

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ  
PRÁCE**

**2019**

**DANIELA  
VANÍČKOVÁ**

**Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**

**Investorské rozhodování s ohledem na svázanou  
energii**

**Vedoucí práce: Ing. Jiří Karásek, PhD.**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vaničková** Jméno: **Daniela** Osobní číslo: **396284**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Projektový management a inženýring**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Investorské rozhodování s ohledem na svázanou energii v budovách**

Název diplomové práce anglicky:

**Investor's decision making based on embodied energy in buildings**

Pokyny pro vypracování:

Rozhodovací procesy  
Návratnost investice  
Svázaná energie  
Případová studie

Seznam doporučené literatury:

Karásek, J. Energy balance modeling of the buildings, Central Europe towards Sustainable Building. Prague: Czech Technical University, 2010, p. 661-664. ISBN 978-80-247-3624-2.  
Zákon číslo 406/2000 sb. ve znění pozdějších předpisů, o hospodaření s energií.  
Tywoniak, J.; Matuška, T.; Staněk, K.; Novák, J.; Růžička, J.; Šenberger, T. Nízkoenergetické domy 3. nulové, pasivní a další, Praha: GRADA PUBLISHING, 2012. ISBN 978-80-247-3832-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. Jiří Karásek, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSV**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **25.09.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **05.01.2020**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jiří Karásek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

Prohlašuji, že jsem předkládanou diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze dne 5.1.2020

.....  
Bc. Daniela Vaníčková

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jiřímu Karáskovi, PhD., za odborné vedení práce, věcné připomínky, vstřícnost a cenné rady do budoucího profesního života.

## **Abstrakt**

Diplomová práce na téma Investorské rozhodování na základě svázané energie se zabývá procesy rozhodování investora při výběru vhodné obálky budovy, která respektuje zásady udržitelné výstavby a orientuje se podle nákladů ekonomických i energetických v průběhu celého životního cyklu stavby. Teoretická část se zaměřuje na úvod do problematiky modelování životního cyklu LCC a LCA. Součástí teoretické části je průzkum dostupných nástrojů a dat, vyhodnocení jejich kvality a možnosti využití při výpočtu svázané energie během životního cyklu budovy. V praktické části práce jsou představeny běžně užívané konstrukční a materiálová řešení obálky budovy rodinného domu, pro které jsou shromážděna data, která jsou následně vyhodnocena na tepelně technické vlastnosti, svázanou energii a náklady na pořízení. Poslední část práce řeší případovou studii rodinného domu, u kterého je posouzena energetická náročnost během provozu stavby a svázaná energie. Pro rodinný dům jsou modelovány kombinace obvodových konstrukcí a jejich energetické a ekonomické chování na základě nashromážděných dat. Pro vyhodnocování svázané energie je použit rakouský kalkulační nástroj Baubook, náklady na pořízení konstrukcí jsou kalkulovány pomocí rozpočtového programu EuroCALC. Výsledkem práce je výběr nevhodnější varianty podle hodnocených kritérií.

## **Klíčová slova**

Svázaná energie, životní cyklus stavby, EPD, konstrukce obálky budovy

## **Abstract**

This thesis about Investor's decision based on embodied energy deals focus on investor's decision-making process how to choose suitable building envelope with respect to principles of sustainable construction and is orientation to economical and energetic costs of building life cycle. The theoretical part focuses on the introduction to LCC and LCA life cycle modeling. Theoretical part includes survey about available tools and datasets, evaluation of their quality and possibility to use it for calculation of bound energy during the building life cycle. Practical part presents commonly used construction and material solutions of the house building envelope and collected data. Data are evaluated for thermal technical factors, embodied energy and cost of acquisition. The last part of the thesis includes a case study of a family house with focus on energy performance during the construction operation and the bound energy. For this case, combination of the peripheral structures and their energy and economic behavior is modeled on the basis of the collected data. The Austrian tool Baubook is used for the evaluation of the bound energy, the cost of construction is calculated on the EuroCALC budget program. Final result of this work is the better view to the most suitable option according to the evaluated criteria.

## **Key words**

Embodied energy, building life cycle, EPD, building envelope construction

## OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
1.1	STANOVENÍ CÍLŮ .....	13
1.2	ZÁKLADNÍ POJMY .....	14
<b>2</b>	<b>ROZHODOVACÍ PROCESY INVESTORA</b> .....	<b>16</b>
2.1	TEORIE ROZHODOVÁNÍ .....	18
2.2	ŽIVOTNOST .....	19
2.2.1	<i>Technická životnost</i> .....	19
2.2.2	<i>Morální životnost</i> .....	20
2.2.3	<i>Ekonomická životnost</i> .....	20
<b>3</b>	<b>EKONOMICKÝ POHLED</b> .....	<b>21</b>
3.1	NÁKLADY ŽIVOTNÍHO CYKLU – LCC ANALÝZA .....	21
3.2	STRUKTURA NÁKLADŮ ŽIVOTNÍHO CYKLU .....	23
3.2.1	<i>Investiční náklady</i> .....	23
3.2.2	<i>Provozní náklady</i> .....	24
3.2.3	<i>Náklady na opravu a údržbu</i> .....	24
3.2.4	<i>Náklady na ekologickou likvidaci</i> .....	24
3.3	ZÁKLADNÍ HODNOTY VSTUPUJÍCÍ DO EKONOMICKÉ ANALÝZY .....	25
3.3.1	<i>Reálná diskontní míra</i> .....	25
3.3.2	<i>Cenový vývoj</i> .....	25
3.3.3	<i>Délka hodnoceného období</i> .....	26
3.4	CASH FLOW .....	27
3.5	VYHODNOCENÍ INVESTICE .....	27
3.5.1	<i>Diskontovaná doba návratnosti <math>T_{sd}</math></i> .....	27
3.5.2	<i>Čistá současná hodnota NPV</i> .....	28
3.5.3	<i>Vnitřní výnosové procento IRR</i> .....	28
<b>4</b>	<b>EKOLOGICKO ENERGETICKÝ POHLED</b> .....	<b>29</b>
4.1	UDRŽITELNÁ VÝSTAVBA .....	29
4.2	SVÁZANÁ ENERGIE .....	29
4.2.1	<i>Sběr dat Českým statistickým úřadem</i> .....	31
4.3	ENVIROMENTÁLNÍ DOPADY .....	34
4.3.1	<i>Úbytek nerostných surovin - primární energie</i> .....	34
4.3.2	<i>Acidifikace půdy a vodních zdrojů</i> .....	34



4.3.3	<i>Eutrofizace</i> .....	34
4.3.4	<i>Globální oteplování</i> .....	35
4.3.5	<i>Úbytek stratosférického ozonu</i> .....	35
4.3.6	<i>Vznik fotooxidantů</i> .....	35
4.4	HODNOCENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU – LCA ANALÝZA .....	36
4.4.1	<i>Fáze 1: Stanovení cílů a rozsahu</i> .....	39
4.4.2	<i>Fáze 2: Inventarizační analýza</i> .....	40
4.4.3	<i>Fáze 3: Posuzování dopadů životního cyklu</i> .....	42
4.4.4	<i>Fáze 4: Interpretace</i> .....	45
4.5	ENVIROMENTÁLNÍ ZNAČENÍ STAVEBNÍCH VÝROBKŮ .....	46
4.5.1	<i>Enviromentální značení typu I. – ekoznačka</i> .....	46
4.5.2	<i>Enviromentální značení typu II. – vlastní enviromentální tvrzení</i> .....	47
4.5.3	<i>Enviromentální značení typu III. – EPD</i> .....	47
4.5.4	<i>Cenia</i> .....	50
4.6	NÁSTROJE PRO MODELOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU .....	51
4.6.1	<i>GEMIS</i> .....	51
4.6.2	<i>Legep</i> .....	53
4.6.3	<i>Baubook</i> .....	54
4.6.4	<i>Envimat</i> .....	55
4.6.5	<i>Ecobilian</i> .....	56
4.6.6	<i>Pré</i> .....	56
4.7	DATABÁZE PRO MODELOVÁNÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU .....	57
4.7.1	<i>ALCAS</i> .....	57
4.7.2	<i>Ecoinvent</i> .....	57
4.8	ZHODNOCENÍ A POROVNÁNÍ ROZDÍLNÝCH NÁSTROJŮ .....	58
4.8.1	<i>Porovnání a vyhodnocení konstrukce</i> .....	59
<b>5</b>	<b>VÝPOČET PARAMETRŮ OBÁLKY BUDOVY</b> .....	<b>61</b>
5.1	METODY STANOVENÍ POROVNÁVANÝCH HODNOT .....	62
5.1.1	<i>Tepelně technické hodnocení</i> .....	62
5.1.2	<i>Enviromentální hodnocení</i> .....	66
5.1.3	<i>Metoda energetického vyhodnocení</i> .....	66
5.1.4	<i>Ekonomické hodnocení</i> .....	67
5.1.5	<i>Metoda ekonomického vyhodnocení</i> .....	67
5.2	IZOLAČNÍ VRSTVA .....	69
5.2.1	<i>Expandovaný polystyren</i> .....	69
5.2.2	<i>Minerální vata</i> .....	70

5.2.4	<i>Extrudovaný polystyren XPS</i> .....	71
5.2.5	<i>Pěnové sklo</i> .....	71
5.2.6	<i>PIR, PUR, fenolická pěna</i> .....	72
5.3	<b>OBVODOVÉ KONSTRUKCE</b> .....	72
5.3.1	<i>Pórobetonové tvárnice</i> .....	74
5.3.2	<i>Keramické tvárnice</i> .....	74
5.3.3	<i>Vápenopískové tvárnice</i> .....	75
5.3.4	<i>Dřevěné konstrukce</i> .....	75
5.3.5	<i>Skladby včetně povrchové úpravy</i> .....	76
5.4	<b>PODLAHOVÉ KONSTRUKCE</b> .....	79
5.4.1	<i>Roznášecí vrstva</i> .....	80
5.4.2	<i>Hydroizolační vrstva</i> .....	82
5.4.3	<i>Skladby včetně povrchové úpravy</i> .....	84
5.5	<b>STŘECHY</b> .....	87
5.5.1	<i>Krytina</i> .....	89
5.5.2	<i>Skladby</i> .....	89
5.6	<b>OKNA</b> .....	92
5.6.1	<i>Varianty oken</i> .....	93
5.7	<b>VŠECHNY KONSTRUKCE</b> .....	96
<b>6</b>	<b>APLIKACE PARAMETRŮ KONSTRUKCÍ</b> .....	<b>97</b>
6.1	<b>POPIS PŮVODNÍHO STAVU</b> .....	97
6.2	<b>VYHODNOCENÍ PŮVODNÍHO STAVU</b> .....	98
6.2.1	<i>Spotřeba energie ve fázi provozu</i> .....	101
6.3	<b>NÁVRH ZMĚN</b> .....	102
6.3.1	<i>Kombinace</i> .....	103
6.3.2	<i>Vyhodnocení kombinací</i> .....	105
6.3.3	<i>Zvolená varianta</i> .....	110
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>112</b>
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	<b>115</b>
	SEZNAM TABULEK:.....	118
	SEZNAM GRAFŮ: .....	119
	SEZNAM OBRÁZKŮ: .....	120
	SEZNAM PŘÍLOH: .....	120

**Seznam zkratk:**

CF	Cash flow
ČSÚ	Český statistický úřad
EPD	enviromental Product Declaration
EPS	expandovaný polystyren
GJ	gigajoule
IN	investiční náklady
IRR	vnitřní výnosové procento
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Cost
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MWh	megawatthodina
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NPV	čistá současná hodnota
OZE	obnovitelný zdroj energie
PD	projektová dokumentace
PENB	průkaz energetické náročnosti budovy
PIR	polyisokianurát
SDK	sádrokarton
TI	tepelná izolace

# 1 ÚVOD

Stavební průmysl je významným spotřebitelem energií a materiálů, zaujímá významnou část půdy a utváří prostředí ve kterém žijeme, ať už se jedná o budovy, inženýrské stavby nebo veřejná prostranství. S výrobou energií a materiálů souvisí spotřebování omezených neobnovitelných zdrojů a následné emise do ovzduší látek, které se podílí na environmentálních dopadech souvisejících se snižováním kvality životního prostředí a podporováním klimatických změn. Vyčerpatelnost zdrojů a s ní související růst cen energií a dopravy je ověřeným faktem. Toto jsou témata, která jsou aktuálně stále častěji diskutována a jejich hrozby si začíná uvědomovat široká veřejnost. Zatímco energetická náročnost stavby během provozu je běžně hodnocená záležitost, energetická spotřeba před užíváním není tak častým tématem. Je to z velké části způsobeno tím, že se hodnoty obtížněji získávají a zároveň není povinnost vyčíslvat spotřebu svázané energie žádným legislativním požadavkem.

Diplomová práce se zabývá rozhodováním investora volby obálky stavby pro bydlení, kde jeho rozhodovací procesy se neomezují pouze na ekonomickou stránku. Zodpovědný přístup neomezovat se pouze na provoz budovy, ale hodnotit stavbu během jejího celého životního cyklu, který začíná těžbou surovin a výrobou energie a tím vyčíslit celkové spotřeby energií a zdrojů. Vlastností materiálu použitého na stavbě tedy není jen jeho cena a tepelně technické vlastnosti, ale i množství energie spotřebované při jeho výrobě. Rozhodování investora při návrhu budovy ovlivňuje její celý životní cyklus z více pohledů. Ekonomická a energetická rozhodnutí při návrhu stavby spolu úzce souvisejí, protože energetický návrh objektu ovlivňuje ekonomickou náročnost stavby na provoz a naopak. Investor by měl hledat rovnováhu mezi energetickým, ekonomickým a environmentálním aspektem stavby.

V teoretické části diplomové práce jsou popsány rozhodovací procesy při volbě obálky budovy, které by měl investor zohlednit a možné způsoby, jak získané informace vyhodnotit. Další kapitola je věnována ekonomickému vyhodnocení stavby, kde je kladen důraz na zohledňování celého cyklu stavby, tedy ne pouze náklady na pořízení stavby, ale i náklady, provoz, údržbu a demolici. Následuje ekologický a energetický pohled na stavbu, který se zabývá udržitelnou výstavbou, hodnocením životního cyklu stavby z energetického pohledu a z pohledu environmentálních dopadů. Dále se v práci nachází rešerše environmentálních značek, nástrojů a databází, které se zabývají vyhodnocováním životního cyklu a poskytují informace o spotřebě a energii společně s emisemi do prostředí. Závěrečnou část teoretické části tvoří kapitola o

materiálech konstrukcích aktuálně používaných na českém trhu a jejich vyhodnocení z pohledu ceny, svázané energie a tepelně technických vlastností.

Praktická část diplomové práce je věnována návrhu obálky rodinného domu, kde jsou zohledňovány právě výše zmíněné přístupy. Stavba je hodnocena podle nákladů a spotřeby energie v průběhu celého životního cyklu. Je navrženo několik variant pro jednotlivé konstrukce, které jsou přijatelné z hlediska udržitelné výstavby, následně je sestaven model, který je vyhodnocen na spotřebu energie během celého životního cyklu. Výpočet je tedy rozdělen na dvě fáze: první je výstavba, a to co jí předcházelo a druhá je provoz stavby.

## 1.1 Stanovení cílů

Hlavním cílem práce je poskytnout podklad pro rozhodování investora rodinného domu, který se v předinvestiční fázi rozhoduje o volbě vhodné obálky budovy s ohledem na ekonomickou ale i enviromentální kritéria. Ekologické rozhodování v tomto případě představuje svázaná energie vložená do konstrukčních prvků před jejich zabudováním do stavby. Hlavní cíl lze rozčlenit do nižších úrovní:

- Úvod do problematiky rozhodovacích procesů
- Představit základy modelování životního cyklu z ekonomického a enviromentálního pohledu, vysvětlení výhod a úskalí tohoto přístupu
- Provést průzkum, kde získat relevantní data a poskytnout přehled o jejich dostupnosti a kvalitě. Porovnat práci s nástroji a jejich výstupy.
- Sestavit rešerši konstrukčních prvků a materiálů tradičně používaných pro obálku rodinného domu, sběr dat o jejich ekonomické a energetické účinnosti a vzájemné porovnání
- Sestavit funkční varianty konstrukcí pro jednotlivé části obálky budovy, splňující aktuální požadavky na dané konstrukce a jejich vyhodnocení na základě jejich energetických a ekonomických vlastností.
- Aplikace modelu na konkrétní případovou studii

## 1.2 Základní pojmy

### Energetická účinnost

Účinnost je fyzikální veličina, která udává poměr mezi energií získanou (užitečnou) a energií dodanou. Energetická účinnost materiálu je poměr mezi tepelně izolačními vlastnostmi materiálu (jakou tepelnou energii nám dokáže materiál ušetřit) a vstupy, které byly potřeba pro pořízení daného materiálu. Vstupy se může rozumět energie svázaná s výrobou nebo náklady na pořízení [1].

### Primární energie

Je energie, která neprošla žádným procesem přeměny a je ve formě, v jaké se vyskytuje v přírodě. Spotřebou primární energie vzniká druhotná energie, která je distribuována ke konečnému uživateli. Primární energie je rozdělena na energii obnovitelnou, tedy získanou například ze slunečního záření, větru, vodní energie či biomasy a na energii neobnovitelnou, která je získávána z neobnovitelných zdrojů jako například z fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn, jaderná energie). Součet obnovitelné a neobnovitelné energie nazýváme celková primární energie [1].

### Konečná spotřeba energie

Je spotřeba paliv a energie zachycená před vstupem do spotřebičů, ve kterých se využije pro finální užitečný efekt. Jedná se o energii, která již byla přeměněna z primárních zdrojů (elektrická energie ze sítě, tepelná energie dodaná z teplárny) nebo o energii, která už nebude dále zpracována (tepelná energie z fosilních paliv, která vzniká přímo v místě odběru) [2].

### Spotřeba primární energie

Je spotřeba energie z primárních zdrojů. Pro přepočítání z konečné spotřeby energie se používají faktory energetické přeměny, které jsou standardizovány pro národní energetický mix. Pojem spotřeba primární energie se může rozumět i spotřeba energie pouze z neobnovitelných zdrojů [2].

### Svázaná energie

Je energie označována také jako šedá nebo zabudovaná. Udává celkovou spotřebu energie během životního cyklu výrobku od těžby suroviny a jeho zpracování až po likvidaci. Hodnota se uvádí ve spotřebě primární energie, obvyklou jednotkou je MJ [2].

### **Ekvivalentní emise**

Je míra používaná pro emise částic do ovzduší složená z různých látek, ovšem s potenciálem stejného enviromentálního dopadu. Například pro ekvivalentní emise CO<sub>2</sub> se pro ostatní látky odvodí koeficient, který je stanoven na základě potenciálu pro globální oteplování oproti CO<sub>2</sub> [2].

### **Průkaz energetické náročnosti budovy**

Je dokument, který hodnotí spotřebu energie na provoz budovy. Součástí hodnocení je energetický štítek obálky budovy, vyčíslení spotřeb na vytápění, chlazení, přípravu TUV, větrání klimatizaci a osvětlení z hlediska celoročního provozu. Průkaz vyhodnocuje primární spotřebu energie. Součástí je návrh opatření pro snížení spotřeby energie, které musí být energeticky a ekonomicky proveditelné. Povinnost obstarat PENB pro budovu definuje § 7a Zákon č. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií.

### **Enviromentální dopad**

Je dopad, kterým je zatíženo životní prostředí vlivem jednání člověka. Enviromentálními dopady hodnocenými v analýze životního cyklu LCA jsou např. Globální oteplování, Eutrofizace, úbytek stratosférického ozonu apod. Enviromentální dopady jsou hodnoceny charakterizačními faktory [3].

### **Energeticky vztažná plocha**

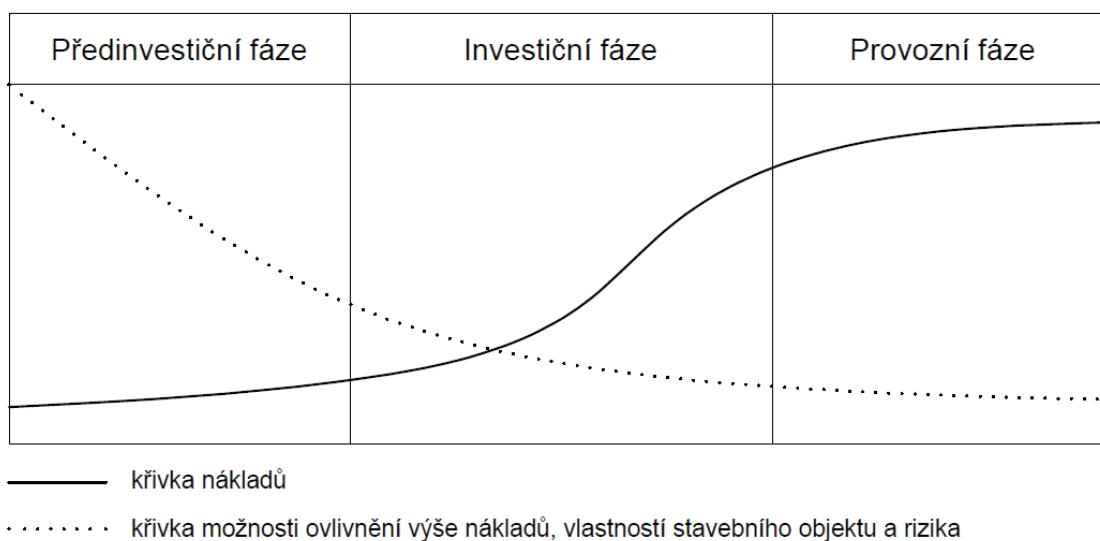
Je půdorysná plocha všech prostorů s upravovaným vnitřním prostředím v celé budově, která je vymezená vnějšími povrchy konstrukcí obálky budovy. Definici energeticky vztažné plochy definuje Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.

## 2 ROZHODOVACÍ PROCESY INVESTORA

Rozhodovací procesy investora jsou různé na základě záměru. Do rozhodování vždy vstupuje pohled ekonomický, kdy pro investora jsou kritériem investiční náklady. V případě investora, který se rozhoduje o obálce rodinného domu, který bude sám užívat vstupují do rozhodování i náklady na provoz objektu. Druhým pohledem při rozhodování je dnes již běžně energetika.

Při rozhodování v předinvestiční fázi je potřeba mít na paměti, že rozhodujeme o finančních i energetických nákladech na následující desetiletí. Je proto důležité nepodcenit návrh a věnovat mu dostatečné časové i finanční prostředky. Následující obrázek znázorňuje ovlivnitelnost nákladů v návaznosti na životní fázi objektu. V investiční fázi a provozní fázi jsou náklady nejvyšší, ale o jejich výši už je do velké míry rozhodnuto a nejsou ovlivnitelné. Z těchto důvodů je vhodné, aby investor k rozhodování přistupoval z pohledu celého životního cyklu stavby, dokázal vyhodnotit důsledky jeho rozhodnutí a předpokládat budoucí náklady.

Obrázek 1 – Vývoj nákladů a možnosti změn během životních fází stavby.



Zdroj: Hačkajlová, L. *Ekonomika a management 13*, vydavatelství ČVUT, 2004

Náklady na provoz stavby jsou závislé na spotřebě tepla na vytápění a provoz budovy. Spotřebu částečně určuje geometrický návrh objektu, účinnost zdrojů a tepelně technické vlastnosti obálky budovy, kde při běžném situaci je obálka budovy klíčovým faktorem. Tepelně technické vlastnosti konstrukcí jako je tepelný odpor nebo tepelná setrvačnost určují tepelný komfort v objektu. Z toho vyplývá, že energetické a ekonomické pohledy se v určitých částech protínají.

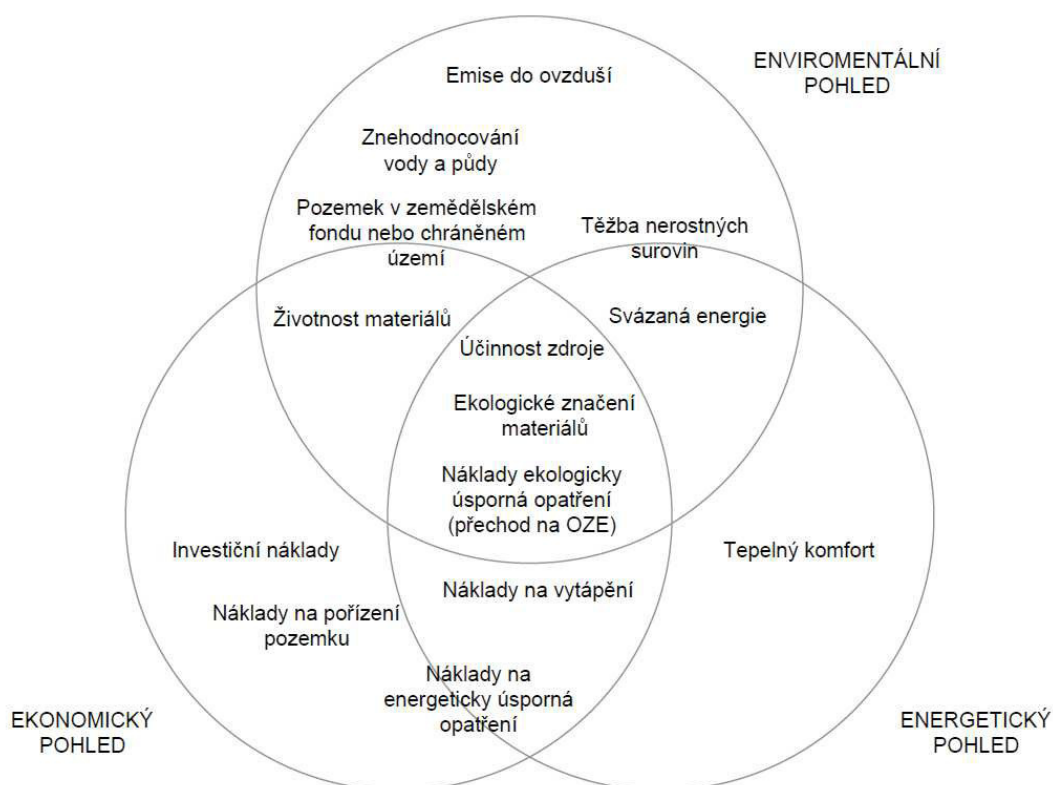
Třetím pohledem při rozhodování investora jsou environmentální aspekty stavby. V současné době je hodně diskutovaná problematika změny klimatu a dopadů lidského chování na životní



prostředí. Zodpovědný investor by měl do svého rozhodovacího procesu zařadit i tento aspekt. Rozhodování z enviromentálního pohledu neznamená nerespektování předchozích dvou pohledů, naopak se opět všechny tři pohledy potkávají. Snížením spotřeby energie snižujeme i emise látek do ovzduší vznikající při výrobě, ale i při procesech spojených s jejich dopravou a těžbou surovin.

Touto úvahou se otevírá téma energie, která je spojená se stavebními materiály během jejich životního cyklu. Jedná se o energetický pohled na stavbu jako celek během jeho životního cyklu a zároveň o enviromentální pohled, kde výroba energie je, jak již bylo zmíněno spojena s emisemi látek do okolí. Dalšími enviromentálními aspekty jsou emise vznikající během jiných pochodů než výrobě energie, spotřebovávání zdrojů nerostných surovin, tvorba odpadů, zabírání zemědělsky využitelné půdy a podobně.

Na následujícím obrázku jsou znázorněny tři přístupy na základě, kterých by se měl zodpovědný investor za účelem udržitelného rozhodování zabývat. Ve skutečnosti je důvodů zaměřených pouze na jeden pohled málo a většina se prolíná do dvou až tří kategorií.



Obrázek 2 – Přístupy k udržitelnému rozhodování.

## 2.1 Teorie rozhodování

Teoriemi o rozhodování se zabývají vědy, které studují lidské chování. Existují metody, které se používají při manažerském řízení, rozhodování o proveditelnosti projektu, řízení jakosti, rizika a podobně. Pro rozhodování o návrhu obálky budovy je možné uplatnit rozhodování na základě subjektivního pocitu nebo názoru. Takové rozhodnutí není podloženo žádnými faktickými informacemi a důsledky nejsou předem známy. Dalším způsobem je rozhodnutí podložené zkušenostmi a předběžným ověřením výsledků, toto rozhodování je v praxi označováno jako „odborný odhad“. Rozhodování zohledňující důsledky a nevýhody projektu by mělo být stanoveno na základě exaktních přístupů, kdy je předem pevně stanoven scénář rozhodování a je vytvořena analýza problematiky [4].

Obecný postup pro analýzu k investorskému rozhodování se skládá z následujících kroků [5]:

- stanovení cíle,
- stanovení požadovaného detailu,
- definování klíčových parametrů, podle kterých se budeme rozhodovat,
- stanovení variant pro provedení analýzy,
- shromáždění dat k hodnoceným variantám,
- multikriteriální hodnocení variant,
- závěrečná zpráva.

Tento obecný postup je platný pro jakoukoliv analýzu, která má sloužit jako podklad pro rozhodování. V případě rozhodování investora rodinného domu, který chce zohlednit svázanou energii je jisté, že se bude jednat o analýzu ekonomickou a energetickou v průběhu celého životního cyklu.

## 2.2 Životnost

Nejnáročnější položkou z pohledu ekonomického, energetického i enviromentálního je pořízení stavby. Pokud se investor rozhoduje o návrhu obálky budovy, kterou sám vlastní a bude provozovat a chce se rozhodovat na základě těchto tří přístupů, je zřejmé, že by měl být kladen důraz na kvalitu výrobků a jejich životnost.

Životnost jednotlivých konstrukcí ovlivňuje plánování nákladů v průběhu užívání stavby. Správným určením životnosti dílčích konstrukcí a materiálů je možné vytvořit plán výměn, tedy i plán dalších investic do stavby. Životnost stavby je období, ve kterém stavbu užíváme a plní svůj účel. Životnost stavebního objektu se rozlišuje na technickou a morální životnost.

### 2.2.1 Technická životnost

Po uplynutí technické životnosti dochází ke zchátrání stavby a důsledkem je fyzické opotřebení. Technickou životnost stavby můžeme ve fázi návrhu ovlivnit výběrem vhodného materiálu pro dané podmínky. Ve fázi užívání stavby ji ovlivňujeme údržbou a způsobem užívání. Pro udržení dobrého stavu stavebního objektu je dobré stanovit frekvenci údržby a výměn konstrukcí s kratší životností, než je plánovaná životnost stavby. S tím souvisí organizace nákladů na údržbu a analýza rizikových faktorů, které mohou způsobit větší škody při opoždění údržby a výměny. Technická životnost zpravidla převyšuje morální životnost [5].

Pro odhad technické životnosti se užívají různé matematické modely, například faktorová metoda podle ČSN ISO 15686-8 Budovy a jiné stavby – Plánování životnosti – Část 8: Referenční životnost a odhadování životnosti.

$$\check{Z}_O = \check{Z}_R * F_M * F_N * F_K * F_V * F_E * F_U,$$

- kde:  $\check{Z}_O$  ... je životnost stavby odhadovaná,  
 $\check{Z}_R$  ... je životnost stavby referenční,  
 $F_M$  ... je faktor materiálu,  
 $F_N$  ... je faktor návrhu,  
 $F_K$  ... je faktor kvality provedení,  
 $F_V$  ... je faktor využívání,  
 $F_E$  ... je faktor vlivu externího prostředí,  
 $F_U$  ... je faktor údržby.

Za hodnoty faktorů se dosazují hodnoty 0,8-1,2. Nevýhodou této deterministické metody je neexistence mezinárodních standardů pro určení referenční životnosti a variabilita faktorů. Výsledek hodně záleží na zkušenostech experta, který odhad provádí. Dále je možné životnost určit stochastickými metodami, kde je výpočet znatelně komplikovanější [5].

Údaje o životnosti konstrukcí a vybavení lze nalézt ve firemních podkladech výrobců materiálů a v tabulkách ČSN ISO 15686 nebo vyhlášce k oceňování majetku Vyhláška č. 441/2013 Sb. Vyhláška k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška).

### **2.2.2 Morální životnost**

Morální životnost nehodnotí fyzický stav stavby, ale splnění morálních požadavků. Ty se dělí na několik dalších skupin:

- funkční životnost – do okamžiku ztráty využitelnosti pro danou funkci změnou vnějších podmínek. Pro výrobní stavby existuje také životnost technologická, která končí ztrátou využitelnosti z důvodu změny technologií výroby,
- právní životnost – do právních účinků rozhodnutí o odstranění stavby. Nastává například při nesplnění požadavků (bezpečnost, zdraví) nebo u dočasných staveb,
- sociální životnost – do okamžiku ztráty využitelnosti z důvodu změny chování uživatelů [5].

### **2.2.3 Ekonomická životnost**

Ekonomická životnost trvá od vzniku stavby do okamžiku trvalé ztráty výnosů, která nastává ve chvíli, kdy je výhodnější stavbu zbourat a na jejím místě postavit novou. Tato situace může nastat například při překročení plánované hranice nákladů na provoz nebo při požadavku na změnu užívání jednoúčelové stavby [5].

### 3 EKONOMICKÝ POHLED

Ekonomický pohled na stavbu hraje zásadní roli v rozhodování investora, ve většině případů je toto kritérium na prvním místě. U stavby stojí na jedné straně náklady na pořízení a na straně druhé náklady na provoz objektu, údržbu a likvidaci. Úkolem ekonomické analýzy je najít rovnováhu mezi investicí do konstrukce a její návratností v podobě ušetřených nákladů na provoz a obnovu v průběhu užívání stavby.

Pro zlepšení ekonomického pohledu ze strany investora na energeticky úsporná opatření je možné využít některý z dotačních programů. Pro investory do staveb pro bydlení je určen především dotační program Státního fondu pro životní prostředí Nová zelená úsporám. Dotační program nabízí dotace na zateplení, výstavbu a výměnu zdroje tepla. Výše dotace se odvíjí od úrovně požadavků a může dosáhnout až na 50 % způsobilých výdajů na stavbu.

#### 3.1 Náklady životního cyklu – LCC analýza

Životní cyklus stavby se skládá z několika fází a s nimi souvisí jisté finanční toky. Ve stavebnictví více než v jiných oborech dominují náklady na provoz budovy, což je způsobeno délkou životnosti stavby. Životní cyklus stavby jako celku i jednotlivých opatření lze rozčlenit na fáze předinvestiční, investiční, provozní a likvidační. Nejdůležitější z pohledu plánování nákladů je fáze předinvestiční, kdy se rozhoduje o plánovaných nákladech na následující desetiletí. V této fázi dochází k zásadnímu rozhodování z konstrukčního, funkčního, sociálního, ekonomického a environmentálního hlediska. Návrh stavby by měl respektovat plánovanou životnost. Právě správné určení životnosti stavebního objektu a dílčích konstrukcí ovlivňuje výsledný ekonomický model stavby. Analýza LCC obsahuje řadu nejistých proměnných, které jsou pouze předpoklady. Jsou to předpoklady budoucích nákladů na provoz a údržbu, růstu nákladů, budoucí inflační míry, očekávané životnosti. Tyto hodnoty je možné modelovat pomocí softwarových nástrojů, které pracují se změnami v ekonomice a dalšími proměnnými.

Dalším faktorem, který do nákladů životního cyklu vstupuje jsou rizika, která mohou být politická, ekonomická, environmentální a sociální. Rizika mohou významně ovlivnit náklady na výstavbu, náklady na provoz a životnost stavby. Pozornost by tedy měla být věnována i analýze rizik [5].

Náklady spojené s vlastnictvím, údržbou a užíváním stavby hrají důležitou roli pro investory, kteří budou nemovitost vlastnit a užívat. Díky modelu životního cyklu má investor přehled o

budoucích provozních nákladech, plánovaných výdajích a může ve fázi návrhu tyto náklady ovlivňovat změnou návrhu. Investoři, kteří k výstavbovému projektu přistupují jako k investici pro zisk se omezují spíše na náklady na pořízení stavby.

Obecný postup kalkulace nákladů životního cyklu se skládá z následujících kroků:

- stanovení cíle analýzy LCC,
- stanovení rozsahu analýzy LCC,
- definování klíčových parametrů,
- stanovení variant pro provedení analýzy,
- shromáždění dat k hodnoceným variantám,
- ekonomické hodnocení variant,
- závěrečná zpráva.

Rozsáhlost a komplikovanost analýzy určuje požadovaná úroveň detailu. Analýza se zpracovává ve fázi předinvestiční jako předběžná analýza pro strategické rozhodování. Následně, s probíhajícími projekčními pracemi, může být zpřesňována za účelem plánování nákladů a investičního rozhodování pro stavbu jako celek. Nejpodrobnější úrovní je detailní analýza pro hodnocení variant systému a materiálů [5]. Tato analýza slouží jako podklad investorskému rozhodování u velkých investic. Pro investorské rozhodování o obvodové obálce rodinného domu, který bude investor sám užívat je vhodnou úrovní střední detail, tedy detailní analýza pro stavbu jako celek.

## 3.2 Struktura nákladů životního cyklu

Náklady životního cyklu představují náklady během všech čtyř fází života stavebního objektu, předinvestiční, investiční, provozní a likvidační fáze. Vyčíslení nákladů na životní cyklus je možné ve všech životních fázích, nejdůležitější je však ve fázi předinvestiční, kdy rozhodujeme o vývoji nákladů ve všech ostatních fázích. Jinými slovy, úspora nákladů v investiční fázi například na úkor kvality materiálů může znamenat výrazné navýšení nákladů při výstavbě a užívání stavby.

Součet všech nákladů tvoří náklady na životní cyklus stavby, které mohou být rozdělovány do různých skupin podle různých klíčů. V této práci byla zvolena následující varianta [5]:

$$LCC = IN + PN + UO + LN ,$$

kde	LCC	... jsou náklady na životní cyklus,
	IN	... jsou investiční náklady,
	PN	... jsou náklady na provoz,
	UO	... jsou náklady na údržbu a obnovu,
	LN	... jsou náklady na likvidaci.

### 3.2.1 Investiční náklady

Investiční náklady vyjadřují peněžní hodnotu všech spotřebovaných vstupů potřebných na vybudování investičního záměru [6].

Struktura investičních nákladů se obvykle dělí na náklady na:

- projektové a průzkumné práce,
- stavební objekt,
- nákup pozemku,
- vedlejší náklady spojené s umístěním stavby,
- ostatní náklady,
- stroje, zařízení, inventář,
- ostatní investice,
- provozní náklady na přípravu a realizaci stavby.

Investiční náklady v předinvestiční fázi lze určovat následujícími metodami:

- odborný odhadu na základě výsledků obdobných – již realizovaných akcí,
- cenové informace výrobců, montážních firem a dodavatelských firem spolu se započítáním ostatních nákladů,
- cenové soustavy.

### 3.2.2 Provozní náklady

Provozní náklady tvoří největší část nákladů v životním cyklu stavby, protože jsou spojeny s nejdelší částí životnosti stavby – užívání.

Základními skupinami nákladů spadajícími do této kategorie jsou:

- energie – elektřina a energie na vytápění,
- voda a odpadní voda,
- likvidace odpadu,
- servisní poplatky,
- pojištění,
- úklid,
- údržba zeleně,
- administrativní poplatky – poplatky spojené s vlastnictvím objektu např. daň z pozemku, daň z nemovitosti.

### 3.2.3 Náklady na opravu a údržbu

Náklady vynaložené za účelem zajištění provozuschopnosti objektu a odstranění vad a poruch, které se v průběhu provozu objeví. Včasným a pravidelným vynaložením nákladů na opravu se předchází zvýšeným investicím, které by mohly zanedbané poruchy způsobit. Náklady mohou vznikat jednorázově nebo v cyklech v závislosti na technické životnosti jednotlivých konstrukcí. Oproti tomu náklady na údržbu vstupují do výpočtu jako pravidelné investice [7] [6].

### 3.2.4 Náklady na ekologickou likvidaci

Představují náklady na demolici stavby, odvoz sutí na skládku nebo k recyklaci, náklady na recyklaci nebo poplatky za skládku. Náklady se liší podle druhu konstrukce a mohou představovat významnou položku v nákladech na životní cyklus [5]. Příkladem významného navýšení nákladů na ekologickou likvidaci jsou konstrukce obsahující nebezpečný odpad, například azbest.



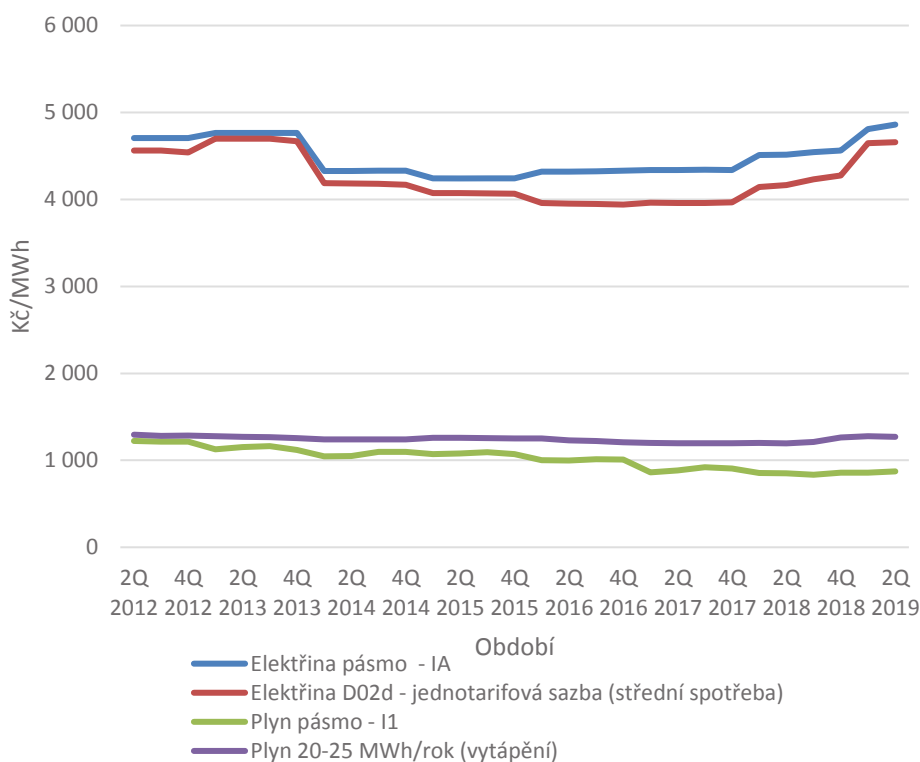
### 3.3 Základní hodnoty vstupující do ekonomické analýzy

#### 3.3.1 Reálná diskontní míra

Pro ocenění hodnoty prostředků vydaných nebo přijatých v budoucnu se často pracuje s převodem na současnou hodnotu. Diskontní míra je prostředek, který umožňuje vrátit hodnotu investice na čistou současnou hodnotu nebo naopak určit hodnotu investice za hodnocené období. Jedná se o vyjádření meziroční hodnotové změny, jednotkou jsou procenta [7] [6].

#### 3.3.2 Cenový vývoj

Během doby provozování zařízení se může významně měnit vývoj ceny energie vlivem vnějších vlivů. Změna cen energie výrazně ovlivňuje vývoj cash-flow a návratnosti investice. Obvykle je úvaha taková, že se zvyšujícími se cenami energie se zvyšuje i hodnota energeticky úsporných opatření [7] [6].



Graf 1 – Měsíční spotřeby el. energie.

Tabulka 1 – Průměrný roční vývoj cen energie 2012-2019.

Rok	Průměrná roční cena Kč/MWh			
	Elektřina pásmo – IA [8]	Elektřina D02d – jednotarifová sazba (střední spotřeba) *	Plyn pásmo – I1 [8]	Plyn 20-25 MWh (vytápění)**
2012	4 707,36	4 562,00	1 217,44	1 295,00
2013	4 764,53	4 699,00	1 140,69	1 276,00
2014	4 328,66	4 188,00	1 072,72	1 241,00
2015	4 242,76	4 072,00	1 079,03	1 260,00
2016	4 323,59	3 959,00	1 005,21	1 253,00
2017	4 338,90	3 963,00	892,24	1 199,00
2018	4 533,11	4 142,00	849,48	1 199,00
2019	4 835,06	4 647,00	864,57	1 276,00

\* Zdroj: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-elektřiny>

\*\*Zdroj: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-zemniho-plynu?op=20-25>

Na grafu je zobrazen vývoj cen plynu a elektřiny za odběr 1 MWh od roku 2012. Použity jsou dva zdroje informací, prvním je publikace vydávaná ČSÚ: *Index cen průmyslových výrobců 2019, Příloha II Průměrné čtvrtletní ceny elektřiny a zemního plynu za dodávky pro průmysl celkem a za pásma v České republice* [8], kde jsou použity kategorie odběratelů charakteristické pro bydlení, pro elektřinu: IA do 20 MWh/rok a I1 pro plyn do 284 MWh/rok. Druhým zdrojem je nezávislý kalkulačtor cen energií provozovaný tzb.info.cz.

Z grafu je patrné, že elektřina zaznamenala na přelomu 2013/2014 významný propad a od té doby pozvolna stoupá. V poledních letech stoupá s meziročním nárůstem až 6,7 %. Ceny plynu mají spíše klesající tendenci [8].

### 3.3.3 Délka hodnoceného období

Určení délky hodnoceného období je zásadním rozhodnutím, protože ovlivňuje celý model. Délka se stanovuje podle cíle ekonomické analýzy. V případě návratnosti investice bývá hodnoceným obdobím 20 let, a to z důvodu, že období je dostatečně dlouhé, aby bylo patrné ekonomické chování investice a zároveň při delším období se do výpočtu vnáší vyšší míra nejistot. Další možností je určení délky hodnoceného období na základě předpokládané životnosti, a to stavby jako celku nebo dílčích konstrukcí, které chceme porovnávat. Při stanovení doby hodnocení delší, než je životní cyklus dílčích prvků je třeba v cash flow uvažovat investice do údržby a oprav. Podrobněji je stanovení životnosti věnována kapitola 2.1 Životnost.

### 3.4 Cash flow

Cash flow sleduje všechny peněžní toky, které jsou s projektem spojeny. Do cash flow se zaznamenávají všechny příjmy a výdaje v určeném časové období (měsíc, čtvrtletí). V případě hodnocení návratnosti investice vstupují jako příjmy ušetřené náklady oproti původní variantě. Při plánování peněžních toků vstupuje do výpočtu diskontní sazba, která představuje alternativní náklad kapitálu, v takovém případě se jedná o diskontované cash flow. Na základě přehledu peněžních toků je vyhodnocena efektivita projektu některým z níže popsaných způsobů.

### 3.5 Vyhodnocení investice

Návratnost investice lze nazvat jako rentabilita nebo produktivita investice. Zjišťuje ekonomickou analýzou. Cílem ekonomické analýzy je zjistit vhodnost jednotlivých stavebně energetických opatření z ekonomického hlediska. Základní vstupní hodnoty jsou vstupní výdaje na realizaci opatření na jedné straně a příjmové položky (úspory za energie) na straně druhé. Dále do výpočtu vstupují hodnoty jako diskontní míra, doba porovnání, cenový vývoj [7]. V následujících kapitolách jsou popsány nejběžnější metody posuzování návratnosti investice. Vyhodnocování investice, ať už v určitém časovém období nebo z pohledu celého životního cyklu, je ekonomická metoda, která bere v úvahu časovou hodnotu peněz.

#### 3.5.1 Diskontovaná doba návratnosti $T_{sd}$

Při uvažování současné hodnoty toků hotovosti lze určit dobu, ve které v daném projektu nastane rovnováha mezi příjmy a výdaji. Tato doba se označuje jako diskontovaná doba návratnosti prostředků a lze ji považovat za kritérium se srovnatelnou vypovídající schopností jako NPV. Obecně lze diskontovanou dobu návratnosti stanovit z podmínky  $NPV = 0$  [9],

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0$$

kde  $CF_t$  ... roční přínosy projektu (změna peněžních toků pro realizaci projektu).

$r$  ... diskont.

$(1+r)^{-t}$  ... odúročitel.

### 3.5.2 Čistá současná hodnota NPV

Základem pro určení čisté současné hodnoty je určení toku hotovosti. Toky hotovosti (Cash-Flow) jsou rozdílem příjmů a výdajů spojených s projektem v jednotlivých letech. Toky hotovosti v sobě zahrnují všechny hodnotové změny během života projektu. Pro hodnocení toku hotovosti se tyto upravují převodem z budoucích hodnot do současnosti. Hodnoty jsou zpravidla převedeny do období, kdy dochází k vynaložení největších investic. Takto převedená hodnota se nazývá současná hodnota. Průběžné pokrytí investic a dalších výdajů a příjmů vyjadřuje kumulovaný tok hotovosti, kdy se jednotlivé roční hodnoty průběžně sčítají a představují skutečný stav u realizovaného opatření v příslušném roce. Pokud je hodnota kumulovaného toku hotovosti v daném roce záporná, nedošlo k tomuto období k pokrytí výdajů projektu jeho příjmy. Hodnota diskontovaného kumulovaného toku hotovosti v posledním roce se označuje NPV.

Čím vyšší je hodnota NPV, tím je opatření ekonomicky výhodnější. Pokud je hodnota NPV záporná, opatření nelze za daných podmínek realizovat [9],

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN$$

kde  $T_z$  ... doba životnosti (hodnocení) projektu.

### 3.5.3 Vnitřní výnosové procento IRR

Vnitřní výnosové procento představuje hodnotu úrokové míry v procentech, při které hodnota  $NPV = 0$ . tento ukazatel je užitečný jako měřítko efektivnosti investic. Stačí jej porovnat s úrovní úrokových měr na finančním trhu a investor vidí, zda je vhodné do příslušné varianty investovat [9].

$$\sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - IN = 0$$

## 4 EKOLOGICKO ENERGETICKÝ POHLED

Z pohledu investora se ekologické a enviromentální pohledy protínají. Spotřeba tepla na vytápění je energetickým hlediskem, které má enviromentální dopady. Svázaná energie je hodnocená v rámci enviromentálního profilu výrobku, ale jedná se o energii. Následující kapitola se bude věnovat komplexně problematice hospodaření s energií v rámci životního cyklu budovy.

### 4.1 Udržitelná výstavba

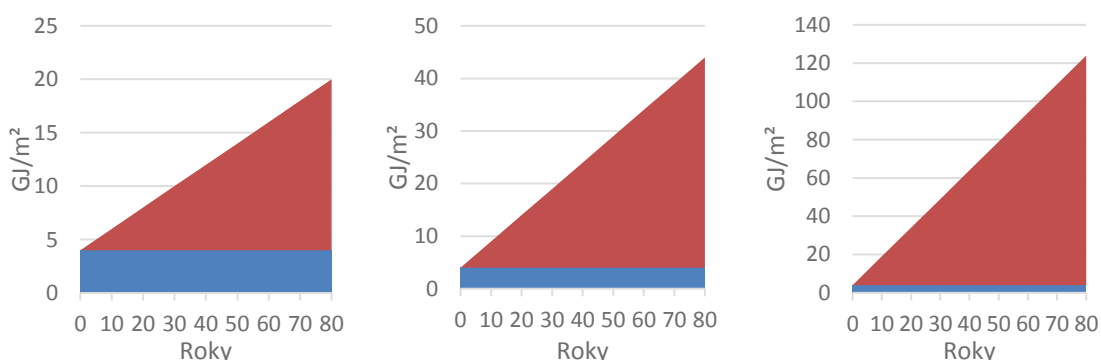
*Trvale udržitelný rozvoj společnosti je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojovat jejich základní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystému [10].* Tak definuje trvale udržitelný rozvoj zákon č. 17/1992 Sb. Zákon o životním prostředí. Stavební průmysl je největším průmyslem a tvoří přibližně 11 % HDP a spotřebovává velké množství přírodních zdrojů na výrobu materiálů a energie. Společnost si začíná uvědomovat vyčerpatelnost přírodních zdrojů. Zároveň produkty stavebního průmyslu, ať už budovy, inženýrské stavby vodohospodářské stavby a podobně zaujmají velkou část půdy a utváří prostředí ve kterém žijeme. Dále se uvádí, že stavební průmysl produkuje až 40 % emisí CO<sub>2</sub>, které se podílí na probíhající změně klimatu. Z těchto důvodů je nezbytné se udržitelným vývojem ve stavebnictví zabývat. Zásady udržitelné výstavby se nezaměřují pouze na dopady na životní prostředí, jedná se o komplexní přístup zohledňující ekonomickou efektivitu a sociální souvislosti [11].

V nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 stanovující harmonizované podmínky uvádění stavebních výrobků na trh jsou definovány požadavky na udržitelné využívání přírodních zdrojů tak, že stavba musí být provedena a zbourána takovým způsobem, aby bylo zajištěno udržitelné použití přírodních zdrojů a recyklovatelnost staveb, použitých materiálů a částí po zbourání, dále uvádí požadavek na životnost staveb, použití surovin a druhotných materiálů šetrných k životnímu prostředí při stavbě [3].

### 4.2 Svázaná energie

Svázaná energie je nazývána také jako šedá energie nebo zabudovaná energie. Jedná se o celkovou spotřebu zdrojů energie během životního cyklu výrobku od těžby suroviny a její zpracování až po likvidaci. Hodnota se uvádí ve spotřebě primární energie, obvyklou jednotkou je MJ.

Dlouhodobě je kladen důraz na snižování energetické náročnosti provozu budovy. Nejen každá novostavba musí mít průkaz energetické náročnosti (PENB). Tento průkaz hodnotí spotřebu primární energie na provoz budovy. Svázaná energie vyčísluje spotřebu primární energie výrobku nebo materiálu od jeho výroby až po likvidaci. Poměr mezi množstvím energie svázané s výrobou stavebních hmot a množstvím energie na provoz budovy se časem mění. Zatímco pro starší budovy je poměr „primární svázaná energie : primární provozní energie“ cca 1:30, u nových budov je tento poměr 1:10 a menší, u budov s nulovou spotřebou energie se svázaná spotřeba dostává do popředí [12].



Graf 2 – Poměr svázaná energie: provozní energii 1) nízkoenergetického domu, 2) zděná budova z roku 2005, 3) zděná budova 1927 [3]

Vzhledem k velkým objemům použitých materiálů ve stavebnictví má veliký potenciál ve snížení svázané energie využívání recyklovaných materiálů a recyklace stavebních odpadů pro další použití. Tímto problémem se zabývá Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic. Směrnice předepisuje od roku 2020 recyklaci stavebních a demoličních odpadů nejméně na 70 % [13]. Směrnice je aktuálně platná ve znění SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech. Uvádí, že členské státy přijmou opatření pro selektivní demolici zejména pro dřevo, minerální složky, kov, sklo, plasty a sádku za účelem vysoce kvalitní recyklace. Do prosince 2024 má Komise posoudit nové stanovení cílů a vypracovat nový legislativní návrh [13]. S využitím recyklovaných materiálů a snížení environmentálních dopadů stavební výroby uvažuje i studie pro hodnocení životního cyklu (LCA), ze které vychází environmentální značení materiálů (EPD) i certifikační nástroje pro environmentální hodnocení celé budovy.

#### 4.2.1 Sběr dat Českým statistickým úřadem

ČSÚ ročně vydává publikaci *Energetická náročnost výroby vybraných výrobků*, která obsahuje výsledky zpracování statistického výkazu s údaji o spotřebě paliv a energie na výrobu vybraných výrobků. Tato publikace vychází ročně od roku 1988 doposud. Vyhodnocování dat probíhá na základě dat od respondentů, kteří byli vybráni na základě *Registru ekonomických subjektů vedeného ČSÚ podle hlavní činnosti* [14]. Publikace je možné bezplatně stáhnout na stránkách ČSÚ ve formátu PDF nebo tabulkovém formátu. U každé položky jsou vypsány následující informace:

- název výrobku,
- kód ENERG,
- měřicí jednotka,
- roční produkce,
- spotřeba elektřiny celková roční a měrná,
- spotřeba tepla celková roční a měrná,
- spotřeba paliv celková roční a měrná,
- vznik energeticky využitelného odpadu paliv a tepla při výrobním procesu,
- spotřeba energie celkem.

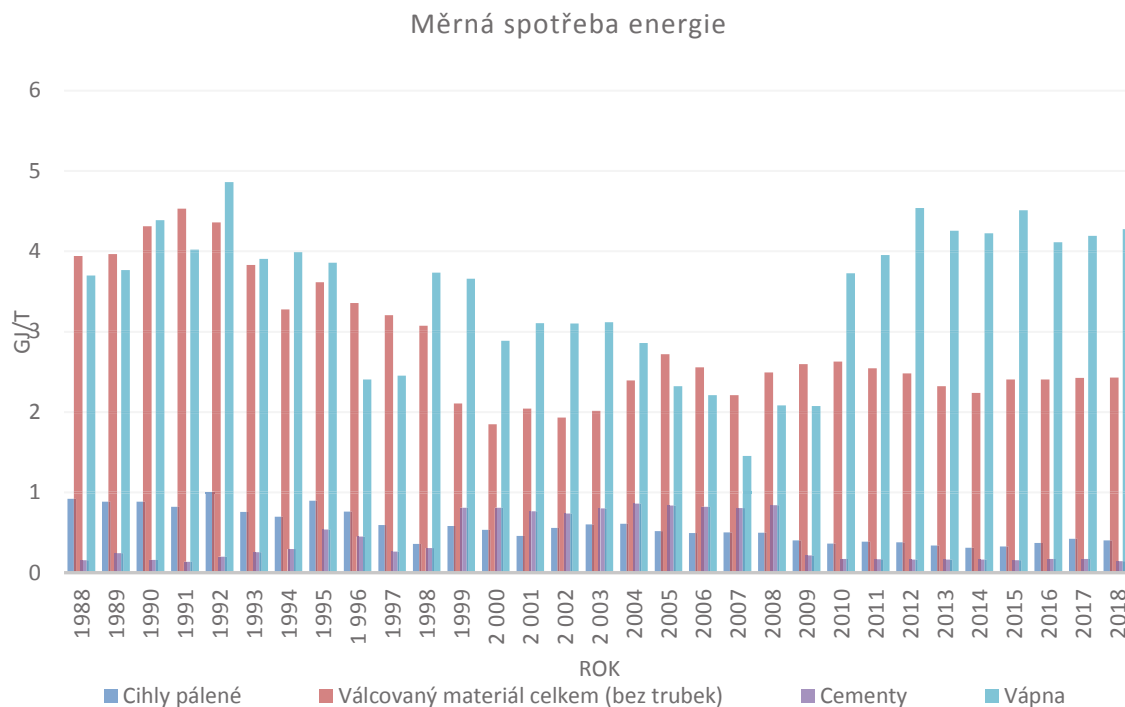
Sledované položky se týkají především těžby nerostných surovin, dopravy, výroby chemikálií, kovů a klíčových stavebních materiálů. V následující tabulce jsou uvedeny sledované položky, které se týkají stavebního průmyslu.

Tabulka 2 – Sledované výrobky přímo související se stavebním průmyslem [14].

Kód	Název výrobků pro zpracování	Měřicí jednotka
125240	Elektroocel z tekuté vsázky	tuna
130000	Válcovaný materiál celkem	tuna
141001	Ocelové trubky bezešvé	tuna
143001	Ocelové trubky svařované	tuna
150002	Ocel pásová za studena válcovaná	tuna
156001	Ocelový drát	tuna
161001	Odlitky z litin – elektrické pece	tuna
161002	Odlitky z litin – kuplovný a plam. pece	tuna
161003	Odlitky z litin – provozní spotřeba	tuna
162000	Odlitky z oceli	tuna
163000	Výkovky a výlisky z oceli	tuna
184300	Hliník a slitiny v základ. tvarech	tuna
232250	Polystyrén a kopolymery	tuna
585101	Slínky cementové – suchý způsob	tuna
585200	Cementy	tuna
585300	Vápna	tuna
593000	Dílce stavební konstrukční, betonové a železobetonové	m3
596001	Cihly pálené	tis. c. j.
596600	Krytina pálená	tis. m2
597001	Kamenina celkem	tuna
634111	Sklo ploché tažené	tuna
635100	Sklo ostatní (mimo ploché) - primární surovina	tuna

Na následujících grafech je zobrazen vývoj měrné spotřeby energie celkové (elektřina, teplo, paliva) a zároveň roční produkce cihly pálené. Tento materiál byl zvolen z důvodu, že je více než ostatní, charakteristický pro výstavbu pro bydlení. Jako měrná jednotka je použito tisíc cihelných jednotek, čímž se rozumí tisíc cihel o rozměru 25 x 12 x 6,5 cm. Pro aplikaci na jiný typ cihly se provede přepočítání jednotek. Např. 1 000 ks cihly děrované o rozměru 36,5 x 24,5 x 14,5 cm je rovno 6,65 tis. c. J. Roční produkce cihel pálených je součet všech tvarových alternativ.





Graf 3 – Měrná spotřeba energie na tunu produktu [14].

Na grafu měrné spotřeby energie je možné pozorovat vývoj spotřebované energie na 1 tunu některých materiálů v letech 1988-2018. Měrná spotřeba energie pro cihly pálené je ve zdroji uváděna v jednotce 1000 kusů. Pro porovnání byla MJ přepočtena na tuny. Pro převod byla uvažována hmotnost cihly 4,7 kg. Na vývoji hodnot pro cihlu pálenou je patrný pokles měrné spotřeby tepla na polovinu. U válcovaného materiálu je zaznamenán také klesající trend. Zajímavé hodnoty jsou pro cementy a vápna, kde hodnoty kolísají. Měrná spotřeba energie pro cementy se v letech 1988-1998 pohybovala okolo hodnoty 0,2 GJ/t, během let 1999-2008 hodnoty stouply na 0,8 GJ/t a následně se vrátili k původní hodnotě. Může se jednat o změnu technologie výroby nebo chybu v zaznamenávání dat.

### 4.3 Enviromentální dopady

Pro komplexní zhodnocení enviromentálního dopadu výrobku se vyhodnocují mimo svázanou energii i další kategorie, a to především proto, aby nedocházelo k přesunutí jednoho negativního jevu ze sledované oblasti do jiné nesledované oblasti. Pro představu, jestliže vytápíme dům pomocí elektrické energie, snížíme emise z domácího kotle, ale k emisím dochází při výrobě elektrické energie v elektrárně. Došlo tedy pouze k přesunu dopadu z jedné lokality do druhé nebo z jednoho druhu dopadu (vznik smogové situace v důsledku emisí  $\text{SO}_2$ ) do druhého (posílení globálního oteplování emisí skleníkových plynů) [3]. Shodné kategorie dopadu používá analýza hodnocení životního cyklu LCA i ostatní hodnotící nástroje (SBTool – enviromentální kritéria).

#### 4.3.1 Úbytek nerostných surovin - primární energie

Kritérium hodnotí množství spotřebované primární energie z neobnovitelných zdrojů ve fázi výstavby a provozu budovy. Na základě výkazu výměr a katalogu materiálu se stanoví množství svázané energie v materiálech (fáze výstavby). Svázaná energie jednotlivých materiálů se vyjadřuje v jednotkách MJ/a podle životnosti materiálu. Celková suma energie se vztáhne na celkovou užitnou plochu objektu, finální jednotky tedy jsou MJ/m<sup>2</sup>a [2].

#### 4.3.2 Acidifikace půdy a vodních zdrojů

Okyselování prostředí a půdy způsobují emise oxidu siřičitého, které pocházejí ze spalování paliv. Pro vyčíslení potenciálu okyselování půdy a vodních zdrojů se používá ekvivalentní emise  $\text{SO}_2$ . V České republice byl před rokem 1989 oxid siřičitý hlavním důvodem znečištění ovzduší v důsledku spalování uhlí s vysokým obsahem síry. Ve spojení s vodní parou má  $\text{SO}_2$  za následek kyselé deště. Mezi lety 1990 až 2006 došlo k poklesu emisí tohoto plynu o 90 % v důsledku instalace odsiřovacích filtrů u velkých zdrojů. V současné době emise stoupají z důvodu spalování uhlí v malých zdrojích [2].

#### 4.3.3 Eutrofizace

Eutrofizace prostředí je způsobena přesycováním prostředí minerálními živinami, především dusíkem. Eutrofizace prostředí je přírodní jev vznikající přírodními procesy. Lidskou činností a rozvojem průmyslu dochází také k eutrofizaci (kulturní), která v současné době zcela převažuje a je pro přírodu nezpracovatelná. Kulturní eutrofizaci způsobují dusík a fosfor a mají za následek nepřiměřené zvyšování živin v prostředí. Provoz budov se podílí na tomto procesu vypouštěním

nevyčištěných vod, které obsahují anorganický fosfor a fosfáty. Dále se tomto procesu podílí vypouštěním oxidu dusíku do ovzduší. Ten vzniká při spalování fosilních paliv za vysokých teplot či tlaku. To lze regulovat použitím vhodných technologií [2].

#### 4.3.4 Globální oteplování

Oteplování planety je způsobeno zadržováním odražených slunečních paprsků v atmosféře, jedná se o skleníkový jev, který způsobují skleníkové plyny. Mezi skleníkové plyny patří oxid uhličitý, metan, oxid dusný, halony a freony. Pro vyčíslení potenciálu globálního oteplování se používají ekvivalentní hodnoty CO<sub>2</sub>.

Emise CO<sub>2</sub> pocházející z energetiky představují nejvýznamnější faktor odpovědný za skleníkový efekt [2]. Průmyslové země se v 1997 v Kjótském protokolu zavázaly snížit emise skleníkových plynů o 5,2 % oproti roku 1990, následně byl schválen dodatek, ve kterém se země zavazují snížit emise skleníkových plynů o 20 % oproti roku 1990 do roku 2020.

#### 4.3.5 Úbytek stratosférického ozonu

Poškození ozonové vrstvy je způsobeno emisí halonů, tvrdých freonů (CFC), měkkých freonů (HCFC), methyly. Pro vyčíslení potenciálu ničení ozonové vrstvy se používají ekvivalentní emise trichlormonofluormetanu (R-11). K nejvýznamnějšímu úbytku stratosférického ozonu došlo od 60. do 80 let 20 století, kdy prudce narůstala spotřeba poškozujících látek. Za účelem ochrany ozonové vrstvy byla přijata 1985 Vídeňská úmluva a její prováděcí Montrealský protokol 1987. K těmto úmluvám nakonec přistoupila naprostá většina států světa. V současné době je největším odvětvím používajícím tyto nebezpečné látky chladicí a klimatizační technika. CFC látky a halony se v ČR vůbec nepoužívají, látky HCFC se používají v některých starších chladicích zařízeních [2].

#### 4.3.6 Vznik fotooxidantů

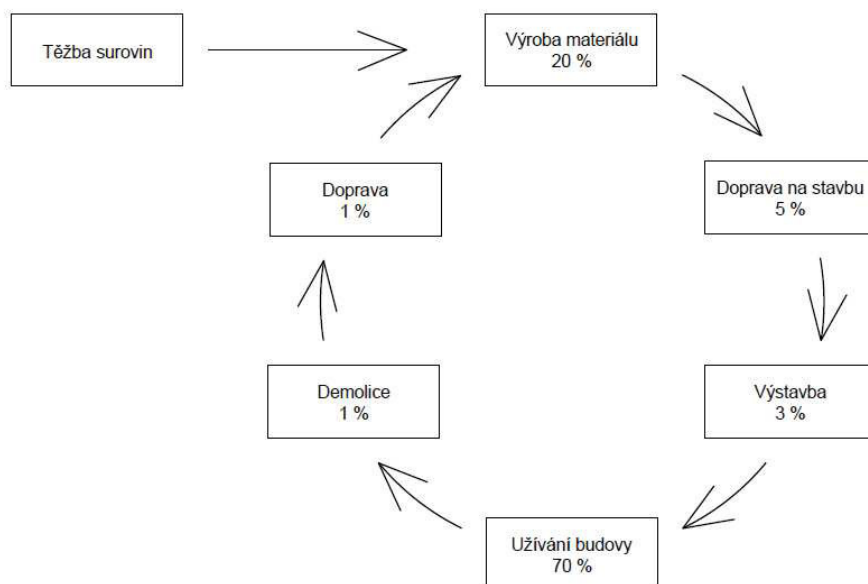
Fotooxidanty jsou fotochemické látky, které za přítomnosti slunečního záření vytvářejí přízemní ozon. Přízemní ozon vzniká v důsledku emisí oxidu dusíku a těkavých sloučenin. Tyto látky jsou do ovzduší uvolňovány silniční dopravou, spalováním fosilních paliv a používáním rozpouštědel. Pro vyčíslení potenciálu vzniku přízemního ozonu se používá ekvivalentní emise ethenu (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>). Nadlimitní koncentrace přízemního ozonu jsou v ČR opakovaně zjišťovány na většině území. Přízemní ozon způsobuje respirační problémy, vznik bronchitidy, oxiduje rostliny [2].

#### 4.4 Hodnocení životního cyklu – LCA analýza

Již bylo zmíněno, že stavební průmysl má významný vliv na dopady na životní prostředí způsobené lidskou činností. Jako analytický nástroj pro hodnocení dopadu lidské činnosti ve stavebním průmyslu na životní prostředí je využívána metoda posuzování životního cyklu.

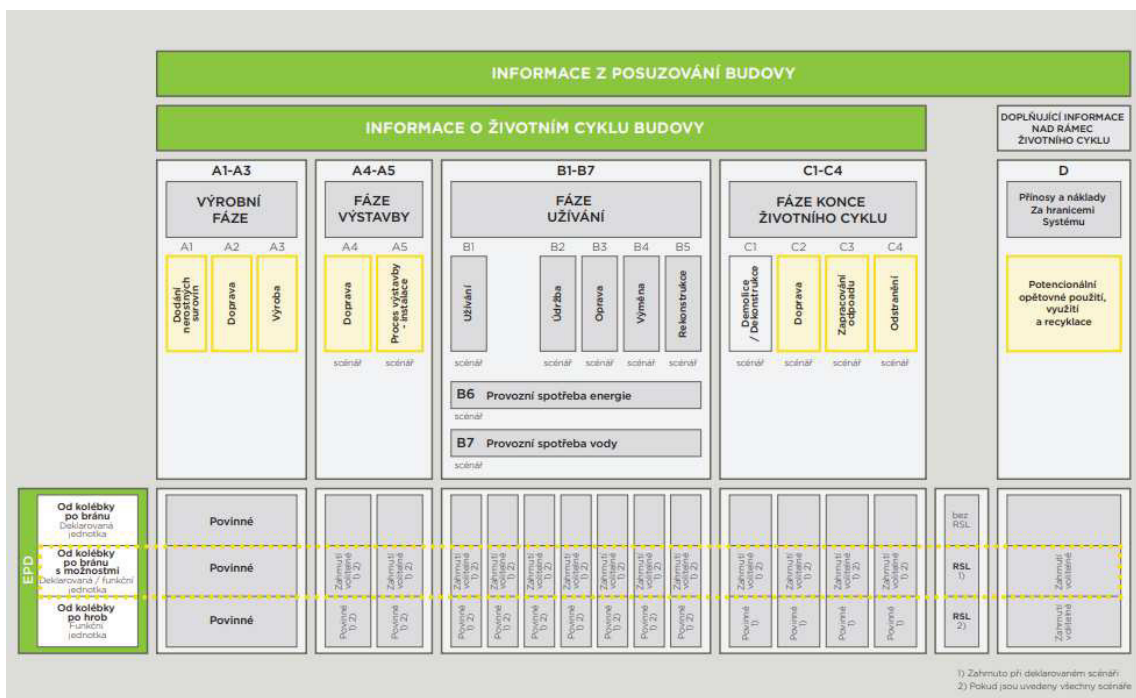
LCA analýza může pomoci při identifikování možností zlepšení enviromentálního profilu produktů v různých fázích životního cyklu a informování osob činících strategická rozhodnutí v průmyslu. Dále se s rostoucím zájmem o enviromentální hodnocení stává marketingovým nástrojem. LCA je jednou z několika metod enviromentálního managementu a neměla by být jedinou metodou k rozhodování. Typické pro ni je, že nebere v potaz ekonomické a sociální aspekty [15].

Metoda hodnotí enviromentální dopady produktů i staveb „od kolébky do hrobu“. Tímto pojmem je myšleno zahrnutí všech aspektů od získávání materiálových a energetických surovin, výrobu, dopravu, provoz, údržbu a závěrečnou demolici. Metodiku stanovení LCA systému určují normy ČSN EN ISO 14040: Enviromentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova. Praha, ČNI, 2006 a ČSN EN ISO 14044: Enviromentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice. Praha, ČNI, 2006.



Obrázek 3 – Schéma stádií životního cyklu a jejich enviromentální dopady [3].

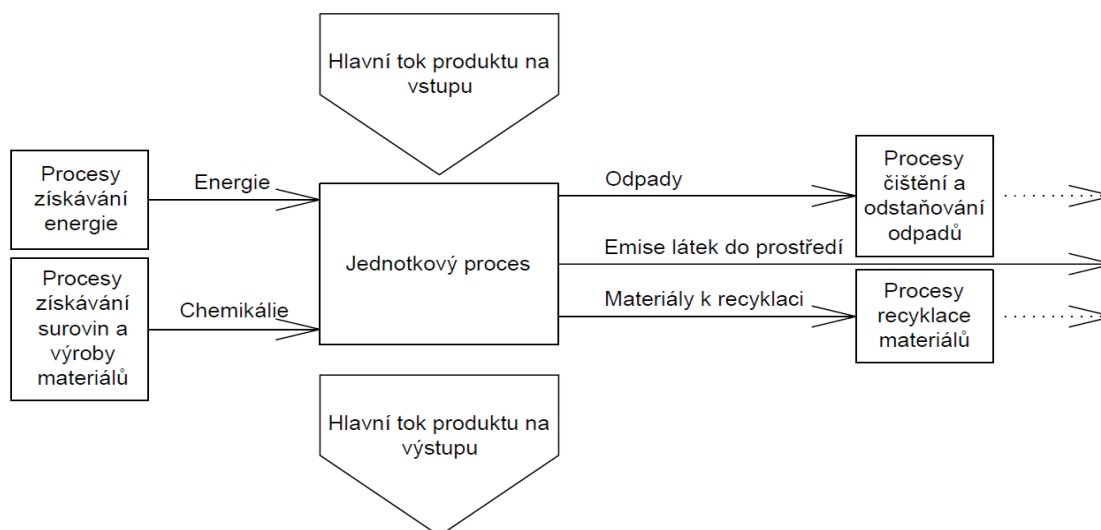
Životní cyklus začíná výrobní fází získáváním obnovitelných a neobnovitelných zdrojů surovin. Do tohoto stádia se zohledňuje i doprava z místa získávání do místa zpracování surovin a samotná výroba, která je spojena s využitím paliv, elektrické energie a dalších zdrojů. Následuje kompletace a balení produktu [3]. Výrobci stavebních materiálů, kteří provádějí analýzu LCA za účelem získání enviromentálního značení ukončují analýzu v tomto bodě. Takový způsob provedení se nazývá „od kolébky po bránu“, čímž je myšlena brána výrobního závodu [16]. Následující fází je výstavba, kde se objevuje doprava ke spotřebiteli a zabudování na stavbě. Třetí fází životního cyklu je užívání, kdy je produkt využíván a spotřebováván a plní svou funkci, kvůli níž byl vyroben. Spotřebovává energii a suroviny na provoz a údržbu. Po ukončení životnosti produktu nastává fáze odstranění, opětovné užití, případně recyklace, ze které může být využit určitý materiál případně i získána energie [3]. Vedle přístupu „od kolébky do hrobu“ a „od kolébky po bránu“ existuje ještě přístup „od kolébky po bránu s možnostmi“. Tato varianta obsahuje fázi výrobní a další volitelné fáze nebo jejich části, které musí být předem před posuzováním jasně definovány. Na následujícím schématu jsou vyznačeny životní fáze zahrnuté do LCA analýzy EPS desek od firmy Isover, která je podkladem pro enviromentální prohlášení o produktu (EPD). Strukturu schématu stanovuje norma ČSN EN 15643-1 Udržitelnost staveb – posuzování udržitelnosti budov – obecný rámec.



Obrázek 4 – Rozdělení životních fází.

Zdroj: ČSN EN 15643-2

LCA se skládá ze čtyř fází, kterým jsou podrobněji věnovány kapitoly níže. Základem celé analýzy je funkční jednotka, která se stanovuje na začátku a určuje co bude předmětem zkoumání. Jelikož si funkční jednotku stanovujeme, jedná se o relativní přístup. Následně je analýza prováděna iterativním přístupem, což znamená, že jednotlivé fáze využívají výsledky předchozích fází [15]. Všechny procesy a operace podílející se na jednotlivých fázích životního cyklu tvoří jeden celek nazývaný produktový systém. Ten se skládá z procesů, které jsou vzájemně propojovány toky meziproductů a elementárních toků se životním prostředím. Procesem se rozumí operace, která přeměňuje materiálové a energetické vstupy na výstupy. Každý proces musí být popsán vstupy, výstupy a umístěním vůči ostatním procesům. Proces se může skládat z různých podprocesů, pokud nelze proces dále dělit, nazývá se jednotkovým tokem. Jako příkladem složeného procesu může být výroba minerální izolace, která se skládá z mnoha jednotkových procesů. Ukázkou jednotkového procesu může být příprava betonu, kam vstupují materiály a energie a výstupem je beton a teplo. Jednou z ústředních myšlenek LCA je potřeba zohledňovat i vedlejší toky jako je odpad jak materiálů, tak energií a procesy, které předcházeli a následovali po zkoumaném jednotkovém procesu. Tím je myšleno, že energie a výrobky vstupující do procesu museli být dříve vyrobeny, stejně jako odpady a vedlejší materiály musí být zlikvidovány. Elementárním tokem se rozumí materiál nebo energie vstupující do produktového systému bez předchozí přeměny člověkem jako jsou suroviny jako ropa či rudy nebo energie například ve formě slunečního záření. Dále to jsou materiál nebo energie vystupující z produktového systému do životního prostředí bez následné přeměny člověkem jako jsou emise, odpadní látky. Typickou jednotkou materiálových toků je hmotnost vyjádřená v kg ale i objem, plocha, počet kusů. U energetických toků se obvykle jedná o MJ, respektive kWh [15] [3].



Obrázek 5 – Vedlejší toky jednotkového procesu [15].

Z LCA vychází všechny v současnosti používané metody posuzování environmentálních vlastností stavebních produktů. Liší se především zvolenými systémovými hranicemi a použitou databází, kterým jsou věnovány kapitoly níže [17]. LCA může využívat informace shromážděné i pomocí těchto metod [15].

Důležitým faktorem ovlivňujícím výsledky LCA studie je národní energetický mix dané země, ve které vznikají použité výrobky a kde stojí posuzovaná stavba. Pro ČR Energetický regulační úřad zveřejňuje hodnoty emisí vznikajících při výrobě elektřiny 5 měsíců po ukončení kalendářního roku. Pro stanovení se používá lineární bilanční model GEMIS z roku 2018.

#### 4.4.1 Fáze 1: Stanovení cílů a rozsahu

V první fázi je definován rozsah studie, který má být v souladu se zamýšleným použitím. Dále by měl být znám důvod provádění studie, pro koho je studie zpracována a zda studie bude s něčím porovnávána. Tyto obecné požadavky významně určují rozsah studie, určení posuzovaného produktového systému a funkční jednotky [18].

##### 4.4.1.1 Funkce, funkční jednotka a referenční tok

Rozsah LCA má jasně specifikovat funkce posuzovaného systému tedy účel užívání zvoleného výrobku. To je důležité při porovnání jednotlivých studií, nelze totiž posuzovat systémy s rozdílnými uživatelskými funkcemi. Dále se určí veličina, jednotka, kterou bude měřeno množství produktu k naplnění funkce. Taková jednotka se nazývá funkční jednotka a musí být měřitelná například v kilogramech, kusech, litrech. Množství výrobku potřebného k naplnění

funkce je definováno jako referenční tok. Pro představu funkcí může být pokrytí střechy tak, aby do ní nezatékalo. Funkční jednotkou bude střecha 100 m<sup>2</sup> a referenčním tokem množství střešní krytiny, která pokryje funkční jednotku a splní funkci. Stejnou funkční jednotku může naplnit plno různých referenčních toků, například jiný druh střešní krytiny. Porovnávání různých referenčních toků by mělo být prováděno pouze na základě definované funkce, tedy pokrytí střechu tak, aby do ní nezatékalo. Pokud jsou brány v úvahu další doplňkové funkce, například životnost 50 let, zohlední se další referenční toky, které společně naplňují požadované funkce [18] [3]. Vzhledem ke složitosti určení funkční jednotky se pro účely certifikace a stanovení enviromentálních parametrů výrobků se užívají deklarované jednotky. Jednotkou jsou váhové, objemové, plošné a jednotky s definovanými vlastnosti např. kg/m<sup>2</sup> při definovaném součiniteli prostupu tepla.

#### 4.4.1.2 Hranice systému

Během životního cyklu produktu do systému vstupuje velké množství jednotkových procesů. S posuzovaným produktem často souvisejí i procesy, které nejsou pro zpracování LCA podstatné. Hranice systému určují, které procesy do systému zahrnout. Výběr hranic musí být v souladu s cílem studie. Všechny toky by měly být zhodnoceny podle stejných, na začátku definovaných kritérií. V systému by se vždy měly objevit procesy získávání surovin, vstupy a výstupy hlavní výrobní činnosti, transport, výroba a užití paliv, elektřiny a tepla, užití a údržba, odstraňování odpadu, obnova použitých produktů, výroba pomocných materiálů a doplňkové procesy (svícení, topení). Volba hranice systému výrazně ovlivňuje výstup studie, její náročnost a komplikovanost, proto je vhodné, pokusit se hranice systému zúžit, aby ale přesto studii zůstala komplexnost a věrohodnost. Je možné zanedbat toky jejichž velikost je vzhledem k velikosti systému malá ve smyslu hmotnosti, energie i enviromentální významnosti [3] [15] [18].

#### 4.4.2 Fáze 2: Inventarizační analýza

Inventarizační analýza slouží ke kvantifikaci všech materiálových a energetických toků vstupujících do systému. Bývá označována jako LCI. Částí analýzy je sběr dat o všech tocích vstupujících do systému, a to především materiálové a energetické vstupy a výstupy, emise do ovzduší, odpady, meziprodukty, pomocné materiály a ostatní enviromentální aspekty. Tyto informace se získávají od provozovatelů jednotlivých zařízení, případně ve zpracovaných databázích. Důležité je, že hodnoty jsou lokálně závislé, což znamená, že údaje jednoho výrobce ve dvou výrobních budovách budou rozdílné z důvodu dopravy, způsobu získávání energie atd. Po sběru dat může vyvstát potřeba upravit hranice systému nebo jiné požadavky určené v první fázi tak,



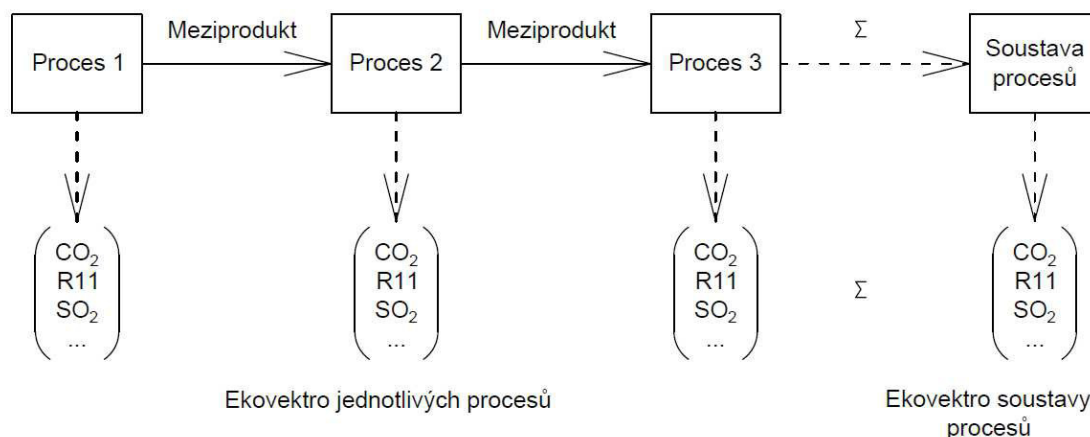
aby zůstala zachována funkce a účel studie (iterativní přístup). Další částí analýzy je sestavení schématu produktového systému v podobě vývojového diagramu. Na základě znalosti životního cyklu, dříve určených hranic se určí všechny procesy, které se propojí energetickými a materiálovými toky do funkčního celku. Do výpočtu vstupují i elementární toky, které se do diagramu nevyznačují (neinteragují mezi jednotlivými procesy, ale mezi procesy a prostředím).

#### 4.4.2.1 Alokace

Alokace řeší problematiku sdílení procesů. Průmyslové procesy většinou nejsou tvořeny pouze lineárními procesy. Do každého procesu vstupuje více vstupů, meziproductů nebo jsou procesy sdíleny mezi více toky [15]. Může se jednat o provozní či režijní vstupy jako je například svícení a vytápění, recyklace, podílení se na dopravě. Alokační postupy řeší vhodné dělení nákladů mezi toky sdílených procesů, to může být prováděno na základě hmotnosti, počtu kusů či ekonomické hodnoty. Pokud je možné alokovat podle více faktorů, je nutné provést analýzu citlivosti a zvolit nejvhodnější způsob dělení podle funkce procesu, nazýváme ho alokační faktor [3]. Suma alokovaných výstupů se vždy musí rovnat sumě vstupů do procesu. Alokace je složitou částí inventarizační analýzy, a proto platí pravidlo, že je vhodné se jí vyhnout, tam kde to lze. Pokud to možné není, hledají se vztahy na základě fyzikálních vlastností, následně až ekonomických vlastností [18].

#### 4.4.2.2 Výpočet ekovektoru a inventarizační tabulky

Klíčovou částí inventarizační analýzy je vyčíslení elementárních toků spotřebovaných vstupů a emitovaných látek do prostředí vzhledem k funkční jednotce. Každý jednotkový proces přeměňuje vstupy na výstupy a zároveň produkuje nebo přijímá elementární toky vzhledem k prostředí. Vektorový součet všech elementárních toků vztahených k referenčnímu toku se nazývá ekovektor. Ekovektory mohou být vyčísleny pro jednotlivé procesy, meziproducty či celé životní cykly produktových systémů. Po získání ekovektoru jsou data seskupena do inventarizační tabulky, která je praktická pro následné hodnocení dopadů podle jednotlivých stadií produktového systému. Jsou rozděleny na spotřebované suroviny, emise do ovzduší a emise do povrchových vod podle jednotlivých materiálů a fází životního cyklu [3]. Všechny požadované tabulky jsou uvedeny v příloze normy ČSN EN ISO 14044: Enviromentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice.



Obrázek 6 – Znárodnění ekovektorů [3].

#### 4.4.3 Fáze 3: Posuzování dopadů životního cyklu

Fáze se zaměřuje na vyhodnocování významu potenciálních environmentálních dopadů za použití výsledků z předchozí fáze (LCI). Bývá označována jako LCIA. Environmentálními dopady rozumíme pozorovatelné důsledky na životní prostředí a zdraví člověka. Během posuzování dopadů mohou být iterativně přezkoumány cíle a rozsah studie LCA tak, aby bylo možné dosáhnout funkce studie. Modelování a vyhodnocování kategorií dopadu může vnést do studie subjektivitu, proto je nezbytná transparentnost [15].

##### 4.4.3.1 Kategorie dopadu, indikátory kategorie dopadu

Podle dopadu je můžeme rozdělit do tzv. kategorií dopadu, které vyjadřují, jaký potenciální dopad produkt může mít. Příklady kategorie dopadu jsou, globální oteplování, úbytek stratosférického ozonu, acidifikace půdy a podobně. Kategorie dopadu a jejich indikátory jsou popsány v kapitole 4.3 Environmentální dopady. Celý proces zahrnuje přiřazení kategorií dopadu a indikátorů kategorií k jednotlivým položkám inventarizační tabulky. Následuje součet indikátorů kategorií o konkrétních hodnotách a jasně definovaných jednotkách. Následně je možné rozhodnout o šetrnosti výrobku k životnímu prostředí. K tomuto rozhodnutí je potřeba vyčíslit konkrétní škody na životním prostředí. Není možné ho provádět přímo z výčtu emitovaných látek, jelikož jeden produkt může mít vyšší hodnotu například u  $\text{CO}_2$ , zatímco druhý má tuto hodnotu nízkou, ale významně převyšuje v jiné kategorii [3].

Pro vyjádření intenzity environmentálního dopadu v dané kategorii slouží indikátor kategorie dopadu. Je to měřitelná veličina s jasně definovanými jednotkami. Indikátory se dělí na dva druhy, midpointový a endpointový. Midpointovým indikátorem je možné měřit vlastnosti látky elementárního toku, například schopnost skleníkového plynu zadržovat energii v atmosféře.

Endpointovým indikátorem je možné měřit jev, který zapříčiní, například zvýšení hladiny světových oceánů v důsledku globálního oteplení [3]. Kategorie dopadu, indikátory kategorie by měly být voleny mezinárodně akceptovatelné.

#### 4.4.3.2 Charakterizační model, charakterizační faktor

Charakterizační model je definovaný postup, jak vyjadřovat vliv elementárních toků v určitém kategorii dopadu. Charakterizační modely mohou být různé pro shodné kategorie dopadu podle toho, jako indikátory dopadu byli použity (midpointové, endpointové). Obecně lze říci, že midpointové modely jsou více založeny na přírodních zákonitostech, ale hůře se interpretují. Endpointové charakterizační modely jsou lépe představitelné, ale jsou zjednodušením komplexních jevů, proto je v nich velká míra nejistot. V dané problematice se vyskytuje množství termínů, které jsou v následující tabulce shrnuty s názorným příkladem.

Tabulka 3 – Příklady termínů [18].

Termín	Příklad
Kategorie dopadu	Změna klimatu
Výsledky LCI	Množství skleníkových plynů na funkční jednotku
Charakterizační model	Základní model pro 100 let, Mezivládní panel pro změnu klimatu
Indikátor kategorie	Infračervené záření ( $W/m^2$ )
Charakterizační faktor	Potenciál globálního oteplování ( $GWP_{100}$ ) pro každý skleníkový plyn $kg\ CO_2ekv$ na funkční jednotku
Výsledek indikátoru kategorie	$kg\ CO_2ekv$ na funkční jednotku
Enviromentální závažnost	Infračervené záření je prostředníkem pro potenciální vlivy na klima

Postup posuzování dopadů spočívá v převedení inventarizace, tedy ekovektoru na indikátory kategorie dopadu (např. Globální oteplování). Následuje klasifikace, tedy přiřazení všech elementárních toků jednotlivým kategoriím dopadu, například označení emise chlorovodíku za acidifikující látku. Po seskupení všech elementárních toků do kategorií dopadu následuje charakterizace, tedy jakou intenzitou se dané toky podílejí na prohlubování enviromentálního dopadu. Na základě toho se sestaví charakterizační profil produktového systému, který je shrnut do několika řádků podle kategorií dopadu [3]. Pro představu je uveden příklad charakterizačního profilu  $1\ m^2$  keramické dlažby, který byl zveřejněn v rámci certifikace EPD daného výrobku.

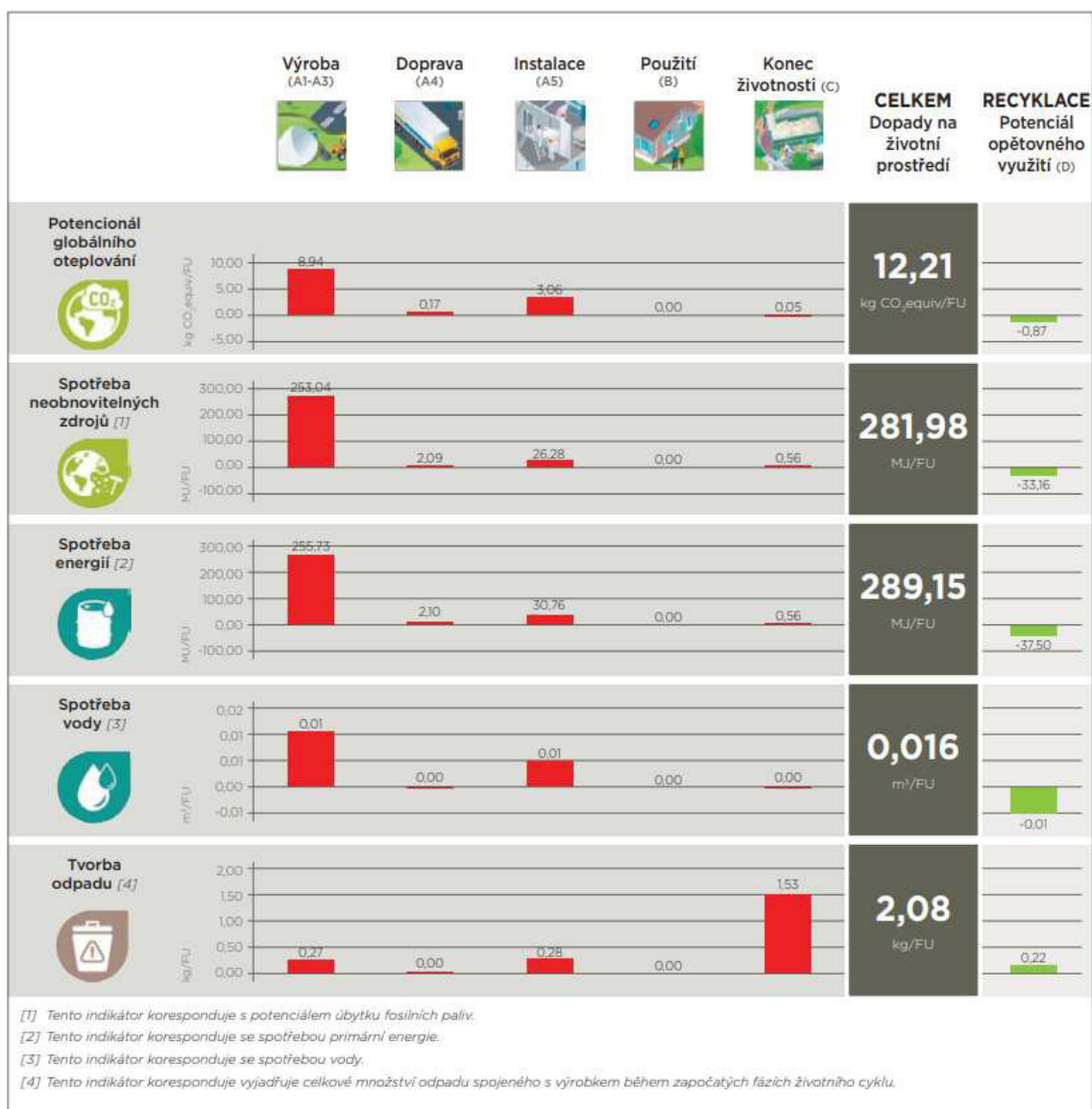
Tabulka 4 – Charakterizační profil keramické dlažby RAKO. Enviromentální prohlášení o produktu 7170001

Výsledek LCA – Parametry popisující enviromentální dopady									
Parametr	Jednotka	A1-A3	A4	A5	B2	C2	C3	C4	D
Potenciál globálního oteplování (GWP)	kg CO2 ekv.	8,4	1,52	0,756	0,127	0,37	3,00E-2	2,69E-2	-3,54E-2
Potenciál úbytku stratosférické ozonové vrstvy (ODP)	kg CFC ekv.	1,94E-6	1,05E-7	2,16E-8	1e17e-8	2,46E-8	1,95E-9	8,07E-9	-3,97E-9
Potenciál acidifikace půdy a vody (AP)	kg SO2 ekv.	4,01E-2	5,22E-3	2,12E-3	8,19E-4	1,43E-3	2,10E-4	1,60E-4	-2,10E-4
Potenciál eutrofizace (EP)	kg (PO4)3 ekv.	2,12	1,15E-3	3,73E-4	1,63E-4	3,46E-4	4,88E-5	3,92E-5	7,48E-5
Potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP)	kg Ethene ekv.	2,16E-3	2,16E-3	7,30E-5	3,60E-5	5,35E-5	5,44E-6	5,89E-6	-9,06E-6
Potenciál úbytku surovin (ADP – prvky) pro nefosilní zdroje	kg Sb ekv.	1,80E-5	3,77E-6	8,08E-7	8,46E-7	1,12E-6	9,14E-9	0,00	1,84E-9
Potenciál úbytku surovin (ADP – fosilní paliva) pro fosilní zdroje	MJ výhřevnost	9,18E+1	2,25E+1	4,15	3,57	5,36	4,18E-1	2,49E-4	4,95E-2

Zdroj: Enviromentální prohlášení o produktu 7170001

#### 4.4.4 Fáze 4: Interpretace

Interpretace životního cyklu slouží k snadno pochopitelnému a kompletnímu prezentování výsledků práce. Jedná se o volné podání výsledků studie konečnému uživateli, které není nijak přesně definováno, následující poznámky jsou pouze doporučení. Výsledky by měly být v souladu s definovaným cílem a rozsahem studie. Zároveň by se zde měl objevit popis řešení, všechna omezení a zjednodušení. Závěrečná zpráva by měla být zaměřena na různé posuzované fáze studie v přiměřené formě a podrobnosti [18].



Obrázek 7 – Interpretace výsledků LCA u výrobku Isover EPS Sokl 3000.

## 4.5 Enviromentální značení stavebních výrobků

Enviromentální značka či prohlášení je tvrzení prokazující enviromentální aspekty daného výrobku či služby. Cílem enviromentálního značení je zvýhodnit produkty způsobující menší enviromentální škody. Se zvyšujícím se zájmem spotřebitelů o životní prostředí roste i zájem o výrobky označené ekoznačkou, což vede výrobce k využívání značení jako marketingového nástroje. Používání enviromentálního značení není legislativně regulováno, což často vede k tzv. greenwashingu. Toto pojmenování se používá pro marketingovou strategii, kdy výrobce vydává svůj výrobek za „zelenější“ než ve skutečnosti je. Ve většině případů se jedná o vyzdvihování pozitivního enviromentálního aspektu a zatajení negativního nebo o nepodložené tvrzení. Hodnověrné ekoznačení standardizuje norma ČSN ISO 14020 Enviromentální značky a prohlášení – Obecné zásady a další navazující normy. Značky respektující tyto normy sdělují ověřitelné, přesné a nezavádějící informace [3], [19].

### 4.5.1 Enviromentální značení typu I. – ekoznačka

Enviromentální značení typu I. standardizuje norma ČSN ISO 14024 Enviromentální značky a prohlášení – Enviromentální značení typu I – Zásady a postupy. Výrobek musí splňovat předepsaná kritéria a mít srovnatelné nebo lepší enviromentální vlastnosti než výrobky ve stejné kategorii. Mezi mezinárodně známé ekoznačky patří Ecolabel EU, Blaue Engel, či značky týkající se udržitelného hospodaření se dřevem. V České republice uděluje ekoznačku agentura Cenia – česká agentura životního prostředí. Kritéria pro udělení ekoznačky „Ekologicky šetrný výrobek“ předepisují Technické směrnice vydané Ministerstvem životního prostředí ČR.

Nevýhodou ekoznaček je, že kromě výše zmíněných hodnověrných značení existuje na trhu i široké množství značek s variabilní kvalitou, což vnáší do značení zmatek a ubírá na důvěryhodnosti [3].



Obrázek 8 – Ekoznačky: Ecolabel EU, Blaue Engel, Ekologicky šetrný výrobek.

Zdroje: <https://eeb.org/library/comments-on-a-future-strategy-for-the-eu-ecolabel/>;  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Modr%C3%BD\\_and%C4%9B\\_\(certifik%C3%A1t\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Modr%C3%BD_and%C4%9B_(certifik%C3%A1t));  
<https://www.cenia.cz/spolecenska-odpovednost/ekoznaceni/>

#### 4.5.2 Enviromentální značení typu II. – vlastní enviromentální tvrzení

Enviromentální značení typu II. standardizuje ČSN ISO 14021 Enviromentální značky a prohlášení – Vlastní enviromentální tvrzení (typ II enviromentálního značení). Jedná se o enviromentální prohlášení vydávané výrobcem, které se zaměřuje na určitý enviromentální aspekt. Tvrzení by mělo být podloženo vědeckou analýzou. Toto značení nepodléhá ověření třetí stranou, je tedy ze všech tří tvrzení nejméně vypovídající a může být snadno zneužito ke greenwashingu [3].

#### 4.5.3 Enviromentální značení typu III. – EPD

Enviromentální značení typu III. je nazýváno Ekolist, Ekoprofil nebo nejrozšířeněji Enviromentální prohlášení o produktu – EPD (Enviromental Product Declaration). Tento typ značení standardizuje ČSN ISO 14025 Enviromentální značky a prohlášení – Enviromentální prohlášení typu III – Zásady a postupy. Jedná se o několikastránkový dokument, který je založen na studii LCA. Poskytuje informace o výrobcí, výrobku, a komplexní informace o enviromentálních aspektech. Vydáním enviromentálního prohlášení se výrobek neřadí automaticky mezi ekologicky šetrné výrobky jako tomu bylo u ekoznačky, pouze poskytuje soubor přesných, nezavádějících hodnot, se kterými může uživatel dále pracovat. Pro investorské rozhodování s ohledem na svázanou energii je EPD prohlášení klíčovým zdrojem informací [3], [20].

Enviromentální značení typu III. vždy vychází ze studie LCA a shrnuje její výsledky. Samotná studie je rozsáhlý dokument, který jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách musí obsahovat velmi detailní informace o všech vstupech a výstupech i pro výrobce citlivé informace o technologických postupech. EPD slouží jako zkrácená zpráva LCA studie určená ke zveřejnění. EPD prohlášení mají za účel poskytnout ucelené informace o produktu během životního cyklu a enviromentální porovnání jednotlivých produktů na trhu. Prohlášení zpravidla nezahrnuje celý životní cyklus výrobku, ale využívá se přístup „od kolébky po bránu“ a to z důvodu nejistého nakládání s výrobkem, neznámé délky jeho životního cyklu z důvodu údržby a dalších proměnných, které výrobce nedokáže ovlivnit.

Pro vytvoření EPD v souladu s příslušnými normami slouží programy enviromentálních prohlášení typu III. Jedná se o dobrovolné programy, se zveřejněnými pravidly pro jejich užívání. Umožňují výrobcí vytvořit studii LCA a následně EPD podle stanovených pravidel. Zároveň program dohlíží na formální i věcnou správnost zveřejněných EPD a vytváří podklady pro jednotný způsob vypracování studií LCA.

Obecné předpoklady na vytvoření EPD definují Obecné programové instrukce – GPI (General Programme Instructions), které popisují organizační strukturu provozovatele programu, způsob tvorby pravidel produktových kategorií, obecné požadavky na LCA, postupy při ověřování a podmínky zveřejnění. Pro jednotlivé skupiny produktů mající stejnou spotřebitelskou funkci jsou sestavena pravidla produktové kategorie – PCR (Product Category Rules). PCR jsou návodem, jak LCA a EPD pro danou kategorii zpracovat. Obsahují seznam všech požadovaných informací, pravidla pro volbu funkční či deklarované jednotky, popis hranic systému, popis alokačních a cut-off pravidel, požadavky na kvalitu data způsob ověření. Tyto zmíněné pojmy jsou vysvětleny v předchozí kapitole Hodnocení životního cyklu. Prohlášení EPD je označeno značkou použitého programu. Provozovatel programu je společnost nebo jejich skupina, sdružení, veřejná správa, agentura, vědecká instituce nebo jiná organizace, která může mít působnost v rámci státu či mezinárodně. Příkladem mezinárodního programu je The International EPD® System, příkladem lokálního programu je *Národní program environmentálního značení*, provozovaný agenturou CENIA.

Získání a zveřejnění prověření probíhá podle normy ČSN ISO 14025 a má následující posloupnost [3]:

- provozovatel programu pro EPD zveřejní obecné programové instrukce GPI a pravidla produktové kategorie PCR pro konkrétní skupinu produktů,
- výrobce zvolí produktovou kategorii, ve které se bude ucházet o získání EPD,
- podle programových instrukcí je zpracována studie LCA, ze studie LCA je zpracováno prohlášení o produktu EPD,
- v případě, že je EPD určeno ke zveřejnění, je ověřeno třetí stranou,
- ověřené EPD je zveřejněno provozovatelem programu a může být zařazeno do dalších databází. V českém prostředí se jedná o CENIA, případně katalog materiálů Envimat,
- ověřené EPD může být použito k marketingovým účelům a k vyhodnocování environmentální certifikace budov (BREEM, LEED, SBTool).



Výsledný dokument EPD dle ČSN ISO14025 [20] obsahuje:

informace o programu,

- provozovatel programu ekoznačení typu III. a jeho logo,
- odkaz na webové stránky provozovatele,
- registrační číslo EPD,
- datum zveřejnění a doba platnosti EPD,
- stáří hodnot použitých pro výpočty LCA,
- geografický rozsah studie LCA,

informace vztahující se k produktu,

- obchodní název,
- informace o výrobci,
- identifikace produktu podle kódu CPC,
- použití produktu,
- technický popis, životnost, uživatelské vlastnosti,
- stručný popis výroby,
- balení a distribuce produktu,
- funkční či deklarovaná jednotka,
- informace o použité podkladové LCA studii,
- obsah nebezpečných látek,

prohlášení o environmentálním profilu (hodnoty založené na studii LCA),

- spotřeba energie,
- spotřeba neobnovitelných surovin,
- spotřeba vody,
- odpady, produkce nebezpečných odpadů a nakládání s nimi,
- výsledky indikátorů kategorií dopadu, hodnoty uvedené v tabulce rozdělené podle jednotlivých fází životního cyklu (druhy indikátorů byli popsány v kapitole 4.4 *Hodnocení životního cyklu LCA*),

dodatečné environmentální údaje,

- další indikátory vyplývající ze studie LCA, například produkce prachových částic, vodní a ekologická stopa apod.,

doplňující enviromentální informace (nepovinná část),

- dodatečné informace, které nepocházejí ze studie LCA, ale výrobce je hodnotí jako důležité, např. postup montáže, způsob údržby. Správné zacházení s výrobkem,

platnost,

- informace o ověření platnosti, razítko certifikačního orgánu.

#### **4.5.4 Cenia**

CENIA, česká informační agentura životního prostředí je příspěvkovou organizací Ministerstva životního prostředí (MŽP). Cílem organizace je shromažďování, hodnocení a interpretace informací o životním prostředí a jejich veřejné poskytování. CENIA je poskytovatelem řady informačních systémů, podílí se na shromažďování statistických dat o životním prostředí. Dále připravuje strategické národní dokumenty ve spolupráci s MŽP.

Mezi hlavní publikační výstupy CENIA patří zejména:

- zpráva o životním prostředí České republiky,
- zprávy o životním prostředí v krajích České republiky (tzv. krajské zprávy),
- statistická ročenka životního prostředí České republiky.

CENIA dále spravuje databázi enviromentálních prohlášení o produktu (EPD) a provozuje program Národní program enviromentálního značení [16].

## 4.6 Nástroje pro modelování životního cyklu

S rostoucím zájmem o enviromentální dopady lidského jednání se vyvíjí i nástroje, pro jednodušší a efektivnější vytváření analýzy životního cyklu. Jelikož se stále jedná o odvětví, kterému není věnováno tolik pozornosti jako spotřebě energie v provozní fázi, nástroje jsou často vyvíjeny neziskovými organizacemi a jsou poskytovány zdarma. V České republice není žádný legislativní požadavek na zpracování LCA studie, vývoj národního nástroje je tudíž pozvolný a zůstává daleko za německým nebo rakouským nástrojem.

Následující kapitoly jsou věnovány některým nástrojům, které je v současné době možná využít při zpracovávání LCA studie. Rešerše není kompletní a má sloužit spíše pro představu o úrovni a možnostech nástrojů.

Významnou společností, která se se jako jedna z prvních začala zabývat modelováním životního cyklu je australská společnost ECO-Quantum. V dnešní době nabízí poradenskou činnost v oblasti LCA, provádí školení a výzkum zaměřeným na další metodologii LCA a vývoj nástrojů s cílem většího využívání informací LCA v širší komunitě [21]. Společnost nenabízí vlastní nástroj ani databázi pro modelování, ale je podporou ostatních neziskových organizací v tomto prostředí.

### 4.6.1 GEMIS

GEMIS je počítačový software s vlastní rozsáhnou databází podkladů. Jeho vývoj začal už 1987 v Darmstadtu v Německu. V současné době je aktuální verzí GEMIS 5.0. Česká aplikace GEMIS CZ byla vytvořena společně Ministerstvem životního prostředí ČR a Ministerstva průmyslu a obchodu za finančního přispění rakouské vlády. Program je volně dostupným nástrojem pro veřejnost [22].

Nástroj slouží pro kompletní analýzu LCA pro vyčíslení identifikátorů kategorií dopadu, odpadů, ale i vlivů na zaměstnanost pro danou lokalitu a ekonomickou náročnost. Uplatnění nachází na úrovni lokálních, regionálních, národních i globálních analýz. V databázi GEMIS je uloženo přes 9000 procesů, jejichž data byla sebrána ve více než 30 zemích [22].

Program GEMIS má tři základní funkce [22]:

- **databáze** – Obsahuje enviromentální informace o produktech, procesech a vzorových scénářích. Kromě enviromentálních dat jsou zde uloženy i informace o cenách energie, transportů a jednotlivých produktů. Každý uživatel si může vkládat vlastní data nebo modifikovat položky v databázi,
- **analytický systém** – nástroj pro tvorbu LCA studie. Z procesů a meziproduktů z databáze umožňuje poskládat vstupy a výstupy LCA studie, pro každý výpočet lze zadat jeho hranice, alokace a procesy. Všechny procesy jsou charakterizovány technickými, environmentálními a ekonomickými údaji, údaji o umístění procesu a odkazem na původ vložených údajů,
- **porovnávací systém** – umožňuje tvorbu variant scénářů, které lze porovnávat mezi sebou nebo s obdobnými procesy v rámci jiných zemí.

Vzhledem, že je program GEMIS podporován českými ministerstvy, je volně dostupný a je trvale aktualizován, jeví se jako vhodný nástroj pro analýzu. Oproti ostatním nástrojům a databázím pracuje i s ekonomickými daty. V databázi produktů je v aktuální verzi nachází 1240 položek, kde u každé je informace o jakosti dat. Kvalita a rozsah produktů v databázi je omezen, nástroj počítá spíše s vkládáním vlastních dat o produktech, které pocházejí například z EPD prohlášení výrobců s českou lokalizací se v databázi nachází 70 produktů. V databázi procesů se nachází 12 199 procesů od dopravy, vytápění, zpracování dřeva, cementu apod. Českou lokalizaci má 239 položek. Výhodou může být i částečně české prostředí. Lineární bilanční modely pro vyčíslování indikátorů kategorie enviromentálního dopadu využívá i národní certifikační nástroj SBTool.



Obrázek 9 – Procesní řetězec a ukázka části dat pro proces cement-CZ.

Zdroj: program GEMIS 5.0

#### 4.6.2 Legep

Legep je německým nástrojem se sídlem v Mnichově pro integrovanou analýzu životního cyklu. Vychází z německých norem a podporuje místní certifikaci budov DGNB a BNB. Legep má vlastní databázi a software, který je rozdělený do několika skupin a zaměřuje se na různé analýzy.

Příklady zaměření některých nástrojů:

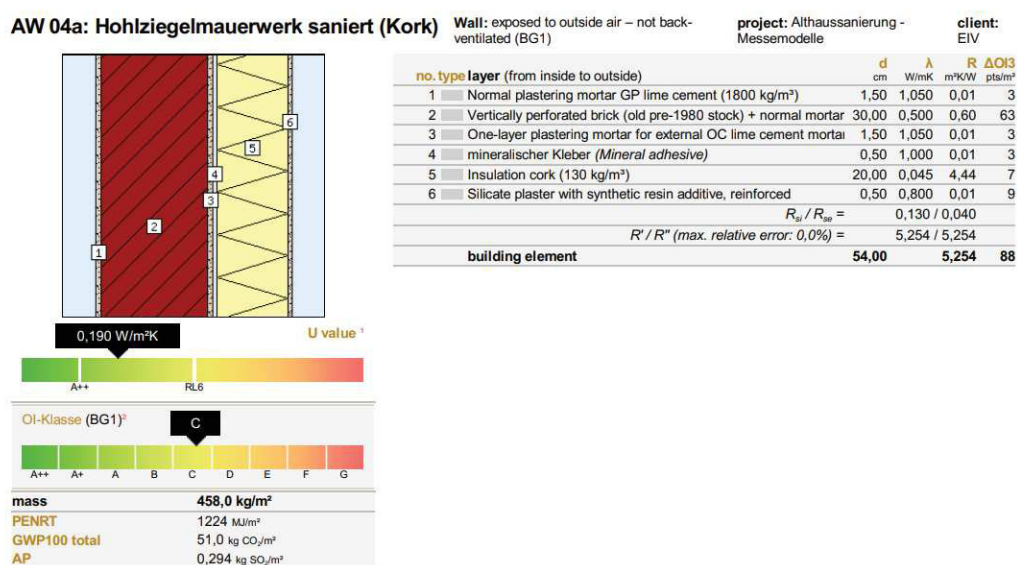
- energetika – stanovení spotřeby tepla na vytápění, ohřev TV a spotřebu elektřiny, což bude obdobou českého softwaru pro výpočet PENB,
- Life Cycle Costs,
- Life Cycle Assessment,
- materiály a zdraví,
- certifikace udržitelnosti – pro německý DGNB a BNB Sustainability Certification.

Databáze obsahuje okolo 6 000 prvků lokalizovaných pro Německo. Software je možné využívat v plné nebo demo verzi [23].

Hlavním a zásadním faktem znemožňujícím použití v českém prostředí je, že přístup k jednotlivým nástrojům je umožněn pouze z německé sítě.

### 4.6.3 Baubook

Baubook je rakouská internetová platforma, která slouží jako komplexní informační a komunikační centrum pro energeticky efektivní a ekologickou výstavbu. Baubook vyvíjí dva veřejně přístupné nástroje Baubook calculator a eco2soft. Nástroje využívají vlastní lokalizovanou databázi [24]. Baubook calculator je jednoduchý nástroj pro posuzování konstrukcí. Po volbě vlastností a skladby konstrukce dostaneme informace o součiniteli prostupu tepla, spotřebě primární energie, potenciálu globálního oteplování a potenciálu okyselování prostředí. Ze subjektivního pohledu je nástroj jednoduchý a uživatelsky přívětivý. Nástroj je volně dostupný bez nutnosti registrace.



Obrázek 10 – Vyhodnocení skladby podle Baubook calculator.

Eco2soft je nástroj pro zjednodušené posuzování životního cyklu celé budovy. Budova je modelována podle jednotlivých konstrukcí. Nástroj umožňuje nastavení nenormové životnosti jednotlivých materiálů, doby životního cyklu, vzdálenosti a druhu dopravy jednotlivých materiálů na staveniště, způsob likvidace jednotlivých materiálů na stavbě a další. Pracuje s databází materiálů využívaných pro Baubook calculator. Výsledkem je přehled všech konstrukcí a jejich sumy hodnot kategorie dopadu [24].

building overall			
PENRT:	841 kWh	GWPS:	-96,7 kg CO <sub>2</sub> equ.
PENRE:	missing*	GWPP:	201 kg CO <sub>2</sub> equ.
PENRM:	missing*	GWPC:	298 kg CO <sub>2</sub> equ.
PERT:	1.117 kWh	AP:	0,837 kg SO <sub>2</sub> equ.
PERE:	missing*	EP:	0,517 kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
PERM:	missing*	POCP:	missing*
		ODP:	missing*
GFA:	355 m <sup>2</sup>	ref. area:	355 m <sup>2</sup>
l <sub>c</sub> :	1,61 m	useful life considered:	yes, replacements rates with whole numbers (according to EN 15804 standard)
study period:	50 years	catalog of life:	2012

Obrázek 11 – Vyhodnocení budovy v eco2soft.

#### 4.6.4 Envimat

Envimat je spíše databází než nástrojem, ale jelikož nabízí jednoduchý nástroj pro modelování konstrukcí, byl zařazen do této kapitoly. Envimat je český katalog stavebních produktů a jejich dopadů na životní prostředí. Katalog je vyvíjen Univerzitním centrem energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Jedná se o poměrně mladý projekt, který z velké části čerpá z databáze Ecoinvent. Snahou je postupně zapojovat do databáze lokalizované materiály prostřednictvím EDP certifikátů. Envimat umožňuje výrobcům vkládat do katalogu své výrobky, ty pak obdrží povolení uvádět značku Envimatu na svých výrobcích k marketingovým účelům.

Katalog Envimat využívá český národní nástroj pro certifikaci budov SBTool. Hlavní výhodou tohoto certifikačního nástroje oproti ostatním je úprava na národní podmínky. Skládá se ze skupin kritérií hodnotících environmentální, sociální a ekonomickou kvalitu stavby a její umístění. Každá skupina se skládá z několika podružných kritérií, kde je každému přiřazena hodnota podle stupně splnění požadavku. Výsledkem je bodové ohodnocení stavby a přidělení certifikátu podle dosaženého výsledku [2]. Ve skupině environmentálních kritérií se metodika poměrně podrobně věnuje environmentálnímu zatížení materiálů, které jsou použity na stavbě.

Katalog obsahuje i velmi jednoduchý nástroj na modelování skladby konstrukce, výsledkem je suma kategorií dopadu.

##### Parametry

Parametr	Hodnota	Jednotka
Svázaná energie (PEI):	361,765	MJ/m <sup>2</sup>
Svázané emise CO <sub>2</sub> (GWP):	59,1683	kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>
Svázaná emise SO <sub>2</sub> (AP):	117,512	g SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>
EP:	22,086	g (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv./m <sup>2</sup>
ODP:	0,00202961	g R-11 ekv./m <sup>2</sup>
POCP:	5,0662	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv./m <sup>2</sup>
Tloušťka d:	360	mm
Plošná hmotnost:	480,8	kg/m <sup>2</sup>

##### Skladba

	Název	Tloušťka	ρ	GWP	PEI	AP	EP	ODP	POCP
			kg/m <sup>3</sup>	kg CO <sub>2</sub> ekv./kg	MJ/kg	g SO <sub>2</sub> ekv./kg	g (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ekv./kg	g R-11 ekv./kg	g C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv./kg
1	Beton prostý	200 mm	2380	0.109891	0.574926	0.184899	0.046	0.000003	0.006777
2	ISOVER ORSIK 160 mm	160 mm	30	1.4292	18.3542	6.14583	0.039583	0.000055	0.383333

Obrázek 12 – Vyhodnocení skladby podle Envimatu.

#### 4.6.5 Ecobilian

Ecobilian je součástí firmy pwc s celosvětovou působností, zabývající se širokým spektrem služeb. Ecobilian je francouzská větev, která vyvíjí nástroj TEAM 5, který slouží ke komplexnímu modelování LCA cyklu v souladu s ISO 14040 a ISO 14040. Nástroj je všeobecný a netýká se pouze stavebnictví, umožňuje vytvářet procesy, nastavovat jejich toky a pracuje s velkou databází procesů v průmyslu. Výsledkem je LCA studie výrobku nebo materiálu, se kterou dále můžou pracovat ostatní výše zmíněné nástroje (Legep, Baubook, Envimat) [25]. Pro příklad tento nástroj využívá firma Isover pro získání EDP certifikace.

#### 4.6.6 Pré

Pré je nizozemskou společností, která je na trhu od 1998. Zabývá se udržitelností produktů a životním cyklem a je předním světovým představitelem. Mimo jiné nabízí konzultace v oblasti udržitelnosti, tréninkové programy a především vyvíjí nástroj Sima Pro. Jedná se o webovou platformu, která umožňuje výpočet životního cyklu produktu především pro certifikaci EPD. Nástroj je dostupný v několika variantách licence, volnou pro vzdělávací účely a placenou pro komerční využití. Sima Pro je profesionální nástroj pro sběr, analýzu a sledování údajů o udržitelnosti produktů a služeb. Tento software může být použit pro celou řadu aplikací, jako je vykazování udržitelnosti, uhlíková a vodní stopa, návrh produktu, generování prohlášení o environmentálních produktech a určování klíčových ukazatelů výkonu [26].

Práce v programu je strukturovaná podle jednotlivých fází životního cyklu do čtyřiceti bodů, program je přehledný a uživatelsky příjemný. Sima Pro je kompatibilní s databázemi vyvíjenými ostatními společnostmi jako je australská Lifecycles.

**Required data overview**

Sent by: haringsma@pre-sustainability.com (haringsma@pre-sustainability.com) from TrialCompany

Sections

- Basic Information
- A1 - A2: Raw Materials
- A3: Manufacturing
- A4-A5: Transport and In...
- B1-B7: Use
- C1-C4: End of Life**

17 of 37 questions answered

### C1-C4: End of Life

This section concerns the end-of-life scenario of the product.

#### 40. End of life scenario details

[Add new row](#)

End of life scenario	Quantity (kg)	Transport Type	Transport Distance (km)	Comments
Re-used				
Recycled				

Next question      Save and go back to dashboard      Close and send in survey

Obrázek 13 – Pracovní prostředí Sima Pro.



## 4.7 Databáze pro modelování životního cyklu

Většina výše zmíněných nástrojů pro modelování životního cyklu využívá vlastní databázi, které v této kapitole nebudou znovu zmiňovány. Pro ukázkou, že ne všechny databáze jsou provázány s nástroji pro modelování životního cyklu jsou představeny následující dvě databáze.

### 4.7.1 ALCAS

ALCAS je australská nezisková organizace založená v roce 2001 a je přední organizací zaměřující se na posuzování životního cyklu a udržitelnost rozvoje. Společnost se skládá z členů působících ve vládních, průmyslových a akademických kruzích.

Společnost vytváří Australskou národní databázi inventáře životního cyklu (AusLCI). Jedná se o volně přístupnou databázi s informacemi o celé řadě australských produktů a služeb po celou dobu jejich životního cyklu. Výstupy jsou v souladu s ISO 14040. Slouží jako podklad pro vlastní posuzování LCA a získání ekoznaček produktů [27].

Databáze stavebních materiálů je zatím hodně omezená. Nachází se zde založené listy, které postrádají potřebné informace, výpočet ekovektoru a emisí. Databáze je dobře využitelná například pro odpady, dopravu a nakládání s vodou.

### 4.7.2 Ecoinvent

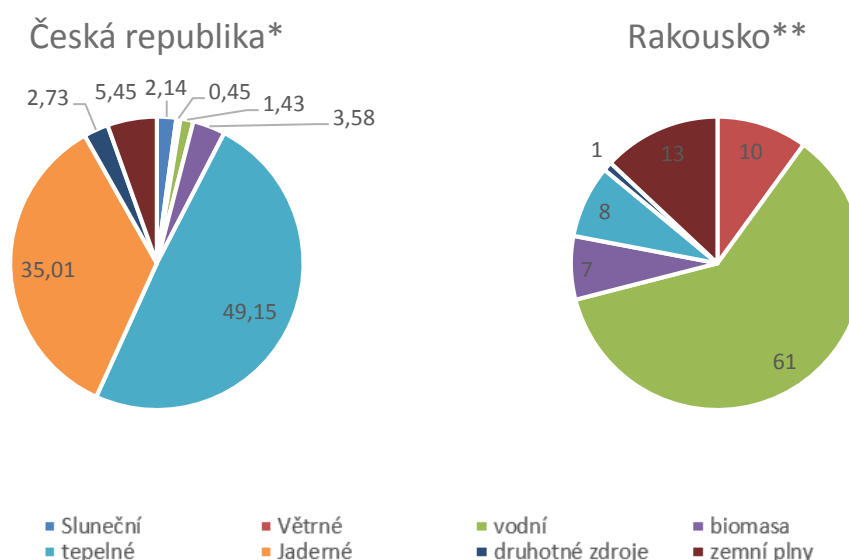
Ecoinvent je švýcarská národní databáze. Databázi je možné použít v celé řadě environmentálních studií, včetně posouzení životního cyklu (LCA), prohlášení o environmentálních produktech (EPD), designu pro environmentální nebo uhlíkovou stopu a umožňuje provádět studie na různých úrovních detailů: od screeningu pro základní odpovědi k rozsáhlým studiím. Jedná se o placenou databázi, která umožňuje volný přístup na studentskou licenci [28].

Databáze poskytuje komplexní inventarizační tabulky s popisem postupu a přehlednou interpretací. Je možné vyhledávat položky podle lokace. Pro českou republiku je lokalizace u 55 procesů, většina se týká elektřiny, plynu, dopravy a nakládání s odpadem jako například papír jako obalový materiál.

## 4.8 Zhodnocení a porovnání rozdílných nástrojů

Výše zmíněné nástroje lze rozdělit do tří základních skupin. Databáze prvků sloužící pro další analýzu (AusLCI, Ecoinvent), komplexní nástroje pro vytváření detailní LCA studie v různých odvětvích (Team5, SimaPro), a zjednodušené nástroje specializované na stavebnictví vyvíjené v národním kontextu s vlastní databází (Legep, Baubook, Envimat). Pokud by měly být nástroje v jednotlivých kategoriích hodnocené podle jejich obsáhlosti a propracovanosti, pak by subjektivně nejlepší databází byl Ecoinvent, všeobecným nástrojem na LCA SimaPro a nástrojem přizpůsobeným stavebnictví Baubook. Komplexní nástroje jsou rozsáhlé a jejich použití je časově náročné, proto se pro účely vyhodnocování stavebních opatření jeví jako dostačující zjednodušené nástroje.

Je potřeba mít na mysli lokalizaci jednotlivých položek. Přestože Rakousko se nachází ve zdánlivě podobných podmínkách jako Česká republika, energetický mix zemí je rozdílný, a tudíž se hodnoty emisí mohou významně lišit. Ač rakouský nástroj Eco2soft nabízí možnost modelování celého životního cyklu budovy, může být Envimat, který umožňuje vyhodnocovat pouze konstrukce vhodnější zdroj informací z důvodu lokalizace knihoven. Důležité je při přebírání informací zohledňovat, jaké části životního cyklu jsou do výsledků zohledněny (od kolébky do hrobu nebo od kolébky po bránu).



Graf 4 – Národní energetické mixy pro rok 2017

\* zdroj: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>

\*\*zdroj: [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/energie\\_umwelt\\_innovation\\_mobilitaet/energie\\_und\\_umwelt/energie/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/index.html)

#### 4.8.1 Porovnání a vyhodnocení konstrukce

Pro porovnání byla náhodně zvolena konstrukce. Její hodnoty indikátoru kategorie dopadu byly zjištěny pomocí českého nástroje Envimat a jeho rakouského protějšku Baubook construction calculator.

Skladba konstrukce je předdefinována jako skladba INB\_0102 v Envimatu. Skladba pravděpodobně neobsahuje penetraci, lepidlo na EPS a kotvy a je zjednodušená. Definice materiálu v českém Envimatu jsou obecné, neumožňují vybírat objemové hmotnosti a výrobce. Naopak rakouský Baubook construction calculator nabízí konkrétní výrobky výrobců, variantu omítky s vyztužením, přesnější výběr omítky a podobně.

Tabulka 5 – Skladba porovnávané konstrukce.

Konstrukce	Tloušťka [mm]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]		Součinitel tepelné vodivosti λ[W/mK]	
		Envimat	Baubook	Envimat	Baubook
Omítka vápenocementová	10	2000	1800	0,99	1,05
Železobeton	200	2380,27	2300	-	2,3
Polystyren pěnový, EPS	80	30	15	0,035	0,04
Omítka s organickým pojivem bez vyztuže	10	1800	1800	0,88	0,8

Tabulka 6 – Vyhodnocení indikátorů kategorie dopadu.

Parametr	Jednotka	Envimat*	Baubook construction calculator	Envimat/Baubook [-]
Svázaná energie (PEI)	MJ/m <sup>2</sup>	648,148	873	0,74
Svázané emise CO <sub>2</sub> (GWP)	kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>	70,2365	76,2	0,92
Svázaná emise SO <sub>2</sub> (AP)	kg SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>	0,143932	0,214	0,67
Potenciál eutrofizace (EP)	kg (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> - ekv./m <sup>2</sup>	0,0347324	0,108	0,32
Potenciál ničení ozonové vrstvy (ODP)	kg R-11 ekv./m <sup>2</sup>	0,00000260485	0,00000313	0,83
Potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv./m <sup>2</sup>	0,0214451	0,0300	0,71
Tloušťka d	mm	300	300	1,00
Součinitel prostupu tepla U	W/m <sup>2</sup> K	0,372	0,439	0,85

\*hodnoty jsou aktuální pro rok 2012

Výsledné hodnoty dvou metod jsou rozdílné, jak bylo možné předpokládat, jelikož nevycházely ze stejných vstupních podmínek (energetický mix zemí, objemová hmotnost, součinitel tepelné vodivosti, detail materiálů). Závěrem lze tedy říci, že hodnoty jsou vzájemně neporovnatelné, proto je při další analýze důležité nekombinovat vstupy z rozdílných databází. Podle výsledků je patrné, že hodnoty rakouského nástroje jsou přibližně o 20-30% výše s výjimkou EP, které je vyšší téměř trojnásobně.

Pro znázornění rozdílu výroby v rakouském a českém prostředí bylo provedeno porovnání hodnot vycházejících ze dvou různých certifikací s lokalizací pro dané země pro jeden konkrétní výrobek. Konkrétně se jedná o ISOVER ORSIK.

Tabulka 7 – Porovnání indikátorů kategorie dopadu v pro ČR a AT.

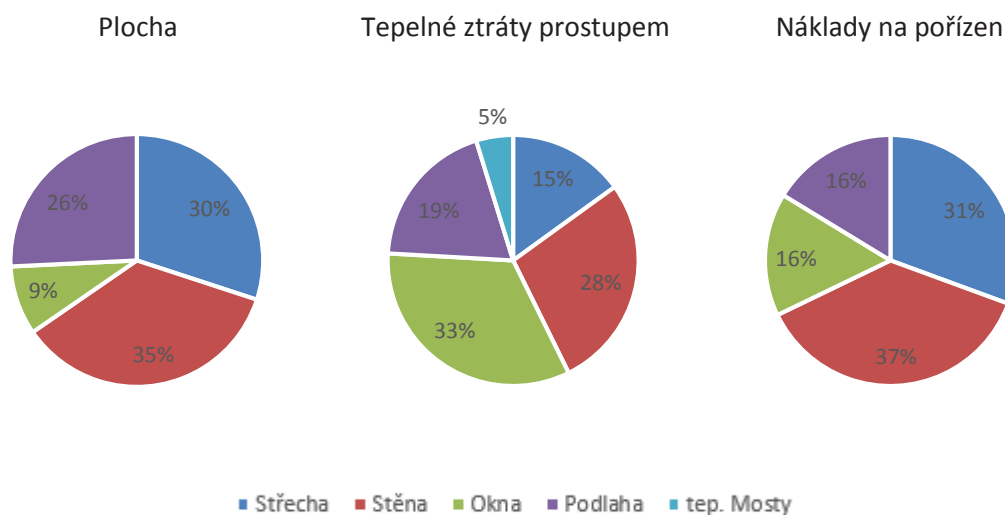
Parametr	Jednotka	EPD pro ČR	EPD pro AT	ČR/AT [-]
Svázaná energie (PEI)	MJ/m <sup>2</sup>	87,17	80	1,09
Svázané emise CO <sub>2</sub> (GWP)	kg CO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>	6,347	5,8	1,09
Svázaná emise SO <sub>2</sub> (AP)	kg SO <sub>2</sub> ekv./m <sup>2</sup>	3,09E-02	3,80E-02	0,81
Potenciál eutrofizace (EP)	kg (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> -ekv./m <sup>2</sup>	4,42E-03	2,30E-03	1,92
Potenciál ničení ozonové vrstvy (ODP)	kg R-11 ekv./m <sup>2</sup>	3,06E-07	1,90E-07	1,61
Potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv./m <sup>2</sup>	2,12E-03	2,00E-03	1,06

Z porovnání vyplývá, že některé hodnoty jsou si velmi podobné, jako například svázaná energie. To značí pravděpodobně podobný výrobní postup. Naopak některé hodnoty se liší významněji jako *Potenciál eutrofizace* a *Potenciál ničení ozonové vrstvy*. Eutrofizace je způsobena přemírou živin v půdě, především dusíku a fosforu. Tyto látky se do prostředí dostávají hlavně vypouštěnou odpadní vodou. Potenciál ničení ozonové vrstvy značí využití freonů nebo halových prvků při výrobě.

## 5 VÝPOČET PARAMETRŮ OBÁLKY BUDOVY

Volba konstrukcí obálky budovy je zásadním faktorem ovlivňujícím výsledné parametry budovy. Utváří vnitřní prostředí budovy a tím ovlivňuje, jak se uživatel uvnitř cítí. Závisí to na povrchové teplotě konstrukcí, tepelné setrvačnosti, vzhledu i subjektivním pocitu.

Volba je z velké části ovlivněna právě subjektivní preferencí investora, osobní zkušeností projektanta, tradicí a příklady realizace v okolí [29]. Během procesu návrhu obálky stavby je nastavována energetická, enviromentální i ekonomická náročnost projektu. Obálka určuje tepelné ztráty prostupem konstrukcemi a tím ovlivňuje náklady na vytápění budovy, obvodové konstrukce určují až 30 % nákladů na pořízení stavby a energie zabudovaná v použitých stavebních materiálech tvoří 20-30% spotřebované energie za životní cyklus stavby.



Graf 5 – Podíl jednotlivých konstrukcí na ploše, tepelných ztrátách prostupem a nákladech na pořízení.

Jako celek 100 % je brán součet obvodových konstrukcí. Pro model posloužila stavba s jednoduchým obdélníkovým půdorysem 10 x 12 m o dvou podlažích se šiknou sedlovou střechou. Pro stanovení tepelných ztrát jsou použity doporučené hodnoty  $U$ , pro náklady průměrná cena na 1 m<sup>2</sup>.

Konstrukce musí mimo jiné splňovat požadavky na součinitel prostupu tepla podle normy ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov. Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011 požaduje, aby bylo zajištěno udržitelné využití přírodních zdrojů. Investor požaduje ekonomickou návratnost energeticky úsporných opatření, důležitá je tedy pořizovací cena a náklady na provoz budovy.

V této kapitole je sestavena rešerše materiálových a konstrukčních řešení, která jsou v současné době k dispozici. Vzhledem k rozsahu materiálových a konstrukčních řešení je rešerše omezena pouze na nejčastější příklady používané ve výstavbě pro bydlení, nejedná se o kompletní výčet.

Nejprve jsou popsány a ohodnoceny jednotlivé materiály, které jsou následně sestaveny do tří až čtyř variant kompletní konstrukce, které jsou následně vyhodnoceny.

## 5.1 Metody stanovení porovnávaných hodnot

Pro každou skladbu jsou charakteristické i konstrukční detaily jako je například řešení obvodového věnce, prostupů apod. V následujícím porovnání budou pro zjednodušení detaily napojení zanedbány a jako měrná jednotka bude jednotka charakteristická pro druh konstrukce, tedy 1 ks pro výplně otvorů a 1 m<sup>2</sup> pro ostatní konstrukce. Následuje popis metod, kterými budou stanoveny porovnávané a nařízené hodnoty.

Struktura vyhodnocování je sestavena do tří úrovní, kdy první úroveň hodnotí samotné materiály, druhá úroveň hodnotí skladbu konstrukce v charakteristickém výřezu a třetí úroveň je vztažena ke konkrétní budově.

### 5.1.1 Tepelně technické hodnocení

Tepelně technické hodnocení vychází z platných norem a předpisů a to především:

- Zákon č. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií,
- Vyhláška č. 78/2013 Sb. Vyhláška o energetické náročnosti budov,
- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Požadavky.

#### Hodnoty stanovené pro materiály: Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/mK]

Schopnost stejnorodého isotopního materiálu při dané teplotě vést teplo. Pro návrh se používají návrhové (výpočtové) hodnoty určené pro teplotní a vlhkostní namáhání a způsob zabudování výrobku do stavby a užívání dané konstrukce.

- Používané hodnoty vycházejí z databáze materiálů používaných výpočtním softwarem DEKSOFT 1D.

**Hodnoty stanovené pro konstrukce: Součinitel prostupu tepla U [W/m<sup>2</sup>K]**

Součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m<sup>2</sup> při rozdílu teplot jejích povrchů 1 K.

Výpočet hodnoty vychází z celkového tepelného odporu konstrukce podle následujícího vztahu [30]:

$$U = \frac{1}{R_{Si} + \sum R_i + R_{Se}} [W/m^2K]$$

kde  $R_{Si}$  ...tepelný odpor při přestupu tepla v interiéru,  
 $R_{Se}$  ... tepelný odpor při přestupu tepla v exteriéru.  
 $R_i$  ... tepelný odpor vrstvy konstrukce  $i$ .

Tepelný odpor konstrukce:

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} [m^2K/W]$$

kde  $d_i$  ... tloušťka vrstvy konstrukce.  
 $\lambda_i$  ... součinitel tepelné vodivosti.

Hodnoty tepelného odporu při přestupu konstrukcí vychází z normy ČSN 73 0540.

Tepelně technické posouzení je prováděno pomocí nástroje Tepelná technika 1D, který je součástí DEK Soft. Hodnoty součinitele tepelné vodivosti vychází z databáze pro software, výpočet součinitele prostupu tepla a nastavení okrajových podmínek je prováděno v souladu s aktuálně platnou normou ČSN 73 0540-2:2011.

Tabulka 8 – Součinitel prostupu tepla obvodových konstrukcí – požadované, doporučené a dosažitelné hodnoty [30].

Druh konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/(m <sup>2</sup> K)]			
	Požadovaná hodnota U <sub>N,20</sub>	Doporučená hodnota U <sub>rec,20</sub>	Doporučená hodnota pro pasivní budovy U <sub>pas,20</sub>	Dosažitelná hodnota*
Obvodová stěna masivní	0,30	0,25	0,18-0,12	0,12 - 0,10
Obvodová stěna lehká	0,30	0,20	0,18-0,12	0,10 - 0,08
Střecha	0,24	0,16	0,15-0,10	0,08
Podlaha na terénu	0,45	0,30	0,22-0,15	0,12
Okno	1,5	1,20	0,8-0,6	0,85-0,6 (podle velikosti a členění okna)
Vstupní dveře	1,7	1,20	0,9	0,85

\*Prakticky dosažitelná hodnota za obvyklých podmínek, bez extrémního zvýšení nákladů [31].

#### Hodnoty stanovené pro objekt: Průměrný součinitel prostupu tepla U<sub>em</sub>[W/m<sup>2</sup>K]

Průměrný součinitel tepla se porovnává s hodnotou stanovenou pro referenční budovu. Hodnota průměrného součinitele tepla se stanoví podle vztahu [30]:

$$U_{em,N} = \int_R * \frac{\sum U_j * A_j * b_j}{\sum A_j} + \Delta U_{em,r},$$

$U_j$  ... dílčí součinitel prostupu tepla konstrukce [W/(m<sup>2</sup>·K)],

$\Delta U_{em,r0}$  ... přírážka na vliv tepelných vazeb, ve W/(m<sup>2</sup>·K),

$A_j$  ... plocha j-té teplosměnné konstrukce, stanovená z vnějších rozměrů, v m<sup>2</sup>,

$b_j$  ... teplotní redukční činitel odpovídající j-té konstrukci podle ČSN 73 0540-2:2011.

Referenční budovou se rozumí: *referenční budovou výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy* [32].



Požadované hodnoty pro referenční budovu se stanoví podle vzorce podle vzorce [32]:

$$U_{em,N,20,R} = \int_R * \frac{\sum U_{N,20,j} * A_j * b_j}{\sum A_j} + \Delta U_{em,r},$$

- kde  $U_{em,N,20,R}$  ... požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla [W/(m<sup>2</sup>·K)],  
 $\int_R$  ... Redukční činitel požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla,  
 $U_{N,20,j}$  ... normová požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla podle ČSN 730540-2:2011 [W/(m<sup>2</sup>·K)],  
 $\Delta U_{em,R0}$  ... přírážka na vliv tepelných vazeb, ve W/(m<sup>2</sup>·K),  
 $A_j$  ... plocha j-té teplosměnné konstrukce, stanovená z vnějších rozměrů, v m<sup>2</sup>,  
 $b_j$  ... teplotní redukční činitel odpovídající j-té konstrukci podle ČSN 73 0540-2:2011.

Hodnota  $\int_R$  je stanovena pro novostavby 0,8 a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie 0,7.

Podle zákona č. 406/2000 Sb. *Zákon o hospodaření energií* vstupuje od 1.1.2020 v platnost požadavek na splnění nároků na budovu s téměř nulovou spotřebou energie pro ostatní budovy s energeticky vztažnou plochou do 350 m<sup>2</sup>. Pro ostatní kategorie budov je tento požadavek již zaváděn od 1.1.2016. Podle směrnice 2010/31/EU zní definice takto: „*Budovou s téměř nulovou spotřebou energie se rozumí budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů.*“

Požadavek na NZEB upravuje *Vyhláška č. 78/2013 Sb. Vyhláška o energetické náročnosti budov* [32]. Která stanovuje požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em, N,20,R}$  a hodnoty ukazatelů energetické náročnosti – neobnovitelná primární energie  $\Delta e_{p,R}$ .

Požadovaný průměrný součinitel  $U_{em, N,20,R}$  se pro NZEB stejně jako pro novostavbu stanovuje pomocí referenční budovy a redukčního činitele.

### **Hodnoty stanovené pro objektu: Spotřeba tepla na vytápění**

Spotřeba tepla na vytápění vychází z celkové roční bilance, do které vstupují energetické zisky, ztráty a účinnost zdroje. V tomto případě je spotřeba tepla na vytápění stanovena měsíční metodou. Podrobná postup pro stanovení spotřeby tepla na vytápění je uveden v normě ČSN EN ISO 13790 *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*.

Při výpočtu se zohledňují ztráty:

- prostupem tepla konstrukcemi,
- větráním,

a energetické zisky:

- solární,
- od osob,
- od spotřebičů,
- od osvětlení.

Výpočet spotřeby tepla na vytápění byl staven na základě ukazatele energetické náročnosti budovy, který je součástí průkazu energetické náročnosti budovy (PENB). Průkaz vystaven pomocí výpočtového programu DEKSOFT ENERGETIKA a respektuje všechny okrajové podmínky a požadavky stanovené výše uvedenými normami a legislativními dokumenty.

### 5.1.2 Enviromentální hodnocení

Enviromentální hodnocení je omezeno na energii svázanou s výrobou materiálu. Původním záměrem bylo vyhodnocovat svázanou energii na základě české databáze Envimat, ale vzhledem k omezenosti materiálů konkrétních výrobců byla zvolena rakouská databáze Baubook. Přednostně jsou voleny materiály výrobců působících na českém i rakouském trhu.

Hodnoty budou mezi sebou porovnávány, proto je důležité, aby vycházeli ze stejných datových základů. Přestože je energetický mix v Rakousku a České republice rozdílný, jak již bylo demonstrováno na grafu Graf 4– Národní energetické mixy pro rok 2017, porovnávána bude spotřeba celkové primární energie ze součtu obnovitelných i neobnovitelných zdrojů. Ostatní kategorie dopadu nebudou vyhodnoceny, a to z důvodu již zmíněného rozdílného energetického mixu zemí, a tudíž nevypovídající hodnotě pro českou lokalizaci.

Hodnocení materiálů, skladeb a celých konstrukcí je možno ve více úrovních detailu označených BG. Program Baubook Calculator pracuje s úrovní detailu BG1, která je vhodná pro 1D vyhodnocování charakteristického výřezu konstrukce.

### 5.1.3 Metoda energetického vyhodnocení

A) Svázaná energie konstrukcí obálky budovy je stanovena ze vztahu:

$$E_S = \sum \frac{E_{Si} * A_{Si}}{A_S} [MJ/m^2]$$

kde  $E_S$  ... Energie svázaná [MJ]

$E_{Si}$  ... Energie svázaná v  $1m^2$  charakteristickém pro konstrukci stanovena výpočtem [MJ/m<sup>2</sup>]

$A_{Si}$  ... Plocha jednotlivých konstrukcí [m<sup>2</sup>]

B) Energie spotřebovaná na vytápění budovy pro jeden rok vychází z průkazu energetické náročnosti PENB vypracovaném programu Energetika, který je součástí nástrojů DEKSOFT.

$$E_p = \sum_{t=0}^T \frac{E_{ti}}{A_s} [MJ/m^2]$$

kde  $E_p$  ... Energie na vytápění za hodnocené období [MJ]

$E_{ti}$  ... Energie spotřebovaná na vytápění za 1 rok [MJ/rok]

$T$  ... Doba hodnocení 20 let

Výslednou hodnotou ekonomického hodnocení je součet těchto dvou hodnot

$$E_K = E_S + E_p [MJ/m^2]$$

Nejvhodnější bude vyhodnocena varianta s nejnižší výslednou hodnotou kumulované spotřeby energie v hodnoceném období  $E_K$ .

#### 5.1.4 Ekonomické hodnocení

**Hodnoty stanovené pro materiály: cena za 1 m<sup>3</sup> materiálu nebo výrobku.**

Jako zdroj byly použity jednotkové ceny materiálu v cenové soustavě URS Praha, zpracované v programu EuroCALC. Ceny jsou přepočteny na 1 m<sup>3</sup> z materiálů střední tloušťky. V cenách nejsou zahrnuty náklady na spojovací materiály, práci, přesun hmot, vedlejší rozpočtové náklady.

**Hodnoty stanovené pro konstrukce: náklady na 1 m<sup>2</sup> charakteristického výřezu konstrukce.**

Náklady na pořízení konstrukcí byli určeny pomocí položkového rozpočtu cenové soustavy URS Praha, zpracovaného v programu EuroCALC. Cena je vztažena k jednotce 1 m<sup>2</sup> skladby. Jedná se o náklady na materiály včetně ztratného a práci na zabudování včetně přesunů hmot. Do nákladů jsou zahrnuty povrchové úpravy bez maleb a nátěrů. Cena je bez DPH a neobsahuje vedlejší rozpočtové náklady.

Některé konstrukce mohou být oproti jiným znevýhodněny pracností nebo zvýšenými nároky na mechanizaci oproti ostatním konstrukcím. Jelikož součástí jednotkové ceny konstrukce jsou i náklady na mzdy a stroje, výše zmíněné se projeví v ceně skladby.

#### 5.1.5 Metoda ekonomického vyhodnocení

A) Náklady na pořízení konstrukcí obálky budovy.

Pro výpočet nákladů na obálku budovy byla uvažována následující zjednodušení. Zjednodušení jsou aplikována na všechny varianty, a proto mohou být mezi sebou porovnávána. Výpočet nákladů obálky je vztažen pouze k plochám využitým při výpočtu průkazu energetické náročnosti budovy. Nezohledňuje vnitřní konstrukce, zařízení objektu, technické zařízení budovy, a náklady spojené s umístěním stavby.

Náklady na obálku budovy vychází z cen charakteristického výřezu konstrukce vztažené k plochám spočteným pro dané objekt podle následujícího vztahu:

$$C_S = \sum_{i=0}^i \frac{C_{Si} * A_{Si}}{A_s} [Kč/m^2]$$

kde  $C_S$  ... Investiční náklad [Kč],

$C_{Si}$  ... Investiční náklad na 1m<sup>2</sup> charakteristický pro konstrukci stanovený výpočtem [Kč/m<sup>2</sup>],

$A_{Si}$  ... Plocha jednotlivých konstrukcí [m<sup>2</sup>].

B) Provozní náklady jsou omezeny pouze na náklady na vytápění. Toto zjednodušení je provedeno za předpokladu, že náklady na ostatní energie se v souvislosti s obálkou budovy nemění, jsou tedy konstantou. Při výpočtu návratnosti investice podle *Vyhlášky č. 480/2012 Sb. Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku* se uvažuje hodnota diskontního činitele 1,04. Suma hodnot začíná v čase t=1, čímž se rozumí začátek užívání stavby. Čas t=0 je investiční období.

$$C_P = \sum_{t=1}^T E_{ti} * C_e * (1 + r)^t [Kč/m^2]$$

kde  $C_e$  ... Cena jednotky energie, konkrétně plynu [Kč/MJ],

$E_{ti}$  ... Energie spotřebovaná na vytápění za 1 rok [MJ/rok],

T ... Doba hodnocení 20 let,

r ... Diskontní sazba, v tomto případě představuje nárůst cen energie 3 %.

Výslednou hodnotou ekonomického hodnocení je součet těchto dvou hodnot:

$$C_K = C_S + C_P [Kč/m^2].$$

Jako nejvhodnější bude vyhodnocena varianta s nejnižší hodnotou kumulovaných diskontovaných nákladů na pořízení a vytápění budovy v hodnoceném období 20 let.

## 5.2 Izolační vrstva

Všechny konstrukce obálky budovy mají společnou jednu vrstvu a tou je tepelná izolace. Způsoby využití a umístění jednotlivých izolací se překrývají a z toho důvodu jsou uvedeny všechny ve společné kapitole mimo ostatní konstrukce.

Tabulka 9 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro tepelné izolace.

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/mK]*	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]**	Náklady [Kč/m <sup>3</sup> ***
EPS Bílý 100 F	0,035-0,039	1681	2 400 – 2 800
EPS Bílý 150	0,035-0,039	1681	3 100 – 3 300
EPS šedý	0,033	1483	2 500 - 3 190
EPS – nadkroevní klíny	0,035	1 681	2 800
EPS – akustický	0,039	1 681	1 850 – 2 350
EPS Perimetr	0,034	2 970	3 600 – 4 500
XPS polystyren	0,039	2 990	4 500 – 9 600
Minerální izolace – skelná	0,032 - 0,040	925	1 200 – 3 800
Minerální izolace – kamenná	0,033 – 0,042	641	1 100 – 2 600
Minerální izolace – akustická	0,039	1 681	6 000 – 7 300
PIR	0,022 - 0,027	2 820	4 700 – 7 400
Pěnové sklo – zatížené ploché střechy	0,04 - 0,044	4 710	13 000 - 19 000

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC

### 5.2.1 Expandovaný polystyren

Expandovaný polystyren je nejpoužívanější tepelnou izolací. Vyrábí se z napěněných polystyrenových perlí a označuje se zkratkou EPS a číslem, které vyjadřuje napětí v kPa při 10% stlačení. Dále se k číslu připojuje i velké tiskací písmeno. Dříve používané Z – základní a S – stabilizovaný se dnes již neuvžívají z důvodu přerušení výroby méně kvalitního základního polystyrenu. Pokud je tedy EPS označen pouze číslem, jedná se o stabilizovaný S polystyren. Dále se užívá označení F – fasádní. Expandovaný polystyren má široké využití nejen pro obvodové konstrukce.

Speciální variantou EPS jsou desky s nízkou dynamickou tuhostí určené ke kročejové izolaci podlah. Cena i tepelně izolační vlastnosti jsou obdobné jako u běžného bílého EPS. Vyrábí se v tloušťce do 50 mm. Na českém trhu je kročejový polystyren k dostání pouze v bílé variantě.

Výhodami EPS je nízká cena, dobré izolační vlastnosti a nízká nasákavost. Nevýhodou je jeho hořlavost, kdy při vyšších výškách budovy musí být nahrazen minerální izolací. Dále je to jeho

citlivost na sluneční záření a organická rozpouštědla. Součinitel propustnosti vodních par je přibližně 40x nižší, než je tomu u minerální vlny.

Druhou variantou expandovaného polystyrenu je tzv. šedý polystyren. Desky šedého polystyrenu obsahují nanočástice grafitu, které odráží teplo zpět k jeho zdroji. Tento druh polystyrenu má lepší izolační vlastnosti, umožňuje tedy použití menší tloušťky izolace při zachování stejného tepelného odporu. Nevýhodou je vyšší cena oproti bílému polystyrenu.

Hlavními výrobci na českém trhu jsou Isover, Styrotrade, Dek. Společnost Isover má certifikaci EPD s lokalizací pro ČR na široké spektrum sortimentu. EPD studie jsou ke stažení na webu [cenia.cz](http://cenia.cz) a jsou zahrnuty v databázi materiálů Envimat.

### 5.2.2 Minerální vata

Minerální vlna je tepelná izolace, která se vyrábí rozvlákněním čediče, gabra či skelných vláken za vysokých teplot. Minerální izolace se tedy dělí na dvě varianty – sklené a kamenné. Tyto dvě varianty se od sebe příliš neliší cenou ani tepelně izolačními vlastnostmi. Co se manipulace a umístění týče, existují dvě základní varianty, a to měkké rohože a tuhé desky. Každá z těchto variant má uplatnění v jiné části stavby. Pro kontaktní zateplovací systém se používají únosnější desky, pro provětrávaný systém nebo dřevěné sendvičové systémy je vhodnější měkká vata. Díky nízkému difuznímu odporu je vhodná do difuzně otevřených i uzavřených skladeb. Materiál je nasákavý a při zvyšování koncentrace vodních par se snižují jeho tepelně izolační vlastnosti.

Výhodami minerální izolace jsou nehořlavost, ohebnost a chemická stabilita. Minerální izolace je beze zbytku recyklovatelná, což je jeden z důvodů, proč je považována za ekologičtější variantu oproti EPS. Výrazný je i rozdíl svázané energie spojené s výrobou oproti EPS. Nevýhodami jsou vyšší cena, a nasákavost.

Výrobci na českém trhu jsou Isover, Knauf, Rockwool, Dek a další. Společnosti Isover a Knauf mají certifikaci EPD s lokalizací pro ČR na široké spektrum sortimentu. Jedná se o materiál s největším množstvím certifikací u nás. EPD studie jsou ke stažení na webu [cenia.cz](http://cenia.cz) a jsou zahrnuty v databázi materiálů Envimat.

#### 5.2.4 Extrudovaný polystyren XPS

Extrudovaný polystyren se vyrábí vytlačováním krystalického polystyrenu, který je zároveň vzpěňován a ochlazován. Z tohoto procesu vzniká pevný materiál s uzavřenou strukturou, který odolává vlhkosti a má vysokou pevnost v tlaku až 700 kN/m<sup>2</sup>. Z tohoto důvodu je vhodný pro spodní stavby a průmyslové podlahy.

Výhodami extrudovaného polystyrenu jsou již zmíněná pevnost v tlaku a odolnost proti vlhkosti a dobré tepelně izolační vlastnosti srovnatelné s EPS nebo minerální vatou. Nevýhodou je vyšší cena a vyšší svázaná energie oproti dvěma zmíněným variantám. Kompromisem mezi nízkou cenou a vyšší pevností může být EPS perimetr, který částečně přejímá vlastnosti obou druhů polystyrenu.

#### 5.2.5 Pěnové sklo

Pěnové sklo se vyrábí roztavením velmi jemně namleté skleněné moučky smíchané s uhlíkovým práškem. Při zahřívání vzniká oxid uhličitý, který zůstane uzavřen ve materiálu. Pěnové sklo se dodává ve formě desek nebo jako granulát. Takový materiál má dobré tepelně izolační vlastnosti a vysokou pevnost. Díky uzavřené struktuře je nenasáklivý. Z toho důvodu se používá jako izolace pod základové desky, kde plní i funkci drenáže. Dále se využívá pro izolaci vysoce zatížených průmyslových podlah nebo jako konstrukční prvek v místě, kde je potřeba přerušit tepelné mosty.

Hlavními výhodami pěnového skla je tvarová stálost, vysoká pevnost, nehořlavost, odolnost proti biologickému poškození. Materiál je možné opakovaně recyklovat rozdrčením na skelnou moučku a celý cyklus opakovat. Nevýhodou pěnového skla je poměrně vysoký součinitel tepelné vodivosti ve srovnání s ostatními používanými materiály, a především několikanásobně vyšší cena. Z toho vyplývá, že materiál je využíván v případech, kdy není možná jiná alternativa.

Obchodními značkami pěnového skla na českém trhu jsou Foamglas, Refaglas, A-Glass a Climaglass. Climaglass má jako jediné zveřejněné prohlášení EPD na stránkách Cenia. Foamglas se o prohlášení EPD zmiňuje ve svém prospektu, ale není lokalizováno pro české prostředí.

### 5.2.6 PIR, PUR, fenolická pěna

Polyisokyanurátová, polyuretanová a fenolická pěna je moderní tepelnou izolací, která se používá ve formě desek nebo litím a stříkáním přímo na stavbě. Desky se vyrábí napěňováním do požadované tloušťky, obvykle mezi materiál, který má tvořit povrch desky. Jako povrchové materiály se používá obvykle hliníková folie, plech nebo skelná tkanina. Kompozity z pěny se používají k izolaci střech, podlah i stěn. Významné využití mají ve formě desek u pro nadroevní izolaci střech a ve formě panelů s hliníkovým pláštěm pro opláštění průmyslových hal.

Hlavními výhodami je těchto materiálů je velmi nízký součinitel tepelné vodivosti a pevnost v tlaku. Nevýhodou je vyšší cena oproti stejnému množství jiné tepelné izolace. Vzhledem k izolačním vlastnostem je možné využít menší tloušťku. Například 100 mm EPS  $\lambda=0,035$  W/mK lze nahradit 60 mm PIR  $\lambda=0,022$  W/mK

Na českém trhu jsou k dostání desky výrobců Peren, Baunit, Bachl, DEK a Kingspan.

## 5.3 Obvodové konstrukce

Obvodové konstrukce lze rozdělit do dvou základních kategorií, a to lehké a těžké. Ve výstavbě pro bydlení výrazně převyšují těžké masivní konstrukce, a to z několika důvodů. Jedním důvodem je volba stěnového konstrukčního systému, kdy nosné obvodové stěny poskytují tepelně izolační a akustickou ochranu. Vzhledem k rozměru jednotlivých místností nevzniká požadavek na velké rozpětí stopu a zastropení lze vyřešit systémovým řešením od stejného výrobce jako obvodových stěn. Dalším důvodem, proč investoři jako stavebníci rodinných domů volí zděný systém je rozměr konstrukčních prvků a snadná manipulace s nimi, není tedy potřeba mít na stavbě během realizace obvodových stěn těžkou mechanizaci. Významnou roli u nás hraje i tradice a názor, že dům má být zděný.

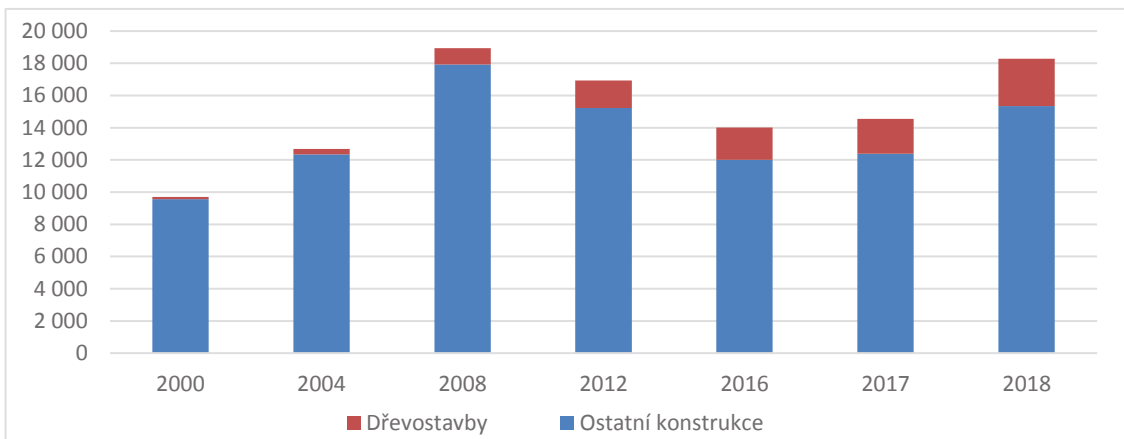
Mezi takové tradiční materiály, od kterých se v současné době ustupuje patří cihly plné a cihly děrované. Existují i další varianty těžkých obvodových konstrukcí, které nebudou dále rozbírány, a to z důvodu nízké energetické účinnosti, nízké četnosti využití nebo nevhodnosti pro výstavbu pro bydlení. Mezi takové materiály patří například škvárobetonové tvarovky, tvarovky z šedého pórobetonu, nepálené cihly a podobně.



Lehké konstrukce v případě staveb pro bydlení znamenají především dřevěný sendvičový obvodový plášť, který u nás nemá příliš hlubokou tradici, ale v současné době mají zvyšující se oblibu. Procento postavených rodinných domů jako dřevostaveb každoročně stoupá a v roce 2018 se vyšplhalo na 16,1 %. Dřevěné sendvičové konstrukce se využívají při stavbě nízkoenergetických a pasivních domů.

Tabulka 10 – Počet dokončených rodinných domů, z toho dřevostaveb.

Rok	Dokončených rodinných domů podle ČSÚ [ks]	Dokončených dřevostaveb podle ADMD [ks]	Dřevostavby/rodinné domy [%]
2000	9 701	133	1,4 %
2004	12 681	332	2,6 %
2008	18 930	1 008	5,3 %
2012	16 929	1 699	10,0 %
2016	14 015	2 013	14,4 %
2017	14 548	2 159	14,8 %
2018	18 287	2 945	16,1 %



Graf 6 – Poměr dřevostaveb vůči ostatním konstrukcím.

V následující tabulce je přehled vlastností materiálů využívaných pro nosné konstrukce obvodových stěn, které jsou rozepsány níže.

Tabulka 11 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro nosné konstrukce.

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/mK]	Spotřeba primární energie [MJ/m <sup>3</sup> ]	Cena [Kč/m <sup>3</sup> ]	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
Pórobetonové tvárnice	0,105	987,5	2 994	400-500
Keramické tvárnice	0,089	1410	3 070	750-770
Keramické tvárnice 2in1	0,066	1492	5 985	650
Vápenopískové tvárnice	0,610	1956	2 920	1 400-2 000

### 5.3.1 Pórobetonové tvárnice

Pórobetonové plynosilikátové tvárnice jsou bílé tvarovky charakteristické svojí nízkou objemovou hmotností a dobrými tepelně izolačními vlastnostmi. Materiál se skládá z křemičitého písku, vápenného pojiva, sádrovce a hliníkového prášku, který způsobuje chemickou plynotvornou reakci, která má za následek lehčení betonu. Vzhledem ke složení a jednoduché výrobě je plynosilikát považován za ekologický a hygienický materiál [33].

Hlavními výhodami bílých plynosilikátových tvárnic jsou jejich tepelně izolační vlastnosti, kdy při tl. 375 mm jsou schopny splnit požadovanou hodnotu  $U_{N,20}$  ( $U=0,267 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) a jednoduchá manipulace vzhledem k nízké hmotnosti. Nevýhody materiálu opět vycházejí z nízké objemové hmotnosti, a to jsou nízká vzduchová neprůzvučnost a malá pevnost (P2-P6), která ovšem pro potřeby rodinného domu postačí.

Klasickými výrobci na trhu jsou Ytong a Porfix. Firma Ytong má EPD certifikaci na výrobu bílého plynosilikátu, ze kterého je možné získat hodnoty pro všechny tvarovky pomocí přepočtového koeficientu. EPD zahrnuje fáze životního cyklu A1-A3.

### 5.3.2 Keramické tvárnice

Keramické tvárnice jsou moderní alternativou k tradičním cihlám plným a cihlám děrovaným. Vyrábí se pálením keramické hlíny a charakteristické jsou pro ně vertikální vzduchové dutiny. Keramické bloky mají vysokou pevnost (P8-P10), vzhledem ke vzduchovým dutinám i dobré tepelně technické vlastnosti, kdy při tl. 375 mm jsou schopny splnit požadovanou hodnotu  $U_{N,20}$  ( $U=0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Nevýhodou keramického zdiva je jeho horší opracovatelnost. Nutnost opracovávat cihly lze vyřešit vhodným návrhem respektujícím skladebné rozměry bloků a využíváním půlených bloků.

Variantou keramických bloků se vzduchovými dutinami jsou tzv. bloky 2in1, kde jsou dutiny vyplněny tepelně izolačním materiálem. Takové zdivo při tloušťce 380 mm může mít součinitel prostupu tepla  $U=0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , což umožňuje jednovrstvé obvodové zdivo bez zateplovacího systému. Absence zateplovacího systému spolu nese řadu výhod i nevýhod. Výhodami je urychlení výstavby, omítání zdiva přímo na keramický podklad a absence dalších vrstev kontaktního zateplovacího systému. Nevýhodou je náchylnost k tepelným mostům a vyšší požadavky na přesnost stavebních prací.

Hlavními výrobci na českém trhu jsou firmy Heluz, Porotherm, KM Beta. Firma Heluz má EPD certifikát na výrobu páleného cihelného zdiva ve všech svých závodech a na výrobu zdiva

s izolační výplní Family 2in1. Deklarovanou jednotkou je 1000 kg pálené cihly, je tedy možné získat hodnoty pro všechny keramické bloky hmotnostním přepočtem.

### 5.3.3 Vápenopískové tvárnice

Vápenopískové tvárnice jsou bloky charakteristické svou vysokou objemovou hmotností a bílou barvou, kvůli které bývají občas veřejností zaměňovány s plynosilikátovými tvárnici. Materiál se stejně jako plynosilikátové tvárnice skládá z křemičitého písku, vápenného pojiva a dalších přísad, ovšem bez vzduchových dutin.

Výhody a nevýhody vápenopískového zdiva opět plynou z jeho objemové hmotnosti. Materiál má vysokou pevnost (P12-P20), dobré akustické vlastnosti, vysokou měrnou tepelnou kapacitu ( $c=1000 \text{ J}/(\text{kg K})$ ). Nevýhodami je vysoká hmotnost, a tedy potřeba mechanizace při výstavbě nebo práce s půlenými formáty, což snižuje efektivnost výstavby. Druhou nevýhodou jsou tepelně izolační vlastnosti, kdy by pro dodržení požadavku na  $U_{N,20}$  muselo mít zdivo tloušťku několik metrů. Materiál tedy není vhodný pro jednovrstvé zdivo. Naopak vysoká pevnost umožňuje použití malé tloušťky nosného zdiva a následné zateplení se zachováním relativně štíhlé výsledné konstrukce. Proto jsou vápenopískové cihly využívány při výstavbě nízkoenergetických a pasivních domů.

Hlavními výrobci na českém trhu jsou Kalksandstein, Ytong s řadou Silka a KM Beta s řadou Sendwix. Firma Kalksandstein má certifikát na výrobu vápenopískového zdiva. Deklarovanou jednotkou je 1 000 kg materiálu, je tedy možné získat hodnoty pro všechny keramické bloky hmotnostním přepočtem.

### 5.3.4 Dřevěné konstrukce

Dřevostavby se stávají stále vyhledávanějším přístupem k řešení stavby. Obvodové konstrukce moderních dřevostaveb jsou tvořeny sendvičovými konstrukcemi, kde každá vrstva zaujímá svou funkci. V základu se sendvičové konstrukce rozdělují na difuzně otevřené a uzavřené.

Difuzně uzavřená skladba je tradičnější přístup. Nezbytné prvky každého sendviče jsou dřevěné nosné sloupky vyplněné minerální izolací opláštěné z obou stran deskami. U difuzně uzavřené konstrukce se na vnitřní straně konstrukce nachází parotěsná fólie a izolační předstěna. Vnější strana konstrukce musí být také difuzně uzavřená, například EPS kontaktním zateplením. Parozábrany musí být provedeny velmi pečlivě, aby nedocházelo ke kondenzaci par uvnitř konstrukce. V dnešní době se od difuzně uzavřených konstrukcí ustupuje právě z důvodu

náchylnosti parozábrany k poruchám. Stejně jako u staveb s těžkým obvodovým pláštěm je pro zajištění tepelné stability interiéru důležitá neprůvzdušnost konstrukcí a detailů.

Difuzně otevřená konstrukce se skládá také z nosné konstrukce s minerální izolací, opláštění a instalační předstěny. Chybí zde parotěsná izolace na vnitřní i vnější straně konstrukce. Obecně platí, že paropropustnost materiálu se musí směrem k exteriéru zvyšovat, aby bylo umožněno proudění páry z interiéru do exteriéru [34].

Ekologické a ekonomické výhody dřevostaveb jsou zřejmé. Obvodové stěny můžou splňovat požadavky na nízkoenergetické i pasivní domy díky významné tloušťce izolace uvnitř konstrukce. Nevýhodami je nižší životnosti oproti masivním zděným systémům a nižší tepelná kapacita konstrukcí.

### 5.3.5 Skladby včetně povrchové úpravy

V následující kapitole jsou posouzeny tři varianty obvodových konstrukcí podle metod popsaných v 5.1 Metody stanovení porovnávaných hodnot. Varianty byly zvoleny tak, aby každá z nich zastupovala jeden přístup v řešení obvodových konstrukcí. Konstrukce jsou navrženy tak, aby splňovaly minimálně doporučený součinitel prostupu tepla  $U_{dec,20}$ , lépe však doporučenou hodnotu pro pasivní domy  $U_{pas}$ , skladba obsahuje vrstvy pro fungování konstrukce z technického i technologického pohledu.

#### 5.3.5.1 Varianta 1

Varianta 1 zastupuje přístup těžké jednovrstvé konstrukce bez dodatečného zateplení.

Tabulka 12 – Skladba konstrukce – varianta 1.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]*	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]**	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]***
Jednovrstvá omítka	10	0,113	997	3 422
Heluz Family 50 2in1 na PUR pěnu	500			
Jádrová omítka	15			
Silikonová omítka	3			
<b>Celkem</b>	<b>528</b>			

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC

### 5.3.5.2 Varianta 2

Varianta 2 zastupuje přístup vícevrstvé konstrukce s těžkou subtilní nosnou částí a tepelně izolační vrstvou z minerální izolace.

Tabulka 13 – Skladba konstrukce – varianta 2.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Jednovrstvá omítka	10	0,162	798	3 270
Vápenopískové zdivo	240			
Lepicí hmota na bázi cementu	8			
Isover TF PROFÍ včetně kotvení	220			
Lepicí hmota na bázi cementu s výztužnou tkaninou	6			
Silikátová omítka	3			
<b>Celkem</b>	<b>487</b>			

### 5.3.5.3 Varianta 3

Varianta 3 zastupuje přístup lehké dřevěné sendvičové konstrukce. Zvolena byla difuzně otevřená skladba.

Tabulka 14 – Skladba konstrukce – varianta 3.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
SDK deska	12,5	0,166	960	2 584
Hliníkové profily s vloženou minerální izolací	60			
OSB deska	12,5			
Dřevěné sloupky s vloženou minerální izolací	260			
Dřevovláknitá deska	80			
Lepicí hmota s výztužnou tkaninou	2			
Silikátová omítka	3			
<b>Celkem</b>	<b>410</b>			

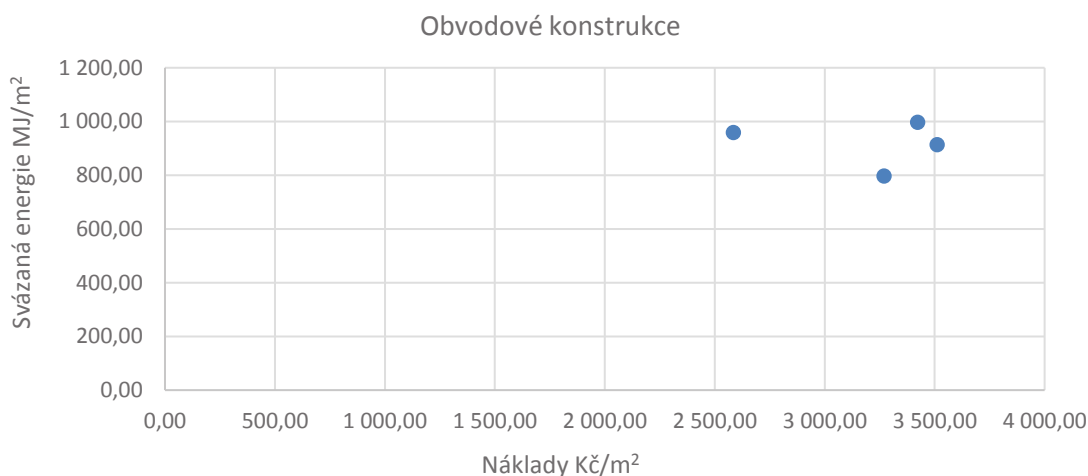
### 5.3.5.4 Varianta 4

Varianta 4 zastupuje přístup skladby s použitím moderních materiálů s vynikajícími tepelně izolačními vlastnostmi.

Tabulka 15 – Skladba konstrukce – varianta 4.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Jednovrstvá omítka	10	0,091	914	3 511
Heluz Family 2in1	380			
Lepicí hmota na bázi cementu	8			
Isover Grey Wall	150			
Lepicí hmota na bázi cementu s výztužnou tkaninou	6			
Silikátová omítka	3			
<b>Celkem</b>	<b>557</b>			

### 5.3.5.5 Vyhodnocení skladeb



Graf 7 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m<sup>2</sup> konstrukce.

Z grafu je patrné, že nejnižší náklady na 1 m<sup>2</sup> představuje varianta 3, dřevěná sendvičová konstrukce. Zároveň se ale jedná o konstrukci s nejhorším součinitelem prostupu tepla, přestože se v konstrukci nachází 320 mm tepelné izolace. Ostatní 3 varianty jsou si cenově blízké. Nejlepší součinitel prostupu tepla zastupuje varianta 4, konstrukce z cihelných bloků s tepelněizolační výplní a izolací z šedého polystyrenu. Tato varianta měla představovat moderní materiály s výbornými tepelně izolačními vlastnostmi, které jsou ovšem kompenzovány cenou. Nejnižší svázanou energii představuje varianta 2, vápenopískové cihly s minerální izolací. Oba hlavní

materiály jsou u výrobců prezentovány jako velmi ekologické, což porovnání potvrzuje. Z grafu a porovnávaných hodnot vyplývá, že žádná konstrukce není nejlépe hodnocenou ve více kritériích a neexistuje pevný vztah mezi cenou a svázanou energií, naopak lze zaznamenat vztah mezi cenou a tepelnými vlastnostmi.

## 5.4 Podlahové konstrukce

Samotná podlahová konstrukce se dělí na hrubou a čistou podlahu. Čistou podlahou se rozumí nášlapná vrstva a její podklad. Jedná se o část podlahy, se kterou jsou uživatelé objektu neustále v kontaktu a určuje, jak se v objektu cítí. Na tuto část podlahy jsou kladeny především hygienické a estetické požadavky. Z hlediska tepelné pohody je pro nášlapnou vrstvu sledován pokles dotykové teploty dle ČSN 73 0540-4 a to na základě tepelné jímavosti a vnitřní povrchové teploty podlahy. Pro jednotlivé místnosti v budovách jsou určeny požadavky na kategorii. Z hlediska kritérií sledovaných v této práci (tepelně technické, svázaná energie, ekonomické) má volba nášlapné vrstvy malý vliv na součinitel prostupu tepla podlahové konstrukce  $U$ , a to z důvodu malé tloušťky, podobně je to i u svázané energie. Významný vliv má u výpočtu nákladů na pořízení, protože ceny jednotlivých druhů nášlapných vrstev se mohou násobně lišit. Investorova kritéria pro volbu nášlapné vrstvy tedy jsou na základě účelu místnosti a dále čistě subjektivně na vzhledu a ceně.

Tabulka 16 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro tepelní izolace.

Účel místnosti	Kategorie podlahy		Kategorie podlahy	Pokles dotykové teploty $\Delta\theta_{10,N}$
	Požadavek	Doporučení		
Dětský pokoj, ložnice	I	-	I. velmi teplá	do 3,8 °C včetně
Obývací pokoj, pracovna, kuchyň	II	I	II. teplá	do 5,5 °C včetně
Koupelna, WC	III	II	III. méně teplá	do 6,9 °C včetně
Předsíň před vstupem do bytu	IV	III	IV. studená	od 6,9 °C

Hrubá podlaha se vždy skládá z roznášecí vrstvy, která se podle spojení s podkladní konstrukcí a umístěním tepelné izolace dělí na spojený potěr, potěr na separační vrstvě a plovoucí potěr. V případě vytápěného prostoru s podlahou na terénu připadá v úvahu pouze plovoucí potěr. Plovoucím potěrem se rozumí roznášecí vrstva, separační fólie, akustická a tepelná izolace. V případě podlahy na terénu je součástí skladby hydroizolační část a základová podkladní deska. To může být řešeno hydroizolačními pásy a železobetonovou deskou, druhým způsobem je tzv. bílá vana, kde obě funkce plní vodostavební beton. Jelikož je tato kapitola zaměřena na obálku

budovy, bude podlaha vždy uvažována na terénu. Výpočet součinitele prostupu tepla je v takovém případě odlišný od ostatních konstrukcí. Souvrství hrubé podlahy je pro účely této práce rozčleněno do kapitol podle funkce a to: akustická a tepelná izolace, roznášecí vrstva, hydroizolační a nosná část.

#### 5.4.1 Roznášecí vrstva

Roznášecí vrstvou se rozumí vrchní vrstva hrubé podlahy, která rovnoměrně roznáší zatížení do podkladní vrstvy. Roznášecí vrstvy se mohou realizovat suchým nebo mokřým procesem. Zástupcem suchého procesu jsou volně kladené deskové materiály jako OSB nebo SDK desky. Častějším způsobem je mokřý proces, v takovém případě se roznášecí vrstva označuje jako potěr. Zástupci mokrého procesu jsou tradiční cementový potěr ze zavlhlé směsi a modernější materiály jako anhydrit a litý cementový potěr. Podle druhu roznášecí vrstvy je používáno i rozdělení těžká a lehká podlaha, kdy lehkou podlahou se rozumí zmíněné suché konstrukce nebo různé lehčené betony, které mají plnit funkci roznášecí i tepelně izolační.

Tabulka 17 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro roznášecí vrstvu.

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/mK]*	Svázaná energie [MJ/m <sup>3</sup> ]**	Náklady [Kč/m <sup>3</sup> ]***
Anhydrit	1,288	2 539	4 990
Litý cementový potěr	1,463	2 058	5190
Cementový potěr ze zavlhlé směsi s výztuží	1,339	2 622	2 834
Lehčený beton s EPS	0,160	4 173	3 340
OSB desky	0,150	5 562	11 600
Sádkartonové desky	0,220	2 400	24 500

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC

##### 5.4.1.1 Anhydrit

Anhydritový potěr se používá pouze jako litá směs. Směs se skládá z pojiva, kterým je v tomto případě síran vápenatý, kameniva o maximálním zrnu 2 mm, vody a přísad, které ovlivňují zpracovatelnost směsi. Pevnost v tlaku anhydritového potěru je 20-30 MPa. Tloušťka roznášecí vrstvy se řídí podle firemních podkladů výrobce v závislosti na množství a druhu použité podkladní izolace. Materiál vykazuje i dobrou pevnost v tahu za ohybu, proto ve většině případů nevyžaduje další vyztužení.



Výhodou anhydritového potěru je snadná a rychlá realizace. Potěr je samonivelační a je tradičně využívaný materiál, proto s ním mají realizační firmy zkušenosti. Další výhodou je častá absence potřeby potěr vyztužovat. To by mělo být ověřeno z podkladů výrobce nebo výpočtem statika podle konkrétního případu.

Nevýhodou je špatné snášení vlhkosti. Síran vápenatý není hydraulické pojivo a nesmí být trvale vystaven působení vlhkosti. U potěrů exponovaných vlhkosti klesá pevnost až o 50 % původní hodnoty a může dojít k nabobtnání. Z toho důvodu se nehodí do koupelen a prádeln.

Výrobců anhydritové je na českém trhu široká patela. Dodáván může být ve formě suché směsi nebo v tekuté formě dopraven mixem na stavbu. Mezi tradiční výrobce patří Cemix, Cemex, Českomoravský beton a podobně. Pro žádného z uvedených výrobců není dostupné prohlášení EPD.

#### **5.4.1.2 Litý cementový potěr**

Litý cementový potěr je svým zpracováním a vlastnostmi velmi podobný anhydritovému potěru. Velikost zrna je 4-8 mm a pojivem cement. Z toho vyplývá řada vlastností, jako vyšší pevnost v tlaku, ale i nižší pevnost v tahu za ohybu. U tohoto materiálu je důležité ověřit, zda je nutné dodatečné vyztužení. Oproti anhydritovému potěru lité cementové směsi nevádí vlhké prostory, což je jeho hlavní výhodou. Nevýhodou je ve srovnání vyšší cena.

Dodáván může být ve formě suché směsi nebo v tekuté formě dopraven mixem na stavbu. Mezi tradiční výrobce patří Cemix, Cemex, Českomoravský beton a podobně. Pro žádného z uvedených výrobců není dostupné prohlášení EPD.

#### **5.4.1.3 Cementový potěr ze zavlhle směsi**

Cementový potěr ze zavhlé směsi je tradiční řešení. Jedná se o sypkou cementovou směs o konzistenci S1 při zkoušce sednutí kuželem. Výhodami směsi je právě její nízký obsah vody, proces vysychání je tedy kratší a směs je vhodná i pro stavby s ostatními suchými konstrukcemi. Nevýhodou tohoto potěru je jeho náročná realizace. Pokládka se provádí ručně s hutněním pomocí dřevěného hladítka. Je tedy časově náročná a vyžaduje zručnost pracovníků. Minimální tloušťka roznášecí vrstvy je 50 mm a je téměř vždy vyžadována výztuž.

Výrobci na českém trhu jsou tradiční výrobci suchých pytlovaných směsí jako Cemix, Baumit, Cemex apod. Navíc je k dostání v každé betonárně v podobě namíchané směsi o požadovaných

vlastnostech. EPD prohlášení vlastní Českomoravský cement, a.s. pro závody Mokrý, Radotín a Čížkovice, dále pak Cement Hranice a.s.

#### **5.4.1.4 Suchá roznášecí vrstva**

Suchou roznášecí vrstvou se rozumí vrstva z deskových nebo sypaných materiálů, ze kterých se po aplikaci nebude přenášet vlhkost do prostředí a okolních konstrukcí. V současné době se jsou sypané materiály spíše historickou záležitostí a užívány jsou desky z OSB nebo sádrokartonu.

OSB desky se vyrábějí lisováním dřevěných štěpků o velikosti 2-7 cm za pomoci lepidel. Podle typu pojiva a povrchové úpravy jsou desky děleny na 4 druhy s doporučenou oblastí použití od interiérových desek až po zvlášť nosné s použitím do vlhkých prostor. Výhodou desek je jejich všestranné použití. Nevýhodou je ekologický profil materiálu. Ač by se mohlo zdát, že se jedná o ekologický dřevěný materiál, nachází se v něm právě zmíněná pojiva a látky upravující vlastnosti dřeva. Další nevýhodou je aktuální problém s pravděpodobným nedostatkem dřevěného materiálu v budoucnosti.

Sádrokartonové desky se vyrábějí lisováním sádrové hmoty mezi dva kartony papíru, sendvič je následně sušen. Podle požadavků na oblast použití se do sádrové hmoty přidávají přísady a upravují se materiály vnější vrstvy. Sádrokartonové desky se vyrábějí s označením bílá – standardní užití, červená – zlepšené protipožární vlastnosti, zelená – zlepšené vlastnosti pro použití do vlhkých prostor, modrá – zlepšené akustické vlastnosti. Oproti OSB deskám je sádrokarton ekologičtější materiálem, jeho cena je však výrazně vyšší.

Hlavními výrobci OSB na české trhu jsou Kronospan, Egger, DEK. Pro OSB desku není zpracováno žádné EPD prohlášení. Hlavními výrobci sádrokartonových desek jsou Rigips, Fermacell, Knauf, kde Rigips má zpracované EPD pro desky se všemi oblastmi aplikace.

#### **5.4.2 Hydroizolační vrstva**

Hydroizolaci podlahy na terénu je možné řešit povlakovou hydroizolací, což je pro rodinné domy typický přístup nebo pomocí bílé vany. Bílá vana má hydroizolační a konstrukční funkci základové konstrukce zároveň. Je tvořena ze železobetonu s krystalizačními příměsemi. Toto řešení je vhodné pro objekty s jednoduchým půdorysem a spodní stavbou. Hydroizolace formou bílé vany je pro rodinné domy neobvyklé řešení. V následující kapitole jsou popsány varianty povlakové hydroizolace.

Tabulka 18 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro hydroizolace.

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$ [W/mK]	Svázaná energie	Náklady [Kč/m <sup>3</sup> ]
Asfaltový pás SBS	-	51 MJ/kg	147
PVC fólie	-	56 MJ/kg	195
Železobeton	1,430	2 622 MJ/m <sup>3</sup>	3 346
Železobeton – vodostavební	1,430	4 200 MJ/m <sup>3</sup>	3 715

#### 5.4.2.1 Asfaltové pásy

Asfaltové pásy nebo asfaltové nátěry jsou tradiční povlakovou hydroizolací. Asfaltové pásy se dělí podle druhu zpracování asfaltu a to oxidovaný a modifikovaný. Oxidace probíhá vhněním kyslíku při výrobě, modifikace je provedena na oxidovaném páse pomocí příměsí. Modifikované asfalty jsou elastické, odolávají mrazu a mají vyšší pevnost, jsou tedy ve všech ohledech kvalitnější. Od používání oxidovaných pásů se postupně upouští. Dále se pásy dělí podle nosné vložky. V současné době se nejvíce používají skleněné a polyesterové vložky, kdy pásy se skleněnými vložkami jsou pevnější a méně elastické. Jsou proto vhodné do méně namáhaných míst bez výrazných tepelných změn, jakými je právě základová deska. Tyto pásy mívají v názvu Glas- nebo Sklo-. Pásy s polyesterovou vložkou jsou elastičtější, ale mají menší pevnost. Jsou vhodné do míst, kde se počítá s tvarovými změnami v důsledku tepelné roztažnosti. Typickým umístěním pro tyto pásy jsou ploché střechy a namáhaná místa spodní stavby. Tyto pásy mívají označení Elast-.

#### 5.4.2.2 PVC fólie

PVC folie jsou moderní variantou řešení povlakové hydroizolace. Vyrábí se z měkčeného polyvinylchloridu. Folie se opět dělí podle nosné vrstvy na vyztužené a nevyztužené. Stejně jako u asfaltových pásů jsou nosné vložky obvykle polyesterové nebo ze skelné tkaniny. Pro hydroizolaci spodní stavby je nejčastěji užívána folie bez vyztužení.

Na českém trhu nevlastní žádný výrobce prohlášení EPD pro asfaltové pásy.

### 5.4.3 Skladby včetně povrchové úpravy

V následující kapitole jsou posouzeny čtyři varianty podlahy na terénu podle metod popsanych v 5.1 Metody stanovení porovnávaných hodnot. Varianty byly zvoleny tak, aby v každé variantě byl použit jeden druh roznášecí vrstvy. Konstrukce jsou navrženy tak, aby splňovaly doporučený součinitel prostupu tepla, skladba obsahuje vrstvy pro fungování konstrukce z technického i technologického pohledu. U všech variant byl zachován stejný podklad ve formě podkladního betonu tl. 100 mm a nosné železobetonové desky tl. 150 mm. Z důvodu porovnatelnosti byla u všech variant zachována shodná pochozí vrstva – keramická dlažba.

#### 5.4.3.1 Varianta 1

Varianta 1 zastupuje těžkou plovoucí podlahu s akustickou izolací pro kročejový útlum.

Tabulka 19 – Skladba konstrukce podlahy – varianta 1.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]*	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]**	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ***]
Keramická dlažba + lepidlo*	12	0,248	1 845	2 890
Anhydritový potěr	45			
Separáční PE folie	-			
Kročejová izolace EPS	20			
Tepelná izolace EPS – Perimetr	200			
Betonová deska s výztuží	150			
Modifikovaný asfaltový pás, 2 vrstvy	4			
Podkladní beton	100			
Geotextilie	-			
<b>Celkem</b>	<b>531</b>			

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC

### 5.4.3.2 Varianta 2

Varianta 2 zastupuje těžkou plovoucí podlahu s izolací z šedého polystyrenu.

Tabulka 20 – Skladba konstrukce podlahy– varianta 2.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba + lepidlo*	12	0,250	1 533	2 388
Litý cementový potěr bez výztuže	45			
Separáční PE fólie	-			
Tepelná izolace EPS Grey	200			
Betonová deska s výztuží	150			
Hydroizolační PVC fólie, 2 vrstvy	4			
Podkladní beton	100			
Geotextilie	-			
<b>Celkem</b>				

### 5.4.3.3 Varianta 3

Varianta 3 zastupuje lehkou plovoucí podlahu s kročejovou izolací.

Tabulka 21 – Skladba konstrukce podlahy– varianta 3.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba + lepidlo*	12	0,246	1 916	3 063
OSB desky	30			
Tepelná izolace ze skelných vláken	20			
Tepelná izolace EPS 150	200			
Betonová deska s výztuží	150			
Hydroizolační PVC fólie, 2 vrstvy	4			
Podkladní beton	100			
Geotextilie	-			
<b>Celkem</b>				

#### 5.4.3.4 Varianta 4

Varianta 4 zastupuje těžkou plovoucí podlahu s využitím moderních materiálů. Roznášecí vrstva je tvořena anhydritovým potěrem a izolace PIR dekami.

Tabulka 22 – Skladba konstrukce podlahy – varianta 1.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba + lepidlo*	12	0,205	1908	3 045
Anhydritový potěr	45			
Separáční PE folie	-			
Kročejová izolace EPS	20			
Tepelná izolace PIR	200			
Betonová deska s výztuží	150			
Modifikovaný asfaltový pás, 2 vrstvy	4			
Podkladní beton	100			
Geotextilie	-			
<b>Celkem</b>	<b>531</b>			

#### 5.4.3.5 Vyhodnocení skladeb



Graf 8 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m<sup>2</sup> konstrukce.

Z grafu je patrné, že nejnižší náklady na pořízení představuje varianta 2, roznášecí cementový potěr a tepelná izolace s EPS. Je to způsobeno především absencí izolace pro kročejový útlum. Ostatní varianty jsou si cenou blízké. Zajímavé je porovnání variant 3 a 4, kde varianty mají velmi podobné ceny a hodnoty svázané energie, zásadně se liší v hodnotě součinitele prostupu tepla. Ve variantě 4 je použita deska PIR s výbornými tepelně izolačními vlastnostmi. Ve variantě 3 se

nachází běžná tepelná izolace, cenu a svázanou energii navyšuje zdánlivě ekologická roznášecí vrstva z OSB desek.

## 5.5 Střechy

Střešní konstrukce dělíme na dva základní druhy a to na ploché a šikmé střechy. Každý druh má vlastní specifika, ale mají společné, že jsou významnou položkou obálky budovy jak z ekonomického pohledu, tak z energetického pohledu. Střecha zaujímá přibližně 30 % z plochy obálky budovy. Tepelný tok střechou je svislý, od spodu nahoru, tento tok je z hlediska tepelných ztrát nejvíce ztrátový, proto jsou na konstrukce střech kladeny vyšší nároky na požadovaný součinitel tepelné vodivosti  $U$ . Z toho důvodu je ve skladbě střešní konstrukce obvykle nejvíce tepelné izolace ze všech konstrukcí, obvykle 250-350 mm podle požadavku a typu izolantu. Důležitým aspektem při návrhu skladby střešní konstrukce je zabránění volnému prostupu vlhkosti v podobě vnější vody směrem dovnitř a vnitřní vlhkosti směrem ven. V případě zanedbání kondenzace vodních par uvnitř konstrukce dochází k degradaci materiálů a snížení tepelně izolačních vlastností konstrukce, proto je důležité návrh ověřit výpočtem. K zabránění průchodu par z objektu do konstrukce se obvykle umísťuje na vnitřní stranu tepelné izolace parotěsná fólie.

Ploché střechy jsou méně využívanou variantou u rodinných domů, přesto se ale objevují, převážně u moderních staveb. Ploché střechy se dělí na jednoplášťové a dvouplášťové s větranou vzduchovou dutinou. V případě jednoplášťové střechy leží hydroizolační vrstva přímo na tepelné izolaci, pod izolací se nachází parotěsná vrstva umístěná na nosné konstrukci, kterou obvykle bývá železobetonová deska. Právě jednoplášťové střechy jsou náchylné ke kondenzaci vodní páry v konstrukci. Výhodou je jednoduchá konstrukce a bezproblémová možnost umístění izolantu libovolné tloušťky. V případě, že je střecha nezatížená, může být použita více stlačitelná, levnější izolace. Nejčastější izolací je právě minerální vata nebo i spádované EPS desky. Zvláštním druhem jednoplášťové střechy jsou skladba v inverzním pořadí a vegetační střecha. Skladba s inverzním pořadím je charakteristická tím, že hydroizolace je umístěna na nosné konstrukci, pak až následuje tepelná izolace, která musí být nenasákavá a voděodolná, na tepelné izolaci je umístěna zatěžující vrstva. Výhodou této skladby je, že odpadá nutnost řešit kondenzaci vodních par v konstrukci, nevýhodou jsou požadavky na tepelnou izolaci. Tou může být izolace s uzavřenou strukturou jako například pěnové sklo nebo XPS. Jak vyplývá z hodnot uvedených v kapitole 5.2 Izolační vrstva, tyto izolace jsou oproti ostatním druhům dražší a mají i větší spotřebu svázané energie. Vegetační střechy získávají stále větší oblibu a to především z důvodu

estetiky. Jako výhody se dále uvádí zvýšení tepelné setrvačnosti střechy, tlumení okolního hluku, zadržování prachu, akumulaci vlhkosti, prodloužení životnosti izolačních vrstev. Vegetační střecha obvykle vychází z jednoplášťové konstrukce, na které jsou umístěny další vrstvy. Jedná se o separační ochrannou vrstvu, drenáž, substrát. V současné době je mnoho funkčních řešení od firem specializujících se na tento druh střech.

Významnější variantou řešení střech jsou šikmé střechy. V této kategorii je hlavním tématem umístění tepelně izolační vrstvy a řešení pojistné hydroizolační vrstvy. Umístění tepelné izolace může být nad krokviemi, mezi krokviemi a pod krokviemi. Ve většině případů je řešením kombinace dvou zmíněných umístění, aby bylo dosaženo požadované tloušťky izolace. V případě mezikrokevní a podkrokevní izolace je obvykle užíváno měkké minerální vary, která je vkládána do roštu a mezi krokve. Výhodami mezikrokevní a podkrokevní izolace jsou nenáročná montáž, využití levnějších izolačních materiálů a ochrana nosného krovu. Nevýhodami je nestejnorodá konstrukce a možnost vzniku tepelných mostů v místě prostupu krokví, dále zabírání prostoru podkroví podkrokevní izolací. Problém s necelistvostí izolační vrstvy může být snížen využitím moderních konstrukčních prvků jako jsou lepené vazníky I profilů náhradou za tradiční masivní krokve. V případě nadkrokevní izolace jsou kladeny vyšší požadavky na pevnost izolantu. Možnou variantou je izolace z PIR desek s výztužnou hliníkovou folií nebo výztužné trámký (EPS) vyplněné měkkí izolací. Výhodami je celistvost tepelné izolace, uvolnění prostoru v podkroví. Nevýhodou je vyšší cena z důvodu vyšších nároků na pevnost izolantů a nutnosti zřídit bednění pod izolací.

Stejně jako u plochých střech je důležité zbránit pronikání vodních par z interiéru do konstrukce parozábranou. Pronikání vnější vody do konstrukce brání vhodně zvolená střešní krytina. Ta by měla respektovat pokyny výrobce pro doporučený sklon použití. Pod střešní krytinu se umísťuje pojistná nebo také doplňková hydroizolační vrstva. Druh a stupeň těsnosti DHV se určuje podle sklonu střechy oproti bezpečnému sklonu krytiny a podle počtu zvýšených požadavků na konstrukci. Zvýšenými požadavky mohou být například klimatické poměry, místní podmínky, členitost střechy, obytné podkroví. Pro určení vhodně DHV existují Pravidla pro navrhování a provádění střech: Část 2 Pravidla pro navrhování a provádění doplňkových hydroizolačních vrstev střech. Volba DHV nemá významný vliv na energetickou stránku (tepelně technické vlastnosti ani svázaná energie), ale ovlivňuje cenu výsledné skladby.



### 5.5.1 Krytina

Pro rodinné domy s šikmou střechou je charakteristická skládaná krytina z keramických a betonových tašek. Využívá se i velkoformátová krytina v podobě falcovaných plechů. Dále existují různé druhy bitumenových vláknocementových a plastových šablon, které nejsou tolik využívané, mají krátkou životnost a neplní tak požadavky na udržitelné pořízování staveb. Jako zástupce této skupiny byly v tabulce níže vyhodnoceny bitumenové šablony. Asfaltové pásy a PVC folie byly zmíněny v kapitole o hydroizolační vrstvě pro podlahy na terénu.

Tabulka 23 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro krytiny.

Materiál	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]*	Náklady [Kč/m <sup>2</sup> ]**	Životnost [let]***
Betonové tašky	204	332	80
Keramické tašky	445	374	100
Bitumenové šablony	137	240	30
Plechové šablony	363	647	60
Asfaltové pásy	326	147	< 40
PVC fólie	380	195	< 40

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC

### 5.5.2 Skladby

V následující kapitole jsou zpracovány čtyři varianty skladeb pro střešní konstrukce. Vzhledem k rozmanitosti konstrukčních řešení, byl návrh omezen na zastřešení rodinného domu se šikmou střechou a obytným podkrovím. Varianty jsou zvoleny tak, aby každá zastupovala jeden přístup k zateplení nosné konstrukce dřevěného krovu. Pro všechny varianty je stanoven sklon střechy 38° a 3 zvýšené požadavky na třídu těsnosti (Obytné podkroví - 2 ZP, střešní okna a vikýř – 1 ZP). Skladby splňují funkční a technologické požadavky a splňují minimálně doporučený součinitel prostupu tepla  $U_{rec,20} = 0,16$  [W/m<sup>2</sup>K]. Všechny hodnoty uvedené v tabulkách jsou stanoveny v souladu s kapitolou 5.1 Metody stanovení porovnávaných hodnot.

### 5.5.2.1 Varianta 1

Varianta 1 zastupuje skladbu s nadkroevní izolací a odhalenými krokvemi v interiéru.

Tabulka 24 – Skladba konstrukce střechy – varianta 1.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]*	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]**	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ***]
Keramická krytina	-	0,144	1088	3 420
Latě + kontralatě	80			
Difuzně otevřená folie	0,4			
Izolace PIR	240			
Parotěsná folie	0,4			
Bednění dřevěný záklop	18			
Krokve	160			
<b>Celkem</b>	<b>420</b>			

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC

### 5.5.2.2 Varianta 2

Varianta 2 zastupuje skladbu s izolací mezi krokvemi a pod krokvemi.

Tabulka 25 – Skladba konstrukce střechy – varianta 2.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Betonová krytina	-	0,189	681	2 108
Latě + kontralatě	80			
Difuzně otevřená folie	0,4			
Bednění OSB				
Dřevěné krokve + minerální izolace	160			
Dřevěný rošt + minerální izolace	160			
Parotěsná fólie	-			
SDK obklad na ocelovém roštu	45			
<b>Celkem</b>	<b>445</b>			

### 5.5.2.3 Varianta 3

Varianta 3 zastupuje skladbu s mezikrokevní izolací a nadkrokevní izolací pomocí EPD trámků.

Tabulka 26 – Skladba konstrukce střechy – varianta 3.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Plechové šablony	-	0,157	886	2 531
Latě + kontralatě	80			
Difuzně otevřená folie	0,4			
EPS konstrukční trámky + skelná izolace	200			
Bednění OSB	15			
Dřevěné krokve + minerální izolace	160			
Parotěsná folie	0,4			
SDK obklad na ocelovém roštu	45			
<b>Celkem</b>	<b>490</b>			

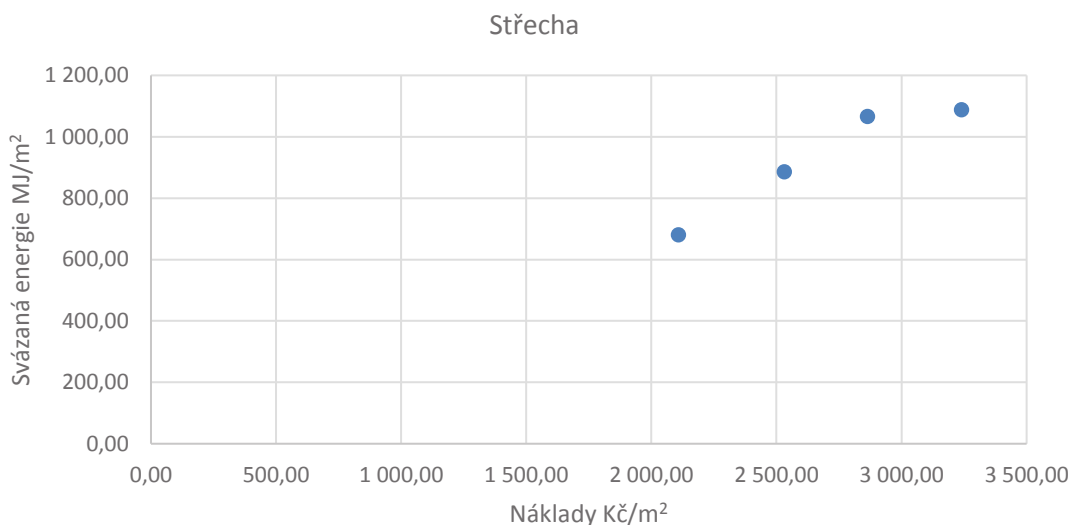
### 5.5.2.4 Varianta 4

Varianta 3 zastupuje skladbu s izolací mezi krokvemi a nadkrokevní izolací pomocí PIR desek.

Tabulka 27 – Skladba konstrukce střechy – varianta 2.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Betonová krytina	-	0,123	1066	2 864
Latě + kontralatě	80			
Difuzně otevřená folie	0,4			
Izolace PIR	160			
Bednění OSB	15			
Dřevěné krokve + minerální izolace	160			
Parotěsná fólie	-			
SDK obklad na ocelovém roštu	45			
<b>Celkem</b>	<b>460</b>			

### 5.5.2.5 Vyhodnocení skladeb



Graf 9 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m<sup>2</sup> konstrukce.

Z grafu a porovnávaných hodnot vyplývá, že nejnižší náklady a nejnižší svázanou energii zastupuje varianta 2, mezikrokevní a podkrokevní minerální izolace. Varianta se skládá ze dřeva a minerální izolace, kde se oba materiály řadí mezi ekologičtější a levnější. I přes umístění 320 mm izolace má tato varianta nejhorší tepelné vlastnosti. Varianta 3 má střední hodnoty ve všech třech hodnocených kategoriích, kde cenu i svázanou energii oproti ostatním navyšuje plechová krytina. Pro varianty 1 a 4 byla jako hlavní tepelně izolační vrstva použita nadkrokevní izolace z PIR desek, kde ve variantě 1 je izolace tvořena pouze PIR deskou tl. 240 mm a u varianty 4 je zvolena kombinace s mezikrokevní minerální izolací. Varianta 4 má ve všech třech kategoriích lepší hodnocení, z čehož vyplývá, že je vhodné kombinovat dvě varianty umístění izolace a zároveň materiálové řešení, protože za použití běžné minerální izolace by skladba těžko dosahovala stejně dobrých izolačních vlastností.

## 5.6 Okna

Navržená okna více než ostatní konstrukce ovlivňují estetické, funkční, energetické a ekonomické vlastnosti stavby. Okna tvoří přibližně 10 % z celkové obálky budovy, Při návrhu oken je z tepelně technického hlediska důležitý nejen součinitel prostupu tepla  $U$ , který určuje tepelné ztráty, ale i celková propustnost slunečního záření  $g$ , která charakterizuje zasklení z hlediska prostupu solární energie a solárních tepelných zisků. Orientace, rozmístění, velikost oken, jejich fyzikální vlastnosti a návaznost na okolní konstrukce mají vliv na výsledné chování stavby v zimních, ale i letních měsících. Vhodný je koncepční přístup, kdy zasklení o špičkových

vlastnostech není vhodné osazovat do průměrných ráků a celé okno špičkové kvality nemá smysl osazovat do nesprávné polohy obvodové stěny nebo do stěny se špatnými izolačními vlastnostmi.

Výsledný prostup tepla okna je ovlivněn:

- Vlastnostmi zasklení
- Vlastnostmi rámu
- Poměrem plochy zasklení a celého okna
- Vlastnostmi distančního rámečku
- Vazbou mezi oknem a obvodovou stěnou
- Orientací na světovou stranu

Požadavek na součinitel prostupu tepla okna  $U_w$  je hůře splnitelný u malých oken, kde bývá větší podíl plochy rámu oproti prosklení. Hodnoty  $U_w$  pro jednotlivá okna v domě se liší, i když jsou vyrobeny ze stejných konstrukčních prvků. Do přesného výpočtu energetické bilance budovy by měla být okna zadávána jednotlivě podle skutečných hodnot.

$$U_w = \frac{U_f * A_f + U_g * A_g + \psi_g * l_g}{A_f + A_g}$$

### 5.6.1 Varianty oken

Porovnávají jsou čtyři varianty dvoukřídlých oken o rozměru 2000 x 1500 mm. Okna jsou otevírává se středovým sloupkem. Tři varianty oken jsou zvoleny jako tepelně izolační trojsklo, každá v jednom materiálovém řešení. Jako poslední čtvrtá varianta je navrženo tepelně izolační dvojsklo v dřevěném rámu. Pro všechny varianty je uvažováno s termoplastickým distančním rámečkem. Součinitel prostupu tepla  $U_w$  je vypočítán na základě hodnot  $U_f$ ,  $U_g$ , a  $\psi_g$  udávaných výrobcem. Poměr plochy prosklené a pevné části je uvažován ve všech variantách stejný. Cena oken je stanovena cenovou nabídkou od firmy DRUTEX Okna s.r.o., náklady na montáž a přesuny hmot jsou připočítány na základě rozpočtové položky v cenové soustavě RS Praha. Výpočet součinitele prostupu tepla oknem  $U_w$ , svázané energie a ceny včetně prací je v příloze.

**5.6.1.1 Varianta 1**

Plastový rám, tepelně izolační trojsklo

Tabulka 28 – Skladba konstrukce střechy – varianta 1.

Materiál	Dílčí součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]*	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]**	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ***]
Plastový rám	0,93	0,872	1 282	14 576
Trojsklo; 4-14-4-14-4	0,5			
Distanční rámeček	0,04			

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC+ cenová nabídka Drutex OKNA s.r.o.

**5.6.1.2 Varianta 2**

Dřevěný rám, tepelně izolační trojsklo

Tabulka 29 – Skladba konstrukce střechy – varianta 2.

Materiál	U	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Dřevěný rám	1,0	0,904	702,08	23 715
Trojsklo; 4-14-4-14-4	0,54			
Distanční rámeček	0,04			

**5.6.1.3 Varianta 3**

Hliníkový rám, tepelně izolační trojsklo

Materiál	U	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Hliníkový rám	1,6	1,034	1 059	30 702
Trojsklo 4-14-4-14-4	0,6			
Distanční rámeček	0,04			

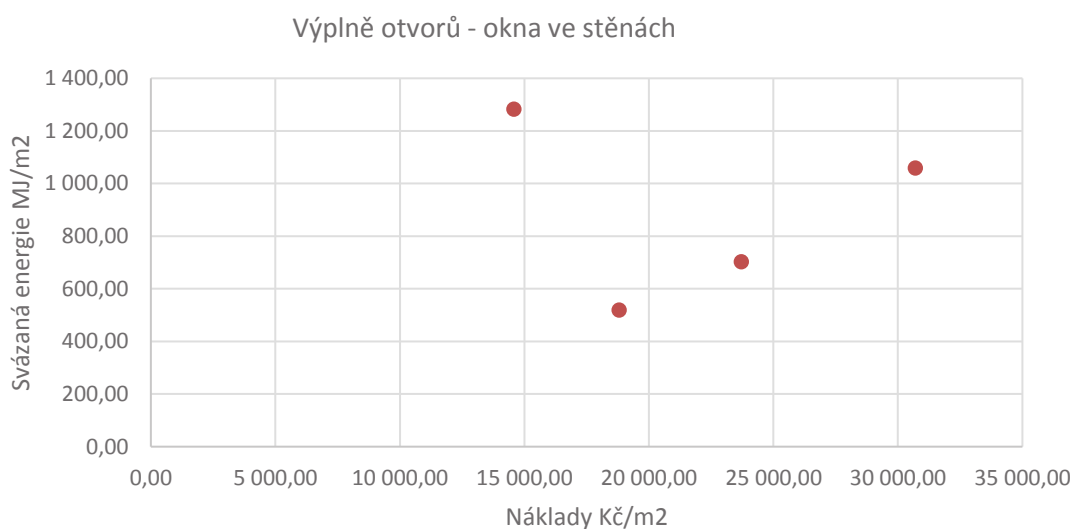
#### 5.6.1.4 Varianta 4

Dřevěný rám, tepelně izolační dvojsklo

Tabulka 30 – Skladba konstrukce střechy – varianta 1.

Materiál	U	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Dřevěný rám	1,2	1,243	519	18 812
Dvojsklo 4-16-4	1,1			
Distanční rámeček	0,04			

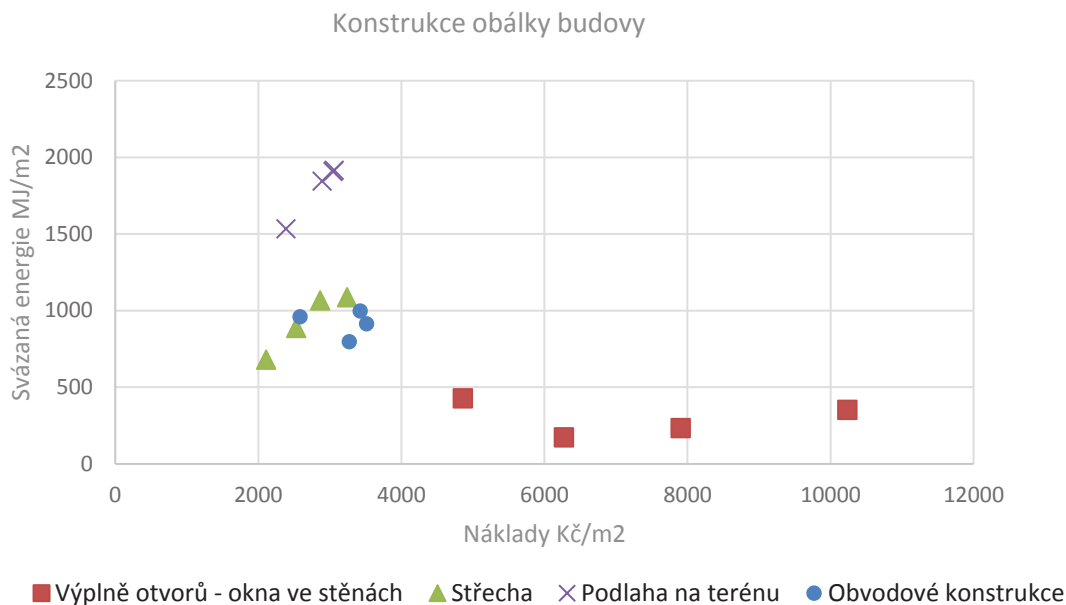
#### 5.6.1.5 Vyhodnocení skladeb



Graf 10 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m<sup>2</sup> konstrukce.

Z grafu a porovnávaných hodnot vyplývá, že cena a svázaná energie se odvíjí především od materiálu rámu. Plastová okna představují nejlevnější variantu, dřevěná střední a hliníková okna nejdražší variantu. Z ohledu svázané energie je nejúspornější řešení dřevěná varianta, která ovšem nedosahuje tak dobrých tepelně izolačních hodnot jako plastová varianta. Překvapivé může být, že hliníková okna mají nižší hodnotu svázané energie než plastová. Ve výběru oken se špatně hledá kompromis. Pokud je požadavkem součinitel prostupu tepla a cena, nejvhodnější jsou plastová okna. Naopak u požadavku vzhled a nízká svázaná energie jsou nejvhodnější okna dřevěná.

## 5.7 Všechny konstrukce



Graf 11 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m<sup>2</sup> konstrukce.

V grafu jsou zobrazeny všechny výše popsané konstrukce. Lze pozorovat, že některé materiály mají zásadní vliv na pořizovací cenu, jiné výrazněji ovlivňují svázanou energii. Podlaha na terénu představuje významnou položku v množství svázané energie. Zobrazení může být zkreslené z důvodu zahrnutí energeticky náročné železobetonové desky do stavby. Stěny a střecha se drží v podobné úrovni a představují střed mezi svázanou energií a náklady. Okna představují nákladnou a méně energeticky náročnou skupinu. Je to především z důvodu, že se jedná o subtilní konstrukce a méně materiálu logicky spotřebovává méně svázané energie.



## 6 APLIKACE PARAMETRŮ KONSTRUKCÍ

Případová studie je provedena na vybrané novostavbě rodinného domu, který se nachází v Kostelci na Hané. V dílčích kapitolách bude vyhodnocen navržený stav z pohledu spotřeby energie v průběhu užívání stavby a z pohledu svázané energie zabudované do materiálů. Podkladem je dokumentace ke stavebnímu povolení a položkový rozpočet. V další části budou skladby obálky budovy nahrazeny za skladby, které byly vyhodnoceny v kapitole 5. Ze skladeb bude modelováno několik kombinací, z nichž bude navržena nejvhodnější na základě energetického a ekonomického vyhodnocení. Metody používané pro posuzování a vyhodnocování jsou popsány v kapitole 5.1 *Metody stanovení porovnávaných hodnot*.

### 6.1 Popis původního stavu



Obrázek 14 – Pohledy na objekt řešený objekt.

Předmět případové studie je nepodsklepený jednopodlažní rodinný dům se sedlovou střechou a obytným podkrovím. Projektová dokumentace pochází z roku 2015 a je vytvořena v souladu s předpisy a normami platnými pro dané období. Celková energeticky vztažná plocha objektu je 204,6 m<sup>2</sup>. Vnější rozměry domu jsou 12,4 m x 8,25 m. Objekt se nachází v obci Kostelec na Hané v Olomouckém kraji.

Dispozičně je dům řešen jako 6+kk. V přízemí se nachází obývací pokoj, jídelna s kuchyňským koutem, samostatné WC a koupelna. V obytném podkroví jsou dva dětské pokoje, ložnice, pracovna a koupelna. Štít domu je orientován vzhledem ke světovým stranám na jihovýchod a severozápad. Hlavní vstup do domu a sociální zázemí jsou orientovány na severovýchodní stranu, což je výhodné z důvodu minimalizace otvorů a prosklených ploch na ochlazované straně budovy.

Z konstrukčního hlediska se jedná o zděný stěnový systém s dřevěným krovem. Objekt je založen na betonových základových pasech do hloubky 1,15 m pod úroveň terénu. Podlahová konstrukce je tvořena železobetonovou deskou tl. 150 mm s hydroizolací z SBS modifikovaných asfaltových pásů, následuje tepelná izolace EPS tl. 100 mm, separační folie a roznášecí vrstva tl. 50 mm. Obvodová konstrukce je tvořena jednovrstvým zdivem z keramických tvárnic Porotherm 50 Hi Profi. Překlady nad otvory jsou řešeny systémovými nosnými překlady s vloženou tepelnou izolací z EPS tl. 220 mm. Stropní konstrukce je z keramických nosníků a stropních vložek Miako. Střešní konstrukce se skládá z vaznicového krovu s mezikrokevní tepelnou izolací rockwool tl. 160 mm a podkrokevní izolací 2x 60 mm. Na vnitřní straně se nachází parozábrana, na vnější straně difuzně otevřená pojistná hydroizolace. Na kontralatích a latích je umístěna betonová skládaná střešní krytina. Výplně otvorů jsou umístěny v obvodových stěnách a šikmé střeše. Jedná se o plastová okna s dvojitým zasklením. Vybrané části projektové dokumentace se skladbami jsou umístěny v příloze.

## 6.2 Vyhodnocení původního stavu

Stejně jako v kapitole 5 byly vyhodnoceny všechny konstrukce obálky budovy.

Tabulka 31 – Skladba konstrukce obvodová stěna

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]*	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]**	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ***]
Jednovrstvá omítka	10	0,163	999	2 934
Porotherm 50 Hi Profi DBM	500			
Jádrová omítka	15			
Silikonová omítka	3			
<b>Celkem</b>	<b>528</b>			

\*Zdroj hodnot: DEKSOFT 1D

\*\* Zdroj hodnot: Baubook Calculator

\*\*\* Zdroj hodnot: EuroCALC

Tabulka 32 – Skladba konstrukce – podlaha na terénu

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba + lepidlo*	12	0,329	755	1 829
Roznášecí betonová mazanina s výztuží	50			
Isover EPS 100 Z	100			
Asfaltový pás Glastek AL 40	-			
Betonová deska s výztuží	150			
Podkladní beton	100			
Geotextilie	-			
<b>Celkem</b>	<b>316</b>			

Tabulka 33 – Skladba konstrukce – střecha

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Betonová skládaná krytina	-	0,209	590	2 306
Latě, kontralatě	-			
Pojistná hydroizolace, difuzně otevřená	-			
Dřevěné krokve + minerální izolace	160			
Dřevěný rošt + minerální izolace	60			
Parotěsná fólie	-			
Ocelový rošt+ minerální izolace	60			
SKD obklad, dvouvrstvý	25			
<b>Celkem</b>	<b>305</b>			

Tabulka 34 – Skladba konstrukce – okna plastová.

Materiál	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/ks]
Plastový rám 2000 x 1500	1,307	1 119	9 637
Dvojitě zasklení			
Rámeček			
<b>Celkem</b>			

\*hodnota pochází z podkladů výrobce

Tabulka 35 – Skladba konstrukce – okna střešní.

Materiál	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/ks]
Dřevěný rám 780 x 1180	1,50*	579,31	10 200
Dvojitě zasklení			
Rámeček			
<b>Celkem</b>			

\*hodnota pochází z podkladů výrobce

Tabulka 36 – Skladba konstrukce – dveře vstupní.

Materiál	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/ks]
Plastový rám	1,70*	1200**	10 000
Plastová výplň			
Rámeček			
<b>Celkem</b>			

\*hodnota pochází z podkladů výrobce

\*\* hodnota stanovena odborným odhadem

Obvodové konstrukce jsou tvořeny jednovrstvým zdivem z cihelných bloků tl. 500 mm. Tato tloušťka zdiva zajišťuje přiměřeně tepelně izolační vlastnosti konstrukce, které splňují doporučený součinitel prostupu tepla. Absencí tepelně izolační vrstvy může být stavba náchylná ke vzniku tepelných mostů v místech prostupů a zeslabeného zdiva. Svázaná energie na 1m<sup>2</sup> konstrukce je zatím nejvyšší z hodnocených konstrukcí. Je to způsobeno náročností výroby keramické cihly, kterou je zde nahrazována vrstva jinde tvořená méně náročnou tepelnou izolací. Realizace jednovrstvé konstrukce probíhá rychleji oproti konstrukci s izolační vrstvou. Odpadá lepení a kotvení izolace, montáž výztužné tkaniny apod., což se promítá na ceně konstrukce, která se řadí k levnějším.

Podlaha na terénu se skládá z tepelné izolace tl. 100 mm a roznášecí vrstvy z betonové mazaniny s výztuží tl. 50 mm. Konstrukce nesplňuje doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla 0,3 W/m<sup>2</sup>K, což není překvapivé vzhledem k tloušťce izolace. Roznášecí vrstva z betonové mazaniny vyžaduje hutnění a výztuž, čímž se řadí z hlediska zpracování k náročnějším vrstvám. V technologických podkladech se uvádí, že minimální tloušťka betonové mazaniny na tepelné izolaci je 70 mm, což zde není dodrženo. Z pohledu svázané energie a nákladů na pořízení je skladba hodnocena pozitivně, to je ovšem způsobeno absencí kročejové izolace a malým množstvím izolace tepelné.

Střešní konstrukce je řešena formou mezikrokevní a podkrokevní izolace z minerální vaty. Takové řešení je řazeno mezi úspornější varianty z hlediska pořizovacích nákladů i svázané energie. Minerální vata se řadí mezi materiály s dobrým enviromentálním profilem. Součinitel prostupu tepla střechy  $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  nespĺňuje doporučený požadavek a proto je střecha místem s vyššími tepelnými ztrátami.

Výplně otvorů tvoří plastová okna s tepelně izolačním dvojsklem. Okna s takovými parametry jsou levným řešením, ovšem z pohledu tepelně izolačních vlastností nespĺňují doporučený požadavek. Plastová okna mají nejvyšší spotřebu svázané energie v porovnání s dřevěnými a hliníkovými.

Celkově je obálka budovy hodnocena jako jednoduché, ekonomicky nenáročné řešení. Tepelně technické vlastnosti obvodových konstrukcí odpovídají dobře návrhu stavby a splňují nebo velmi těsně nespĺňují požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla  $U_{em}$  vyžadovaný v době vzniku práce.

### **6.2.1 Spotřeba energie ve fázi provozu**

Pro kontrolu splnění legislativních požadavků na  $U_{em}$  a celkovou spotřebu tepla na provoz objektu byl vytvořen průkaz energetické náročnosti budovy. Z následujícího grafického výstupu je patrné, že obálka budovy je zařazena do kategorie D, což značí, že průměrný součinitel tepla je vyšší než výpočtem stanovený součinitel pro referenční budovu. Celkem v pohledu spotřeby energie je budova rovněž zařazena do skupiny D, což nespĺňuje aktuální legislativní požadavek pro novostavby. Průkaz energetické náročnosti budovy je umístěn v příloze.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	$U_{em} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Dílčí dodané energie			Měrné hodnoty kWh/ $(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$		
Mimořádně úsporná							
<b>A</b>							
<b>B</b>							
<b>C</b>	0.23	82.7				13.7  13.7	3.6  3.6
<b>D</b>	0.28	96.2					
<b>E</b>							
<b>F</b>							
<b>G</b>							
Mimořádně neúsporná							
<b>Hodnoty pro celou budovu</b> MWh/rok		<b>19.7</b>				<b>2.8</b>	<b>0.7</b>

Obrázek 15 – Ukazatele energetické náročnosti budovy.

### 6.3 Návrh změn

V následující kapitole je sestaveno 8 kombinací z konstrukcí navržených v kapitole 5 a stávajícího stavu. Kombinace jsou sestaveny tak, aby respektovaly logiku společného používání. Kombinace jsou vyhodnoceny z energetického a ekonomického hlediska. V obou posuzovaných kategoriích jsou z důvodu zjednodušení modelu vstupy (energetické a finanční) omezeny na A) Pořizovací náklady na obálku budovy, B) Náklady na vytápění objektu. Jelikož se jedná o porovnání různých variant, není uvažováno s náklady, které neovlivňují chování stavby z pohledu nákladů na vytápění a do modelu by vstupovaly pouze jako konstanty. Jedná se například o náklady (energetické i finanční) na pořízení vnitřních konstrukcí, zakládání stavby, venkovní úpravy apod. Stanovení pořizovacích nákladů je v obou kategoriích zjednodušeno na charakteristické vlastnosti vztažené k ploše konstrukce.

Doba hodnocení je stanovena 20 let. Doba hodnocení je dostatečně dlouhá, aby mohli být pozorovatelné tendence vývoje spotřeby energie a financí. V případě delší doby hodnocení se do modelu vnáší větší nejistoty týkající se vývoje cen energií. V hodnoceném období se neuvažuje s obnovou materiálů a konstrukcí.

### **6.3.1 Kombinace**

Z konstrukcí popsaných a vyhodnocených v kapitole 5. *Výpočet parametrů obálky budovy* bylo sestaveno 8 kombinací, kde první kombinace zastupuje původní stav a každá další je sestavena na základě souvislostí mezi konstrukcemi. V tabulce následuje přehled sestavených kombinací s výsledky z vyhodnocení jednotlivých konstrukcí.

Tabulka 37 – Přehled kombinací.

Konstrukce	Varianta konstrukce	Ztráty prostupem [W/K]	Svázaná energie [MJ]	Náklady na pořízení [Kč]
<b>Kombinace 1 - Původní stav</b>				
Obvodové konstrukce	Původní stav	28,7	175 999	516 897,45
Podlaha na terénu	Původní stav	33,7	167 465	187 106,70
Střecha	Původní stav	25,0	70 452	275 359,46
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Původní stav	36,3	31 075	267 619,49
<b>Kombinace 2 - Nejnižší ztráty prostupem tepla</b>				
Obvodové konstrukce	Varianta 4	29,2	161 024	618 550,43
Podlaha na terénu	Varianta 4	25,2	195 188	311 503,50
Střecha	Varianta 4	18,7	127 291	341 990,24
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Varianta 1	17,2	35 601	404 775,52
<b>Kombinace 3 - Nejlevnější varianta</b>				
Obvodové konstrukce	Varianta 3	29,2	169 128	455 368,33
Podlaha na terénu	Varianta 2	25,6	156 826	244 292,40
Střecha	Varianta 2	22,6	81 318	251 716,28
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Varianta 4	28,7	14 413	522 409,24
<b>Kombinace 4 - Nejnižší svázaná energie</b>				
Obvodové konstrukce	Varianta 2	28,5	140 587,65	576 092,25
Podlaha na terénu	Varianta 2	25,6	156 825,90	244 292,40
Střecha	Varianta 2	22,6	81 318,21	251 716,28
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Varianta 4	28,7	14 412,63	522 409,24
<b>Kombinace 5 - Dřevěné konstrukce</b>				
Obvodové konstrukce	Varianta 3	29,2	169 128	455 368,33
Podlaha na terénu	Varianta 3	25,2	196 007	313 344,90
Střecha	Varianta 1	17,2	129 918	386 888,40
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Varianta 2	22,8	19 497	658 565,55
<b>Kombinace 6</b>				
Obvodové konstrukce	Varianta 1	19,9	175 646	602 870,85
Podlaha na terénu	Varianta 4	25,2	195 188	311 503,50
Střecha	Varianta 1	17,2	129 918	386 888,40
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Varianta 1	17,2	35 601	404 775,52
<b>Kombinace 7</b>				
Obvodové konstrukce	Varianta 2	28,5	140 588	576 092,25
Podlaha na terénu	Varianta 4	25,2	195 188	311 503,50
Střecha	Varianta 4	18,7	127 291	341 990,24
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Varianta 2	22,8	19 497	658 565,55
<b>Kombinace 8</b>				
Obvodové konstrukce	Varianta 4	29,2	161 024	618 550,43
Podlaha na terénu	Varianta 2	25,6	156 826	244 292,40
Střecha	Varianta 3	18,7	105 797	302 226,71
Výplně otvorů – okna ve stěnách	Varianta 1	17,2	35 601	404 775,52



### 6.3.2 Vyhodnocení kombinací

Kombinace konstrukcí jsou nejdříve posouzeny na splnění požadavků na průměrný součinitel prostupu tepla. Pokud by požadavek nebyl splněn, byly by návrhy v rozporu s legislativními požadavky. Následně jsou kombinace hodnoceny z hlediska spotřeby energie a spotřeby nákladů. Postupy vyhodnocení je popsán v kapitolách 5.1.3 a 5.1.5.

Požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla je stanoven podle vzorce uvedeného v kapitole 5.1.1 *Tepelně technické hodnocení* v souladu s vyhláškou.

$$U_{em,N,20,R} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{*K} \text{ pro novostavbu,}$$

$$U_{em,N,20,R} = 0,23 \text{ W/m}^2\text{*K} \text{ pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie.}$$

Tabulka 38 – Přehled vypočtených hodnot.

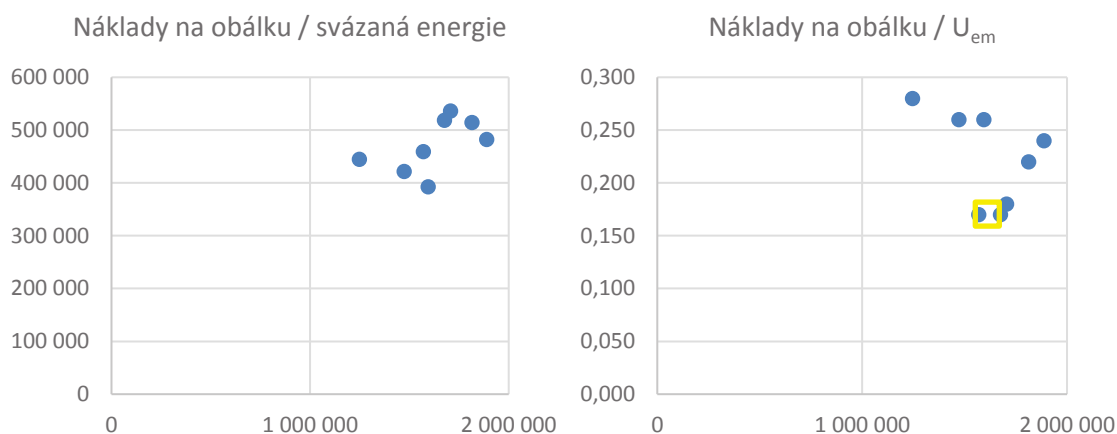
Kombinace	$U_{em}^*$ [W/m <sup>2</sup> *K]	Splňuje požadavek na novostavbu	Splňuje požadavek na NZEB
Kombinace 1	0,280	NE	NE
Kombinace 2	0,170	ANO	ANO
Kombinace 3	0,260	ANO	NE
Kombinace 4	0,260	ANO	NE
Kombinace 5	0,220	ANO	ANO
Kombinace 6	0,180	ANO	ANO
Kombinace 7	0,240	ANO	NE
Kombinace 8	0,170	ANO	ANO

\*hodnota je stanovena pomocí výpočtového programu ENERGETIKA

Kombinace 1, která zastupuje původní návrh na obálku novostavby nespĺňuje aktuálně platné požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla. Ostatní navržené konstrukce požadavek splňují. Čtyři ze sedmi navržených variant splňují požadavek na NZEB, závazný pro ostatní budovy pod 350 m<sup>2</sup> od 1.1.2020.

Tabulka 39 – Přehled vypočtených hodnot.

Kombinace	Svázaná energie obálky budovy [MJ]	Spotřeba energie na vytápění* [MJ/rok]	Náklady na obálku [Kč]	Náklady na vytápění [Kč/rok]
Kombinace 1	444 990	70 920	1 246 983	19 503
Kombinace 2	519 105	45 720	1 676 820	12 446
Kombinace 3	421 685	54 720	1 473 786	14 896
Kombinace 4	393 144	52 920	1 594 510	14 406
Kombinace 5	514 550	56 880	1 814 167	15 484
Kombinace 6	536 354	48 600	1 706 038	13 230
Kombinace 7	482 564	58 320	1 888 152	15 876
Kombinace 8	459 248	46 800	1 569 845	12 740



Graf 12 – Souvislosti nákladů a svázané energie/průměrného součinitele prostupu tepla

Hodnoty v tabulce jsou zobrazeny ve dvou grafech, které znázorňují závislost nákladů na pořízení obálky na svázané energii a náklady na pořízení obálky na průměrném součiniteli prostupu tepla  $U_{em}$ . Na prvním grafu není zřejmý žádný trend. Na druhém grafu je možné pozorovat oddělenou kombinaci 1, která představuje levné a energeticky neúsporné řešení. Ostatní kombinace jsou rozmístěny rovnoměrně. Jako nejvýhodnější se jeví dvě kombinace označené žlutým obdélníkem. Jsou to kombinace 8 a 2.

Tabulka 40 – Spotřeba energie na pořízení a provoz vztážená k 1m<sup>2</sup> energeticky vztážené podlahové plochy.

Kombinace	Energie svázaná konstrukcí obálky E <sub>s</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	Energie na vytápění E <sub>p</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	Celková spotřeba energie E <sub>k</sub> [MJ/m <sup>2</sup> ]	E <sub>p</sub> /E <sub>k</sub> [-]
Kombinace 1	2 175	6 947	9 122	3,19
Kombinace 2	2 537	4 469	7 006	1,76
Kombinace 3	2 473	5 349	7 822	2,16
Kombinace 4	1 922	5 173	7 095	2,69
Kombinace 5	2 515	5 560	8 075	2,21
Kombinace 6	2 621	4 751	7 372	1,81
Kombinace 7	2 359	5 701	8 059	2,42
Kombinace 8	2 245	4 575	6 819	2,04

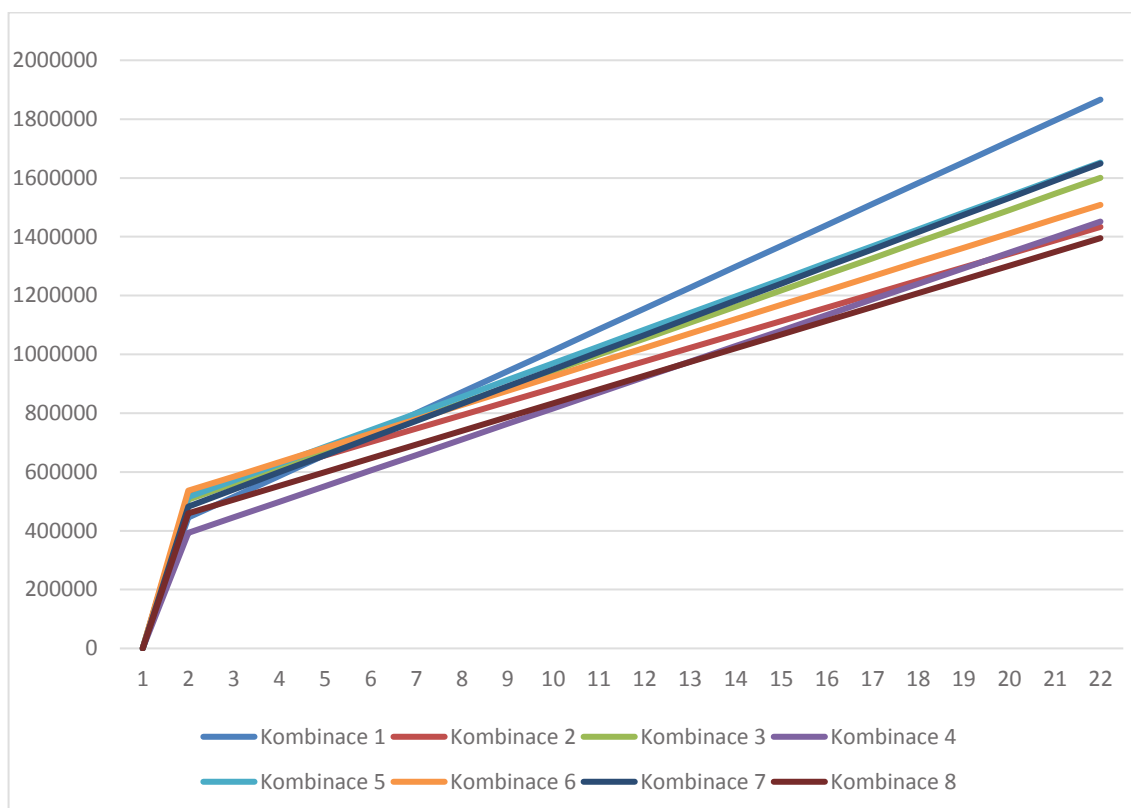
Tabulka 41 – Náklady na pořízení a provoz vztážené k 1m<sup>2</sup> energeticky vztážené podlahové plochy.

Kombinace	Investiční náklady na obálku C <sub>s</sub> [Kč/m <sup>2</sup> ]	Náklady na vytápění C <sub>p</sub> [Kč/m <sup>2</sup> ]	Celkové náklady C <sub>k</sub> [Kč/m <sup>2</sup> ]	C <sub>p</sub> /C <sub>k</sub> [-]
Kombinace 1	6 095	2 859	8 953	0,47
Kombinace 2	8 196	1 811	10 007	0,22
Kombinace 3	7 203	2 168	9 371	0,30
Kombinace 4	7 793	2 097	9 890	0,27
Kombinace 5	8 867	2 254	11 120	0,25
Kombinace 6	8 338	1 926	10 264	0,23
Kombinace 7	9 229	2 311	11 539	0,25
Kombinace 8	7 673	1 854	9 527	0,24

1 nejlépe vyhodnocená kombinace v kategorii

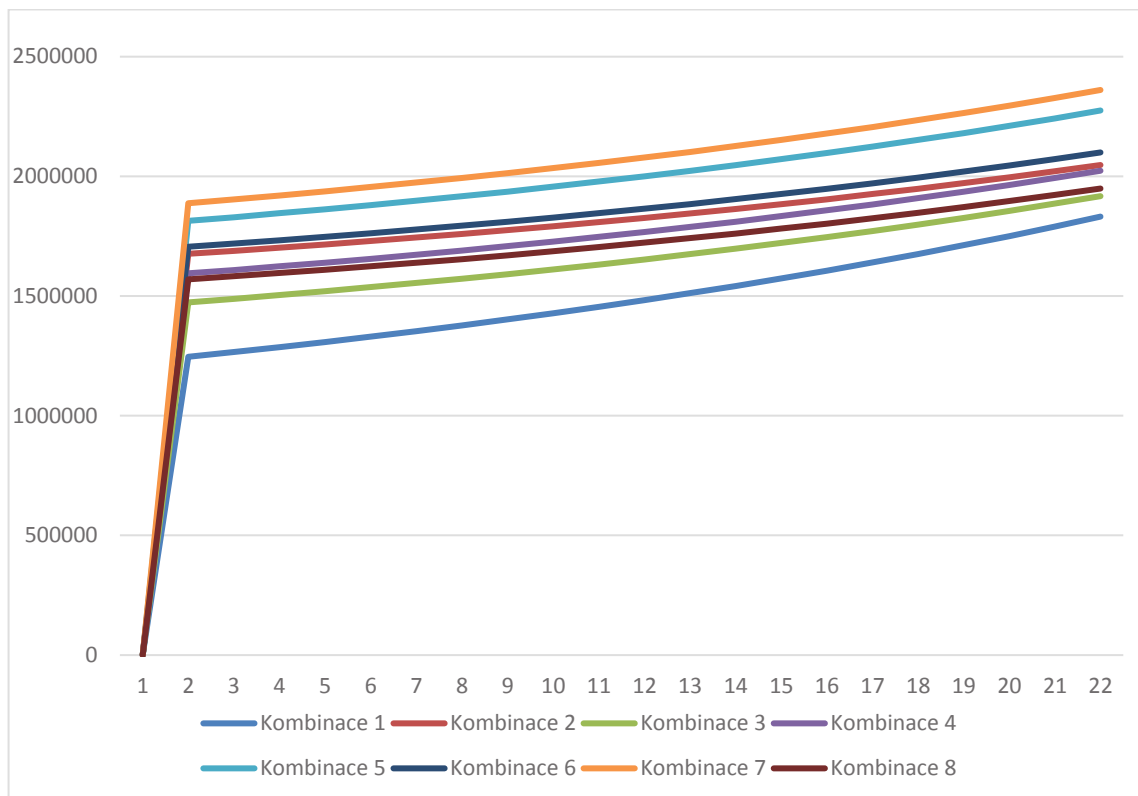
2. nejlépe vyhodnocená kombinace v kategorii

V tabulkách jsou shrnuty výsledné hodnoty výpočtu energetického a ekonomického posouzení. Pro volbu nejvhodnější kombinace byla jako kritéria stanoveny nejnižší hodnoty celkové spotřeby energie E<sub>k</sub> a celkových nákladů C<sub>k</sub> hodnocených během stanoveného časového období. Nejnižší hodnotu má v případě energetického posouzení kombinace 8. Druhou nejvhodnější variantou je Kombinace 2. V energetickém posouzení je na prvním místě Kombinace 1, která ovšem nespĺňuje požadavky na průměrný součinitel U<sub>em</sub> nemůže být zvolena jako vhodná. Další v pořadí nejlépe hodnocené kombinace na ekonomické posouzení jsou kombinace 3 a 8. V pravém sloupci u obou tabulek je poměr nákladů (energie) spotřebovaných na provoz budovy nákladů investičních (svázané energie).



Graf 13 – Vývoj spotřeby energie

Na grafu vývoje spotřeby energie lze pozorovat, že kombinace, jejichž křivky měli na začátku vyšší vstupní hodnotu mají pozvolněji stoupající průběh oproti křivkám kombinací, které měli na začátku nízkou hodnotu. Z dlouhodobého přístupu jsou lépe vyhodnocovány kombinace s pozvolnějším vzestupem. Kombinace 1, která zastupuje původní návrh, měla nízkou hodnotu svázané energie, ale křivka stoupá strmě. Hodnota poměru je 3,19. Naopak kombinace 2, 8 i 6 vycházejí z vyšších hodnot, ale tendence stoupání je pozvolná. Jejich hodnota poměru je 1,76-2,04.



Graf 14 – Vývoj celkových nákladů

Na grafu vývoje celkových nákladů lze pozorovat, že o umístění křivky téměř vždy rozhodovaly počáteční investice. Následný průběh kombinací v horní části grafu je téměř rovnoběžný. Z toho vyplývá, že během hodnoceného období tvoří nejvýznamnější položku pořizovací cena. Na kombinacích 1, 2 a 8 lze pozorovat, že ač křivka 1 vychází z výrazně nižší hodnoty oproti kombinaci 2 a 8, na konci hodnoceného období je výše a trend bude dále pokračovat. Poměr nákladů kombinace 1 je 0,47, zatímco kombinací 2 a 8 je 0,25-0,27.

### 6.3.3 Zvolená varianta

Jako nejvhodnější varianta je zvolena kombinace 8 z důvodu nejnižší celkové energie  $E_k$ . V ekonomickém vyhodnocení se zvolená varianta umístila na druhém místě, ale vzhledem k trendu křivek 3 a 8 lze předpokládat, že bude hodnota brzy překonána.

Následuje rekapitulace konstrukcí navržených pro zvolenou kombinaci a grafické znázornění ukazatele energetické náročnosti.

Tabulka 42 – Skladba konstrukce – zvolená varianta.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Jednovrstvá omítka	10	0,091	914	3 511
Heluz Family 2in1	380			
Lepicí hmota na bázi cementu	8			
Isover Grey Wall	150			
Lepicí hmota na bázi cementu s výztužnou tkaninou	6			
Silikátová omítka	3			
<b>Celkem</b>	<b>557</b>			

Tabulka 43 – Skladba konstrukce podlahy– zvolená varianta.

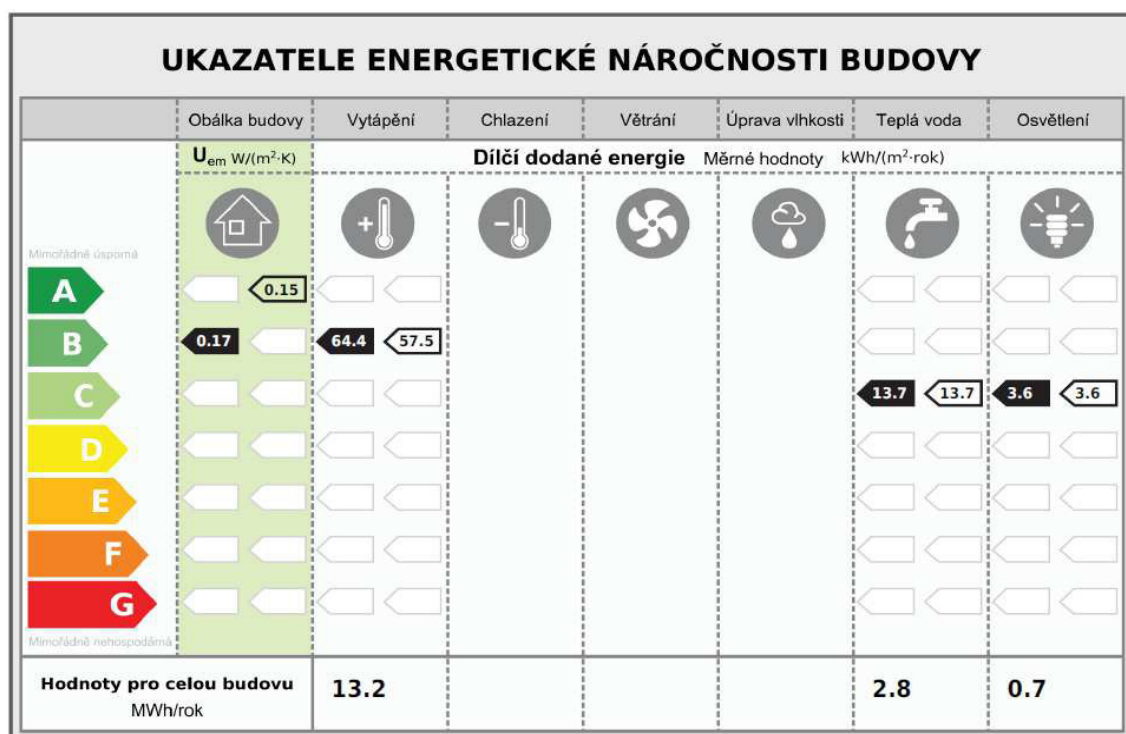
Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Keramická dlažba + lepidlo*	12	0,250	1 533	2 388
Litý cementový potěr bez výztuže	45			
Separáční PE fólie	-			
Tepelná izolace EPS Grey	200			
Betonová deska s výztuží	150			
Hydroizolační PVC fólie, 2 vrstvy	4			
Podkladní beton	100			
Geotextilie	-			
<b>Celkem</b>				

Tabulka 44 – Skladba konstrukce střechy – zvolená varianta.

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Plechové šablony	-	0,157	886	2 531
Latě + kontralatě	80			
Difúzně otevřená folie	0,4			
EPS konstrukční trámký + skelná izolace	200			
Bednění OSB	15			
Dřevěné krokve + minerální izolace	160			
Parotěsná folie	0,4			
SDK obklad na ocelovém roštu	45			
<b>Celkem</b>	<b>490</b>			

Tabulka 45 – Skladba konstrukce střechy – zvolená varianta.

Materiál	U	Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> K]	Svázaná energie [MJ/m <sup>2</sup> ]	Cena včetně prací [Kč/m <sup>2</sup> ]
Plastový rám	0,93	0,872	1 282	13 175
Trojasklo; 4-14-4-14-4	0,5			
Distanční rámeček	0,04			



Obrázek 16 – Ukazatele energetické náročnosti budovy, kombinace 8

## 7 ZÁVĚR

Rozhodování investora při volbě obálky rodinného domu by mělo být stanoveno analytickou metodou zohledňující spotřebu nákladů a energie v průběhu celého životního cyklu. Významný vliv při rozhodování má plánovaná životnost konstrukcí, jelikož náklady (energetické a finanční) i dopady na životní prostředí jsou nejdůležitější při pořizování prvků.

Při plánování nákladů na stavbu pro delší období vstupují do výpočtu investiční náklady, náklady na opravu a údržbu a provozní náklady, které jsou tvořeny náklady na vytápění. Při průzkumu statistických dat mají ceny plynu spíše klesající tendenci, u elektřiny byl v letech 2014-2014 také zaznamenán propad, ale růst v posledním roce byl až 12 %. Z tohoto důvodu je do dlouhodobého modelování vnesena nejistota výpočtu. Pro účel energetického auditu se uvažuje s diskontací 4 %, což je zjednodušení, které nereflektuje skutečný vývoj.

Stavební průmysl je největším průmyslem a tvoří přibližně 11 % HDP a spotřebovává velké množství přírodních zdrojů na výrobu materiálů a energií. Spotřebovávání zdrojů a dopady na životní prostředí hodnotí LCA analýza. Na základě LCA analýzy jsou vystavovány EPD prohlášení jednotlivých výrobků, které si nechávají výrobci zpracovat. V České republice shromažďuje prohlášení agentura CENIA. Databáze certifikovaných materiálů je velmi omezena, nachází se v ní téměř výhradně certifikace tepelných izolací, některých sádkartonových desek a několika stavebních tvarovek.

Jednotu z informací stanovených při LCA studii je hodnota svázané energie. Svázaná energie vyčísluje spotřebu primární energie výrobku nebo materiálu od jeho výroby až po likvidaci. Sběrem dat o svázané energii se zabývá i ČSÚ, kde od roku 1988 vede statistické informace o energetické náročnosti výroby některých materiálů. Jedná se především o fosilní paliva, těžbu surovin, výrobu oceli a některých základních stavebních materiálů. Sledované hodnoty mají široký záběr nejsou dostačující pro tvorbu modelu stavby. Na vývoji měrné spotřeby energie na výrobu lze sledovat snižování energetické náročnosti výroby u některých materiálů (např. cihla pálená) nebo stagnaci až růst (vápno). Toto pozorování značí neinovování výrobních procesů.

Pro porovnání výrobních procesů v České republice a Rakousku byl vybrán výrobek ISOVER ORSIK. Minerální izolace se vyrábí pod stejným označením stejným výrobcem a je pro ni zpracováno EPD prohlášení v obou zemích. Z porovnání vyplývá, že některé hodnoty jsou si velmi podobné, jako například svázaná energie. To značí pravděpodobně podobný výrobní postup. Naopak některé hodnoty se liší významněji jako *Potenciál eutrofizace* a *Potenciál ničení ozonové*



vrstvy. Eutrofizace je způsobena zvýšenou hodnotou vodíku a fosforu v odpadní vodě. Potenciál ničení ozonové vrstvy značí využití freonů nebo halových prvků při výrobě.

Pro modelování životního cyklu LCA existuje množství nástrojů jako databáze prvků sloužící pro další analýzu (AusLCI, Ecoinvent), komplexní nástroje pro vytváření detailní LCA studie v různých odvětvích (Team5, SimaPro), a zjednodušené nástroje specializované na stavebnictví, vyvíjené v národním kontextu s vlastní databází (Legep, Baubook, Envimat). Komplexní nástroje jsou rozsáhlé a jejich použití je časově náročné, proto se pro účely vyhodnocování stavebních opatření jeví jako dostačující zjednodušené nástroje. V českém prostředí je vyvíjena databáze a jednoduchý kalkulační nástroj Envimat. Jeho databáze je velmi omezená, kde data pochází z doby jeho vzniku 2011-2012, data nevycházejí ze skutečných podkladů výrobců, i v případech kdy je prohlášení EDP zveřejněno databází CENIA. Výrazně pokročilejší je rakouský kalkulační nástroj Baubook, který pracuje s materiály s prohlášením EPD.

Pro běžně používané materiály a konstrukce používané na obálku rodinného domu proběhl sběr dat, kdy byla shromažďována data o ceně, tepelně technických vlastnostech a svázané energii. Z kategorie tepelných izolací vychází jako ekologická varianta minerální izolace se svázanou energií pohybující se na polovině bílého EPS. Jako zajímavý materiál se jeví také šedý EPS, který má lepší tepelněizolační vlastnosti než EPS bílý a nižší svázanou energii. V kategoriích konstrukčních materiálů jako jsou bloky pro zdění nebo roznášecí vrstva se většinou jedná o kompromis mezi vlastnostmi. Překvapivě vysoké hodnoty svázané energie a ceny na m<sup>3</sup> jsou pozorovatelné u OSB a ostatních desek na bázi dřeva. V kategorii oken je nejvyšší svázaná hodnota pozorována u plastových rámců. Plastové rámy dosahují lepších tepelně izolačních vlastností, takže jsou přesto hodnoceny kladně pro udržitelnou výstavbu.

Z hodnocených materiálů byly sestaveny konstrukce obálky budovy: obvodové konstrukce, podlaha na terénu, střecha, okna. Pro každou konstrukci byli sestaveny tři až čtyři varianty, kdy každá zastupuje jeden přístup k řešení konstrukce. Ve většině případů nebyla pozorována souvislost mezi náklady na pořízení 1m<sup>2</sup> a svázanou energií, pouze s výjimkou střešní konstrukce, kde hlavním materiálem je tepelná izolace. Ve variantách byla používána minerální vata a PIR desky. Jelikož má minerální izolace nižší cenu i svázanou energii oproti PIR, byl zaznamenán trend. V konstrukcích suché výstavby s OSB deskami byl zaznamenán mírný nárůst oproti ostatním konstrukcím. Udržitelnost dřevostaveb se sendvičovými konstrukcemi bude v příštích letech pravděpodobně ještě klesat v důsledku úbytku dřeva jako stavební suroviny.

Z posuzovaných konstrukcí byly sestaveny kombinace, které byly aplikovány na případovou studii rodinného domu. Pro kombinace byla sestaven energetický a ekonomický model, který je hodnocen za období 20 let Z energetického modelu, který shrnuje svázanou energii obálky budovy a náklady na vytápění v hodnoceném období vyplývá, že vztah *vysoká svázaná energie = nízká energie na provoz* není automatický. U některých kombinací, jako 6 nebo 8 se to potvrzuje, jiná kombinace nesouhlasí, obecně však platí, že rozdíly mezi svázanou energií a energií na provoz nejsou vysoké a v průběhu hodnoceného období se křivky protínají. Energie na vytápění je v průběhu hodnocených let 1,7 - 3,2 násobek energie svázané. Z ekonomického modelu vyplývá, že nejnižší náklady má na konci hodnoceného období půdní návrh, který má nízké investiční náklady a vyšší náklady na provoz. Rozdíl v ročních nákladech na vytápění je v extrémním případě při uvažované ceně plynu 980 Kč/MWh 7 195 Kč. I při tomto rozdílu se v hodnoceném období celkové náklady nevyrovnají. Náklady na vytápění mohou být zkresleny v důsledku uvažování jednotného diskontu 4 % po celou dobu hodnocení. Náklady na vytápění jsou v průběhu hodnoceného období až 47 % z nákladů na pořízení obvodové obálky, jako je tomu v extrémním případě kombinace 1. Opačný případ nastává u kombinace 2, kdy se jedná o 22 %. V obou případech lze konstatovat, že se jedná o nezanedbatelnou hodnotu, a proto je vhodné svázanou energii i energii na provoz budovy dále sledovat.

## 8 BIBLIOGRAFIE

- [1] *Energetická účinnost v českých zemích za posledních 100 let*. Praha, 2019. Publikace. Ministerstvo průmyslu a obchodu, Odbor 4130.
- [2] VONKA, Martin. *SBToolCZ: [manuál hodnocení administrativních budov ve fázi návrhu]*. Druhé vydání. Praha: CIDEAS - Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí, 2011. ISBN 978-80-01-04865-8.
- [3] KOČÍ, Vladimír. *LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. První vydání. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.
- [4] PRUKNER, Vítězslav a Jaromír NOVÁK. *Základy managementu* [online]. 1. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014 [cit. 2019-12-27]. ISBN 978-80-244-4182-5. Dostupné z: <https://publi.cz/books/189/Prukner.html>
- [5] SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta. *Udržitelné pořizování staveb: ekonomické aspekty*. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2011. ISBN 978-80-7357-642-4.
- [6] MGR. TOMÁŠ CHADIM, . Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (I). In: *Tzb-info* [online]. Praha: FEL ČVUT, 2005 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2770-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-i>
- [7] MANAGEMENTMANIA.COM LLC. *Management Mania* [online]. Plzeň: The 6th RIVER, Science and Technology Park Pilsen, 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://managementmania.com>
- [8] *Index cen průmyslových výrobců 2019, Příloha II Průměrné čtvrtletní ceny elektřiny a zemního plynu za dodávky pro průmysl celkem a za pásma v České republice*. Praha, 2019. Publikace. Český statistický úřad.
- [9] MGR. TOMÁŠ CHADIM, . Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II). In: *Tzb-info* [online]. Praha: FEL ČVUT, 2015 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>
- [10] *17/1992 Sb. Zákon o životním prostředí*. In: . 1992. Praha: Federální shromáždění České a Slovenské Federativní Republiky, 1992, ročník 1992, číslo 4.
- [11] HÁJEK, Petr. Udržitelná výstavba budov a její uplatňování ve střední Evropě. *Časopis stavebnictví* [online]. 2007. 2007, **2007**(11-12), 2 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z:

- [https://www.casopisstavebnictvi.cz/udrzitelna-vystavba-budov-a-jeji-uplatnovani-ve-stredni-evrope\\_N465](https://www.casopisstavebnictvi.cz/udrzitelna-vystavba-budov-a-jeji-uplatnovani-ve-stredni-evrope_N465)
- [12] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. První vydání. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [13] *SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 98/2008 ze dne 19. listopadu 2008 o odpadech a o zrušení některých směrnic*. In: . 2008. Štrasburk: Evropský parlament a Rada, 2008, ročník 2008, 98/2008.
- [14] *Energetická náročnost výroby vybraných výrobků*. Praha, 2019. Publikace. Český statistický úřad.
- [15] *ČSN EN ISO 14040: Enviromentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [16] *Cenia* [online]. Praha: Česká informační agentura životního prostředí, 2019 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/>
- [17] *Envimat* [online]. Praha: ČVUT v Praze, 2019 [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/>
- [18] *ČSN EN ISO 14044: Enviromentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [19] *ČSN ISO 14020 Environmentální značky a prohlášení - Obecné zásady*. 1. Praha, 2002.
- [20] *ČSN ISO 14025 Environmentální značky a prohlášení - Environmentální prohlášení typu III - Zásady a postupy*. 1. Praha: ČNI, 2006.
- [21] *Eco Quantum* [online]. Melbourne: Eco Quantum, 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <http://ecoquantum.com.au/>
- [22] KATÁK, Jan. *Uživatelská příručka GEMIS 4.4*. Praha, 2007. CityPlan.
- [23] *Legep* [online]. Karlsruhe Munich: LEGEP Software GmbH, 2019 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://lekep.de/>
- [24] *Baubook* [online]. Wien: baubook GmbH, 2019 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://www.baubook.info/>
- [25] *Ecobilian* [online]. Paris: PwC France, 2019 [cit. 2019-12-04]. Dostupné z: <https://ecobilan.pwc.fr/>
- [26] *PRé* [online]. Amersfoort: PRé Consultants B.V., 2019 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.pre-sustainability.com>

- 
- [27] *AusLCI* [online]. Australia: ALCAS, 2019 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <http://auslci.com.au/>
- [28] *Ecoinvent* [online]. Zurich: ecoinvent, 2019 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.ecoinvent.org/>
- [29] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.
- [30] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Požadavky*. 1. Praha: ČAS, 2011.
- [31] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. První vydání. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [32] *Vyhláška č. 78/2013 Sb. Vyhláška o energetické náročnosti budov*. In: . 2013. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2013, ročník 2013.
- [33] Materiál a vlastnosti Ytongu. In: *TZB-info.cz* [online]. Praha: TZBinfo, 2014 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/11173-material-a-vlastnosti-ytongu>
- [34] Skladby obvodového pláště dřevostavby. In: *Estav* [online]. Praha: TZB-info.cz, 2019 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3464.skladby-obvodoveho-plaste-drevostavby>

**Seznam tabulek:**

Tabulka 1 – Průměrný roční vývoj cen energie 2012-2019.....	26
Tabulka 2 – Sledované výrobky přímo související se stavebním průmyslem [14]. .....	32
Tabulka 3 – Příklady termínů [18]. .....	43
Tabulka 4 – Charakterizační profil keramické dlažby RAKO. Enviromentální prohlášení o produktu 7170001 .....	44
Tabulka 5 –Skladba porovnávané konstrukce. ....	59
Tabulka 6 – Vyhodnocení indikátorů kategorie dopadu.....	59
Tabulka 7 – Porovnání indikátorů kategorie dopadu v pro ČR a AT. ....	60
Tabulka 8 – Součinitel prostupu tepla obvodových konstrukcí – požadované, doporučené a dosažitelné hodnoty [30].....	64
Tabulka 9 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro tepelné izolace. ....	69
Tabulka 10 – Počet dokončených rodinných domů, z toho dřevostaveb. ....	73
Tabulka 11 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro nosné konstrukce.....	73
Tabulka 12 – Skladba konstrukce – varianta 1.....	76
Tabulka 13 – Skladba konstrukce – varianta 2.....	77
Tabulka 14 – Skladba konstrukce – varianta 3.....	77
Tabulka 15 – Skladba konstrukce – varianta 4.....	78
Tabulka 16 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro tepelní izolace. ....	79
Tabulka 17 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro roznášecí vrstvu. ....	80
Tabulka 18 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro hydroizolace. ....	83
Tabulka 19 – Skladba konstrukce podlahy – varianta 1.....	84
Tabulka 20 – Skladba konstrukce podlahy– varianta 2.....	85
Tabulka 21 – Skladba konstrukce podlahy– varianta 3.....	85
Tabulka 22 – Skladba konstrukce podlahy – varianta 1.....	86
Tabulka 23 – Souhrn vlastností materiálů používaných pro krytiny. ....	89
Tabulka 24 – Skladba konstrukce střechy – varianta 1. ....	90
Tabulka 25 – Skladba konstrukce střechy – varianta 2. ....	90
Tabulka 26 – Skladba konstrukce střechy – varianta 3. ....	91
Tabulka 27 – Skladba konstrukce střechy – varianta 2. ....	91
Tabulka 28 – Skladba konstrukce střechy – varianta 1. ....	94
Tabulka 29 – Skladba konstrukce střechy – varianta 2. ....	94
Tabulka 30 – Skladba konstrukce střechy – varianta 1. ....	95
Tabulka 31 – Skladba konstrukce obvodová stěna .....	98
Tabulka 32 – Skladba konstrukce – podlaha na terénu .....	99
Tabulka 33 – Skladba konstrukce – střecha.....	99
Tabulka 34 – Skladba konstrukce – okna plastová.....	99

Tabulka 35 – Skladba konstrukce – okna střešní. ....	100
Tabulka 36 – Skladba konstrukce – dveře vstupní. ....	100
Tabulka 37 – Přehled kombinací. ....	104
Tabulka 38 – Přehled vypočtených hodnot. ....	105
Tabulka 39 – Přehled vypočtených hodnot. ....	106
Tabulka 40 – Spotřeba energie na pořízení a provoz vztažená k 1m <sup>2</sup> energeticky vztažené podlahové plochy. .....	107
Tabulka 41 – Náklady na pořízení a provoz vztažené k 1m <sup>2</sup> energeticky vztažené podlahové plochy. ....	107
Tabulka 42 – Skladba konstrukce – zvolená varianta. ....	110
Tabulka 43 – Skladba konstrukce podlahy– zvolená varianta. ....	110
Tabulka 44 – Skladba konstrukce střechy – zvolená varianta. ....	111
Tabulka 45 – Skladba konstrukce střechy – zvolená varianta. ....	111

### Seznam grafů:

Graf 1 – Měsíční spotřeby el. energie. ....	25
Graf 2 – Poměr svázaná energie: provozní energii 1) nízkoenergetického domu, 2) zděná budova z roku 2005, 3) zděná budova 1927 [3]. ....	30
Graf 3 – Měrná spotřeba energie na tunu produktu [14]. ....	33
Graf 4 – Národní energetické mixy pro rok 2017. ....	58
Graf 5 – Podíl jednotlivých konstrukcí na ploše, tepelných ztrátách prostupem a nákladech na pořízení. .....	61
Graf 6 – Poměr dřevostaveb vůči ostatním konstrukcím. ....	73
Graf 7 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m <sup>2</sup> konstrukce. ....	78
Graf 8 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m <sup>2</sup> konstrukce. ....	86
Graf 9 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m <sup>2</sup> konstrukce. ....	92
Graf 10 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m <sup>2</sup> konstrukce. ....	95
Graf 11 – Vztah svázané energie a nákladů na 1m <sup>2</sup> konstrukce. ....	96
Graf 12 – Souvislosti nákladů a svázané energie/průměrného součinitele prostupu tepla .....	106
Graf 13 – Vývoj spotřeby energie .....	108
Graf 14 – Vývoj celkových nákladů .....	109

**Seznam obrázků:**

Obrázek 1 – Vývoj nákladů a možnosti změn během životních fází stavby. ....	16
Obrázek 2 – Přístupy k udržitelnému rozhodování. ....	17
Obrázek 3 – Schéma stádií životního cyklu a jejich enviromentální dopady [3]. ....	36
Obrázek 4 – Rozdělení životních fází. ....	37
Obrázek 5 – Vedlejší toky jednotkového procesu [15]. ....	39
Obrázek 6 – Znárodnění ekovoktorů [3]. ....	42
Obrázek 7 – Interpretace výsledků LCA u výrobku Isover EPS Sokl 3000. ....	45
Obrázek 8 – Ekoznačky: Ecolabel EU, Blaue Engel, Ekologicky šetrný výrobek. ....	46
Obrázek 9 – Procesní řetězec a ukázka části dat pro proces cement-CZ. ....	52
Obrázek 10 – Vyhodnocení skladby podle Baubook calculator. ....	54
Obrázek 11 – Vyhodnocení budovy v eco2soft. ....	54
Obrázek 12 – Vyhodnocení skladby podle Envimatu. ....	55
Obrázek 13 – Pracovní prostředí Sima Pro. ....	56
Obrázek 14 – Pohledy na objekt řešený objekt. ....	97
Obrázek 15 – Ukazatele energetické náročnosti budovy. ....	102
Obrázek 16 – Ukazatele energetické náročnosti budovy, kombinace 8. ....	111

**Seznam příloh:**

Vyhodnocení konstrukcí Baubook

Vyhodnocení konstrukcí Eurocalc

Projektová dokumentace pro případovou studii

PENB – stávající stav

PENB – navrhovaný stav