub>2</sub>). Jde o přínos snížení konečné spotřeby energie v ČR spolu s dalšími sociálními přínosy. Podání o dotaci je možné do 31.12.2021 nebo do vyčerpání zdrojů.

#### V současnosti lze získat dotaci na:

- a) zateplení rodinného domu
- b) výstavbu rodinného domu
- c) nákup rodinného domu s velmi nízkou energetickou náročností
- d) nákup bytu v bytovém domě s velmi nízkou energetickou náročností
- e) pořízení nebo výměnu zdrojů energie
- f) snižování energetické náročnosti stávajících bytových domů v Praze
- g) výstavbu bytových domů s velmi nízkou energetickou náročností v celé ČR

Domácnosti (RD) konkrétně mohou dostat dotaci na:

- solární a fotovoltaické panely
- využití vlastní vody
- recyklace vody
- vytápění
- pasivní standard domu
- rekuperační systémy [19]

### 4.2.3 Solární a fotovoltaické panely

Solární panely jsou dnes běžně dostupná a hojně používaná technologie pro ohřev teplé vody nebo přitápění. Pořizovací cena solárních panelů je vyšší, ale následně vyvolají nízké provozní náklady. Pro rodinu jsou obvyklé solární kolektory o ploše 6–8 m<sup>2</sup>. Tyto kolektory pak přebírají spotřebu teplé vody až do 100 % (v letních měsících). Další technologií jsou fotovoltaické články, které mění solární energii na energii elektrickou. Technologie využívající fotovoltaiku je dnes důležitá pro dosažení standardu nulového, pasivního i aktivního domu dle požadavků EU. Množství energie závisí na okamžitém dopadu slunečního paprsku. Fotovoltaika je do budoucna perspektivní a nejspíše bude využívána stále více, proto se jeví jako vhodná investice. [8] [1]

Dotace na solární systém ze Státního fondu životního prostředí je 50 % ceny kolektoru. Maximálně pak 50 tisíc Kč při ohřevu vody celoročně, pokud je systém napojen na přitápění, maximálně 60 tisíc Kč.

### 4.2.4 Hospodaření s vodou

*„Voda je v současnosti ze všech přírodních zdrojů nejvíce ohrožena v důsledku jejího intenzivního vyčerpávání a následného znečišťování.“ [8, s.120]*

Spotřeba vody v ČR se pohybuje průměrně od 130 až 150 litrů na osobu. Ekologové rozdělují vodu na černou a šedou. Za šedou se považuje odpadní voda z umyvadel, sprch, mytí nádobí, za černou voda z WC.

Ekologické možnosti využití vody:

- Nahrazení pitné vody srážkovou a studnovou
- Úsporné spotřebiče
- Úsporné splachovací zařízení
- Redukce průtoku
- Technologie na zachytávání tepla odpadní vody
- Přírodní jezírka

#### **Studna:**

Studna jako alternativní zdroj vody je ideální, pokud na pozemku je k dispozici spodní voda. Voda se obvykle používá jako užitková, pro využití vody jako pitnou se musí provést prozkoumání nežádoucích látek ve vodě a chemický rozbor.

#### **Využití dešťové vody:**

Dešťová voda se dá snadno upotřebit, pokud nelze vyhotovit na pozemku vlastní studnu. Pro domácnost se využívá dešťová voda jako užitková, například jako splachovací voda, voda na praní, zahradničení. Podle typu potřeby se pak používají různě stupňované čistící mechanismy.

### **Přírodní jezírka:**

Jezírka jsou poslední roky velmi oblíbeným zdobným prvkem zahrad. Jezírka mohou mít různé účely, čistě přírodní dekorace, koupací jezírko nebo pro chov ryb. Se speciálními vodními rostlinami vytvářejí přirozenou biologickou rovnováhu.

Další využití vody: Využití provozní tzv. bílé vody, kompostovací záchody, kořenové čistírny a podobně. Využití hospodaření s odpadní vodou (šedá voda, hnědá voda, žlutá a černá voda).

### **4.2.5 Ekologické vytápění**

Ekologické vytápění je systém s použitím obnovitelných zdrojů. Vzhledem k velkým lesním zdrojům je nejvhodnější použít přímo obnovitelný materiál jako je dřevo nebo obecně biomasa, naopak nevhodné je použití elektrické energie. Využití plynu jako ekologického topení se dá při použití kondenzačního kotle.

Minimální přitápění je nutné i u pasivní stavby. I při přivádění vzduchu pomocí rekuperační jednotky je vhodné doplnit vytápění nezávisle na elektrickém připojení, tedy využít biomasu. U topení ze surovin z obnovitelných zdrojů jsou vhodná krbová kamna, krb na pelety, brikety. Je možné také topení pomocí podlahových nebo stěnových otopných těles s oběhem vody nebo na elektřinu. Je však nutné dávat pozor na výkon topidla. U pasivního i úsporného domu by měl být výkon topidla do 5 kW a zejména u dřevostaveb není vhodné přitápět nárazově.

### **4.2.6 Rekuperace**

Pro pasivní dům je nutné řízené větrání s rekuperací. Paradoxně právě moderní pasivní domy, které neplýtávají energií a mají velmi dobře utěsněnou obálku budovy, mají problém s nedostatkem čerstvého vzduchu. Klasické větrání okny nestačí kvůli vnitřnímu prostředí a koncentraci CO<sub>2</sub>. Řízené větrání s rekuperací využívá výměny teplého odpadního vzduchu a chladného přiváděného. [10] [1]

## **5 Ekologické materiály**

### **5.1 Správný výběr materiálů**

Při tvorbě ekologické budovy jde primárně o správný výběr přírodních materiálů, náhradu běžných materiálů za ekologické. Při postupném vývoji pasivního stavění se rozšiřuje i obor využití alternativních přírodních materiálů, roste sortiment specializovaných výrobků a seznam specializovaných dodavatelů.

*„Rozvinutím přírodě příznivých technologií, materiálů a postupů lze v budoucnu očekávat snížení ceny za tyto stavby. Současně tím ušetříme i emise CO<sub>2</sub>, které jsou při produkci přírodních materiálů minimální. Tyto environmentálně příznivé změny ve*



*stavebnictví vedoucí k minimalizaci ekologické stopy by tak mohly podstatně ovlivnit stav životního prostředí i vývoj celé společnosti.*“ [8, s.22]

## **5.2 Hodnocení materiálů a staveb**

Přírodní materiály se hodnotí podle několika kritérií, měly by to být materiály:

- S minimálními hodnotami svázané potřeby energie a svázaných emisí CO<sub>2</sub> a SO<sub>2</sub>.
- Popřípadě materiály s nízkou hmotností, kde se sníží náklady na dopravu.
- Využívající při výrobě maximálně obnovitelných zdrojů a recyklovaných materiálů.
- Umožňující lepší oddělitelnost a rozebíratelnost při likvidaci.
- Z lokálních zdrojů.
- Ty, které neprošly umělým procesem, např. chemickou reakcí.

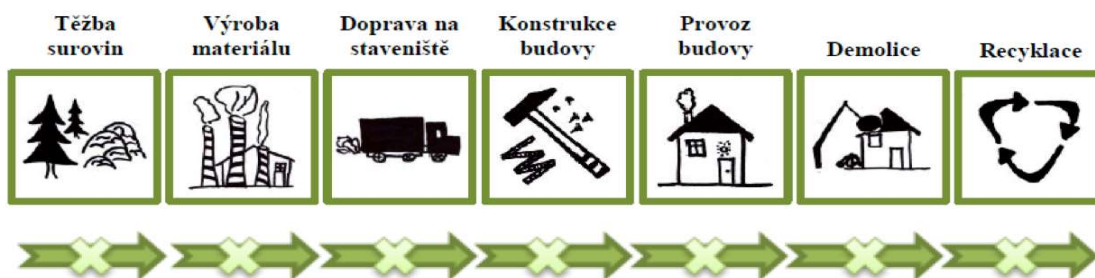
Důležité je hned při prvním návrhu zkoumat vhodný materiál dle principů udržitelné výstavby. Pro tvorbu hodnocení vhodného materiálu je důležité znát životní cyklus materiálu.

### **5.2.1 Hodnocení LCA**

Základem pro zjištění kvality materiálu z hlediska environmentálního dopadu je hodnocení životního cyklu – LCA (Life Cycle Assessment). Metodika LCA se používá pro jakýkoliv výrobek, tedy i stavební materiály, s ohledem na celý životní cyklus. V hodnocení se zahrnuje výroba produktu, také energetická náročnost v době jeho užívání a dopady při likvidaci. Cyklus materiálu prochází několika fázemi. Všechny tyto fáze jsou spojené nejen s produkcí nákladů, ale také s produkcí energie. Jedná se o energii od těžby až po likvidaci objektu či materiálu. Z hodnocení LCA vychází metody posuzování environmentálních vlastností stavebních produktů. Každá metoda pak vychází z různých typů databází. Aby bylo možné určit celý životní cyklus, je nutné znát veškeré údaje o produktu. Analýza LCA slouží jako základ pro Environmentální prohlášení o produktu (EPD).

Fáze životního cyklu stavebního materiálu jsou:

- 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
- recyklace materiálu nebo skládkování [23]



**Obrázek 7 – LCA Hodnocení životního cyklu**  
(Zdroj: [22])

Systém hodnocení zahrnuje všechny fáze životního cyklu. V poslední době se zmiňuje dokonce přístup uzavřeného životního cyklu, který uvažuje i recyklaci výrobků. V praxi je určení životního cyklu každého materiálu obtížné, je nutné znát velké množství dat, jedná se teda spíše o predikci. Z tohoto důvodu se hodnotí stavební materiál podle prvních dvou fází, a to těžby surovin a výroby materiálu (označení systémové hranice „Cradle to Gate“). Pro konkrétní podmínky a konkrétní případ lze do výsledků zahrnout i vliv dopravy materiálu na staveniště (označení systémové hranice „Cradle to Site“).

Vyhodnocení životních cyklů materiálů je zařazeno do různých databází, jako je například Ecoinvent, EPD, IBO Baustaffdatenbank, ICE, INIES a další. V ČR byl vytvořen online katalog Envimat, který využívá databází Ecoinvent, EPD přizpůsobených českému prostředí stavitelství. Umožňuje sestavení a posouzení vlastních konstrukcí z materiálů v obsažených v databázi a získávání podkladů pro environmentální analýzu konstrukcí pomocí metodiky SBToolCZ. Tento projekt vznikl reakcí na požadavek využití přírodních zdrojů nařízený Evropským parlamentem. Portál vznikl za podpory Evropské unie a ČVUT v Praze. [22]

EPD neboli Environmentální prohlášení o produktu (z anglického Environmental Product Declaration) je souhrn informací o produktu, o jeho dopadu na životní prostředí. Údaje jsou zjišťovány metodou LCA, jde tedy o dopad materiálu v celém životním cyklu. [22] Pro české prostředí zatím neexistuje mnoho dat, a proto například Envimat využívá databázi Ecoinvent ze Švýcarska či jiných zahraničních databází. Postupně by data měla být nahrazena a doplňována pro prostředí ČR. [8][22][23]

### 5.2.2 Environmentální hodnocení kvality budov

Environmentální hodnocení budovy (EHB) je nástroj hodnotící stavby z mnoha pohledů. Nejvíce se hodnotí vliv stavby na přírodu a životní prostředí. Hodnocení kvality budovy zahrnuje několik faktorů, jsou to faktory ekonomické, ekologické, materiálové, sociální a kulturní. Jedná se o snahu ovlivnění myšlení při tvorbě celé stavby, tím ochránit budoucnost udržitelné výstavby a snížit dopad na životní prostředí použitím přírodních materiálů místo výrobně zpracovaných a podobně. [8, s.20]

### 5.2.3 Vyhodnocení a certifikace kvality budov

Po prvním kroku, tím je hodnocení environmentálního dopadu jednotlivých materiálů, se hodnotí kvalita budovy jako celku. Certifikace budov je vícekritériálním ohodnocením trvale udržitelné výstavby budovy. Hodnocení se pak provádí pomocí nástrojů, které využívají některé z výše uvedených databází. V ČR je tímto nástrojem SBToolCZ, LEED nebo BREEAM. SBToolCZ je vyvinutý z evropského SBTool a je navržen pro české prostředí. LEED je původem americký systém, původem britský je nástroj BREEAM a německý DGNB. [8, s.20] Hodnotí se celek budovy v souvislosti udržitelné výstavby za celý životní cyklus. Kategorie hodnocení jsou environmentální, ekonomické, energetické, podle kvality okolí budovy a bezpečnosti. [24] U SBToolCZ jsou to 4 základní kritéria: environmentální, sociální, ekonomika a management a lokalita.

Podle výsledku hodnocení environmentální kvality budovy je následně udělen certifikátu neboli osvědčení dosažení požadované kvality budovy. Nejprve jde o vyhodnocení, zda vyhověl/nehověl. Podrobněji je pak podle SBToolCZ zavedeno grafické ohodnocení pro jednodušší vysvětlení hodnocení veřejnosti. Tento grafický symbol kvalitu budovy prezentuje samostatně a je součástí Certifikátu kvality budovy. Kromě základního certifikátu, lze tedy získat certifikát SBToolCZ zlatý, stříbrný a bronzový. [25]

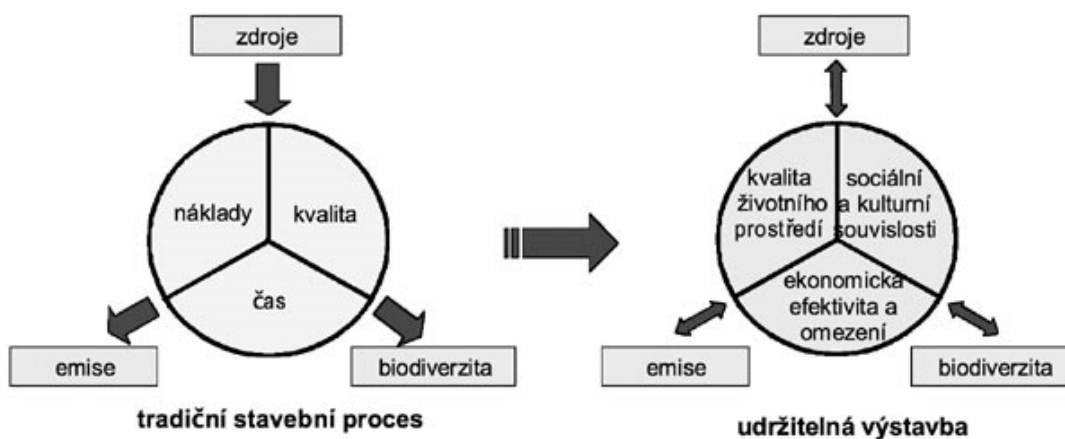


**Obrázek 8** - Grafická certifikace značky SBToolCZ  
(Zdroj: [25])

EHB má velkou váhu pro rozhodování realizace výstavby nebo výběru materiálů. Také pro budoucí investory veřejných projektů je EHB velmi důležitým faktorem pro rozhodování. Hodnotí, jak budovy ovlivňují životní prostředí, kvalitu zdravého vnitřního prostředí, pobytové pohody a jiné. Certifikovaná budova splňuje požadavek na výstavbu ze zákona a je nezávadná pro přírodu nebo zdraví. [26]

### 5.2.4 Další hodnocení a certifikace

Kromě hodnocení environmentálního hlediska budov, můžeme také získat certifikaci z hlediska potřeby energie. Za nejvyšší je brán standard pasivního domu podle mezinárodní normy a domy jsou hodnoceny pomocí metody PHPP (Passive House Planning Package). [8]



**Obrázek 9** – Proces pojetí udržitelné výstavby  
(Zdroj: [27])

## 5.3 Příklady ekologických materiálů

### 5.3.1 Dřevo

Nejrozšířenější druh přírodního materiálu. Má velké využití a bohatou historii v oboru stavebnictví. Vyniká výbornými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi. Dřevo je materiál snadno opracovatelný a snadno recyklovatelný. Největší nevýhoda dřeva je vliv prostředí např. vlhko, mokro, dále také působení škůdců. Využití dřeva je ekonomicky výhodné v místě, kde se nachází větší zdroj tohoto materiálu. Dřevo se používá ve stavebnictví pro nosné konstrukce, pro doplňkovou konstrukci nebo jako surovina do stavebních materiálů.

Dřevo v konstrukci je využité jako nosná konstrukce ze surového dřeva i materiály na bázi dřeva – dřevovláknité, dřevotřískové, dřevocementové a OSB desky. Používají se jako sloupy, trámy, prvky krovů, stěnové i stropní panely, ztracené bednění apod.

### 5.3.2 Dřevovláknitá izolace

Desky jsou vyráběny lisováním krátkých a jemných dřevěných vláken za vysoké teploty s použitím pojiva. Dřevovláknité desky se dělí dle tvrdosti a typu použití. Tvrdé desky se používají pro opláštění stěn, střech, vyrovnávací vrstvu podlah nebo jako alternativa sádkokartonu. Měkké dřevovláknité desky slouží jako izolační materiál. Rozdíl součinitele tepelné izolace od polystyrenu není nijak významný, je jen o 10 až 15 % horší. Dnes slouží jako běžně užívaná izolace, dodává je například firma STEICO nebo PAVATEX [1].

### 5.3.3 Konopí

Konopí nachází uplatnění jako další z přírodních izolací. Z konopí se vyrábí izolační rohože, které jsou alternativou dřevěných izolací. Má stále tepelně izolační

i akusticky izolační vlastnosti. Používá se jako izolace stěn, stropů, kročejová izolace, k utěsnění spár. Součinitel tepelné vodivosti je v rozmezí  $0,039-0,05 \text{ W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$ . Výhodou je záporná bilance  $\text{CO}_2$ , ale nevýhodou je poměrně vyšší cena než odpovídající množství běžně používané minerální vlny. Také je nutno chránit materiál proti hořlavosti.

#### 5.3.4 Hlína

Stavba z nepálených cihel nemusí být jen záležitostí starých domů, ale také se dají použít při výstavbě nového ekologicky působícího domu. Mezi možné využití hlíny patří cihly lisované, hliněné omítky, hliněná malta. Speciální druhy jílu se dají využít jako těsnění nebo pro hydroizolační účely. [8]

#### 5.3.5 Celulóza

Celulóza využívaná jako izolace se skládá z vláken celulózy a vyrábí se z rozvlákněného recyklovaného novinového papíru. Mají jemná, krátká vlákna a nedráždí jako skelná nebo minerální izolace. Na ochranu proti hoření a škůdcům se používá impregnace boraxem. Borax při zahřátí uvolňuje vodu a materiál ochlazuje, pak vytvoří sklovitou vrstvu. Dostatečná vrstva celulózy utváří dobré tepelné a akustické vlastnosti konstrukce. Většinou se izolace zafoukává do připravené dutiny nebo se aplikuje na připravený povrch s pojivem, tím vytvoří pevnou izolační vrstvu. Také se vměštnává například do izolací podlah volným sypáním. [1]

#### 5.3.6 Sláma

V moderním stavebnictví je sláma významnou ekologickou alternativou. Využívá se jako izolační materiál. Tento materiál má nízkou cenu, trvanlivost i přes sto let, dobré tepelně-izolační vlastnosti. Uvádí se hodnoty součinitele prostupu tepla pro slaměné stěny tloušťky 50 cm cca  $U = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , tloušťky 40 cm cca  $U = 0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  a tloušťky 30 cm asi  $U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Izolace mohou být ve formě balíků. V konstrukcích je nutné slámu chránit vhodnou omítkou, aby byla dosažena hodnota nehořlavosti B2 – normálně hořlavé, a aby byla chráněna proti škůdcům či plísním. Proti hlodavcům se lze chránit například pletivem. Ve formě balíků se sláma používá jako přídatná tepelná izolace připevněna ke konstrukci v bednění nebo jako jednovrstvá konstrukce panel balíků, který je nosný. U panelů je větší riziko deformace při zatížení. Nevýhodou balíků je větší tloušťka stěny a zabudování je pracnější než u jiných materiálů. Dnes se také sláma zpracovává do konstrukcí stěn z prefabrikovaný izolačních desek prodávané pod značkou Ekopanel. Ekopanel je ekologická stavební deska, lisovaná za vysoké teploty a tlaku z obilné slámy, polepená recyklovanou lepenkou. Ekopanel je zcela přírodní, lehce recyklovatelný, pevný a difúzně otevřený stavební materiál. [1] [28] [29]



**Obrázek 10** - Využití slámy ve stavebnictví  
(Zdroj:[30])

### **5.3.7 Ovčí vlna**

Produkt z chovu ovcí využívaný jako tepelná izolace. Jedná se o materiál s dlouhou životností a stabilitou, ve vlhku nedochází ke tlení. Jedna z kladných vlastností ovčí vlny je hydroskopie. Jedná se o materiál málo hořlavý (třída hořlavosti – B2). Vliv na životní prostředí ovčí vlny je podle toho, odkud se vlna dováží. Nejlepší je varianta vlny z lokálních zdrojů, ale dováží se také často z Rakouska. Izolace jsou nejčastěji v podobě izolačních rohoží a desek.

### **5.3.8 Expandovaný perlit**

Expandovaný perlit patří do skupiny anorganických materiálů. Jedná se o výsledek produkce z tzv. přírodního skla. Výhodou je nepodléhání tlení, odolnost proti hmyzu a samozřejmě dobrá izolační schopnost.

### **5.3.9 Keramzit**

Keramzit patří také do skupiny umělých materiálů, tj. není vytěžen, ale vyroben chemickými procesy za velmi vysokých teplot. Používá se jako izolace nebo prostředek pro vylehčení materiálů.

### **5.3.10 Kámen**

Dalším vhodným přírodním materiálem je kámen. Patří mezi nejstarší přírodní stavební materiály. Dnes se kámen ve stavebnictví používá spíše pro opěrné zídky, podezdívky, akumulární zdivo v interiéru. Mají dnes spíše estetickou funkci. Kamenné zdivo je totiž nutné značně izolovat.

### **5.3.11 Pěnové sklo**

Spolu s celulózou patří pěnové sklo do kategorie recyklátů. Ačkoli celulóza je částečně syntetický a částečně přírodní materiál, má nízký obsah svázané energie. Pěnové sklo má vysokou spotřebu energie při výrobě, ale je recyklovatelný. Proto je vhodné ho použít jako náhradu například pěnového polystyrenu. Využívá se často do základových konstrukcí. [1] [8]

## **6 Praktická část: Vliv environmentálního hodnocení na tvorbu stavebních konstrukcí**

Praktická část práce je zaměřena na vyhodnocení problematiky vybraných ekologické materiálů. Jedním z cílů pasivní výstavby a výstavby udržitelného rozvoje je rozšířit využívání přírodních materiálů, které působí příznivě na životní prostředí. Zapotřebí budou data dopadu materiálů na ekologii, která budou čerpány z katalogů environmentálních dat.

### **6.1 Úvod pro správné navržení ekologického domu**

Navrhnout dům, který by se považovat za ekologický je nejen trend dnešní doby, ale také etická povinnost a investice do budoucnosti. Jde o několik kroků, které nakonec dají vzniknout optimálnímu řešení ekologického domu. Jedná se zejména o:

- Správný návrh koncepce budovy
- Správný výběr materiálů
- Minimální potřeba energie na provoz

Jedním z kroků je využití správných ekologických materiálů. To znamená, že na jejich výrobu bylo spotřebováno co nejméně energie a co nejméně toxických látek. Je možné předpokládat vývoj budoucích nároků výstavby právě na využití těchto materiálů, proto je mou snahou s využitím katalogů uvést optimální řešení konstrukce s využitím materiálů, které zatěžují životní prostředí co nejméně. Správný návrh materiálů také vede ke snadné recyklaci a likvidaci stavby.

#### **6.1.1 Výběr databáze**

Existuje řada zahraničních databází environmentálních profilů stavebních konstrukcí. Data pochází z různých zdrojů a jsou vypočtena podle různých metodik. Liší se například okrajové podmínky systému. Obecně nelze data získaná z různých databází považovat za porovnatelná. Neznámější databáze jsou uvedeny v následující tabulce č. 2.



**Tabulka 2 - Přehled zahraničních databází**

Název databáze	správce databáze	odkaz
Ecoinvent	Swiss Centre for Life Cycle Inventories	<a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a>
EPD	Environdec	<a href="http://www.environdec.com">www.environdec.com</a>
INIES	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment	<a href="http://www.inies.fr">www.inies.fr</a>
IBO	Baustoffdatenbank Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie	<a href="http://www.baubook.at">www.baubook.at</a>
ICE	University of Bath	<a href="http://www.bath.ac.uk/mecheng">www.bath.ac.uk/mecheng</a>
Bauteilkatalog	Holliger Consult	<a href="http://www.bauteilkatalog.ch">www.bauteilkatalog.ch</a>
IBU	Institut Bauen und Umwelt	<a href="http://www.bau-umwelt.de">www.bau-umwelt.de</a>

(Zdroj: [22])

Při mém vyhodnocování budu používat pro environmentální ukazatele a porovnání materiálů českou online pomůcku Envimat.cz. Envimat.cz je katalog a nástroj pro posuzování environmentálních ukazatelů dopadu stavebního materiálu na životní prostředí. Využívá hodnot databází EPD, Ecoinvent nebo IBO. Poslouží k orientačnímu obecnému posouzení, porovnání a vyhodnocení dopadů stavebních materiálů na ekologii.

**Práce v katalogu:** V katalogu Envimat jsou informace rozdělené do kategorií dle jednotlivých materiálů. Materiály jsou také rozděleny do kategorií dle jejich využití v konstrukci. Rozdělení je dle mého názoru dobře uzpůsobeno pro snadnou orientaci v portálu, dají se jednoduše porovnávat jednotlivé materiály i konstrukce. U každého materiálu je uveden zdroj dat, vždy je pro přesnější porovnání lepší vybírat materiál ze stejného zdroje. Přihlášení uživatelé také mohou přidávat nové materiály a skladby.

### 6.1.2 Ekologické ukazatele

Základem většiny katalogů jsou údaje o šesti hlavních environmentálních parametrech stavebních produktů. Pro posouzení budou relevantní tři parametry: PEI, GWP a AP.

Environmentální parametry:

- Spotřeba primární energie – PEI [MJ]
- Potenciál globálního oteplování – GWP [kg CO<sub>2</sub>,ekv.]
- Potenciál okyselování prostředí – AP [kg SO<sub>2</sub>,ekv.]
- Potenciál tvorby přízemního ozónu – POCP [kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>,ekv.]
- Potenciál ničení ozonové vrstvy – ODP [kg CFC, ekv.]

- Potenciál eutrofizace prostředí - EP [kg NO<sub>x</sub>,ekv.]

PEI – Primary Energy Intensity, zkratka pro spotřebu primární energie a ekvivalentní emise. Při posouzení je nutné uvažovat množství vázané primární energie někdy označované jako šedá energie, která je vyprodukována a uvolněna při těžbě, výrobě a dopravě materiálu.

GWP – Global Warming Potential, značí potenciál globálního oteplování, jedná se o uvolnění škodlivých látek v každém stádiu budovy. K vyčíslení se využívá ukazatel ekvivalentních emisí CO<sub>2</sub>. Uvádí se, kolik kg CO<sub>2</sub> je vyprodukováno při výrobě materiálů.

AP – Acidification potential, neboli emise SO<sub>2</sub> ekvivalentní značí potenciál okyselování prostředí. Jako ekvivalent se používá množství SO<sub>2</sub>, ale jsou zde zahrnuty také plyny jako oxid dusíku, amoniak a další. Poskytuje informace o zasíření přírody od průmyslové produkce.

POCP – ukazatel potenciálu tvorby přízemního ozónu. POCP hodnotí množství látek, které přidávají tvorbě přízemního ozónu (emisních ekvivalentů ethenu). Tyto látky vznikly v průběhu výstavby budovy a výroby použitých tepelných a akustických izolací.

ODP – ukazatel ekvivalentní emise kilogramu freonu CFC-11 vyprodukované během výroby daného výrobku nebo jeho části, způsobuje ničení stratosférické ozonové vrstvy.

EP – Vyjadřuje množství daných ekvivalentních atmosférických emisí a také emisí z odpadních vod, které během celého životního cyklu dotýčný výrobek produkuje, Zvýšení vyvolává nepřírozený nárůst obsahu živin ve vodách a půdách, tzv. eutrofizaci. [22]

### 6.1.3 Předpoklad

Pro vyhodnocení navržené konstrukce bude uvažována pouze část obvodové konstrukce. Dispoziční řešení objektu není brána v potaz. Předpokladem je zasazení zmíněných typů konstrukcí a jednotlivých materiálů do stejných částí, aby nedošlo ke zkreslení vlivem dispozice a rozmístění. Vyhotovení porovnání izolací bude pro zjednodušený objekt dřevostavby o ploše obvodových stěn 150 m<sup>2</sup>.

### 6.1.4 Náplň práce

Pro hodnocení budou uvažovány 3 různé typy skladeb konstrukcí. Ohodnoceny budou pomocí jednotlivých environmentálních ukazatelů. V katalogu jsou ukazatele konstrukcí uvedeny na kg, tyto hodnoty musí být přepočteny na m<sup>2</sup> pomocí hodnoty součinitele propustnosti tepla U [W/(m<sup>2</sup>.K)]. Takto bude provedeno porovnání konstrukcí obvodových stěn (Dle hodnoty U<sub>pas</sub> se budou měnit tloušťky izolace). Jedná se o konstrukci klasické dřevostavby nazvaná „Klasik“, poté konstrukci sestavenou ze slaměných rohoží nazvaná „Ekopanel“ a nakonec konstrukci zděnou z cihelných tvarovek. Skladby byly vybrány jako zástupci z kategorií lehké skeletové dřevostavby,

panelové dřevostavby a zděných staveb. Všechny skladby svislých stěn jsou upraveny pro pasivní stavby  $U_{pas,20}=0,18 - 0,12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  dle ČSN 73 0540-2 [15] (minimální požadovaná hodnota je  $0,30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ).

Poté v další části budou hodnoceny izolační materiály a vybrány ty, které nejlépe spadají do kategorie ekologické. Bude zhodnocen všeobecně jejich ekologický dopad a vybráno z nich nejvhodnější řešení pro ekologickou výstavbu. Stanovení se může lišit v závislosti na materiálu podle způsobu zpracování, proto hodnoty těchto ukazatelů slouží hlavně pro hrubou informaci při porovnávání variant řešení, avšak při návrhu stavby může přispět ke kvalitnějšímu, a hlavně ekologickému řešení. Pro výběr je vhodné zařadit i ekonomické hledisko, a tak bude provedena i cenová analýza těchto materiálů na současném trhu a porovnání materiálů přírodních s běžně užívanými materiály v závislosti na jejich ceně. Porovnání jsou pouze orientační, závisí na dalších faktorech jako doprava materiálu, technologie provedení apod.

## 6.2 Hodnocení skladeb vybraných konstrukcí

### 6.2.1 Konstrukce

#### Skladba dřevostavby Klasik:

Klasická rámová konstrukce. Základem je KVH hranol, který představuje kostru o rozměrech 160x60 mm. Opláštění je provedeno ze sádrovláknité desky tloušťky 12,5 mm. Výplň je provedena minerální izolací o tl. 160 mm a z exteriéru je provedeno kontaktní zateplení polystyrenem EPS 70 F tloušťky 150 mm.

**Tabulka 3** – Skladba dřevostavby

Název	Tloušťka/ jednotka	Součinitel $\lambda$ [W/(m·K)]
Omítka vápenocementová	15	0,99
Termofasáda- EPS	150	0,039
Sádrovláknitá deska	12,5	0,36
Dřevěné sloupky + minerální vlna	160	0,18/0,038
Vzduchová mezera	100	0
Sádrovláknitá deska	12,5	0,36
Omítka vápenocementová	15	0,5
$U = 0,16 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$		

(Zdroj: vlastní)

#### Skladba Ekopanel:

Skladba je navržena z velkoplošných panelů. Prefabrikovaná deska z Ekopanelů je ekologická varianta dnešních dřevostaveb. Obvodový plášť složen z několika slaměných panelů tloušťky 60 mm, uprostřed je vložena navíc minerální izolace. Pro dosažení  $U_{pož}=0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  je zvolena tloušťka této izolace 120 mm. Pro neznalost přesnějších

hodnot environmentálních dopadů slámy v tomto katalogu je nahrazena hodnotami dřevité vlny. Vnitřní stěna je omítnuta hliněnou omítkou.

**Tabulka 4 – Skladba „Ekopanel“**

Název	Tloušťka [mm]	Součinitel $\lambda$ [W/(m·K)]
Omítka hliněná	20	0,57
*Ekopanel	60	0,08
Vzduchová dutina	50	0
Parozábrana - PE	0,5	0,35
*Ekopanel	60	0,08
Minerální vlna	120	0,037
*Ekopanel	60	0,08
Dřevotřísková deska	22	0,18
Omítka vápenocementová	15	0,9
$U = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$		

(Zdroj: vlastní)

\*Ekopanel (v katalogu Envimat modelováno jako dřevitá vlna)

#### **Skladba zděné konstrukce:**

Třetí skladbou je zděná konstrukce. Svislé nosné stěny jsou z cihelných tvarovek typu Porotherm 30 P+D, P10, tloušťky 300 mm. Lepeny na tenkovrstvou maltu. Provedeno je kontaktní zateplení EPS F70 tloušťky 180 mm (pro  $U_{\text{pas},20}=0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ). Stěna bude opět omítnutá vnitřní sádrovou omítkou o tloušťce 15 mm a z vnější strany vápenocementovou o tloušťce 20 mm.

**Tabulka 5 – Skladba zděné konstrukce**

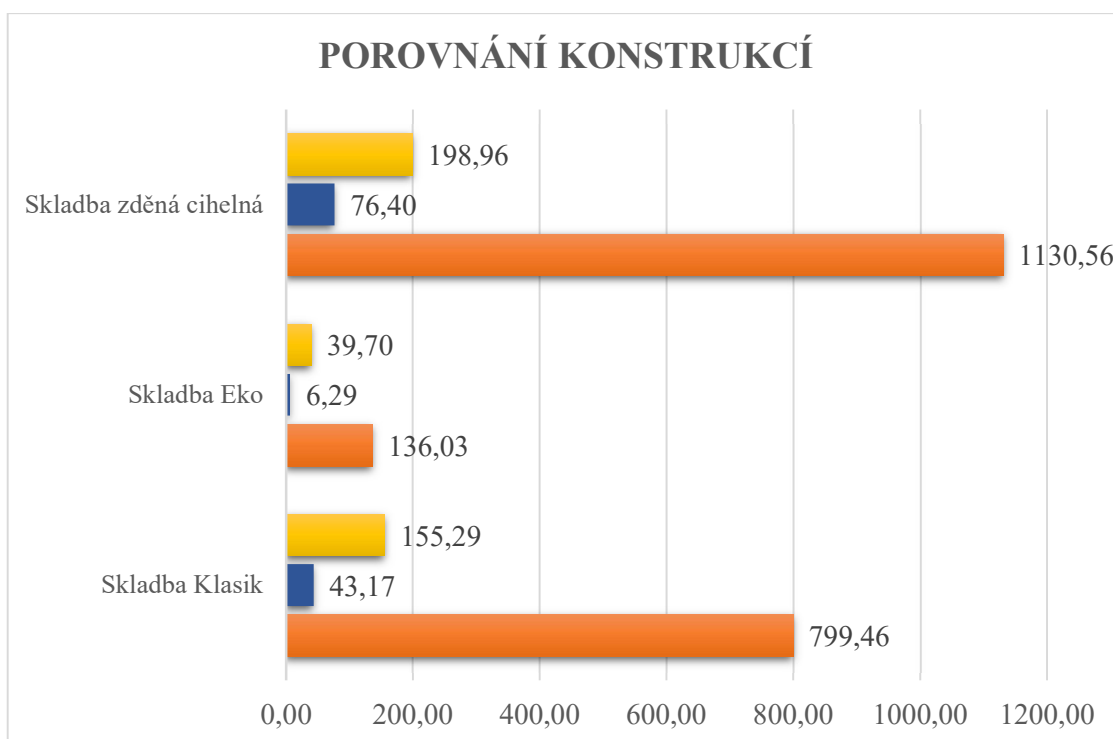
Název	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné
Omítka sádrová	15	0,99
Cihla lehčená pálená	300	0,36
EPS 70 F	180	0,038
Omítka vápenocementová	20	0,90
$U = 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$		

(Zdroj: vlastní)

**Tabulka 6 – Porovnání hodnot konstrukce**

Ukazatelé	Skladba Klasik	Skladba Eko	Skladba zděná cihelná	Jednotky
<b>PEI</b>	799,46	136,03	1130,56	MJ/m <sup>2</sup>
<b>GWP</b>	43,17	6,29	76,40	kgCO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>
<b>AP</b>	155,29	39,70	198,96	kg.SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>
<b>d [mm]</b>	470	407,5	515	mm
<b>Plošná hmotnost</b>	67,4	53,3245	53,3245	kg/m <sup>2</sup>

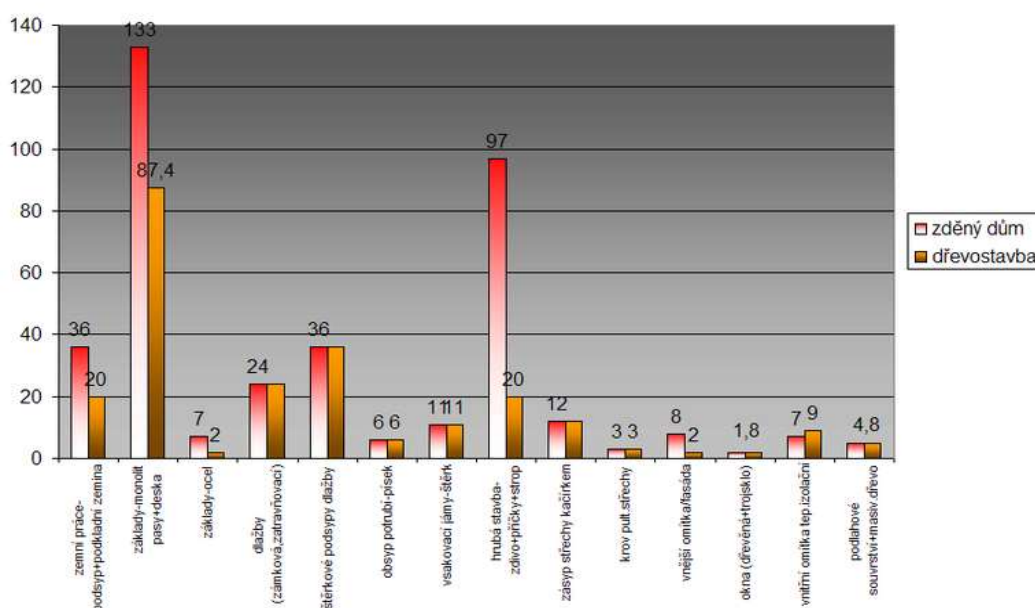
(Zdroj: vlastní)



**Graf 1 – Environmentální porovnání konstrukcí**

(Zdroj: vlastní)

Porovnání hmotností dřevostavba vs.zděný dům



Obrázek 11 - Graf porovnání hmotnosti dřevostavby a zděného domu (Zdroj: [32])

Tabulka 7 – Porovnání hlavních konstrukčních materiálů

NÁZEV MATERIÁLU	GWP	PEI	AP	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Součinitel $\lambda$
Řezivo měkké	0,187	3,353	1,168	400	0,18
Lepené lamelové dřevo	0,456	8,679	2,571	495	0,13
Tvarovka keramická	0,239	2,574	0,546	800	0,15
Tvarovka vápenopísková	0,130	1,279	0,213	1530	0,4

(Zdroj: vlastní)

## 6.2.2 Vyhodnocení konstrukcí

Tabulka č. 6 a graf č. 1 ukazuje porovnání výše zmíněných typů konstrukcí. Nejméně spotřebované primární energie (PEI=136 MJ/m<sup>2</sup>), vyprodukované emise CO<sub>2</sub> (GWP=6,29 kgCO<sub>2</sub>ekv/m<sup>2</sup>) i emise SO<sub>2</sub> (AP=39,70 kg.SO<sub>2</sub>ekv./m<sup>2</sup>) dosahuje výroba 1 m<sup>2</sup> obvodové konstrukce „Ekopanel“. Dřevostavba „Klasik“ vykazuje vyšší hodnoty (PEI=799,5 MJ/m<sup>2</sup>, GWP=43,2 kg.CO<sub>2</sub> ekv./m<sup>2</sup> a AP=155,29 kg.SO<sub>2</sub> ekv./m<sup>2</sup>) a zděná konstrukce pak vykazuje maximálních hodnot dopadu na životní prostředí, v porovnání až 1,5krát vyšší hodnoty než dřevostavba (PEI=1130,5 MJ/m<sup>2</sup>, GWP=76,4 kg.CO<sub>2</sub> ekv./m<sup>2</sup>, AP=199 kg.SO<sub>2</sub> ekv./m<sup>2</sup>).

Výběr hlavního konstrukčního materiálu z hlediska ekologie se jasně přiklání k dřevěné konstrukci. Rozdíl mezi přírodním a syntetickým materiálem je v procesu

výroby a chemických modifikací přírodní látky. Dřevo je čistě přírodní materiál, a proto je vhodnější pro ekologickou stavbu. Pro další účely budou upravovány pouze skladby s vyššími hodnotami, tedy dřevostavby „klasik“ a skladba zděné konstrukce.

V tabulce č. 7 jsou uvedeny údaje parametrů jednotlivých hlavních konstrukčních materiálů z katalogu parametry přírodního materiálu (dřevo) i materiálu zděného. Hodnoty parametrů jsou uvedeny pouze na kg materiálu, proto není vhodné je vzájemně porovnávat. Hodnoty se musí upravit pro hmotnosti stavby. Hmotnost hrubé stavby dřevostavby je několikanásobně lehčí než zděné stavby, podle příkladu na obrázku č. 11 by to bylo v porovnání až 5krát lehčí.

### **6.3 Porovnání jednotlivých materiálů**

Druhou částí je rozbor ekologických dopadů jednotlivých materiálů. Po volbě svíslé konstrukce existuje několik dalších aspektů, které ovlivní celkový dopad stavby na životní prostředí. Pro účely a rozsah této práce bude provedena analýza pouze izolačního materiálu a omítek.

#### **6.3.1 Izolační materiál**

Izolace je jedním z nejdůležitějších materiálů pro výstavbu nízkoenergetického nebo pasivního ekologického domu.

V českém katalogu Envimat jsou k nalezení pouze některé izolace, proto jsem pro další přírodní materiály využila jiný, a to rakouský katalog IBO [31]. Vedle běžně používaných izolací jako je EPS polystyren a minerální vlna, jsou dnes častěji používané různé přírodní tepelně-izolační materiály. Mezi ně patří ovčí vlna, celulóza, dřevovláknitá izolace, korek, konopí, len nebo sláma. Tyto materiály budou předmětem srovnání jejich environmentálních ukazatelů a jejich cenové hladiny na trhu.

V katalogu jsou údaje uvedeny na 1 kg materiálu, tyto hodnoty pak spolu nelze porovnávat. Ke splnění požadavku prostupu tepla bude množství tepelné izolace pro každý materiál jiné, proto je nutné zavedení požadavku určitého součinitele prostupu tepla. Hodnota součinitele prostupu tepla je stanovena na hodnotě  $U=0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  a bude stejná pro všechny materiály. Takto s pomocí hodnot hustoty, tepelné vodivosti, je pak dopočtena potřebná tloušťka materiálu a hmotnost materiálu na  $1 \text{ m}^2$ . Tepelný odpor je přímo úměrný tloušťce ( $d$ ) vrstvy izolantu a jeho součiniteli tepelné vodivosti ( $\lambda$ ).

$$U = \lambda / d \text{ [(W/m}^2\text{.K)]}$$

V další tabulce č.8 je uveden přehled izolací, jejich objemová hmotnost, součinitel tepelné vodivosti a vypočtená požadovaná tloušťka dle požadovaného součinitele prostupu tepla.

**Tabulka 8 – Přehled izolací a jejich vlastností**

Název materiálu	$\rho$ (průměrná) [kg/m <sup>3</sup> ]	Průměrný souč. $\lambda$	UPOŽ = $\lambda/d$	$d_{pož}$	hmotnost na 1m <sup>2</sup>
EPS	30	0,035	0,20	0,175	4,20
XPS	32	0,034		0,170	4,35
Minerální vlna	32	0,036		0,180	4,61
Dřevitá vlna u=20 %	45	0,08		0,400	14,40
Celulózová vlákna	60	0,039		0,195	9,36
PUR desky	35	0,022		0,110	3,08
Polyuretanová pěna	20	0,035		0,175	2,80
Expandovaný Perlit	60	0,04		0,200	9,60
Pěnové sklo	110	0,04		0,200	17,60
Ovčí vlna konopí	10-30 30	0,042 0,04		0,200	1,68-5,04 4,80
Dřevovláknitá	50	0,038		0,180	7,60
Sláma	90	0,052(dle měření FASBA)		0,260	18,72
Sláma - Ekopanel	379	0,099		0,495	151,60
Len	32	0,039		0,195	4,99

(Zdroj: vlastní)

V následující tabulce č. 9 můžeme vidět hodnoty environmentálních ukazatelů jednotlivých materiálů přepočtených na m<sup>2</sup>.

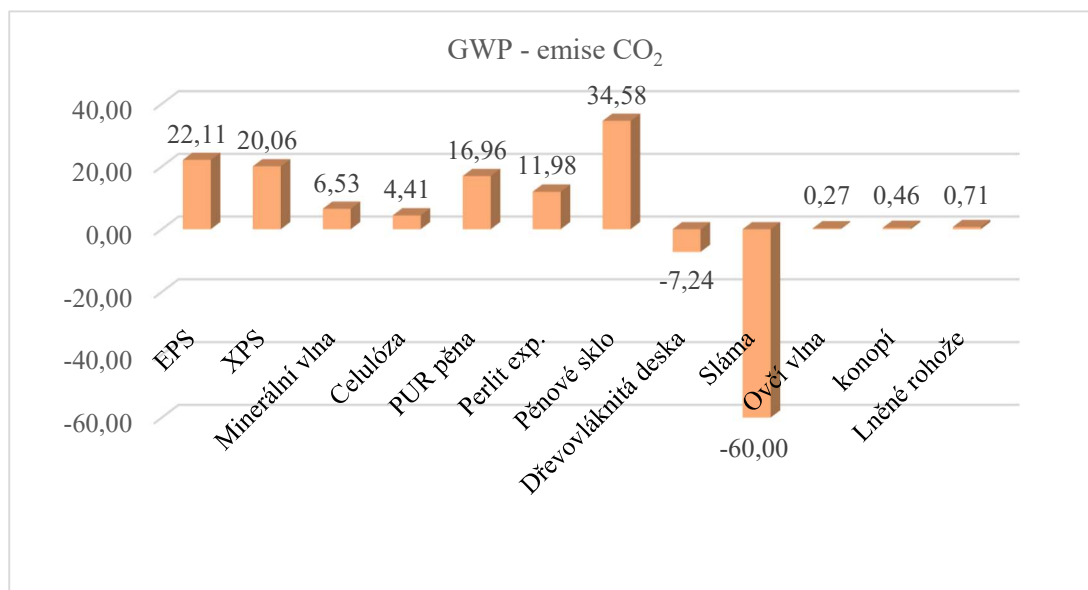
**Tabulka 9 – Environmentální ukazatele izolací přepočtené na m<sup>2</sup>**

Materiál	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	UPOŽ ( $\lambda/d$ )	$d_{pož}$ [m]	kg na 1 m <sup>2</sup> [kg]	GWP	PEI	AP	Zdroj:
EPS	30	0,2	0,175	5,25	22,11	551,63	78,225	Envimat
XPS	32		0,170	5,25	20,06	506,70	70,308	Envimat
Minerální vlna	32		0,180	5,76	6,53	116,31	48,144	Envimat
Dřevitá vlna	45		0,400	18,00	1,12	20,61	5,616	Envimat
Celulózová vlákna	60		0,200	12,00	4,41	85,73	34,859	Envimat
PUR pěna	20		0,175	3,50	16,96	347,43	70,973	Envimat
Perlit expandovaný	60		0,200	12,00	11,98	195,19	36,484	Envimat
Pěnové sklo	110		0,200	22,00	34,58	771,34	86,291	Envimat



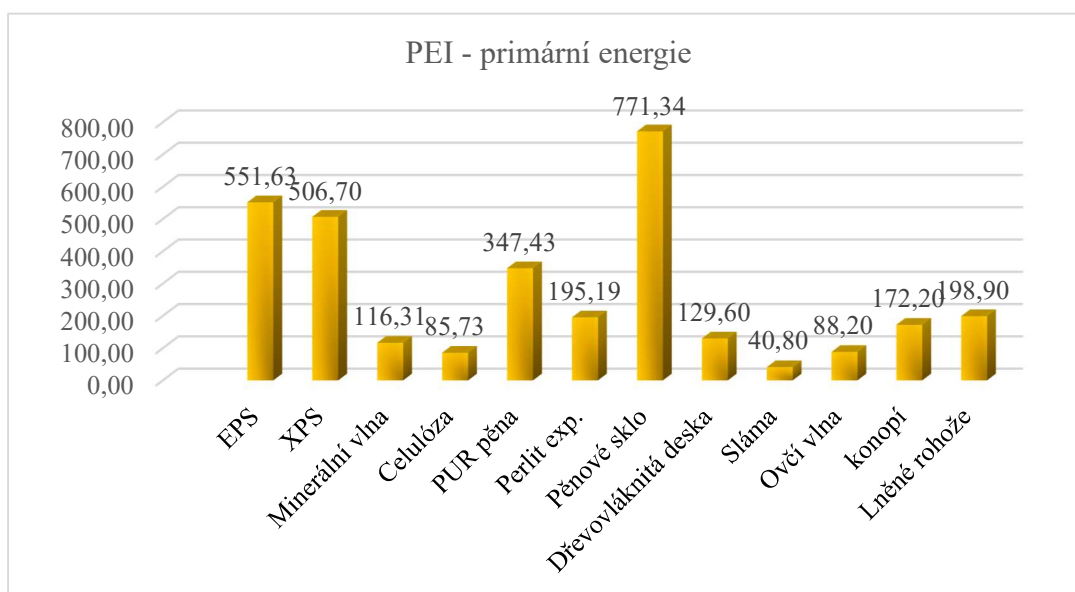
Materiály neuvedené v katalogu Envimat:								
Dřevovláknitá měkká izolace	50	0,2	0,180	9,00	-7,24	129,60	0,036	IBO
Sláma	150		0,320	48,00	-60,00	40,80	0,042	IBO
Ovčí vlna	30		0,200	6,00	0,27	88,20	0,016	IBO
Konopí	30		0,200	6,00	0,46	172,20	0,028	IBO
Lněné rohože	30		0,195	5,85	0,71	198,90	0,045	IBO

(Zdroj: vlastní)



**Graf 2** – Ukazatel GWP na m<sup>2</sup> pro jednotlivé izolace

(Zdroj: vlastní)



**Graf 3** – Ukazatel PEI na m<sup>2</sup> pro jednotlivé izolace

(Zdroj: vlastní)

Grafy 2 a 3 ukazují hodnoty primární energie materiálů (PEI) a produkce emisí CO<sub>2</sub> (GWP) jednotlivých izolací. PEI i GWP vykazuje nejvyšší hodnoty u látek, které jsou ropného původu, expandovaný polystyrén (EPS), PUR pěna, pěnové sklo. Nejlepších hodnot pak dosahuje například sláma, ovčí vlna nebo foukaná celulóza.

### 6.3.2 Analýza cen izolací

Sestavila jsem tabulku, kde jsou uvedeny izolační materiály dle kategorií:

- pěnové izolační materiály,
- minerální,
- alternativní (přírodní) a
- ostatní

**Tabulka 10 – Analýza cen izolací**

<b>1. PĚNOVÉ IZOLAČNÍ MATERIÁLY</b>				
<b>EPS 70 F</b>		$d_{\text{pož}}=180 \text{ mm}$	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce 1	Isover	$d=100 \text{ mm}$	1000x500	209
Značka/Výrobce 2	Styrotrade		1000x500	93
Značka/Výrobce 3	BACHL		1000x500	78
			<b>Průměrná cena</b>	<b>127</b>
<b>XPS Fasádní</b>		$d_{\text{pož}}=170 \text{ mm}$	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce 1	Fibran	$d=100 \text{ mm}$	1250x600	245-450
Značka/Výrobce 2	Isover		1250x600	245-270
Značka/Výrobce 3	EDILTEC		1250x600	245
			<b>Průměrná cena</b>	<b>291</b>
<b>PUR DESKY</b>		$d_{\text{pož}}=110 \text{ mm}$	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce 1	PCC MORAVA - CHEM s.r.o.	$d=100 \text{ mm}$	1000x600	630
Značka/Výrobce 2	Bachl		1250 x 625	740
			<b>Průměrná cena</b>	<b>685</b>
<b>PUR nástřik</b>		$d_{\text{pož}}=180 \text{ mm}$	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce 1	PUR SOFT	$d=100 \text{ mm}$	-	270
			<b>Průměrná cena</b>	<b>270</b>
<b>PĚNOVÉ SKLO - DESKY</b>		$d_{\text{pož}}=200 \text{ mm}$	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>

Značka/Výrobce 1	Foamglas	d=100 mm	1200x600	<b>1250 - 1900</b>
Značka/Výrobce 1	Glapor	d=100 mm	800x600	<b>1000 - 1210</b>

## 2. MINERÁLNÍ IZOLAČNÍ MATERIÁLY

MINERÁLNÍ VLNA KAMENNÁ		d <sub>pož</sub> =180mm	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>	
Značka/Výrobce 1	Knauf	d=100 mm	1000x600	235	460
Značka/Výrobce 2	Isover		1000X600	105	235
Značka/Výrobce 3	Rockwool		1000x600	200	240
			<b>Průměrná cena</b>	<b>246</b>	

## 3. ALTERNATIVNÍ IZOLAČNÍ MATERIÁL

DŘEVOVLÁKNITÁ IZOLACE		d <sub>pož</sub> =180mm	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>	
Značka/Výrobce 1	STEICO	d=100 mm	1220 x 575	252	
Značka/Výrobce 2	PAVATEX		1100x600	248	
			<b>Průměrná cena</b>	<b>250</b>	

SLÁMA - balíky slámy		d <sub>pož</sub> =260mm	Rozměr	*Kč/ks	Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce	Zemědělci - Zlínský kraj	-	350x470x800	35	93
Značka/Výrobce	Zemědělci - Jihomoravský kraj		300x400x750	30	100
			<b>Průměrná cena</b>	<b>97</b>	

SLÁMA - panelová konstrukce		d <sub>pož</sub> =260mm	Poznámka
Značka/Výrobce 1	SLAMAFLEX	-	Panely zdí, v ceně většinou zahrnut materiál i práce
Značka/Výrobce 2	Prirodnstavba		Slaměný panel bez omítky - SLAMAFLEX: 2000 Kč/m <sup>2</sup>

SLÁMA - EKOPANEL		d <sub>pož</sub> =500mm	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce	Ekopanely s.r.o.	d=58 mm	1200x800	<b>295</b>

KONOPI		d <sub>pož</sub> =200	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce 1	ECOFLEX	d=100 mm	1200x600	223
Značka/Výrobce 2	Canabest Plus		1200X600	290
			<b>Průměrná cena</b>	<b>257</b>

LEN		$d_{pož}=200$ mm	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce 1	NATURIZOL	d=100 mm	1200x600	198
Značka/Výrobce 2	Bio Flex		1200X600	228
			<b>Průměrná cena</b>	<b>213</b>

Ovčí vlna		$d_{pož}=200$ mm	Rozměr	*Cena Kč/m <sup>2</sup>
Značka/Výrobce 1	Naturwool	d=100 mm	10000x1000	99
Značka/Výrobce 2	PAVATEX		1200X600	207
			<b>Průměrná cena</b>	<b>153</b>

#### 4. OSTATNÍ MATERIÁLY

Celulóza		$d_{pož}=200$	cena Kč/m <sup>3</sup> bez DPH
Značka	Climatizer Plus	-	do dutiny asi 1000-3500 Kč/m <sup>3</sup> (V ceně materiál i foukání - aplikace)
Značka	Tempelan - Enroll		<b>Cena za tl. 100 mm:100 - 350 Kč/m<sup>2</sup></b>

EXPANDOVANÝ PERLIT - sypaná izolace		Rozměr	Poznámka
Výrobce	Heluz	pytel o objemu 0,12 m <sup>3</sup>	Použití jako násypná izolace, přídavek do betonů, omítek, zateplení střech, podkroví atd.
		*Cena/pytel:	<b>298 Kč</b>

(Zdroj: vlastní)

d = tloušťka nalezené izolace

$d_{pož}$  = požadovaná tloušťka pro  $U = 0,20$  W/m<sup>2</sup>·K

\*Všechny ceny byly stanoveny bez DPH z cenových katalogů výrobců nebo jejich dodavatelů v roce 2020

Následně byl do tabulky č.11 proveden přehled ekologického i ekonomického kritéria. Pro lepší orientaci byly zavedeny 3 cenové kategorie. První kategorií je levný materiál, druhou kategorií je cenově přijatelný materiál. Třetí a poslední kategorií je dražší materiál, který se pohybuje nad 500 Kč/m<sup>2</sup>. Každý materiál byl již ohodnocen z hlediska ekologie třemi ukazateli PEI, GWP a AP, těmito kritériím byly přiděleny body následovně:

- minimální hodnota ukazatele: 12 bodů

- maximální hodnota ukazatele: 1 bod

Při sečtení všech kritérií byly stanoveny následující kategorie:

1. 33–28 bodů: Velmi vhodné materiály
2. 27–21 bodů: Vhodné materiály
3. 20–13 bodů: Méně vhodné materiály
4. 12–0 bodů: Nevhodné

**Tabulka 11** – Přehled izolací dle cenových kategorií

EKONOMICKÝ FAKTOR		EKOLOGICKÝ FAKTOR
1.LEVNÝ	EPS	Nevhodný
	Sláma	Velmi vhodný
	Ovčí vlna	Velmi vhodný
	Celulózová vlákna	Vhodný
	Expandovaný Perlit	Méně vhodný
2. CENOVĚ PŘIJATELNÝ	XPS	Nevhodný
	PUR nástřik	Nevhodný
	Minerální vlna kamenná	Méně vhodný
	Dřevovláknitá izolace	Velmi vhodný
	Konopí	Vhodný
	Len	Vhodný
3.DRAHÝ nad 500 Kč/m <sup>2</sup>	Pěnové sklo	Nevhodný
	PUR desky	Nevhodný

(Zdroj: vlastní)

### 6.3.3 Vyhodnocení izolací:

Z hlediska ekologie je volba izolace z přírodního materiálu velmi důležitá. Mezi levné a běžně užívané izolační materiály můžeme zařadit polystyren EPS, který ale není z hlediska ekologie vhodný, vykazuje nejvyšší hodnoty ukazatelů. S podobnými environmentálními dopady jako EPS jsou i PUR desky nebo pěnové sklo. Obě tyto varianty PUR desky a desky z pěnového skla patří mezi draží izolace. Ceny jsou od 600 Kč a dosahují podle vlastností až 1700 Kč/m<sup>2</sup>. Pěnové sklo se využívá spíše jako sypaná izolace do základových konstrukcí, desky z pěnového skla jsou dražší, a to od 1000 až do 1900 Kč/m<sup>2</sup> a používají se do zatěžovaných podlah nebo střeš. Dalším hodnoceným materiálem je minerální vlna kamenná, která se využívá pro izolaci stěn nebo střeš. Spadá do cenově přijatelné kategorie, za 100 mm izolace stavitel zaplatí asi 250 Kč/m<sup>2</sup>, z hlediska ekologie není příliš vhodná, ovšem je lepší než použití polystyrenu EPS. Z alternativních materiálů je nejlevnější sláma. Cena slámy závisí na způsobu použití.

Lze použít balíky slámy, které se dají pořídit i do 100 Kč/ks. Ze slámy se také vyrábí panelové konstrukce, které jsou pak dražší, do ceny se často promítá i cena montáže, tj. stavby stěn z těchto panelů. Další variantou je slaměný ekopanel, který se vyrábí v tloušťkách 40 nebo 60 mm a lze ho pořídit do 300 Kč/m<sup>2</sup>. Balíky slámy i ekopanel dosahují výborných ekologických vlastností, sláma je nezávadná a pro ekologickou stavbu velmi vhodná. Za slaměnou izolaci se hned řadí další velmi levné a zároveň ekologicky šetrné materiály z ovčí vlny, dřevovláknité izolace i celulóza.

Ovčí vlna se dá pořídit okolo 150 Kč/m<sup>2</sup> za desku tloušťky 100 mm. Cenově příznivá je pak i dřevovláknitá izolace, ta se vyrábí ve formě desek variabilních vlastností, např. značky STEICO nebo PAVATEX. Jako výplňová izolace do obvodových stěn, střech a příček se dají pořídit rohože okolo 250 Kč/m<sup>2</sup> za 100 mm izolace. Další levnou alternativou je celulóza, izolace z celulózy se provádí foukáním, nejčastěji se používá do vodorovných konstrukcí a šikmých střech, ale lze ji použít do svislých stěn. Cena se pohybuje mezi 1000 až 2000 Kč/m<sup>3</sup>, dle typu konstrukce.

Další izolací aplikovanou sypáním je perlit expandovaný, který se používá jako výplňová nebo násypná izolace. Cena za pytel objemu 0,12 m<sup>3</sup> je asi 300 Kč. Perlit expandovaný se řadí do 2. kategorie méně vhodných izolací. Mezi mírně dražší, ale stále cenově přijatelná přírodní izolace, patří konopí nebo lněné rohože, 100 mm rohože se dají pořídit od 200 Kč/m<sup>2</sup>. Řadí se do kategorie ekologicky vhodných materiálů.

Kombinací faktorů ekonomického i ekologického navrhuji jako nejlepší izolace:

- ovčí vlnu,
- slámu,
- dřevovláknitou izolaci,
- celulózu.

#### **6.3.4 Omítky**

Na první pohled jsou omítky jen nepatrným prvkem v konstrukci, ale z hlediska celé stavby může ovlivnit ekologickou stopu budovy.

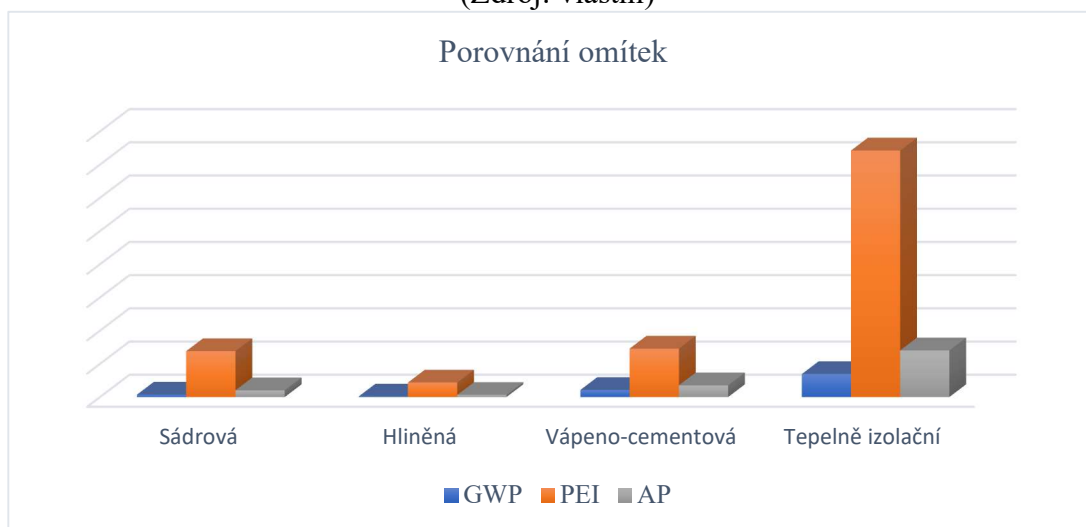
Z katalogu byly vybrány:

- Omítka sádrová
- Omítka hliněná
- Omítka vápenocementová
- Omítka tepelně-izolační

**Tabulka 12** – Environmentální porovnání omítek

OMÍTKY	$\rho$	GWP	PEI	AP
Název	kg/m <sup>3</sup>	kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>	MJ/m <sup>2</sup>	kgSO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>
Omítka sádrová	1800	1,450	27,678	4,087
Omítka hliněná	1815	0,348	8,747	1,299
Omítka vápenocementová	2000	4,263	29,193	7,081
Omítka tepelně izolační	1800	13,859	148,491	28,102

(Zdroj: vlastní)



**Graf 4** – Environmentální porovnání omítek

(Zdroj: vlastní)

**Tabulka 13** – Porovnání cen hliněné omítky a běžně používaných

Omítky pro dřevostavby (DOK)**	penetrace (Kč/m <sup>2</sup> )	jádru (Kč/m <sup>2</sup> )	štuk (Kč/m <sup>2</sup> )	Celkem Kč/m <sup>2</sup> (bez DPH) *	Rozdíl ceny
<b>Omítka vápenocementová</b>					
Výrobce: Cemix	7	108	16	131	69 %
<b>Sádrová omítka</b>	penetrace	omítka	-		
Výrobce: Cemix	7	145	-	152	80 %
<b>Hliněná omítka</b>	nátěr přílnavostní	jádru	štuk		
Výrobce: Cemix	3	153	35	191	-

(Zdroj: vlastní)

\*ceny byly stanoveny jako průměrné bez DPH

\*\*DOK = difuzně otevřená konstrukce

Při snaze o úsporu energie a výstavbě ekologicky šetrných domů se začalo opět s využíváním hlíny, jako nepálené cihly nebo hliněné omítky. Z tabulky č. 12 je patrné, že omítka hliněná má nejmenší dopad na životní prostředí, je tedy z hlediska ekologie nejvíce vhodná. Hodnoty jsou přepočteny na  $m^2$  při tloušťce vrstvy 10 mm. Hodnota primární energie PEI je u hliněné omítky 3krát nižší než u vápenocementové nebo sádrové. Největší rozdíl je v porovnání hliněné omítky s tepelně-izolační omítkou, ta je speciálně chemicky upravena pro lepší izolační vlastnosti a vykazuje nejvyšších hodnot, až 17krát vyšších hodnot primární energie než hliněná. Omítky vápenocementové a sádrové jsou častěji používané, vykazují podobných hodnot primární energie, avšak u ukazatelů emisí  $CO_2$  nebo emisí  $SO_2$  vykazuje lepší hodnoty omítka sádrová. Jejich porovnání je vyobrazeno na grafu č. 4.

Z hlediska ceny (znázorněné v tabulce č. 13) je hliněná omítka dražší než běžně používané sádrové a vápenocementové omítky. Cena sádrové oproti hliněné je asi 80 %, cena vápenocementové asi 70 %.

#### 6.4 Konstrukce původní vs. s ekologickými materiály

Porovnání konstrukcí s běžně navrhovanou skladbou a konstrukcí s použitím výše uvedených ekologických materiálů. Ve skladbách je upraven izolační materiál, jeho tloušťka je v závislosti na požadovaném součiniteli prostupu tepla, který je stanoven pod hranicí  $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ .

##### a) Klasická dřevostavba

**Tabulka 14** – Nově navržená skladba s ekologickými materiály

Původní skladba	d [mm]	Nová skladba	d [mm]
Omítka vápenocementová	15	Omítka vápenocementová	15
EPS – fasádní polystyren	150	Dřevovláknitá deska STEICO	140
Sádrovláknitá deska	12,5	Sádrovláknitá deska	12,5
Dřevěné sloupky + minerální vlna	160	Dřevěné sloupky + ovčí vlna	160
Vzduchová mezera	100	Vzduchová mezera	100
Sádrovláknitá deska	12,5	Sádrovláknitá deska	12,5
Omítka sádrová	15	hliněná omítka	15
$U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			

(Zdroj: vlastní)

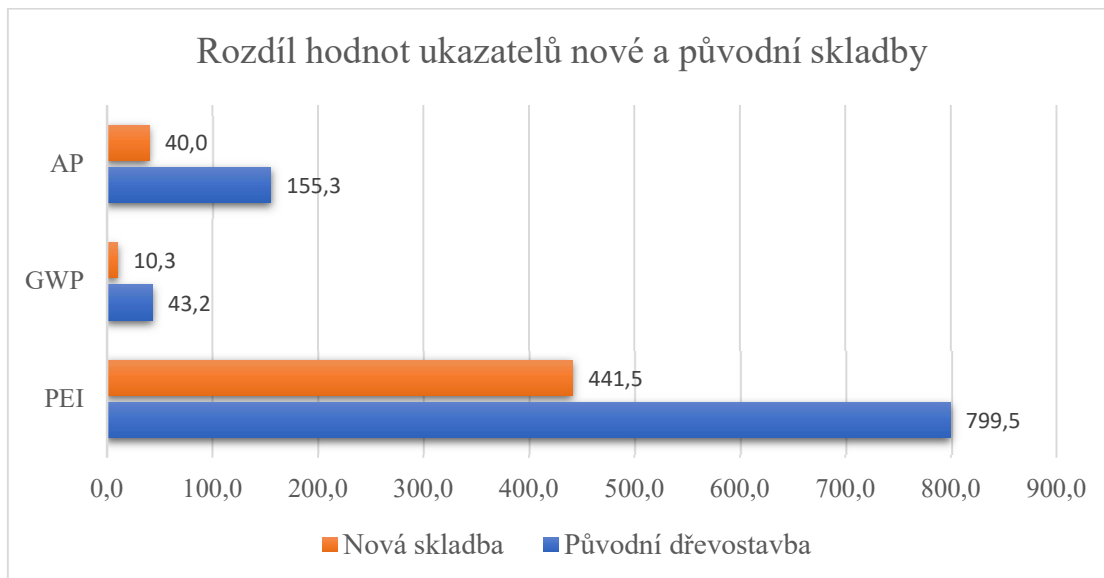
V prvním případě byla nahrazena výplňová minerální izolace izolací z ovčí vlny tloušťky 160 mm. Kontaktní zateplení z EPS bylo nahrazeno dřevovláknitou izolací značky STEICO tloušťky 140 mm a vnitřní vápenocementová omítka za hliněnou.



**Tabulka 15** – Porovnání environmentálního dopadu nové a původní skladby

Ukazatel	Původní dřevostavba	Nová skladba	Jednotky
PEI	799,5	441,5	MJ/m <sup>2</sup>
GWP	43,2	10,3	kgCO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>
AP	155,3	40,0	kg.SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>

(Zdroj: vlastní)



**Graf 5** – Rozdíl environmentálních ukazatelů nové a původní skladby dřevostavby  
(Zdroj: vlastní)

b) Zděná konstrukce

U zděné konstrukce byl nahrazen fasádní polystyren EPS opět za dřevovláknitou desku STEICO celkové tloušťky 180 mm a vnitřní omítka za hliněnou.

**Tabulka 16** – Nově navržená skladba zděné konstrukce s ekologickými materiály

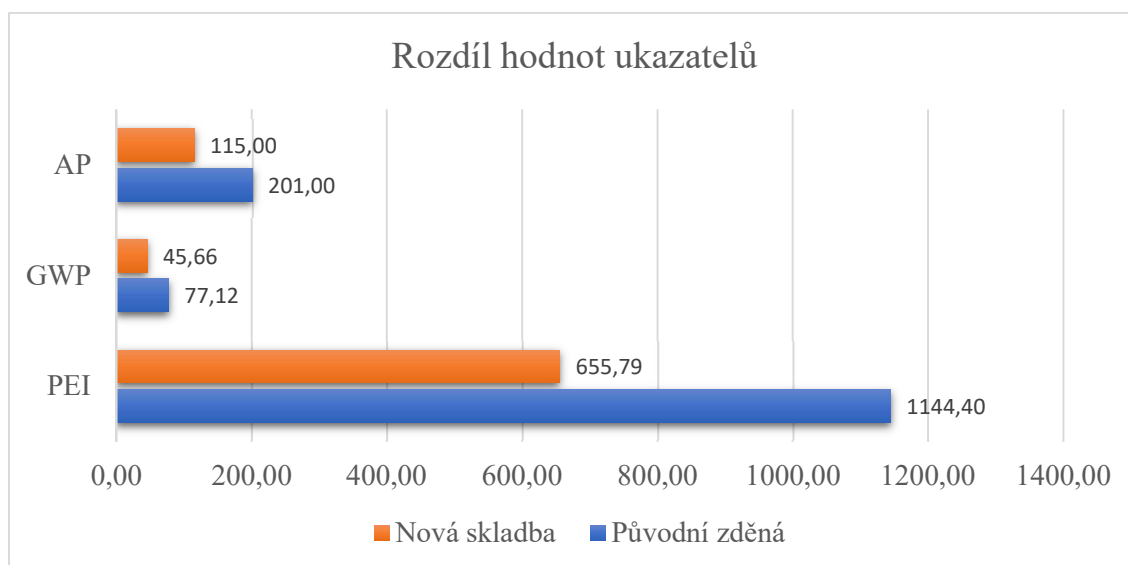
Původní skladba	d [mm]	Nová skladba	d [mm]
Omítka vápenocementová	20	Omítka vápenocementová	20
Cihla lehčená pálená	180	Dřevovláknitá deska STEICO fasádní	180
EPS Polystyren 70 F	12,5	Cihla lehčená pálená	12,5
Omítka vápenocementová	20	hliněná omítka	20
$U = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			

(Zdroj: vlastní)

**Tabulka 17** – Rozdíly environmentálních hodnot původní a nově navržené zděné skladby

Ukazatel	Původní skladba	Nová skladba	Jednotky
PEI	1144,40	655,79	MJ/m <sup>2</sup>
GWP	77,12	45,66	kgCO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>
AP	201,00	115,00	kg.SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>

(Zdroj: vlastní)



**Graf 6** – Rozdíl environmentálních ukazatelů nové a původní skladby zděné konstrukce (Zdroj: vlastní)

V následující tabulce č. 18 je znázorněno cenové porovnání pořízení izolace do konstrukcí obvodových stěn původního a nového návrhu.

**Tabulka 18** – Cenové porovnání izolace v nové konstrukci

Konstrukce 1	Svislé stěny - kontaktní zatepleni	Svislé stěny - výplňová izolace
<b>Původně navržená izolace</b>	EPS	Minerální vlna
tloušťka [mm]	150	160
cena/m <sup>2</sup>	190	400
omítka VC	131	
<b>Nově navržená konstrukce</b>	STEICO Flex	ovčí vlna
tloušťka [mm]	140	160
cena/m <sup>2</sup>	350	245
omítka hliněná	191	

plocha stěn v m <sup>2</sup>	150	
Původní konstrukce	108 150 Kč	
Nově navržená konstrukce	117 900 Kč	
Rozdíl ceny	9%	

(Zdroj: vlastní)

### Vyhodnocení nově navržených konstrukcí:

Při porovnání skladeb původních a skladeb s použitím ekologických materiálů je rozdíl u dřevostavby až trojnásobný, zde byla provedena změna výplňové izolace, izolace fasádní a vnitřní omítky. Hodnota primární energie se snížila o 55 %, emise CO<sub>2</sub> o 70 % a emise SO<sub>2</sub> až o 74 %. (viz tabulka č. 15)

U zděné stavby se jedná pouze o změnu kontaktního zateplení a vnitřní omítky, hodnota primární energie se snížila o 43 %, hodnota emisí CO<sub>2</sub> o 41 % a hodnota emisí SO<sub>2</sub> také o 43 %. (viz tabulka č. 17) Ekologický dopad je tedy znatelně lepší při použití ekologických materiálů u obou typů konstrukce.

Z tabulky č. 18 je patrné, že navržení skladby využitím ekologických materiálů, nemusí být vždy o moc dražší než běžně používané materiály. V tomto případě se cena investice liší do 10 %. Cena je pouze orientační, nejsou zde zahrnuty doplňkové materiály, rozdílnost aplikace a podobně. Pro ohodnocení ceny izolací do konstrukce dřevostavby bylo uvažováno pořízení izolačního materiálu na stavbu (viz příloha č.4) o ploše stěn 150 m<sup>2</sup>.

## 7 Závěr

Tématem bakalářské práce byly dřevostavby, jejich pasivní standard a jejich ekologická výstavba. V teoretické části byly uvedeny pojmy související s tematikou. Nejprve byly obecně popsány dřevostavby, jejich vývoj a dnešní systémy těchto konstrukcí. Posléze byla tematika rozvinuta o udržitelný rozvoj, pasivní a nízkoenergetickou výstavbu, a jak lze efektivně využít dřevostavby pro pasivní bydlení. Bylo probráno financování pasivního domu s využitím dotací a princip ekologických hodnocení budov a materiálů. V konečné části teorie byly uvedeny některé materiály přírodní substance používané pro ekologickou výstavbu.

Cílem praktické části této práce bylo vyhodnocení dopadů výstavby na životní prostředí a vhodné využití přírodních materiálů pro výstavbu s přihlédnutím k ekonomickému faktoru. Ekologické hodnocení bylo provedeno pomocí environmentálních ukazatelů pro jednotlivé typy konstrukcí a materiály. Byly využity katalogy Envimat.cz a IBO katalog. V prvním kroku byl porovnán současný stav, jednotlivé skladby konstrukcí byly vybrány z katalogu Envimat. Nejvyšších hodnot environmentálních kritérií dosahovala výroba zděné konstrukce, primární energie vykazovala vysokých hodnot  $1036 \text{ MJ/m}^2$ . Klasická dřevostavba pak dosáhla lepších výsledků, a to hodnoty PEI  $799,5 \text{ MJ/m}^2$ . Nejmenších hodnot dosáhla skladba z ekopanelů,  $124 \text{ MJ/m}^2$ . U ostatních parametrů jsou poměry podobné, nejvíce spotřeby emisí  $\text{CO}_2$  opět produkuje výroba zděné stavby, asi  $73 \text{ kg CO}_2\text{ekv./m}^2$ , dřevostavba cca  $43 \text{ kg CO}_2\text{ekv./m}^2$ . Výběr hlavního konstrukčního materiálu z hlediska ekologie se jednoznačně přiklání k dřevostavbě ať už klasické rámové, panelové i masivní.

V dalším kroku byly vyhodnocovány jednotlivé materiály vstupující do konstrukce. Dostí významným prvkem v konstrukci jsou izolace, jejichž výroba a původ materiálu ovlivňuje celkové environmentální hodnocení budovy. Kromě běžně používaných materiálů jako EPS, XPS nebo minerální vlna jsou dnes na trhu materiály vykazující daleko menší dopady na životní prostředí. Ekonomická analýza jednotlivých materiálů byla provedena dle katalogu cen výrobců nebo jejich odběratelů na současném trhu.

Poté byly vybrány z obou analýz izolací nejlepší materiály pro ekologickou výstavbu, jedná se o ovčí vlnu, slámu, dřevo-vláknité izolační materiály a izolaci z celulózy. Tyto materiály se vyznačují nízkými hodnotami environmentálních ukazatelů a zároveň jsou pro stavebníka cenově přijatelné. Hodnota primární energie se u těchto materiálů pohybovala do  $130 \text{ MJ/m}^2$  a hodnota emisí  $\text{CO}_2$  do  $5 \text{ kgCO}_2\text{ekv./m}^2$ . Další hodnocené prvky byly omítky, kde se opět porovnávaly environmentální ukazatele a jejich cena na  $\text{m}^2$ . Ze srovnání vyplynulo, že z omítek jsou ekologicky vhodné hliněné omítky, ale je u nich nárůst ceny o 25 % oproti sádrové a o 45 % oproti vápenocementové. Hliněné omítky utlačují vysokofrekvenční záření a ochraňují dřevěné konstrukce dřevostaveb, také regulují vlhkost v interiéru, dobře akumulují teplo. [1]

V konečné fázi byly porovnány skladby konstrukcí z první části a skladby upravené o ekologické materiály. Ve skladbách byly upraveny materiály izolací a omítky byly nahrazeny hliněnými. Pak byla provedena jejich porovnání z hlediska ekologického dopadu, kde můžeme vidět rozdíl původního stavu oproti nově navržené konstrukci. U dřevostavby se hodnota všech ukazatelů snížila o více než 50 % (např. hodnota PEI se snížila na 441 MJ/m<sup>2</sup>) a u zděné stavby o více než 40 % (pro příklad hodnota PEI se snížila na 655,8 MJ/m<sup>2</sup>).

Při hodnocení a porovnání byla velkou nevýhodou neznalost environmentálních ukazatelů některých materiálů pro české prostředí, proto se muselo využívat i jiného katalogu než českého. Hodnocení některých materiálů vycházelo z rakouského IBO katalogu, který je podobný podmínkám jako v ČR. Autoři českého katalogu slibují, že se časem bude databáze postupně doplňovat a rozvíjet, tyto informace by měly sloužit pro budoucí udržitelnou výstavbu a výběr vhodných materiálů.

Práce by se dala rozšířit o další hodnocené materiály nejen izolací, ale také například výplní otvorů, materiálů pro podlahy, alternativní zakládání či jiných konstrukcí. Dále také by se dalo zaměřit na celkový kontext ekologické budovy, její zasazení do okolí či zaměření se na technologie pasivního domu.

Z perspektivy této práce vzhledem k udržitelnému rozvoji vyplývá, že stavění pasivních domů je efektivní variantou pro snížení celkové energie na výstavbu. Klíčové pro dřevostavbu je zabudování tepelné izolace do konstrukce, a proto nárůst tloušťky konstrukce pasivního standardu není tak markantní. Pro environmentálně šetrný návrh budovy jsou pro konstrukční i tepelně izolační materiály velmi vhodné hmoty přírodní. V případě dřevostavby využití přírodních izolačních materiálů zvyšuje ekologickou nezávadnost stavby. Jak také plyne z práce, kombinací hodnoty celospolečenského zájmu o snížení ekologického dopadu a dlouhodobých nákladů pasivní stavby se stává řešení dřevostavby s využitím vhodných ekologických materiálů velmi výhodné. Dlouhodobé náklady zahrnující náklady na investice, reinvestice, údržbu a provozní energie, jsou v dlouhodobém měřítku stejné. Navíc u pasivních staveb klesá závislost na dodávkách energie, zatížení životního prostředí je nižší a vytváří lepší kvalitu vnitřního prostředí. Společnost by se měla snažit o stavby v souladu s vizí udržitelné výstavby. Poměr využití obnovitelných materiálů se rok od roku zvyšuje a můžeme doufat, že tomu tak bude i nadále. Myslím si, že udržitelná výstavba má smysl a může mít příznivý vliv na člověka, zdraví, kvalitu ovzduší a vlastně celé životní prostředí.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] HUDEC, Mojmir a Blanka JOHANISOVÁ. A6 - Použití přírodních materiálů a principů (udržitelnost). Brno: Národní stavební centrum, 2012. ISBN 978-80-87665-05-3.
- [2] RŮŽIČKA, Martin. *Moderní dřevostavba*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5.
- [3] VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.
- [4] Co je dřevostavba a jaké jsou její druhy: Základní druhy dřevostaveb. *Dřevo&Stavby* [online]. 2014, 09.12.2014 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/3006-co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy>
- [5] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [6] KUTHAN, Jiří. Těžký dřevěný skelet: dřevostavby plné vzdušnosti a světla. *Dřevo&Stavby* [online]. 2019, 21. říjen 2019 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5680-tezky-dreveny-sleket-drevostavby-plne-vzdusnosti-a-svetla>
- [7] ČEJKA, Michal, Ing. *Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů*. In: *TZB-info: Stavba* [online]. Praha: Topinfo, 2017, 16.1.2017 [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu>
- [8] HUDEC, Mojmir, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. *Pasivní domy z přírodních materiálů*. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.
- [9] Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 5.12.1991, částka 4, s. 82. Dostupný také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17>
- [10] HUDEC, Mojmir. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. Praha: Grada, 2008. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2555-0.

- [11] *Pasivní stavby: Úvod*. [online]. Zlín: Pasivní stavby [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <http://pasivni-stavby.com>
- [12] ŘEPÍK, Michal. *Navrhni svůj ekodům*. Brno: Lipka - školské zařízení pro environmentální vzdělávání, 2013. Metodický materiál pro učitele. ISBN 978-80-87604-54-0.
- [13] Směrnice evropského parlamentu a Rady EU 2002/91/ES ze dne 16. prosince 2002 o energetické náročnosti budov, In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2002, svazek 2, [cit. 2020-05-26]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:02002L0091-20081211&from=MT>
- [14] Směrnice evropského parlamentu a Rady EU 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (přepřpracování), In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2010, [cit. 2020-05-26]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>
- [15] ČSN 730540-2:2011. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [16] Nařízení evropského parlamentu a Rady EU č. 305/2011 ze dne 9. března 2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh a kterým se zrušuje směrnice Rady 89/106/EHS, In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2011, [cit. 2020-05-26]. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32011R0305>
- [17] *Změna klimatu* [online]. Praha: Ministerstvo Životního prostředí [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/klimaticko\\_energeticky\\_balicek\\_2030](https://www.mzp.cz/cz/klimaticko_energeticky_balicek_2030)
- [18] Podíl energie z obnovitelných zdrojů. In: *Evropská komise* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/f/fl/Renewable\\_energy\\_highlight\\_FP2019-CS.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/f/fl/Renewable_energy_highlight_FP2019-CS.png)
- [19] Dotace a půjčky [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.sfzp.cz/dotace-a-pujcky>
- [20] Optimalizace návrhu pasivního domu. In: *iMaterialy.cz* [online]. Praha, 12.12.2019 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/kominv-energeticky-uspornem-dome-1\\_47583.html#](https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/kominv-energeticky-uspornem-dome-1_47583.html#)

- [21] BROTÁNKOVÁ, Klára a Aleš BROTÁNEK. *Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3969-4.
- [22] HODKOVÁ, Julie, Antonín LUPÍŠEK, Štěpán MANČÍK, Luděk VOCHOC a Tomáš ŽĎÁRA. *Envimat.cz jako nástroj pro hodnocení environmentální kvality stavebních prvků* [online]. 2011 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: [http://www.envimat.cz/public/files/Envimat\\_Info\\_Article.pdf](http://www.envimat.cz/public/files/Envimat_Info_Article.pdf)
- [23] HODKOVÁ, Julie, Antonín LUPÍŠEK, Štěpán MANČÍK, Luděk VOCHOC a Tomáš ŽĎÁRA. *Envimat – vliv stavebních konstrukcí a materiálů na životní prostředí. TZB-info* [online]. Praha, 23.4.2012 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/8519-envimat-vliv-stavebnich-konstrukci-a-materialu-na-zivotni-prostredi>
- [24] RŮŽIČKA, Jan. *Environmentálně efektivní materiály pro stavební konstrukce. Izolace.cz* [online]. Praha, 3.9.2006 [cit. 2020-05-26]. ISSN 1213-6395. Dostupné z: <https://www.isolace.cz/clanky/environmentalne-efektivni-materialy-pro-stavebni-konstrukce/>
- [25] O SBToolCZ. *SBTool.cz* [online]. Praha, 18.10.2018 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.sbtool.cz/cs/o-sbtoolcz>
- [26] *Environmentální hodnocení budov. Stavebnictvi3000.cz* [online]. 4. 12. 2011, **11**(10) [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/environmentalni-hodnoceni-budov>
- [27] HÁJEK, Petr. *Udržitelná výstavba budov a její uplatňování ve střední Evropě. Stavebnictví* [online]. Praha, 2007, **07**(11-12) [cit. 2020-05-26]. ISSN 1802-2030. Dostupné z: [https://www.casopisstavebnictvi.cz/udrzitelna-vystavba-budov-a-jeji-uplatnovani-ve-stredni-evrope\\_N465%2010](https://www.casopisstavebnictvi.cz/udrzitelna-vystavba-budov-a-jeji-uplatnovani-ve-stredni-evrope_N465%2010)
- [28] ČÁSLAVA, P. *Šetrné bydlení na venkově. Podtitul: porovnání konstrukčních systémů pro pasivní dřevostavby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, 2013. 135 s.
- [29] *Ekopanely* [online]. Přelouč: Ekopanely servis, 2016 [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.ekopanely.cz/>
- [30] GRMELA, Daniel. *Využití slámy ve stavebních konstrukcích - 1.díl*. In: *Izolace-info.cz* [online]. [cit. 2020-05-26]. Dostupné z: <https://www.isolace->



info.cz/aktuality/21816-serial-vyuziti-slamy-ve-stavebnich-konstrukcich-1-dil-  
a.html#.Xs1yTzozZPZ

- [31] BAUBOOK. *Ökologische Bauprodukte*. [Online] Dostupné z:  
<https://www.baubook.info>
- [32] ŠMELHAUS, Pavel. Úspory u stavby rodinného domu na Turnovsku. *TZB-  
info* [online]. 6.1.2012 [cit. 2020-05-26]. ISSN 1801-4399. Dostupné z:  
[https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8171-uspory-u-stavby-rodinneho-domu-na-  
turnovsku](https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8171-uspory-u-stavby-rodinneho-domu-na-turnovsku)

#### Ceníky a katalogy:

- [33] <https://www.isover.cz/produkty>
- [34] <https://www.levnestavebniny.cz/>
- [35] <https://www.dek.cz/>
- [37] <http://www.tepelna-izolace.cz/fibran-eco-xps.html>
- [38] <https://eshop.zofi.cz>
- [39] <https://www.bachl.cz/produkty>
- [40] <https://pur.cz/>
- [41] <https://www.izolace-info.cz/katalog>
- [42] <https://www.e-stavebniny.cz>
- [43] <https://www.izomat.cz/tepelna-izolace>
- [44] <https://stavtese.cz/>
- [45] <https://www.prirodnistavba.cz/>
- [46] <http://www.konopna-izolace.cz>
- [47] <https://www.naturwool.cz>
- [48] <https://www.foukanka.cz/>
- [49] <https://www.climatizer.cz/>
- [50] <https://www.picas.cz/>
- [51] <https://www.cemix.cz/>

## Použité znaky a zkratky

AP	potenciál okyselování prostředí
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
ČSN	česká technická norma
DOK	difuzně otevřená konstrukce
DPH	daň z přidané hodnoty
EP	potenciál eutrofizace prostředí
EPBD	Evropská směrnice o energetické náročnosti budov
EPS	expandovaný polystyren
EPD	environmentální prohlášení o produktu
ES	Evropské společenství
GWP	Global Warming Potential – potenciál globálního oteplování
KVH	konstrukční hranoly ze dřeva
kWh	kilowatthodina, jednotka energie
LCA	Life Cycle Assessment – posuzování životního cyklu
MJ	megajoule
NE	nízkoenergetický dům
ODP	potenciál ničení ozonové vrstvy
OSB	dřevoštěpová deska (Oriented strand board)
PEI	primární vázaná energie
PHPP	návrhový nástroj pasivních budov (Passive House Planning Package)
POCP	potenciál tvorby přízemního ozónu
PUR	polyuretan
RD	rodinný dům
R	tepelný odpor
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
Tj.	to jest
U	součinitel prostupu tepla
XPS	extrudovaný polystyren
d	tloušťka materiálu v
λ	součinitel vodivosti tepla, jednotka W/m.K
ρ	objemová hmotnost, jednotka kg/m <sup>3</sup>

## Seznam obrázků

**Obrázek 1** – Fošnová konstrukce Two by Four

**Obrázek 2** - Porovnání celkové potřeby energie pro jednotlivé energetické standardy

**Obrázek 3** – Schéma principu pasivního domu

**Obrázek 4** – Investiční a provozní náklady na dům

**Obrázek 5** - Optimalizace návrhu pasivního domu

**Obrázek 6** - Podíl energie z obnovitelných zdrojů v roce 2017

**Obrázek 7** – LCA Hodnocení životního cyklu

- Obrázek 8** - Grafická certifikace značky SBToolCZ  
**Obrázek 9** – Proces pojetí udržitelné výstavby  
**Obrázek 10** - Využití slámy ve stavebnictví  
**Obrázek 11** - Graf porovnání hmotnosti dřevostavby a zděného domu

### **Seznam tabulek**

- Tabulka 1** – Porovnání spotřeb a cen energií  
**Tabulka 2** - Přehled zahraničních databází  
**Tabulka 3** – Skladba dřevostavby  
**Tabulka 4** – Skladba „Ekopanel“  
**Tabulka 5** – Skladba zděné konstrukce  
**Tabulka 6** – Porovnání hodnot konstrukce  
**Tabulka 7** – Porovnání hlavních konstrukčních materiálů  
**Tabulka 8** – Přehled izolací a jejich vlastností  
**Tabulka 9** – Environmentální ukazatelé izolací přepočtené na m<sup>2</sup>  
**Tabulka 10** – Analýza cen izolací  
**Tabulka 11** – Přehled izolací dle cenových kategorií  
**Tabulka 12** – Environmentální porovnání omítek  
**Tabulka 13** – Porovnání cen hliněné omítky a běžně používaných  
**Tabulka 14** – Nově navržená skladba s ekologickými materiály  
**Tabulka 15** – Porovnání environmentálního dopadu nové a původní skladby  
**Tabulka 16** – Nově navržená skladba zděné konstrukce s ekologickými materiály  
**Tabulka 17** – Rozdíly environmentálních hodnot původní a nově navržené zděné skladby  
**Tabulka 18** – Cenové porovnání izolace v konstrukcích

### **Seznam grafů**

- Graf 1** – Environmentální porovnání konstrukcí  
**Graf 2** – Ukazatel GWP pro jednotlivé izolace  
**Graf 3** – Ukazatel PEI pro jednotlivé izolace  
**Graf 4** – Environmentální porovnání omítek  
**Graf 5** – Rozdíl environmentálních ukazatelů nové a původní skladby dřevostavby  
**Graf 6** – Rozdíl environmentálních ukazatelů nové a původní skladby zděné konstrukce

### **Seznam příloh**

- Příloha č. 1** – Environmentální analýza konstrukcí  
**Příloha č. 2** – Environmentální a ekonomická analýza izolací  
**Příloha č. 3** – Environmentální a ekonomická analýza omítek  
**Příloha č. 4** – Porovnání nové a původní skladby