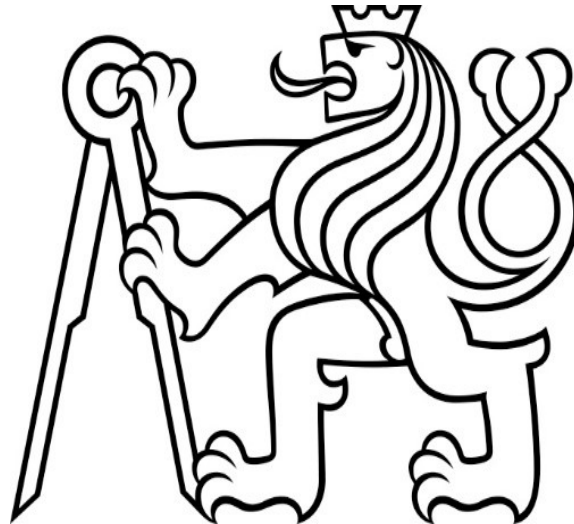


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kolouch** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **469081**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Management a ekonomika ve stavebnictví**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Zjednodušený návrh nízkoenergetického domu s vlivem na ekonomiku provozu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Simplified design of a low-energy house with an impact on operating costs**

Pokyny pro vypracování:

Popsat základní faktory ovlivňující návrh nízkoenergetického domu.  
Rešerše již existující staveb v nízkoenergetickém standardu.  
Popsat a porovnat různé varianty technického řešení nízkoenergetického domu s dopadem na ekonomiku projektu.

Seznam doporučené literatury:

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 8024738325;9788024738321.  
BROTÁNKOVÁ, Klára, BROTÁNEK, Aleš. Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 8024739690;9788024739694.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Petr Kalčev, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSv**

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

\_\_\_\_\_

Datum zadání bakalářské práce: **17.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Ing. Petr Kalčev, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

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

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis odborníky

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího práce.

Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná a v práci jsem neporušil autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Praze dne .....

.....

### **Poděkování**

Tímto způsobem chci poděkovat panu inženýru Petrovi Kalčevovi, Ph.D. za profesionální přístup a jeho cenné rady při vytváření této bakalářské práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině a milující přítelkyni za vytrvalou podporu a pevné nervy.

ZJEDNODUŠENÝ NÁVRH NÍZKOENERGETICKÉHO  
DOMU S VLIVEM NA EKONOMIKU PROVOZU

SIMPLIFIED DESIGN OF A LOW ENERGY HOUSE WITH  
AN IMPACT ON OPERATING COSTS

## ANOTACE

Předmětem bakalářské práce je zjednodušený návrh nízkoenergetického domu a jeho následné posouzení z ekonomického pohledu. Práce se dělí na dvě části, teoretickou a praktickou. V teoretické části se popisují základní faktory ovlivňující návrh nízkoenergetického domu a jsou uvedeny již existující domy realizované v tomto standartu.

Praktická část se pak zabývá návrhem několika obálek budovy a systémů vytápění, které se aplikují na typový rodinný dům. Praktická část se následně zaobírá ekonomickou výhodností jednotlivých variant obálky budovy.

## Klíčová slova

Pasivní dům, součinitel prostupu tepla, měrná potřeba tepla na vytápění, náklady, doba návratnosti

## ANNOTATION

The main task of this bachelor thesis is simplified design of low-energy house and his further consideration from economic point of view. The thesis is divided in to two parts, teoretical and practical. In the teoretical part, the thesis describes fundamental factors, that affect design of low-energy house and presents existing houses, that have been realize in this standart.

Practical part is about designing several types of envelopes of the building and systems of heating, which are aplicated on typical family house. In the next part of the practical part deals with economical advantages of each envelope.

## Key words

Passive house, heat transfer coefficient, specific heat demand for heating, costs, payback period

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Úvod do problematiky nízkoenergetických budov .....	11
2. 1. Princip hodnocení stavebně-energetické vlastnosti domu .....	11
2. 1. 1. Označení domu podle energetické náročnosti.....	11
2. 1. 2. Normy pro navrhování a hodnocení pasivních domů v Čechách a zahraničí.....	12
2. 1. 3. Způsob certifikace z hlediska energetické náročnosti budov .....	13
3. Faktory ovlivňující návrh nízkoenergetického/pasivního domu.....	15
3. 1. Volba pozemku .....	15
3. 1. 1. Přístupnost pozemku.....	15
3. 1. 2. Orientace budovy na pozemku.....	15
3. 1. 3. Umístění budovy vůči okolí.....	15
3. 1. 4. Exponovanost vůči větru.....	16
3. 2. Tvar, kompaktnost .....	16
3. 2. 1. Tvar.....	16
3. 2. 2. Tvarová kompaktnost .....	16
3. 3. Zónování, dispozice .....	16
3. 3. 1. Dispozice.....	16
3. 3. 2. Zónování.....	17
3. 4. Obálka budovy.....	17
3. 4. 1. Obvodové stěny.....	17
3. 4. 2. Střešní konstrukce .....	19
3. 4. 3. Tepelné izolace .....	19
3. 4. 4. Výplně otvorů .....	20
3. 4. 5. Stínění.....	20
3. 4. 6. Tepelné mosty .....	21
3. 4. 7. Průvzdušnost.....	21
3. 5. Provoz.....	22
3. 5. 1. Větrání.....	22
3. 5. 2. Nucené větrání s rekuperací .....	23
3. 5. 3. Zdroj tepla.....	23
3. 6. Očekávání investorů od domu .....	24
4. Příklady nízkoenergetických/pasivních budov .....	26
4. 1. Rodinný dům v Pticích.....	26
4. 2. Rodinný dům na Výsluní .....	26

4. 3. Rodinný dům v Čerčanech .....	27
5. Praktická část bakalářské práce .....	28
5. 1. Návrh rozměrů, tvaru, dispozice domu .....	28
5. 2. Návrhy obálek domu .....	29
5. 2. 1. Betonový objekt .....	29
5. 2. 2. Ytongová obálka .....	30
5. 2. 3. Dřevostavba .....	30
5. 3. Porovnání tepelně izolačních vlastností obálek.....	31
5. 3. 1. Betonová obálka .....	31
5. 3. 2. Ytongová obálka .....	32
5. 3. 3. Dřevostavba .....	32
5. 4. Finanční porovnání jednotlivých obálek .....	32
5. 4. 1. Celkové náklady na obálky.....	33
5. 4. 2. Náklady na nosné konstrukce.....	33
5. 4. 3. Náklady na izolaci konstrukci .....	33
5. 4. 4. Náklady na povrchové úpravy .....	34
5. 4. 5. Náklady na m <sup>2</sup> konstrukcí.....	34
5. 5. Návrh vytápěcích systému .....	35
5. 5. 1. Elektrické vytápění.....	36
5. 5. 2. Plynové vytápění.....	37
5. 6. Spotřeby energií pro jednotlivé obálky .....	37
5. 6. 1. Náklady na vytápění elektřinou .....	38
5. 6. 2. Náklady na vytápění plynem .....	40
5. 6. 3. Porovnání nákladů vytápění podle energií.....	42
5. 6. 4. Doby návratnosti systémů vytápění.....	42
5. 6. 5. Doba návratnosti elektrického vytápění.....	42
5. 6. 6. Doba návratnosti plynového vytápění .....	43
5. 6. 7. Porovnání variant.....	43
5. 6. 8. Doba návratnosti plynového vytápění oproti elektrickému.....	43
5. 7. Doby návratností obálek vzhledem k úsporám za vytápění .....	45
5. 7. 1. Doba návratnosti obálek-elektrického vytápění .....	45
5. 7. 2. Doba návratnosti obálek-plynové vytápění.....	46
5. 7. 3. Doba návratnosti obálek vlivem rozdílu ceny plynu a elektřiny .....	47
5. 7. 4. Doba návratnosti s programem nová zelená úsporám.....	47
6. Závěr.....	49
Zdroje .....	51



<b>Seznam obrázků a tabulek.....</b>	<b>55</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>55</b>
<b>Seznam norem a nařízení.....</b>	<b>56</b>
<b>Seznam symbolů .....</b>	<b>56</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>57</b>

## **1. Úvod**

Práce se zabývá návrhem nízkoenergetického (pasivního) domu. Jelikož v dnešní době se více při navrhování budov dbá, aby budovy byly ekonomicky úsporné, a to jak při jejich samotné výstavbě, tak i při jejím provozu. Těchto úspor se dosahuje pomocí správného návrhu budovy, jak z technického pohledu i architektonického a také pomocí pasivních zisků energie, například pomocí sluneční energie. Dalšími neodmyslitelnými výhodami domů realizovaných v pasivním standardu jsou kvalita a čistota a pohodové prostředí v domě.

Pasivní domy jsou s výhledem do budoucna také logickým řešením z důvodů neustálého zdražování energií nebo paliv, které využíváme k vytápění budovy, ohřevu vody, provozu systémů budovy a pohánění elektrických zařízení v budově.

V této práci se hlavně budu zabývat zjednodušenými návrhy obálek budovy a způsoby jejich vytápění. Obálkou budovy myslím obvodové stěny, střešní konstrukci. Jednotlivé varianty budou z různých materiálů a odlišných tvarových verzích. Jednou z hlavních náplní bude výpočet jejich pořizovacích nákladů. Pomocí těchto nákladů následně zpracuji doby návratnosti pro jednotlivé varianty obálek, vzhledem k použitému systému vytápění a plynoucích úspor z nižších potřeb tepla pro vytápění oproti nepasivnímu domu.

Dalším kladným faktorem pro pasivní budovy je, že Česká republika vyjadřuje finanční podporu pro jejich výstavbu v různých programech, například nová zelená úsporám, kde potencionální investor do pasivního domu může získat finanční prostředky nejen na samotnou výstavbu domu, ale i na zdroj tepla.

### **Cíle práce**

- Seznámení čtenáře s problematikou nízkoenergetických budov, a to zvláště jednoduše a srozumitelně i pro člověka, který se nikdy s touto problematikou nesetkal.
- Stanovení důležitých faktorů ovlivňující návrh pasivních domů, jakožto územní, architektonické a stavební faktory.
- Udělat rešerši již postavených domů postavených v pasivním standardu
- Návrh dispozice, tří různých variant konstrukčních obálek domu, které budou vyhovovat pasivnímu standardu hlavně v oblasti součinitele prostupu tepla a měrné roční potřeby tepla na vytápění. Jejich následné posouzení z hlediska investičních nákladů.
- Navrhnutí dvou rozdílných systémů vytápění, podle kterých se bude určovat doba návratnosti samotných systémů vytápění a navrhovaných obálek.
- Pomocí finančních analýz objasnit finanční výhodnost pasivních domů.

## 2. Úvod do problematiky nízkoenergetických budov

V této kapitole je ujasněno, podle jakých kritérií se hodnotí stavebně-energetické vlastnosti domu. Dále se kapitola zaměřuje na vysvětlení pojmů nízkoenergetický a pasivní dům a jejich následné certifikace.

### 2. 1. Princip hodnocení stavebně-energetické vlastnosti domu

Stavebně-energetické vlastnosti se hodnotí na více škálách podle těchto kritérií.

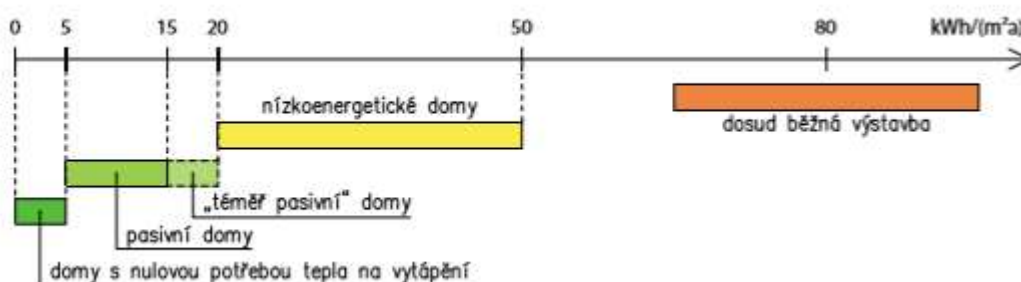
- Součinitele prostupu tepla
- Měrné potřeby tepla na vytápění (netto, tedy bez vlivu účinnosti otopné soustavy)
- Měrné potřeby energie na vytápění (včetně vlivu účinnosti otopné soustavy)
- Měrné potřeby primární energie na vytápění
- Měrné potřeby energie na provoz budovy
- Měrné potřeby primární energie na provoz budovy
- Měrných ekvivalentních emisí CO<sub>2</sub> při provozu budovy

Tyto hodnoty se dále používají jako podklad pro udělení průkazu energetické náročnosti domu.

[1]

#### 2. 1. 1. Označení domu podle energetické náročnosti

Objekty s velice nízkou energetickou náročností pracují s výrazně nižší měrnou potřebou tepla na vytápění oproti stávajícímu požadavku stavebně-energetických předpisů. Touto veličinou se myslí vypočtené množství tepla na rok, které je vztaženo k 1 m<sup>2</sup> vytápěné plochy domu. Objekty se podle této veličiny člení do několika kategorií. V této podkapitole se pokusím blíže představit pouze nízkoenergetické domy a pasivní domy, jelikož jimi se tato práce právě zabývá.



Obrázek 1: Roční měrná potřeba tepla na vytápění podle kategorií budov (Tywoniak,2008)

Podle ČSN 730540:2 jsou **nízkoenergetické domy** takové, které mají roční měrnou potřebu tepla na vytápění menší než 50 kWh/(m<sup>2</sup>a). [6]

Jednou z podskupin nízkoenergetických domů jsou **pasivní domy**. Jejich hlavní charakteristiky jsou minimalizace potřebné energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizace potřebné primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz, díky

optimalizovanému stavebnímu řešení. Jeho řešení také zohledňuje klimatické a geografické podmínky v dané lokalitě. [1]

**Pasivní domy** jsou dle ČSN 730540:2 označovány jako objekty, u kterých roční měrná potřeba tepla není vyšší než 15 kWh/(m<sup>2</sup>a). Tato veličina ale není jediná, kterou pasivní domy musí splňovat. Dalším velice důležitým parametrem je neprůvzdušnost obálky, kdy hodnota  $n_{50}$  musí být menší než 0,6 h<sup>-1</sup>(viz-kapitola 3). Dále u pasivních domů nesmí velikost použité primární energie na provoz budovy, tím je na mysli spotřebovaná energie na vytápění, ohřev teplé vody a pro elektrické spotřebiče, překročit hodnotu 60 kWh/(m<sup>2</sup>a). [6]

	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em}$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m <sup>2</sup> ·a)]
Obytná budova: rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 <sup>2)</sup>	≤ 60
Obytná budova: bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 <sup>2)</sup>	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18–22 °C	≤ 0,35 <sup>1)</sup>	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy	Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120

<sup>1)</sup> Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě  $U_{en,rec}$  podle článku 5.3.2 v [103].  
<sup>2)</sup> Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné (ověření výpočtem za normových podmínek). Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.

Obrázek 2:Základní vlastnosti pasivních budov (Tywoniak,2012)

### **2. 1. 2. Normy pro navrhování a hodnocení pasivních domů v Čechách a zahraničí**

Z důvodů stanovení pevné metodiky při navrhování pasivních domů na našem území, se jejich návrhy řídí několika normami, které stanovují postupy pro jednotlivé výpočty nebo hodnoty, které se mají dodržovat.

Základní info o pasivních domech je obsaženo v ČSN 73 0540-2 od roku 2002. Tato norma doznala upřesnění v roce 2011. Návrhy pasivních domů se také dále řídí podle vyhlášek ČSN EN ISO 13790, TNI 73 0329, TNI 73 0330 a ČSN EN 13829.

V ČSN EN ISO 13790 jsou uvedeny postupy pro výpočty potřebného tepla na vytápění a potřebné energie na chlazení. Tyto postupy využívají vstupní údaje z TNI 73 0329 a TNI 73 0330. Podle těchto dvou vyhlášek se mohou vypočítat hodnoty potřebné dodané energie pro přípravu teplé vody, také pro stanovení elektrické energie pro provoz energetických systémů budovy a elektrické energie pro pohánění elektrických spotřebičů. Pomocí ČSN EN 13829, TNI

73 0329 a TNI 73 0330 se stanovuje celková průvzdušnost obálky, která je jedním z povinných hodnotících kritérií pro pasivní domy. [1]

V zahraničí se používá metoda **PHPP** (passivhaus-projektierungspaket), která se dlouhodobě vyvíjí v Passivhaus Institut v Darmstadu.

Její princip je na stejném základu jako česká metodika. Rozdílnost těchto metod je však ve vstupních údajích pro výpočet, ale i se jiným způsobem stanovuje například vztažná plocha za účelem výpočtu měrných hodnot. V české metodice, jako celková vztažná plocha, se využívá celková vnitřní podlahová plocha, ve které jsou zahrnuty i plochy přiček a šachet. To má za výsledek, že v české metodice budou lepší výsledky u hodnot měrné potřeby tepla na m<sup>2</sup>. V následující tabulce jsou uvedeny rozdíly výše uvedených metod. [1]

Fyzikální jev, požadavek	Způsob hodnocení	
	Podle TNI 73 0329 a TNI 73 0330	Podle PHPP
Základní hodnocení		
Prostup tepla	a) součinitel prostupu tepla jednotlivé konstrukce b) součinitel prostupu tepla obálky budovy (průměrná hodnota)	součinitel prostupu tepla jednotlivé konstrukce
Měrný ztrátový tepelný výkon ( <i>heating load</i> )	Nehodnotí se, do určité míry je nahrazen průměrnou hodnotou součinitele prostupu tepla – veličinou nezávislou na klimatických datech	Atypický výpočet, uvažující nenormové kombinace zimních klimatických podmínek. Vhodnost pro české podmínky je sporná
Měrná potřeba tepla na vytápění	Výpočet měsíční metodou podle ČSN EN ISO 13790	Výpočet měsíční metodou podle ČSN EN ISO 13790, s možností modifikace
Měrná spotřeba primární energie na provoz budovy	Zahrnuje všechny energetické spotřeby kromě uživatelské elektrické energie	Zahrnuje všechny energetické spotřeby včetně uživatelské elektrické energie
Doplňkové hodnocení z hlediska komfortu		
Riziko přehřívání	Normový výpočet pro kritické místnosti podle ČSN EN 13 792	Výpočet (nenormový) stanovující celkovou dobu v roce (vyjádřenou v procentech), kdy není hygienické kritérium splněno. Budova se hodnotí vcelku.
Zajištění dostatečného přísunu čerstvého vzduchu	Slovní hodnocení souladu s předpisy (dostatečné množství čerstvého vzduchu do obytných místností)	Slovní hodnocení souladu s předpisy (dostatečné množství čerstvého vzduchu do obytných místností)

Obrázek 3: Přehled veličin charakterizujících pasivní budovu (podle TNI 73 0329/TNI 73 0330 a PHPP) (Tywoniak, 2012)

### **2. 1. 3. Způsob certifikace z hlediska energetické náročnosti budov**

Pro vyhodnocení budov z hlediska energetické náročnosti, tím se rozumí spotřeba energie a náklady potřebné k provozu domu, se vyhotovuje průkaz energetické náročnosti budovy, dále jen PENB.

Obsahem PENB musí vždy být:

- Identifikační údaje o daném objektu
- Ukazatele energetické náročnosti
- Seznam doporučených opatření, jestli se nějaké vyskytují
- Podíl energonositelů na dodané energii
- Vyhodnocení vlivu budovy na životní prostředí

Na základě vyhodnocení ukazatelů energetické náročnosti budovy, kterými jsou myšleny ukazatele pro vytápění, chlazení, větrání, přípravy teplé vody a osvětlení. A tím se následně určí energetická náročnost budovy.

Budovy jsou rozděleny do několika různých kategorií energetické náročnosti

- **A** – Mimořádně úsporná
- **B** – Úsporná
- **C** – Vyhovující
- **D** – Nevyhovující
- **E** – Nehospodárná
- **F** – Velmi nehospodárná
- **G** – Mimořádně nehospodárná [7]

Novostavby by měly nejméně spadat do kategorií C podle vyhlášky 148/2007 sb..

### **3. Faktory ovlivňující návrh nízkoenergetického/pasivního domu**

V následující kapitole objasním faktory, které ovlivňují návrh nízkoenergetického domu. Nejedná se jenom o architektonické faktory jako je tvar a rozměry budovy a její dispozice nebo konstrukční zásady, kam řadíme použité materiály pro danou konstrukci a její realizaci bez tepelných mostů, ale také územní faktory, například typ pozemku a orientace budovy vůči světovým stranám. Rozsah informací pro čtenáře je v takové míře, aby pochopil základy této problematiky. V této kapitole jsem čerpal z několika zdrojů a kvůli přehlednosti, jelikož bych po každém odstavci psal více zdrojů, je uvedu raději předem. Jako knižní zdroje jsem použil publikace od Jana Tywoniaka Nízkoenergetické domy 2,3, dále také Pasivní rodinný dům, proč a jak stavět od Mojžíra Hudce a publikaci Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech od Aleše Brotánka a Kláry Brotánkové. Dále jsem použil infolisty, které vydalo Centrum pasivních domů. V této kapitole jsem také čerpal z různých webových stránek. Jde o stránky [www.eon.cz](http://www.eon.cz), [www.pre.cz](http://www.pre.cz), [www.drevoastavby.cz](http://www.drevoastavby.cz), [www.ebeton.cz](http://www.ebeton.cz), [www.ytong.cz](http://www.ytong.cz), [www.maxplus.cz](http://www.maxplus.cz), [www.asb-portal.cz](http://www.asb-portal.cz), [www.stavebnictvi3000.cz](http://www.stavebnictvi3000.cz), [www.climatizer.cz](http://www.climatizer.cz), [www.eon.cz](http://www.eon.cz), [dumkotlu.cz](http://dumkotlu.cz). Všechny zdroje jsou pak v kompletní formě uvedeny na konci bakalářské práce.

#### **3. 1. Volba pozemku**

Nežli začne samotný návrh nízkoenergetického domu, musí se zvolit vhodný pozemek. Je několik faktorů, které mohou ovlivnit jeho výběr.

##### **3. 1. 1. Přístupnost pozemku**

Prvním je přístupnost pozemku. Nejedná se o jeden z nejdůležitějších faktorů, ale může se odrazit na provozních nákladech, hlavně u rodinných domů. Zejména v místech, kde chybí budovy občanské vybavenosti, například školy, služby atd. a na místo, kam se nedá snadno dostat pomocí veřejné dopravy. Tím se navyšují emise škodlivin spojené s dopravou vlastním dopravním prostředkem, které mohou být výrazně vyšší než emise spojené s provozem domu.

##### **3. 1. 2. Orientace budovy na pozemku**

Pozemek by měl umožnit nestíněné umístění domu a také natočení největších prosklených ploch na Jih, Jihovýchod nebo Jihozápad, a to kvůli solárním ziskům, které nám poté snižují celkovou měrnou roční potřebu tepla na vytápění. Je vhodné také zajistit, aby objekt z těchto stran nebyl stíněn, například okolní zástavbou.

##### **3. 1. 3. Umístění budovy vůči okolí**

Je velký rozdíl, pokud je budova postavena v zástavbě nebo jako samostatně stojící budova. Z prostého důvodu, že v zástavbě jsou budovy shluklé k sobě a tím zde nejsou takové rozdíly

teplot. Budovy jsou také lépe chráněné také proti větru. Domy je vhodné umístit na jižní svah vzhledem k tomu, že se na něm vyskytují celoročně vyšší teploty než na severním svahu.

#### **3. 1. 4. Exponovanost vůči větru**

Budovy, které jsou vysoce exponovány vůči větru, mají větší tepelné ztráty, a to důsledkem infiltrace přes netěsnosti v obálce budovy. Jedná se o budovy, které stojí na místech mimo zástavbu na nechráněných místech. U takto nechráněných objektů je proto vhodné postavit větrolamy v podobě zdí nebo zeleně.

#### **3. 2. Tvar, kompaktnost**

Pasivní domy by se měly navrhovat jako tvarově jednoduché, kompaktní stavby, a to především bez složitých detailů na provedení.

##### **3. 2. 1. Tvar**

Pokud řeším budoucí tvar budovy, z hlediska fyzikálních vlastností je nejlepší tvar koule, ale jestli se zaměřím na ostatní požadavky jako technické, dispoziční, ekonomické, tak tento tvar už není nejlepší volbou. V naší době se jako nejlepší tvar zdá krychle nebo kvádr (s delší stranou na jih), z důvodu poměru ochlazovaných ploch-A, ku zastavěnému objemu V.

##### **3. 2. 2. Tvarová kompaktnost**

Když se zaměřím na tento faktor, jde principiálně o to, že velice členité stavby mají více ochlazovaných ploch a mohou zabírat větší plochu, tudíž mít horší poměr A/V. Výsledek taky ovlivňuje, pokud se jedná o přízemní nebo více patrovou budovu. Přízemní budovy by ze zásady neměly přesáhnout plochu 120–140 m<sup>2</sup>. Mohou být také více tvarově rozlehlé, tedy mít horší tvarovou kompaktnost. Z tohoto hlediska jsou tedy lepší vícepodlažní budovy, které využijí lépe poměr A/V. Nejlépe tento poměr využívají vysoké kancelářské budovy. Dále u více členitých nebo tvarově složitějších staveb mohou vznikat složité konstrukční detaily, které mohou být tepelnými mosty. Příkladem jsou například vystupující konstrukce přes hranici fasády. Závěrem je nutné říci, že návrh vhodného tvaru domu nám může ušetřit finance, jelikož může snížit tloušťku izolace v obálkových konstrukcích.

#### **3. 3. Zónování, dispozice**

##### **3. 3. 1. Dispozice**

Správně navrhnutá dispozice ovlivňuje využitelnost prostoru, spotřebu energie a spokojenost uživatelů. Místnosti se uspořádávají s ohledem na jejich teplotní režim a jejich regulaci potřebnou mírou denního osvětlení. Závisí na ní také délky rozvodů.

Proto se orientují na jižní stranu obytné místnosti jako obývací pokoj, který většinou bývá spojený s kuchyňským koutem a jídelnou. Na tuto stranu je vhodné umístit i ložnice a dětské



pokoje. Obytné místnosti se na jižní stranu umisťují z důvodů největších teplot po celý rok. Z hlediska solárních zisků jsou pak v uvedených místnostech největší stavební otvory.

Na severní stranu potom se umisťují prostory, které nejsou tak frekventovaně využívány a je snaha i co nejvíce zmenšovat plochu stavebních otvorů kvůli tepelným ztrátám. Mezi tyto místnosti patří WC, schodiště, zádveří, šatny, koupelny, technické místnosti. Jsou to prostory, ve kterých nejsou tak velké požadavky na denní osvětlení.

### **3. 3. 2. Zónování**

Základní rozdělení prostoru je na vytápěné a nevytápěné prostory, které se musí dobře od sebe tepelně oddělit. Je třeba se také vyhnout energeticky náročným cirkulacím, což znamená, že se sdružují místnosti s teplou vodou k sobě.

### **3. 4. Obálka budovy**

Obálka stavby musí být dokonale izolována bez tepelných mostů, aby se snížily tepelné ztráty. Jednotlivé konstrukce se posuzují podle součinitele prostupu tepla  $U$ . Hodnotí se dvěma způsoby jako jednotlivé konstrukce se svými hodnotami součinitele a jako celek pomocí průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$ . Všechny tyto hodnoty musí vyhovět standartu samostatné, pak i jako celek.

Z důvodu, že v praktické části navrhuji obvodové stěny a střešní konstrukce, následující podkapitoly budou věnovány právě jim, a také se krátce podívám na typy tepelných izolací.

#### **3. 4. 1. Obvodové stěny**

V této podkapitole představím tři druhy materiálů, které poté byly aplikovány praktické části bakalářské práce.

##### **Dřevěný lehký skelet**

Většinou také označovaný jako Two by four systém. Nosná konstrukce těchto stěn je tvořena svislými dřevěnými sloupky, jež jsou spojeny vodorovnými prvky do rámových konstrukcí. Tuhost stěn je zajištěna pomocí šikmého zavětrování a deskových materiálů na bázi dřeva, které zároveň fungují jako záklop konstrukce. Prostor mezi sloupky rámu se zatepluje tepelnou izolací, většinou vkládanou minerální vatou nebo foukanou celulózu. Dřevěná konstrukce není v dokončeném stavu stavby vidět, jelikož je překryta z obou stran. Z vnějšku je zakryta finální vrstvou tepelné izolace a konečnou povrchovou úpravou. Na vnitřní straně se většinou provádějí instalační předstěny pro rozvody, které mohou být také vyplněné tepelnou izolací.

Jako hlavní výhody systému lehkého dřevěného skeletu jsou identifikovány tyto přednosti.

**Absence těžké techniky**, jelikož konstrukce je montovaná přímo na stavbě z jednotlivých prvků, tudíž zde nejsou žádné velké dílce, pro které je potřeba jeřábní technika. Z tohoto důvodu je lehký dřevěný skelet vhodný pro parcely s horší dostupností.

**Flexibilita a jednoduchość systému**, tím mám na mysli, že dispozice není omezená modulovým rozměrem. Dají se tedy snadno přesouvat příčky, měnit se do určité fáze výstavby dispozice. Po pečlivém statickém prověření se může změnit poloha a rozměr otvorů během stavby.

**Kombinace s jiným konstrukčním systémem** je velice snadná. Lehký dřevěný skelet se například kombinuje zděnými nebo betonovými konstrukcemi. Tyto konstrukce jsou například příčky nebo jádra, které mají dobré akustické a akumulární funkce.

### **Betonové stěny**

Betonové stěny mohou být prováděny jako monolitické, tak i z prefabrikovaných panelů. Mezi jejich hlavní výhody patří, že už i při tloušťce 150 mm jsou nosné. Jelikož jde o masivní konstrukci, má také výborné **akustické vlastnosti a tepelně akumulární vlastnosti**. To znamená, že v létě se nám konstrukce nepřehřívá a v zimě nám udržuje teplo uvnitř domu. Ve zkratce to znamená, že nám pomáhá udržet tepelnou stabilitu domu. Beton, jakožto materiál, není hořlavý a můžeme ho libovolně tvarovat.

U pasivních domů se monolitické betonové stěny používají v kombinaci s neopórovými tvárnici, které působí jako ztracené bednění a zároveň i jako tepelná izolace. Výstavba u tohoto systému je pomocí technologie ztraceného bednění, kde na vnější straně je ztracené bednění z neopórových tvární, které jsou spojené s odnímatelnými deskami bednění na straně vnitřní, pomocí plastových spojek. Tento systém tak na plno využívá předností betonu, jako tepelně akumulárního a akustického jádra a už při nízkých tloušťkách obvodových stěn zaručuje dobré zaizolování objektu. Nespornou výhodou tohoto systému je rychlá montáž. Tento systém nabízí také možnost vnitřní povrchové úpravy stěn jako pohledového betonu, což může být pro nějaké stavebníky zajímavá varianta úpravy stěn.

### **Pórobetonové stěny**

Pórobeton je masivní materiál, který je charakteristický svojí nízkou hmotností, díky které se s tvárnici dá snadno manipulovat. I přes svoji **nízkou hmotnost má vysokou pevnost a únosnost**. Pórobeton je také **skvělý tepelný izolant**. To je zapříčiněno strukturou obsahující miliony pórů. Tvárnice z pórobetonu se také vyznačují tím, že ve všech směrech mají stejné izolační vlastnosti. To umožňuje jejich libovolné upravování (řezání, zkosování). Pórobeton se také může chlubit dobrými akumulárními vlastnostmi a v neposlední řadě je také nehořlavý.

### **3. 4. 2. Střešní konstrukce**

Pro pasivní dům jsou nejvíce vhodné ploché nebo pultové střechy, které jsou z hlediska ochlazovaných ploch lepší volbou než tradiční sedlová střecha.

Ploché střechy se mohou realizovat také jako vegetační, které prodlužují životnost střešního pláště. Vegetační vrstva nám chrání souvrství střechy před mechanickým poškozením, UV zářením, vysokými teplotami a povětrnostními podmínkami. Mezi její další přednosti patří snižování potřeby energie na vytápění a skvělé také utlumují hluk. V neposlední řadě jde o ekologický prvek, který se k pasivnímu domu hodí. Hlavně díky vlastnostem zadržovat vodu, snižování množství CO<sub>2</sub> v ovzduší, a také schopnosti čistit ovzduší od prachových částic.

### **3. 4. 3. Tepelné izolace**

Nyní krátce uvedu některé typy tepelných izolací, které byly využity v praktické části bakalářské práce.

#### **Polystyren**

Je nejběžnějším typem izolace, se kterým se setkáme. Vyrábí se ve dvou variantách jako EPS neboli expandovaný pěnový polystyren. Dále jako varianta XPS neboli extrudovaný pěnový polystyren. Nevýhodou polystyrenu je nutnost ho chránit před UV zářením. Celkově se jinak jedná o dobrý tepelně izolační materiál se součinitelem tepelné vodivosti  $\lambda=0,036 \text{ W/(m.K)}$ . XPS se oproti typu EPS může umísťovat do vlhkých míst. Toho je dosaženo díky uzavřené struktuře pórů, což má za následek menší nasákavost tohoto materiálu a současně i jeho větší pevnost. Užíváme ho proto jako izolaci základů a suterénních zdí. Typ EPS se většinou používá jako izolace fasády nebo pochůzných střech.

#### **Minerální izolace**

Minerální izolace se mohou rozdělit do dvou skupin. První je kamenná vlna, druhou je skelná vlna.

Kamenná vlna se vyrábí za pomoci vysokých teplot rozvlákněním čediče bazaltu či gabra a jejich následným formováním do desek nebo rohoží. Rohože jsou měkčí verzí této izolace a používají se jako izolace půdních prostor. Desková varianta je naopak tužší a nachází uplatnění v zateplování fasád, ať už kontaktních nebo provětrávaných. Jejich použití je také hojné u rámových dřevostaveb, kde se vkládají do prostoru mezi nosnými prvky, a také se využívají jako izolace šikmých střech, kdy se vkládají mezi krokve. Součinitel tepelné vodivosti je u této izolace  $\lambda = 0,035\text{--}0,045 \text{ W/m.K}$ .

Skelná vata, jak už je z názvu patrné, se vyrábí ze skla, a to buď nového nebo recyklovaného. Její výrobní proces provází vysoké teploty, díky nimž se sklo roztaví a následně se rozfoukává

do rohoží nebo desek. Využití je stejné jako u kamenné vaty. Součinitel tepelné vodivosti je u této izolace  $\lambda = 0,03-0,045 \text{ W/m.K}$ .

### **Foukaná celulózová izolace**

Jedná se o ekologický materiál na bázi dřeva, který je vhodný pro zateplení všech typů konstrukcí. Její použití je zvláště efektivní u stropních konstrukcí, jejichž nosnou složku tvoří nosníkové konstrukce, kde se kvůli složitým detailům jiné tepelné izolace nehodí. Součinitel tepelné vodivosti je u této izolace  $\lambda = 0,035-0,039 \text{ W/m.K}$ .

### **3. 4. 4. Výplně otvorů**

U oken se požaduje, aby splňovala několik požadavků a to funkční, estetické a hlavně také energetické. Protože okna jsou mnohem izolačně slabší než obvodové konstrukce. Jsou nejslabším prvkem obálky domu. Naproti tomu jsou ale původcem solárních zisků, tudíž při jejich dobrém návrhu může být zisk větší než ztráty. Okna tedy musí splňovat několik podmínek.

- $U_w$  hodnota celého okna včetně rámu menší než  $0,80 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$
- Zasklení s trojskly vyplněné vzácným plynem, běžně dosahuje hodnotu  $U_g < 0,6 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$  s vysokou propustností slunečního záření nad 50 %.
- Minimalizovány tepelné mosty v místě osazení okna do stěny – řeší se umístěním okna do vrstvy tepelné izolace a použitím kvalitních izolovaných rámu.

Kvalitu oken určuje.

**Zasklení** díky trojsklům umožňuje kladnou roční bilanci oken, tedy že tepelné zisky přes okna předčily jejich ztráty. Tento efekt je docílen díky pokovování povrchů skel a vyplněním prostoru mezi skly vzácnými plyny jako jsou argon nebo krypton.

### **Izolovaný rám okna**

Ke kvalitnímu zaizolování okenního profilu se přistupuje několika způsoby. U dřevěných oken se může jednoduše zesílit tloušťka rámu, nebo se do konstrukce rámu vkládají izolační materiály.

### **Těsnost okenních spár**

Utěsnění v oblasti okenní spáry po celém obvodu se dosahuje díky dvojitému těsnění s celoobvodovým kováním.

### **3. 4. 5. Stínění**

Již zmíněným pravidlem u pasivních domů je, že největší skleněné plochy se umísťují na jih a to kvůli maximalizaci solárních zisků. Ale v letních měsících má toto řešení jedno úskalí. Dům se totiž vlivem přebytečného slunečního záření může přehřívat. K přehřívání může docházet

hlavně u dřevostaveb, které mají špatné akumulární vlastnosti. Tomuto jevu se zabraňuje pomocí stínění.

Stínění můžeme realizovat pomocí pevných konstrukcí jakou jsou pergoly nebo přesahy střech. Dále je zde možnost mobilního stínění v podobě vnitřních nebo vnějších žaluzií. Účinnější z těchto dvou typů jsou vnější. Vnitřní mají nedostatek v tom, že nám vyzařují část tepla do interiéru.

### **3. 4. 6. Tepelné mosty**

Pasivní domy se vyznačují svými výbornými tepelnými izolačními vlastnostmi. Z těchto důvodů se zvětšuje dopad tepelných mostů. Tepelnými mosty se definují místa, kde dochází k oslabení tepelné izolace a tím v tomto místě vzniká zvýšený tepelný tok. Tepelné mosty se nejvíce vyskytují u prostupů instalací, různých netěsností v obálce domu, kde může proudit vzduch, napojování izolací různých konstrukcí, rámců oken a dveří. Tepelným mostům se dá předcházet dobrým návrhem konstrukcí bez složitých detailů, a to hlavně také dodržěním správného pracovního postupu a použití kvalitních materiálů.

### **3. 4. 7. Průvzdušnost**

Dalším důležitým faktorem je těsnost obálky, jelikož teplo má tendenci unikat přes netěsnosti v obálce. Tím pádem může nastat, že bude kondenzovat uvnitř konstrukce, a tedy ji i poškodit. Netěsnosti v konstrukci mají vliv i na efektivnost zpětného zisku větracího systému. Proto je tedy nutné navrhnout vzduchotěsnou obálku bez nenutných přerušení.

Pro ověření těsnosti obálky se musí udělat tzv. zkouška těsnosti čili **Blower-door test**. Princip tohoto testu je, že ventilátor umístěný ve dveřním nebo okenním otvoru vytváří podtlak nebo přetlak a současně se provádějí měření. Výsledkem je hodnota objemu vyměněného vzduchu za hodinu  $n_{50}$  při tlakovém rozdílu  $50 \text{ Pa} (\text{h}^{-1})$ . Hodnota  $n_{50}$  by měla být menší než  $n_{50,N}$ . Kde  $n_{50,N}$  je doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu při tlakovém rozdílu  $50 \text{ Pa} [\text{h}^{-1}]$ , která se stanoví podle tabulky. [3] Zásadou je, že hodnoty by se měly vždy splnit na první úrovni. Hodnoty na druhé úrovni se mají splnit přednostně.

Zásady dobrého utěsnění jsou návrh konstrukce stavby s minimem problematických detailů. Provedení vnitřní vzduchotěsné obálky bez přerušení. Správně zvolený vzduchotěsnicí materiál, spojovací a těsnicí prvky. Minimalizace prostupů obvodovým pláštěm a jejich vhodné umístění. Správné napojení problematických míst (okna, styky stěn a stropů apod.).

### **3. 5. Provoz**

#### **3. 5. 1. Větrání**

Nedostatečné větrání místností je také problémem. V zimních obdobích často nechceme větrat, protože by nám do objektu proudil studený vzduch. O tento problém se postará systém řízeného větrání s možností zisku zpětného tepla z odpadního vzduchu, tzv rekuperací. Rekuperace zvyšuje komfort bydlení, jelikož eliminuje tepelné ztráty větráním okny. Snižuje také prašnost díky čištění vzduchu přes filtry. Do místností také proudí stále čerstvý vzduch, který má blízkou teplotu vzduchu v místnosti a tím nenastávají teplotní rozdíly [3]

#### **Intenzita větrání neužívané místnosti**

V čase, v němž místnost není používána, je doporučena hodnota pro minimální větrání, obvykle na úrovni  $n_{\min,N} = 0,1 \text{ h}^{-1}$  (tj. každou hodinu se nahradí jedna desetina objemu vzduchu místnosti vzduchem čerstvým), pokud nějaké konkrétní požadavky nestanoví jinak. [1]

#### **Intenzita větrání užívané místnosti**

V čase, v němž je místnost užívána, musí (celoročně) intenzita větrání místnosti  $n \text{ [h}^{-1}\text{]}$  splňovat požadavek:

$$n \geq n_N$$

kde  $n_N$  je požadovaná intenzita větrání užívané místnosti  $[\text{h}^{-1}]$ , stanovená z potřebných minimálních průtoků čerstvého vzduchu stanovených ve zvláštních předpisech.

Současně musí intenzita větrání místnosti v otopném období splňovat požadavek:

$$n \leq 1,5 n_N$$

Požadované hodnoty  $n_N$  se stanovují bilančním výpočtem, kam se zahrnou všechny požadavky na průtok nebo dávku čerstvého vzduchu.

Tyto požadované hodnoty se musí zajistit v provozní době co nejdříve podle skutečného provozního stavu. Požadavek z prvního vztahu odpovídá hygienickým a provozním požadavkům. Podmínka ze druhého vztahu zajišťuje nízkou potřebu energie v důsledku větrání budovy.

U pobytových místností se uvádí hodnota nejméně  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  čerstvého vzduchu na osobu při klidové aktivitě s produkcí metabolického tepla do  $80 \text{ W/m}^2$  a při aktivitě s produkcí metabolického tepla nad  $80 \text{ W/m}^2$  až nejméně  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  na osobu. Pro hygienická zařízení se uvádí hodnoty výměny vzduchu v  $\text{m}^3/\text{h}$ , které jsou vztaženy na jednotlivá zařízení (na sprchu, šatní místo apod.).

U obytných a obdobných budov je požadována intenzita větrání, přepočítaná z minimálních dávek potřebného čerstvého vzduchu, obvykle mezi hodnotami  $n_N = 0,3\text{--}0,6 \text{ h}^{-1}$ . [1]

### **3. 5. 2. Nucené větrání s rekuperací**

U pasivních domů je nutné navrhnout nucené větrání spojené s rekuperací tepla. Rekuperace je zajištěna pomocí protiproudového výměníku, ve kterém teplý odpadní vzduch předává teplo studenému přiváděnému vzduchu, aniž by se smíchaly. Díky rekuperaci tedy větrání slouží jako vytápění. Účinnost tohoto systému je mezi 80-95 %. Pravidlem je dimenzovat množství přiváděného vzduchu na jednu osobu na hodnotu 25 m<sup>3</sup>/h. Systém nuceného větrání nám do domu přivádí čerstvý vzduch, který je navíc čistý, jelikož prochází přes výměnné filtry ve vzduchotechnice.

Základním pravidlem je, že rozvody vzduchu musí procházet teplými místnostmi. Umístění rozvodů je možné ve dvou variantách, buď se rozvody vedou v souvrství podlahy nebo ve stropě.

Podlahové rozvody se zhotovují pomocí kanálků o rozměrech 50x200mm. Ty se oddělují od čisté podlahy a podkladních betonů nebo stropních konstrukcí tenkou vrstvou izolace cca o tloušťce 60 mm. Pod okny následně umístíme vyústky rozvodů opatřené mřížkou. Jejich četnost se odebírá podle velikosti prostoru místnosti a navrhované teploty. Rozvody jsou materiálově řešeny jako plastové nebo z pozinkovaného plechu.

Systém stropních rozvodů má výhodu v tom, že se může umístit do sníženého podhledu s vyústky do jednotlivých místností. Tento typ rozvodů se většinou překrývá sádkartonovým podhledem nebo mohou být přiznané. Jako materiál pro rozvody se používá hliník nebo plast. Otázkou u nuceného větrání je, kde odsávat a kde přivádět. V rámci objektu se jednotlivé místnosti rozdělují podle produkce pachů. Když se vezme v potaz tato myšlenka, vyjde, že přívody čerstvého vzduchu jsou umístěny do obytných místností. Naopak odvody jsou umístěny v místnostech, kde se produkuje nejvíce pachů. Těmito místnosti jsou myšleny WC, koupelny, kuchyně, šatny.

### **3. 5. 3. Zdroj tepla**

Zdroje tepla se v objektech využívají k různým účelům jako k přípravě teplé vody, vytápění, ohřevu větracího vzduchu. Ve fázi návrhu je dobré využít zdroje tepla, které minimalizují potřebu primární energie, tj. obnovitelných zdrojů tepla (solární tepelné soustavy, tepelná čerpadla, kotle na spalování biopaliv), případně primární paliva maximálně využívají, např. plynové kondenzační kotle.

Jelikož je snaha dosáhnout vysoké účinnosti využití primárních paliv, je důležité věnovat se pečlivě návrhu, výkonu zdroje tepla a jeho regulačního rozsahu vzhledem k požadovaným odběrovým výkonům, se zohledněním reálné soudobosti využití. Je třeba se hlavně vyhnout předimenzovaným zdrojům na spalování paliv (zemní plyn, olej, biomasa) s omezenou

schopností regulace výkonu. Tyto zdroje vykazují v provozu nadměrnou spotřebu paliv a zvýšenou produkci emisí oproti teoretickým předpokladům.

Nyní se blíže zaměřím na vysvětlení, jak funguje **plynový kondenzační kotel**, jelikož je použit jako zdroj tepla v praktické části.

Jak je z názvu patrné, tento kotel je navržen pro kondenzační provoz. Jednoduše řečeno kondenzace nastává přímo v kotli. Z tohoto důvodu se pro výměník a spalínový ventilátor používají nerezové materiály. Spaliny odváděné ventilátorem jsou o nízkých teplotách v rozmezí 40 až 90 °C. Účinnost těchto kotlů se pohybuje v rozmezí mezi 96 až 104 %.

Kondenzační kotle jsou úzce spjaty s nízkoteplotními otopnými soustavami, buď v podlahovém nebo stěnovém provedení. Také se používají velkoplošná otopná tělesa. Mezi výhody kondenzačních kotlů se řadí jeho vysoká účinnost využívání energie zemního plynu a možnost libovolně měnit jeho výkon přibližně od 20 do 100 %.

### **3. 6. Očekávání investorů od domu**

Očekávání investorů od domu mohou být různá. Jako nejzákladnější očekávání se mohou brát finanční úspory spojené s nízkoenergetickým/pasivním domem. Jsou to úspory hlavně na nákladech spojené s vytápěním domu. Jako druhý finanční požadavek je možno brát dodržení nebo malé překročení stanoveného rozpočtu, v některých případech i postavení nízkoenergetického domu za cenu klasického domu.

Další očekávání, nebo spíše požadavky, jsou v rámci oblasti bydlení. Ve většině případů už mají majitelé nějakou představu, jak má dům zhruba vypadat. Mohou to být představy o vnějším vzhledu domu, jaký typ střechy má mít, kde chtějí velká okna, i když to jde proti konceptu nízkoenergetických domů. Důležité je hlavně, aby zapadal do zástavby a celkového okolí. Investoři mohou také mít vizi o počtu místností, jejich velikostí a uspořádání v rámci domu. Například, schodiště má být součástí obytného prostoru. Stejně velké dětské pokoje, aby jedno z dětí nemělo klamný pocit, že druhé je upřednostňované a podobně. Překážkou může také být to, když investoři chtějí dům postavit jako přízemní, namísto jednopatrového. Jelikož přízemní domy mohou být rozlehlé, a tedy mít špatný poměr ochlazovaných ploch ku zastavěnému objemu.

Když poté vezmeme čistě jenom požadavky na bydlení, které jsou většinou na tepelnou pohodu domu, jeho nepřehřívání v létě, a naopak vymrzání v zimě. Očekávání jsou i na kvalitu vzduchu jeho čistotu a pocit čerstvosti. Dále chtějí co nejmenší pracnost s jeho obsluhováním.

Jako další požadavek je možno vzít preferenci stavebních materiálů. Někteří klienti se chtějí držet tradičních keramických zdících materiálů, někteří naopak chtějí stavět ze dřeva a



z přírodních materiálů (např. hliněné omítky). Mohou také mít vyhraněný názor na zdroj tepla v budově, ať už jde o topení dřevem nebo uhlím nebo pomocí tepelného čerpadla. V poslední řadě, v některých případech si přejí od projektanta vysvětlit problematiku nízkoenergetických domů a provoz s nimi spojený.

Projektant se musí snažit brát všechny tyto požadavky v potaz a pokusit se najít nejlepší cestu pro splnění požadavků investora, a také vyhovět normě pro nízkoenergetické/pasivní domy.

## **4. Příklady nízkoenergetických/pasivních budov**

V následující kapitole jsou uvedeny již realizované domy v nízkoenergetickém standardu.

### **4. 1. Rodinný dům v Pticích**

Tento rodinný dům je řešen ve snaze splnit kritéria udržitelné výstavby. Jeho ekologická stopa stavby je snižována díky konstrukčnímu a materiálovému pojetí, jenž ve velké hojnosti používá přírodní, obnovitelné materiály a materiály šetrné k životnímu prostředí.

Nosná konstrukce je ze dřevěného skeletu 2x4. Také jsou zde použity akumulční vyzdívky z nepálených cihel a hliněné omítky. V domě je použito mnoho řešení za účelem redukce energie na provoz a pro zvýšení kvality vnitřního prostředí. U dřevostaveb je možnost nebezpečí přehřívání v letním období. Tento problém je vyřešen díky poloautomatickému systému stínění, akumulčními vyzdívkami, použití masivních dřevo-betonových spřažených stropů a izolačních desek z dřevní hmoty na vnitřním líci obvodových konstrukcí. Měrná potřeba tepla na vytápění je 16,0 kWh/(m<sup>2</sup>).

Projekt byl zapsán do programu Zelená úsporám a mohl čerpat z kombinace dotací typu B – Nová výstavba v pasivním energetickém standardu a typu C – Využití obnovitelných zdrojů energie pro vytápění a přípravu teplé vody. [1]

### **4. 2. Rodinný dům na Výsluní**

Dům je postaven na úzkém pozemku s mírně severním svahem. Díky tomu dům stoupá, dá se říct, ke slunci. Bylo zde snažení minimalizovat zastavěnou plochu (méně než 100 m<sup>2</sup>) a díky tomu zastat zásadě A/V u nízkoenergetických domů.

Obvodové nosné konstrukce jsou vybudovány ze dřeva jako větrané dvouplášťové, difuzně otevřené. Vnitřní plášť se skládá ze tří vrstev, skládající se z nosné vrstvy s tepelnou izolací, ke které se pak přidávají pomocné tepelně izolační rošty: u střechy dva vnitřní, u stěn jeden vnější a druhý vnitřní.

V letních obdobích je tepelná stabilita domu dosažena díky uměřenému návrhu prosklených ploch. Na jihu jsou skleněné plochy navíc opatřeny odrážecí folií. Tepelnou stabilitu také zajišťuje masivní zděné schodišťové jádro, hmota litých anhydritových podlah a zdvojený sádkartonový obklad v obytném prostoru. Měrná potřeba tepla na vytápění je 19 kWh/(m<sup>2</sup>).

#### **Zkušenosti s užíváním**

Stavebník hodnotí dům jako vzdušný a prostorný. Za největší výhodu vidí propojení obytného prostoru se zahradou přes terasu. V domě je podle jeho slov celoročně tepelná pohoda, kdy ani v teplých letních dnech teplota v domě nevystoupá nad 24°C. [1]

### **4. 3. Rodinný dům v Čerčanech**

Jedná se o dům o dvoupodlažní dřevostavbu o užitné ploše 133 m<sup>2</sup>. Tvarové ztvárnění je velice jednoduché. Půdorys je obdélníkového tvaru a prostorově se jedná o krychli s pultovou střechou. Základová konstrukce je realizována pomocí betonových stěn z betonových tvarovek. Obvodová stěna je realizována ze dvou fošnových rámců, které jsou od sebe oddělené mezerou, do které je umístěna tepelná izolace. Nosnou konstrukcí krovu jsou dvojité krokve s přerušným tepelným mostem.

Vytápění domu je realizováno pomocí teplovzdušné jednotky se systémem rekuperace. Tento systém je pak doplněn ještě zemním výměníkem a také solárními panely na fasádě domu.

#### **Zkušenosti s bydlením**

Majitelé domu kvitovali, že s vytápěním domu nebyl žádný problém ani v zimních obdobích, kdy se jen večer přitopilo v kamnech na dřevo. Během slunečných dnů nebylo přes den zapotřebí ani topit v kamnech. V letních obdobích naopak majitelé vyzdvihovali dobře vyřešený systém zastínění osluněných ploch. Díky tomu bylo i v parných letních dnech v domě příjemně. Celkově investoři konstatují, že je bydlení v pasivním domě ničím neomezuje a navrch ještě mají velmi nízké provozní náklady. [6]

## **5. Praktická část bakalářské práce**

V této části práce půjde už o samotné navržení zjednodušeného pasivního domu, přes jeho tvar a dispozici domu. Dále navrhnu tři systémově odlišné obálky, u kterých posoudím jejich tepelně izolační vlastnosti a zjistím jejich tepelné ztráty a měrné potřeby tepla na vytápění. Na již zmiňované tepelné ztráty navrhnu dva rozdílné systémy vytápění, jelikož uvažuji, že ve všech obálkách většinou funkci vytápění zastane nucené větrání s rekuperací. Na závěr udělám několik finančních analýz ohledně nákladů na obálky a topné soustavy, v kolik takto navržených objektech protopím za rok a vypočtu doby návratnosti jak obálek, tak i vytápěcích systémů.

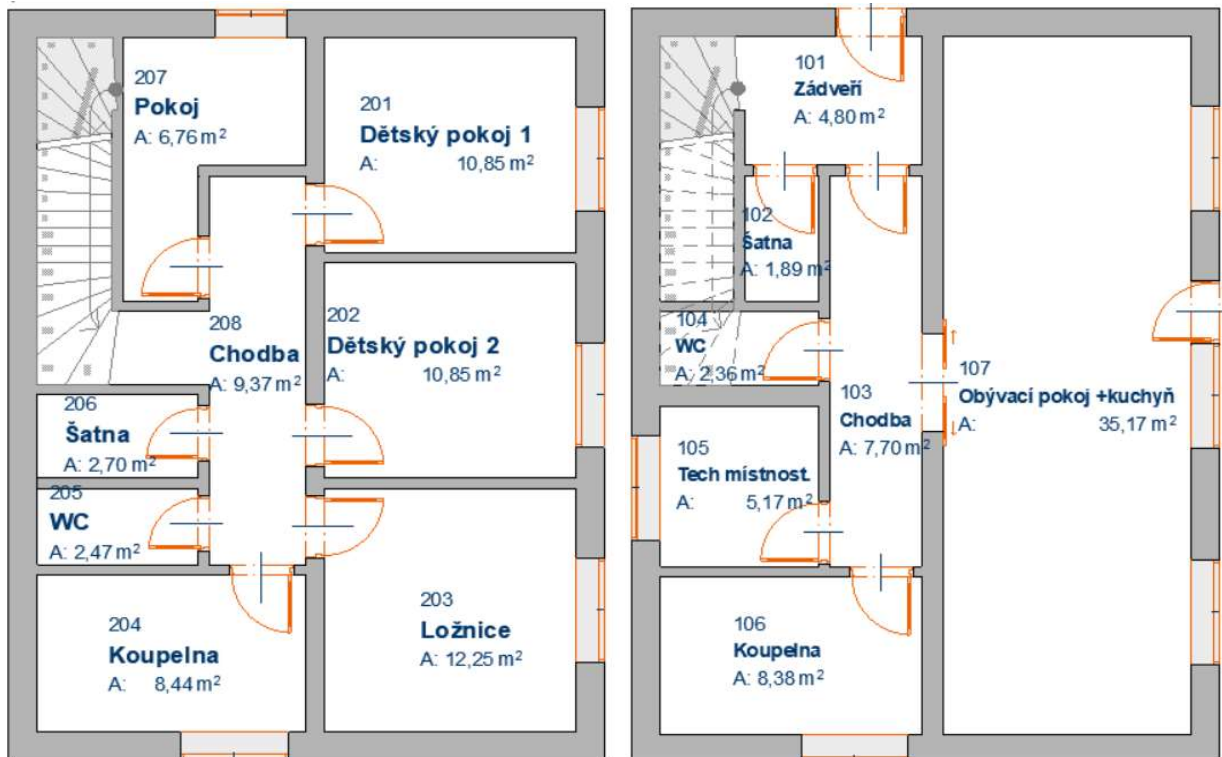
### **5. 1. Návrh rozměrů, tvaru, dispozice domu**

Při návrhu rozměrů a tvaru domu jsem bral na vědomí, že nízkoenergetické domy mají být málo členité, a ne moc podlouhlé, abych měl co možná nejlepší poměr A/V. Tak jsem navrhl dům o půdorysných vnitřních rozměrech 10x7,5 m. Vnější rozměry budovy se pak liší, podle typu obálky.

Při návrhu dispozice jsem se snažil dbát na zásady pro navrhování nízkoenergetických domů. Vchod je umístěn na východní straně domu. Když vejde do bytu, můžeme si všimnout, že schodiště je umístěno hned v zádveří, je to hlavně z důvodů, aby nám schodiště nerozbiželo technické jádro domu (technická místnost, koupelna, kuchyň.). Schodiště je jednoramenné se zakřivenou osou. To nám umožňuje, aby dům byl méně široký. Ze zádveří můžeme vejít do chodby, ze které máme přístup do technické místnosti, koupelny a obývacího pokoje, který je spojený s jídelnou a kuchyní. Technická místnost je blízko koupelny a kuchyně z důvodů krátkých rozvodů ZTI. Obývací pokoj je orientován na jih, jsou v něm i největší prosklené plochy v domě, a to kvůli solárním ziskům. Pokud se zaměřím na výplně vnějších otvorů, většina z nich je orientována na jih. Na severní straně je pouze jeden otvor z důvodu odvětrání technické místnosti.

Ve druhém nadzemním podlaží se nacházejí dva dětské pokoje o stejné velikosti a jedna ložnice. Všechny jsou umístěné směrem na jih. Koupelna je záměrně umístěna na stejném místě jako je tomu v přízemí, hlavně kvůli jednoduchosti rozvodů. V tomto patře se ještě nachází šatna pro rodinu a pokoj, který se může využít jako pracovna nebo jako skladovací prostor. Pokud se zaměříme v druhém patře na výplně otvorů, většina je jich opět umístěna na jih. Velikost výplní na jižní straně se potom liší v jednotlivých variantách podle typu střechy. Pokud se bude jednat o plochou a pultovou střechu, budou stejné velikosti a budou mít stejné umístění jako v přízemí. Ale u varianty se sedlovou střechou jsme nuceni použít střešní okna s menší

velikostí. Celkově, i když dům má menší půdorysné rozměry, ale i přesto by měl splnit požadavky čtyřčlenné rodiny.



Obrázek 4-Půdorysy pater. Vytvořeno autorem

## **5. 2. Návrhy obálek domu**

Rozhodl jsem se vypracovat tři varianty obálek domu. Tyto návrhy se liší nejen materiály, ale i použitými izolacemi a typy tvarů střešních konstrukcí. Účelem bylo zjistit, jaká varianta bude cenově nejvýhodnější, pokud všechny budou mít podobné tepelně izolační vlastnosti. Zřízení lešení a podobné položky v rozpočtu nejsou uvažovány, protože jejich použití je stejné u všech navrhovaných obálek.

### **5. 2. 1. Betonový objekt**

Objekt je navržen jako patrový s jednoplášňovou plochou střechou. Jeho obálku jsem navrhl za účelem vytvoření pohledových betonových konstrukcí uvnitř domu. Pro tento účel jsem využil neoporových tvárnic, které jsou výborně tepelně izolační. Už při tloušťce tvárnice 200 mm konstrukci zaizoluje tak, že vyhoví požadavkům pro pasivní dům. Konstrukce se skládá z betonové monolitické stěny tloušťky 150 mm, neoporové tvárnice tloušťky 200 mm a konečné povrchové úpravy v podobě silikátové omítky. Výstavba této obvodové konstrukce bude systémem částečného ztraceného bednění pomocí neoporových tvárnic. Tyto tvárnice z vnější strany tvoří ztracené bednění a jsou pomocí plastových spojek spojeny s bednicími deskami na vnitřní straně. Následně se poté prostor mezi těmito dvěma prvky vylije betonem.

Nosná konstrukce střechy by také byla řešena jako monolitická betonová. Souvrství střechy by bylo tvořeno hliníkovou parozábranou Foalbit AL 40 [23] a na ní by byly položeny dvě vrstvy tepelné izolace z polystyrenu typu Isover EPS 200 [25] o celkové tloušťce 220 mm. Z důvodu nutnosti vyspádování střechy bude třetí vrstva izolace pomocí spádových klínů z polystyrenu EPS 100 [25], tloušťky klínů se pohybují mezi 30-40 mm. Na finální vrstvu jsou použity dva pásy hydroizolace, spodní je typu Glasbit G 200 [32] a druhý je Hydrobit V 60 [31]. Jelikož se jedná o betonovou konstrukci, bude mít dobré tepelně akumulční vlastnosti a dobrý akustický útlum.

### **5. 2. 2. Ytongová obálka**

Bude se jednat o patrový dům se sedlovou střechou o sklonu 30°. Obvodové zdivo bude z vápenopískových tvárníc Ytong P2-400 [34] o tloušťce 300 mm, které mají dobré tepelně izolační vlastnosti a díky tomu se může použít tepelná izolace s menší tloušťkou. Pro zateplení byla použita tepelná izolace Isover EPS GREY [24] o tloušťce 100 mm. Vnější omítka je silikonová od firmy Baumit [36]. Vnitřní omítky budou klasické, štukové také od firmy Baumit typu MANU1[36].

Zateplení střešní konstrukce bude realizováno nadkrokevním systémem. Spodní záklop je vyřešen pomocí OSB desek. Na něm je připevněná parozábrana Dorken Delta Reflex [26]. Pro zateplení byly navrženy polyurethanové desky od firmy Puren [28] v tloušťce 180 mm, která je na horním povrchu opatřena svojí parozábranou. Horní záklop je řešen pomocí OSB desek a střešní krytina bude z falcového šedého plechu. Střecha je odvětrávaná pomocí vzduchové mezery mezi pojistnou hydroizolací a záklopem.

### **5. 2. 3. Dřevostavba**

Objekt je navrhnut jako jednopatrový s pultovou střechou. Nosné obvodové konstrukce jsou řešeny systémem lehkého dřevěného skeletu z KVH hranolů [29]. Obvodové stěny jsou zateplené v několika vrstvách. První vrstvou je uvažována minerální izolace, která je vložena do mezer mezi sloupky. Zevnitř je před touto nosnou konstrukcí navržena instalační předstěna z desek Fermacell [33], která je vyplněna dodatečnou izolací z minerální vlny Isover Piano [24] tloušťky 40 mm a za ní je umístěna parozábrana Foalbit AL S 40. Záklop nosné části je také z desek Fermacell [33]. Zateplení poskytují desky z čedičové vlny Isover TF Profi [24] o tloušťce 180 mm. Finální úprava povrchu je silikonová omítka Baumit [37].

Nosná konstrukce střechy je navržena z příhradových vazníků. Spodní záklop je z desek Fermacell [33]. Další vrstvou je parozábrana Foalbit AL S 40 [23]. Jelikož zateplení vazníkových konstrukcí je problematické a náročné. Z těchto důvodů bude zateplení realizováno foukanou izolací Climatizer plus [15], která výborně vyplní složité detaily. Jelikož

tato izolace je dosti nasákavá, bude na ní umístěna pojistná hydroizolace Dorken Delta-Vent [27], která umožní odvést vlhkost z izolace, ale i zabrání další nežádoucí vlhkosti, aby se dostala do izolace. Vrchní záklop konstrukce je poté tvořen OSB deskami. Finální vrstva střechy je z hydroizolačních pásů Fatrfol 810 [30], pod které musí být ještě umístěna separační geotextílie.

### **5. 3. Porovnání tepelně izolačních vlastností obálek**

Při navrhování tepelně izolačních vlastností konstrukcí jsem použil program Teplo 2017 Edu a poté tyto konstrukce použil v Programu Energie 2019 EDU, kde jsem vypočítal tepelné ztráty budovy a měrnou potřebu tepla na vytápění, která je potřeba při návrhu zdroje vytápění.

Při výpočtu v programu energie jsem všechny výplně otvorů zadával se součinitelem prostupu tepla  $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  a základová deska pro všechny varianty byla také totožná se součinitelem prostupu tepla  $0,165 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Nyní si dovolím uvést tabulku doporučených hodnot pro součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2. Při navrhování jsem se snažil, aby jednotlivé konstrukce vyhovovaly doporučeným hodnotám pro pasivní domy.

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{k,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 <sup>1)</sup>	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 <sup>2)</sup>	1,2	0,8 až 0,6
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9

1) Pro jednovrstvé zdivo se nejpozději do 31.12.2012 přípouští hodnota 0,38 W/(m<sup>2</sup>·K).  
2) Nejpozději do 31.12.2012 se přípouští hodnota 1,7 W/(m<sup>2</sup>·K).

Obrázek 5:vybrané součinitele prostupu tepla dle konstrukce (Centrum pasivního domu,2011)

Nyní uvedu vypočtené hodnoty pro všechny obálky.

#### **5. 3. 1. Betonová obálka**

Součinitele prostupu tepla:

- Stěna=  $0,154 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
- Střecha=  $0,133 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$
- Průměrný=  $0,19 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$

Tepelné ztráty budovy jsou 2,94 kW.

Měrná potřeba tepla na vytápění je 14 kWh/ (m<sup>2</sup>.a)

Faktor tvaru budovy A/V je 0,74 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

### **5. 3. 2. Ytongová obálka**

Součinitele prostupu tepla:

- Stěna= 0,16 W/m<sup>2</sup>.K
- Střecha= 0,13 W/m<sup>2</sup>.K
- Průměrný= 0,20 W/m<sup>2</sup>.K

Tepelné ztráty budovy jsou 2,83 kW.

Měrná potřeba tepla na vytápění je 14 kWh/ (m<sup>2</sup>.a)

Faktor tvaru budovy A/V je 0,68m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

### **5. 3. 3. Dřevostavba**

Součinitele prostupu tepla:

- Stěna= 0,159 W/m<sup>2</sup>.K
- Střecha= 0,133 W/m<sup>2</sup>.K
- Průměrný= 0,19 W/m<sup>2</sup>.K

Tepelné ztráty budovy jsou 2,99 kW.

Měrná potřeba tepla na vytápění je 14 kWh/ (m<sup>2</sup>.a)

Faktor tvaru budovy A/V je 0,73 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>

Jak je možné vidět, všechny navrhované konstrukce svým součinitelem prostupu tepla vyhovují pasivnímu standartu. Měrné potřeby tepla jsou také menší než požadovaná hodnota normy. Když se zaměříme na faktor tvaru budovy, je vidět, že ytongová obálka ho má nejhorší. Je to z důvodu návrhu sedlové střechy u této varianty obálky. Z toho plyne, že má nejvíce ochlazovaných ploch. Při návrhu konstrukcí byla snaha, aby měli stejné součinitele prostupu tepla. Je to proto, abych zjistil, jak se budou lišit náklady na jednotlivé konstrukce o různých tloušťkách izolace, ale stejných hodnotách prostupů součinitelů tepla.

### **5. 4. Finanční porovnání jednotlivých obálek**

V této části se zaměřím na porovnání jednotlivých obálek podle jejich pořizovacích nákladů. U porovnání jsou brány v potaz jenom položky, které jsou pro dané obálky exkluzivní a nevyskytují se v obou zbylých obálkách. Například bednění u betonových konstrukcí. Všechny ceny jsou počítány bez DPH, dále jsem také nezapočítával náklady na umístění. Rozpočty, ze



kterých jsem čerpal číselné údaje, jsou zpracovány v programu Kros 4, s ceníkovou databází URS 2019 02.

#### **5. 4. 1. Celkové náklady na obálky**

V porovnání celkových nákladů na obálky budov mi vyšla nejdražší dřevostavba. Je to zapříčiněno hlavně částkou za izolace obálky a také, že tato varianta má největší výměry. Za celou obálku, jejíž cena činí 1 041 241 Kč. Druhá v pořadí vyšla betonová obálka, za kterou zaplatím 792 182 Kč a jako nejlevnější obálka ytongového domu, která v číslech vychází 792 182 Kč.

Porovnání	<b><u>Beton</u></b>	<b><u>Ytong</u></b>	<b><u>Dřevostavba</u></b>
Nosná konstrukce	443 278 Kč	326 179 Kč	353 953 Kč
Tepelná izolace	263 925 Kč	256 351 Kč	575 528 Kč
Úpravy povrchů	128 989 Kč	209 652 Kč	111 760 Kč
Celkem	836 192 Kč	792 182 Kč	1 041 241 Kč

Tabulka 1: celkové náklady. Vytvořeno autorem

#### **5. 4. 2. Náklady na nosné konstrukce**

Největší náklady v tomto porovnání má podle očekávání betonová obálka, jelikož do stěn a stropu musíme přidávat ocelovou výztuž, která mi zvyšuje cenu nosné konstrukce. U betonové konstrukce musím také počítat s navýšením ceny kvůli extra položkám jako jsou bednění a odbednění této konstrukce. Za nosnou konstrukci tedy zaplatím 443 278 Kč, což je v porovnání s ytongovou obálkou o 117 099 Kč více a s dřevostavbou o 89 325 Kč více. Ytongová obálka i dřevostavba mají náklady na nosné konstrukce skoro stejné, liší se přibližně o 27 000 Kč.

Porovnání nosných konstrukcí	
<b>Beton/Ytong</b>	117 099 Kč
<b>Beton/Dřevo</b>	89 325 Kč
<b>Ytong/Dřevo</b>	27 774 Kč

Tabulka 2: porovnání nákladů na nosné konstrukce. Vytvořeno autorem

#### **5. 4. 3. Náklady na izolaci konstrukci**

V této kategorii je nevyšší částka u dřevostavby, a to hned z několika důvodů. Prvním z nich je, že instalační předstěna je vyplněna teplenou izolací o tloušťce 40 mm. Další z důvodů je to, že prostory mezi sloupky rámové nosné konstrukce dřevostavby a posledním je, že mám další vrstvu izolace jako kontaktní zateplení. Kvůli zamezení vzniku tepelných mostů, které by se mohly vyskytovat v místech sloupků, kdybych obálku dodatečně nezateplil. Za izolaci u

dřevostavby tedy zaplatím 575 528 Kč, což je o 311 603 Kč více než u betonové obálky a o 319 177 Kč více jak u ytongové obálky.

Porovnání Izolací	
<b>Beton/Ytong</b>	7 574 Kč
<b>Dřevo /Beton</b>	311 603 Kč
<b>Dřevo/Ytong</b>	319 177 Kč

Tabulka 3: porovnání nákladů na izolace. Vytvořeno autorem

#### **5. 4. 4. Náklady na povrchové úpravy**

Zde vyšly největší náklady na úpravy povrchu u ytongové varianty. Je to způsobené hlavně tím, že u této varianty jsou jak uvnitř, tak i z vnějšku použity omítky. V číslech dáno za povrchové úpravy u ytongové obálky zaplatím 209 652 Kč. U dřevostavby je ze vnějšku použita také omítka, ale uvnitř jsou pouze jenom malby, protože instalační předstěna a strop jsou opláštěny sádrovláknitými deskami, které stačí pouze natřít. Za tyto úpravy zaplatím 111 760 Kč. U betonové verze jsou také ze vnějšku omítky, ale uvnitř je všude pohledový beton, takže zde není žádná další povrchová úprava v podobě omítek nebo maleb. U betonové varianty jsou tedy náklady na povrchové úpravy ve výši 128 989 Kč. Pokud porovnáím tyto ceny, vyjde mi, že ytongová varianta je dražší než betonová o 80 663 Kč a než dřevostavba o 97 892 Kč. Pokud porovnáím betonovou variantu s dřevostavbou, vyjde mi, že náklady jsou u betonové vyšší o 17 229 Kč.

Porovnání povrchových úprav	
<b>Ytong/Beton</b>	80 663 Kč
<b>Beton/ Dřevo</b>	17 229 Kč
<b>Ytong/Dřevo</b>	97 892 Kč

Tabulka 4: porovnání nákladů na povrchové úpravy. Vytvořeno autorem

#### **5. 4. 5. Náklady na m<sup>2</sup> konstrukcí**

V této části jsou náklady přepočítány na m<sup>2</sup> jednotlivých konstrukcí jako stěna a střecha. Pokud se zaměřím pouze na stěny, nejlevnější mi vychází ytongová konstrukce, jelikož má nejmíň exkluzivních položek a nejmenší tloušťku tepelné izolace. Druhá v pořadí mi vyšla betonová stěna, která je dražší kvůli bednění a výztuži v konstrukci. Nejhůře mi u stěn dopadla dřevostavba, a to zejména kvůli množství tepelné izolace, která je na m<sup>2</sup>.

Pokud se zaměřím na střešní konstrukce, tam mi naopak vychází dřevostavba jako nejlevnější varianta. Jelikož zde zaplatím oproti ostatním střešním konstrukcím nejméně za tepelné izolace. Jako druhá v pořadí mi vychází betonová střecha a nejhůře dopadla ytongová střecha.

V celkových nákladech na obálku mi vyšla nejlépe ytongová, jako druhá betonová obálka a nejdražší vyšla dřevostavba, protože je dražší než obě zbylé obálky cca o 200 Kč.

Ceny na m <sup>2</sup>			
Typ konstrukce	Beton	Ytong	Dřevostavba
Stěna	2 926 Kč	2 637 Kč	3 973 Kč
Střecha	3 658 Kč	3 892 Kč	2 774 Kč
Celková obálka	6 584 Kč	6 529 Kč	6 747 Kč

Tabulka 5: náklady na konstrukce na m<sup>2</sup>. Vytvořeno autorem

Rozdíly v cenách na m <sup>2</sup>			
Typ obálky	Stěna	Strop	Celkový rozdíl
<b>Beton/Ytong</b>	290 Kč	-234 Kč	56 Kč
<b>Beton/Dřevo</b>	-1 046 Kč	884 Kč	-163 Kč
<b>Ytong/Dřevo</b>	-1 336 Kč	1 118 Kč	- 218 Kč

Tabulka 6: porovnání nákladů na m<sup>2</sup> konstrukcí. Vytvořeno autorem

Díky tomuto porovnání bychom mohli říct, že pokud bych zkombinoval ytongovou stěnu a střechu dřevostavby, vyšla by mi nejlepší kombinace nákladů na m<sup>2</sup> na tyto konstrukce. Celkové náklady na stavbu by byly nejmenší, i když varianta obálky s pultovou střechou má největší výměru stěn.

Kombinovaná obálka		
<b>Stěna</b>	2 637 Kč	553 002 Kč
<b>Střecha</b>	2 774 Kč	208 051 Kč
<b>Celkem</b>	5 411 Kč	761 053 Kč

Tabulka 7: náklady na kombinovanou obálku. Vytvořeno autorem

## **5. 5. Návrh vytápěcích systému**

V této kapitole se zaměřím na návrh dvou variant vytápěcích systémů, jelikož uvažuji, že většinou funkci vytápění pojme systém nuceného větrání s rekuperací. Systémy vytápění mají pouze vykryt ztráty budovy prouděním. Náklady na tyto soustavy jsem sestavoval pomocí telefonických konzultací s odborníky. Se sestavením ceny pro plynové vytápění mi pomohl, s plynem pan Robert Milfait[38] a s elektřinou pan Zdeněk Krejčí [20]. Jedná se o profesionály, kteří mají dlouholeté zkušenosti v oboru. V textech jsou nejdříve uvedeny náklady na zařízení, které nezahrnují cenu za montáž, dopravu a projekty daného systému vytápění. Tyto náklady

následně započítávám až v tabulkách. Jejich výše je stejná jako u nákladů na pořízení. Takže celková cena je ve výsledku dvojnásobná.

První varianta vytápění je pomocí elektrických přímotopů, u kterého se dá očekávat, že bude mít menší pořizovací náklady nežli druhá varianta. Také se mi jeví jako více komfortní a více bezúdržbová, jelikož jsou přímotopy napojeny jenom na zásuvky a nemají k sobě přivedené žádné potrubí, které by potřebovalo udržovat. Tato soustava také nemá žádný zdroj tepla jako například kotel, což ještě více umocňuje její bezúdržbu. Jediným úskalím je vysoká cena elektrické energie.

Druhá varianta je pomocí plynového kotle a otopných těles. Tato varianta je více pracná a vyžaduje i větší množství udržování. S tím jsou spojeny i větší náklady na pořízení, jelikož se tento systém skládá z více komponentů. Výhodou je ale menší cena za zemní plyn než u elektřiny.

### **5. 5. 1. Elektrické vytápění**

Tento systém bude vytápět dům pomocí 6 přímotopů rozmístěných po domě. Jeden bude umístěn v obývacím pokoji, další v každé koupelně, kde bude také po jednom přímotopu. Ložnice a dětské pokoje budou vybaveny jedním přímotopem. Jeden přímotop má maximální výkon 0,75 kW, dohromady tedy mají výkon 4,5 kW, což úplně pokryje tepelné ztráty každé varianty obálek. Přímotopy budou typu Airelec Basic Pro 0,75kW [18], které stojí 1572 Kč bez DPH na kus. Za 6 kusů tedy zaplatím 9 432 Kč. Náklady na rozvody jsou ve výši 8037 Kč. Skládají se z ceny za kabely rozvodů. Ty budou typu CYKY-J 3x2,5 [21]. Cena obsahuje také cenu za zásuvky a jejich rámečky, dále za spínače, jističe a řídicí jednotku. Cena rozvodů na jeden přímotop je 839 Kč. Celková cena za rozvody je pak 5037 Kč, ke které připočteme 3000 Kč za řídicí jednotku. Což nám dohromady dává 8037 Kč. Ke všem cenám je také nutné přičíst náklady za montáž a dopravu, které nám celkové náklady potom zdvojnásobí. Celková investice do elektrického vytápění činí 34 938 Kč.

Elektrina						
Typ prvku	Popis	Výkon(kW)	Počet	Celkový výkon	Cena/ kus	Cena celkem
Otopná tělesa	Přímotop Airelec Basic Pro	0,75	6	4,5	3 144 Kč	18 864 Kč
Rozvody	-	-	-	-	16 074 Kč	16 074 Kč

Tabulka 8: pořizovací náklady elektrického vytápění. Vytvořeno autorem

### **5. 5. 2. Plynové vytápění**

Tato varianta pracuje se systémem teplovodního vytápění, kdy se v plynovém kotli ohřívá voda, která se pomocí rozvodů dostává do otopných těles.

Náklady na tuto variantu se skládají z plynové přípojky, plynového kotle, rozvodů a otopných těles. Cena přípojky je stanovena na 30 422 Kč, v této ceně je započítaný jak projekt na přípojku, tak i na její zhotovení. Plynový kotel je závěsný typu Protherm Gepard 23 MOV [22]. Jeho cena je stanovena na 13215 Kč. Za rozvody 160 Kč/m pokud tedy uvažují, že ke každému otopnému tělesu jde 15 m rozvodů. Celkově jejich cena tedy činí 14 400 Kč. Jako u elektrické varianty budeme vytápět dům pomocí otopných těles. Otopná tělesa jsou od firmy Korado typu Radik Klasik 21 [35]. Náklady na jeden kus činí 2922 Kč, což nám celkově dá 17 532 Kč za otopná tělesa. Jako v minulém případě je nutné ke všem cenám přičíst náklady na montáž a dopravu vyjímaje plynové přípojky. Celkové ceny i s montáží jsou uvedeny v tabulce pod textem.

Plyn						
Typ prvku	Popis	Výkon(kW)	MJ	Celkový výkon	Cena/ kus	Cena celkem
Přípojka	Plynová	-	1	-	30 422 Kč	30 422 Kč
Zdr. tepla	Plynový kotel	23	1	-	23 787 Kč	23 787 Kč
Rozvody	-	-	90	-	320 Kč	28 800 Kč
Otopná tělesa	Radik Klasik 21	0,75	6	4,5	5 844 Kč	35 064 Kč

Tabulka 9:pořizovací náklady plynového vytápění. Vytvořeno autorem

### **Porovnání**

Na první pohled je zřejmé, že náklady na plynovou verzi jsou mnohem vyšší než na elektrickou. Je to zapříčiněno tím, že u plynové verze jsou navíc položky pro plynovou přípojku a zdroj tepla. Rozvody a otopná tělesa jsou u této varianty také dražší. Dále musíme zvážit komfort, který nabízí elektrické vytápění. Na mysli mám větší bezúdržbu této varianty, oproti plynové verzi. Jediným diskutabilním tématem jsou ceny energií, které budou předmětem další analýzy.

### **5. 6. Spotřeby energií pro jednotlivé obálky**

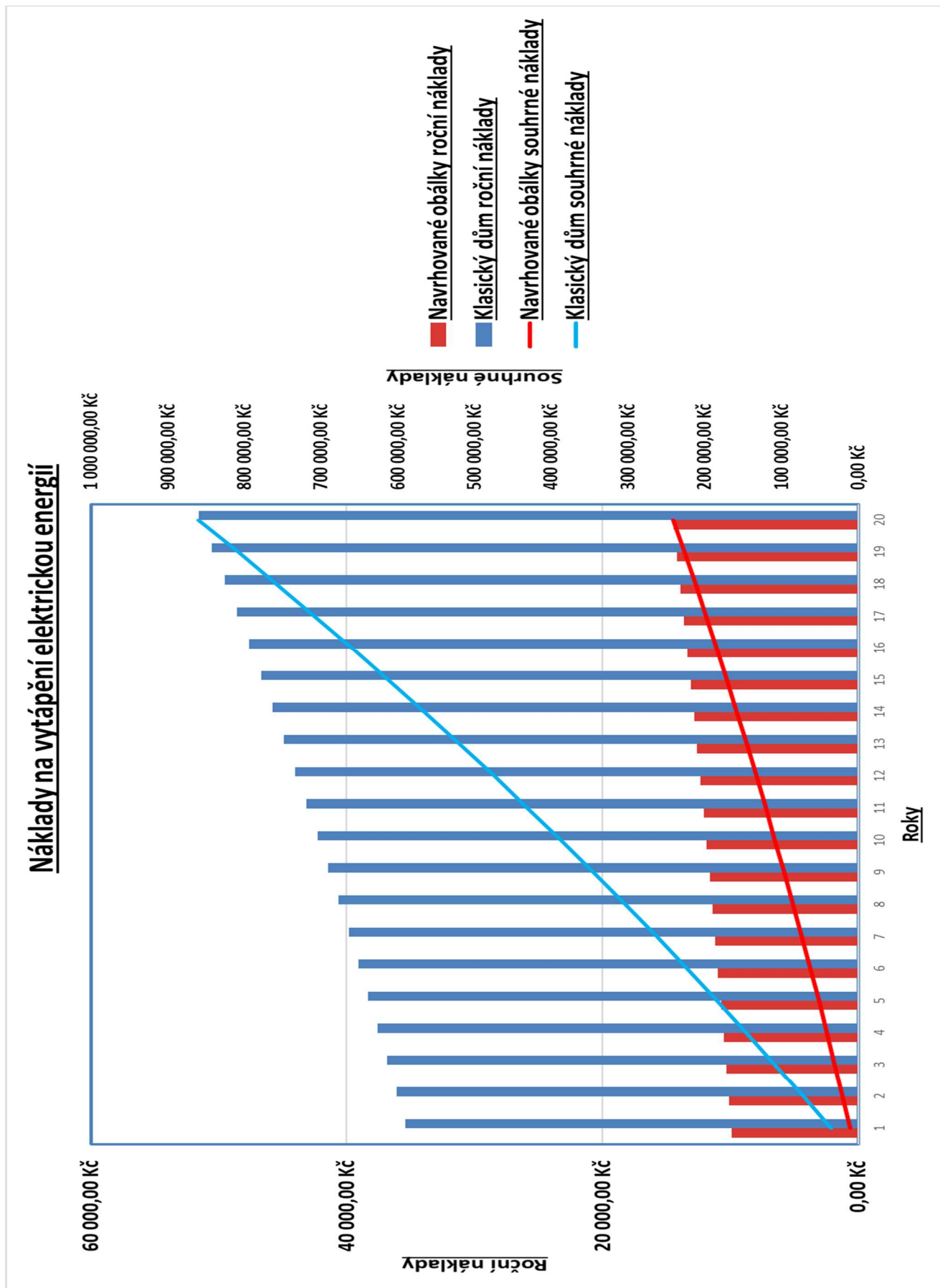
V této části jsem se zaměřil na náklady podle typu vytápění a jednotlivých variant a porovnal je s domem s klasickými ztrátami tepla. Pod pojmem klasický dům jsem schoval objekt s měrnou roční potřebou tepla 50 kW/m<sup>2</sup>. Postup je takový, že jsem vzal měrnou potřebu tepla na vytápění na rok, tu jsem následně vynásobil vnitřní plochou domu a ztratným koeficientem pro energonositele, abych dostal celkovou potřebu energie na vytápění. Tu jsem poté vynásobil buď cenou elektřiny nebo plynu. Doba sledování nákladů na vytápění byla 20 let.

Pokud tedy vezmu jednotlivé obálky a vypočítám jejich celkové potřeby energie na vytápění, vyjdou mi následující výsledky. Jelikož všechny obálky mají stejnou měrnou roční potřebu tepla na vytápění na m<sup>2</sup>, jejich celkové potřeby tedy jsou 2310 kW na rok pro elektřinu a 2205 pro plyn 2205 kW. Klasický dům má potřebu 8250 kW pro elektřinu a 7875 kW pro plyn. Ceny energií jsem stanovil podle programu dostupného na [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz).

#### **5. 6. 1. Náklady na vytápění elektřinou**

Cenu elektřiny jsem stanovil v prvním roce 4,29 Kč/kW. Tato cena se mi zvedala o 2% vlivem inflace v každém dalším roce. Pokud tedy tuto cenu vynásobíme potřebou energie na vytápění pro jednotlivé varianty, vyjdou nám tyto výsledky.

Náklady u navrhovaných obálek v prvním roce činí 9 909 Kč a u klasického domu vyšly náklady na 35 930 Kč, což nám už v prvním roce úsporu 25 481 Kč. Celkově pak ve 20. letém cyklu se u navrhovaných obálek protopí 240 768 Kč a u klasického domu tato suma činí 859 885 Kč. To dává celkovou úsporu 619 117 Kč za 20 let. Průběh nákladů v čase je detailněji vidět v grafu na následující stránce.



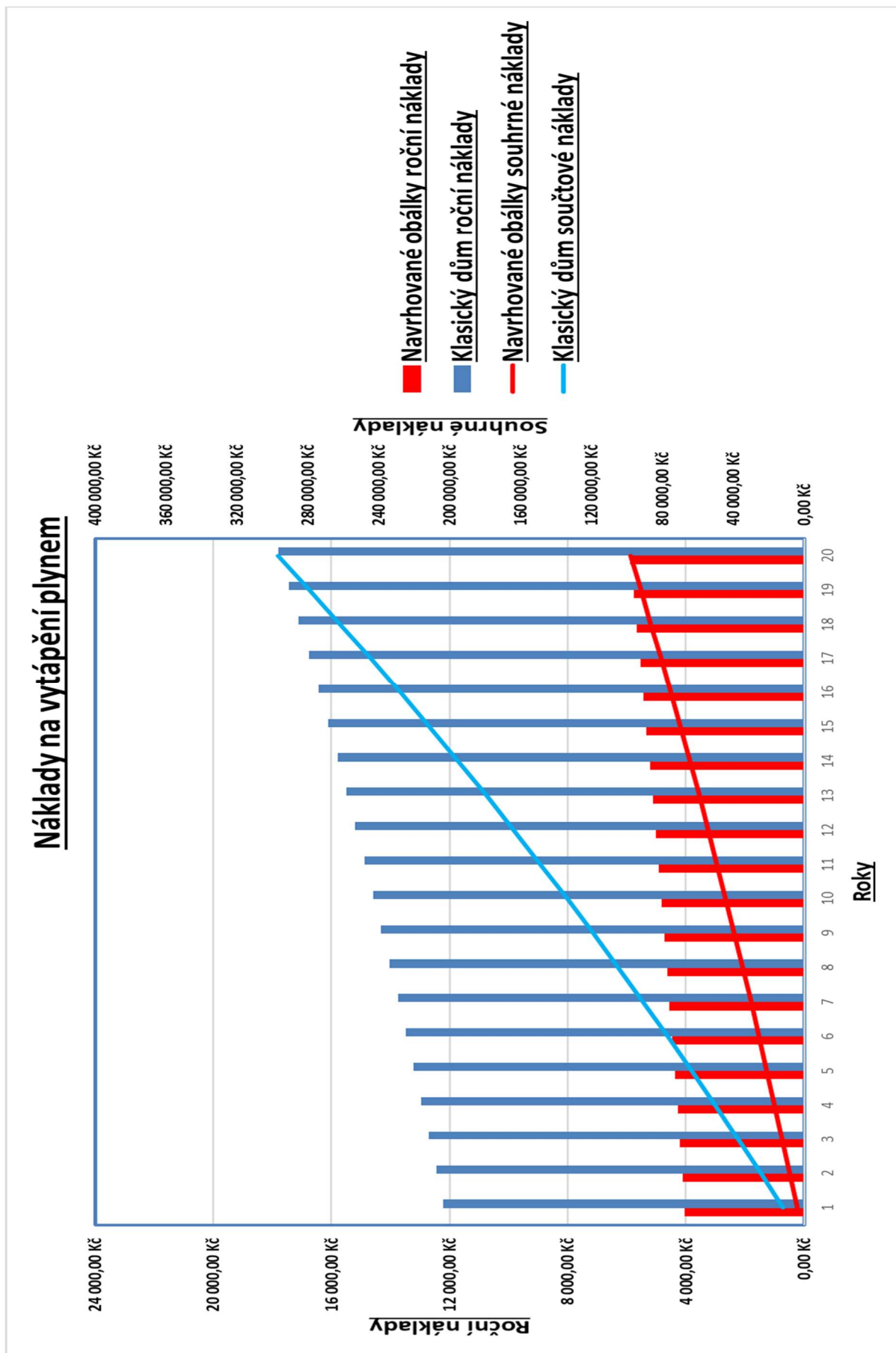
Obrázek 6: náklady na vytápění elektřinou. Vytvořeno autorem

### **5. 6. 2. Náklady na vytápění plynem**

Cenu za plyn jsem v prvním roce stanovil 1,41 Kč/kW a následně se zvedala vlivem inflace o 2 %. Poté jsem vynásobil tuto cenu celkovou potřebou energie na vytápění, výslednou cenu jsem ještě o 30 % navýšil u navrhovaných obálek a o 10 % u klasického domu, kvůli každoročním nákladům na údržbu kotle a jiných komponentů plynové soustavy. Následně mi vyšly tyto výsledky.

Náklady u navrhovaných obálek v prvním roce činí 4 402 Kč a u klasického domu vyšly náklady na 12 214 Kč, což nám už v prvním roce úsporu 8 172 Kč. Celkově pak ve 20. letém cyklu se u navrhovaných obálek protopí 98 204 Kč a u klasického domu tato suma činí 296 771 Kč. To dává celkovou úsporu 198 567 Kč za 20 let.





Obrázek 7: náklady na vytápění plynem. Vytvořeno autorem

### **5. 6. 3. Porovnání nákladů vytápění podle energií**

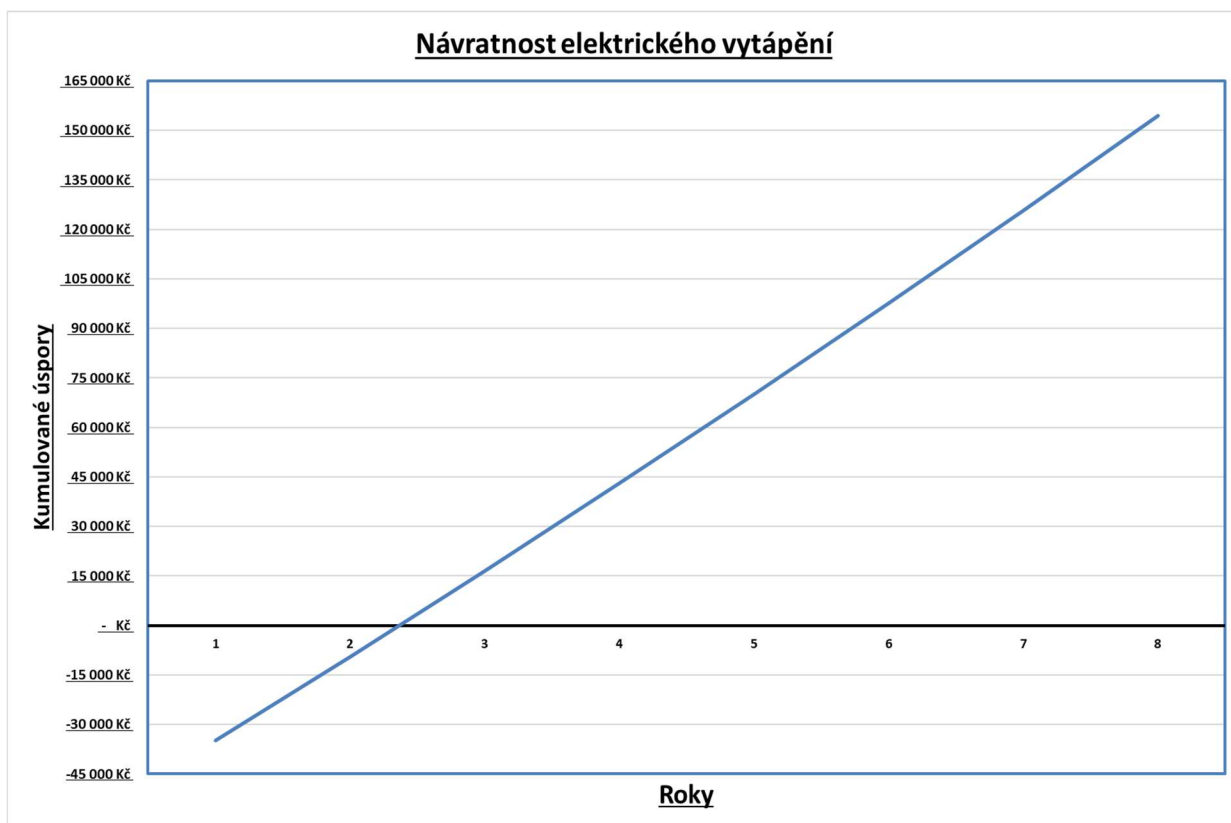
Z předešlých analýz mohu říci, že vysoká cena elektřiny způsobuje větší rozdíly mezi navrhovanými pasivními domy a klasickým domem. Je také zřejmé, že při vytápěním plynem zaplatíme za rok o polovinu méně než u elektřiny. Z toho se dá usoudit, že plynová varianta se v této analýze jeví jako lepší. Nejlépe se nám v této analýze ukazuje ytongová obálka, dvě zbylé navrhované obálky mají stejné náklady.

### **5. 6. 4. Doby návratnosti systémů vytápění.**

Nyní se zaměřím na to, za jak dlouhou se vrátí investice jednotlivých variant vytápění. Abych dostal dobu návratnosti jednotlivých variant vytápění, vytvořil jsem si „Cash flow“ profitů z vytápění navrhovaných obálek oproti klasickému domu. Tyto profity jsem následně odečítal od počáteční investice do vytápěcího systému. Systém je poté splacen v roce, kdy poprvé vyšla kladná čísla.

### **5. 6. 5. Doba návratnosti elektrického vytápění.**

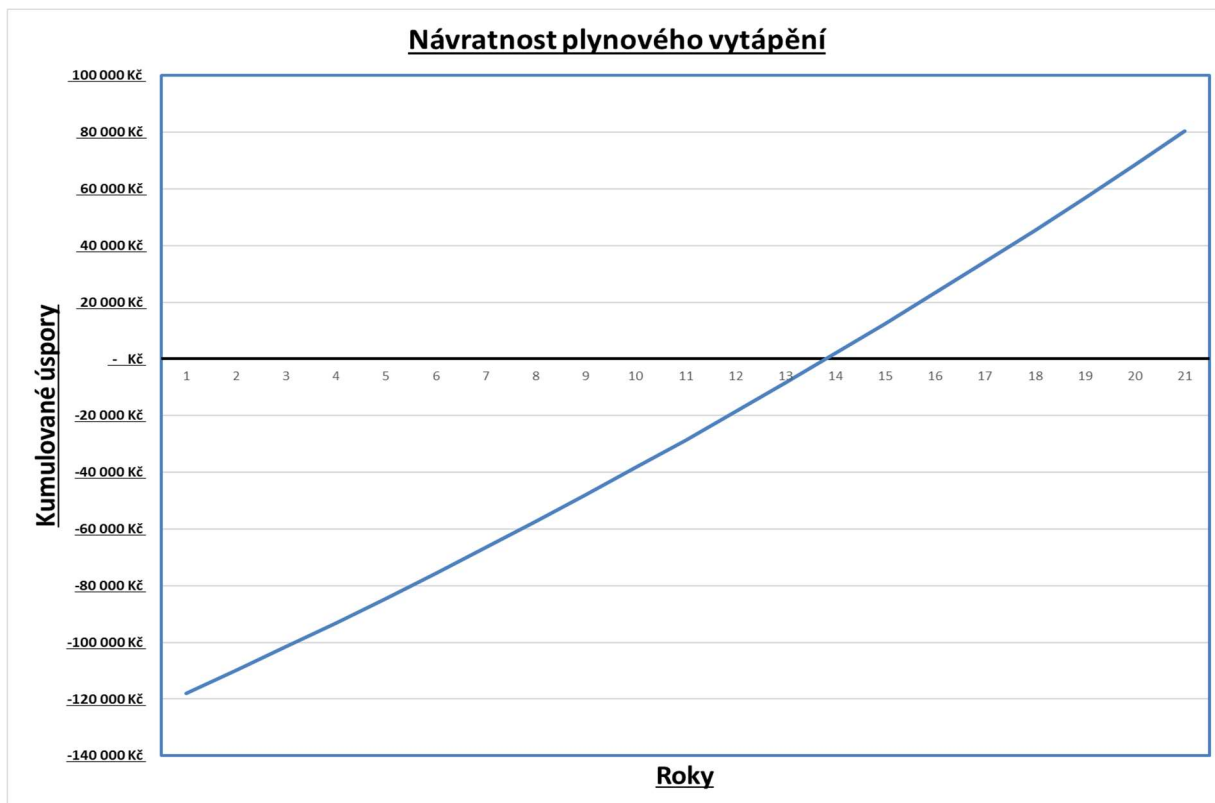
Pořizovací náklady tohoto systému jsou 34 938 Kč. Tuto částku dám v nultém roce jako záporné číslo a následně k němu přičtu profity v následujících letech. Jelikož jsou rozdíly mezi navrhovanými obálkami a klasickým domem v prvním roce 25 481 Kč, tudíž se nám investice, pokud bychom zvolili variantu vytápění elektřinou, vrátila v první čtvrtině druhého roku.



Obrázek 8: návratnost elektrického vytápění. Vytvořeno autorem

### **5. 6. 6. Doba návratnosti plynového vytápění**

Jelikož u plynového vytápění máme větší náklady na pořízení systému a menší rozdíl mezi náklady na vytápění navrhovaných obálek oproti klasickému domu, dá se očekávat, že doba návratnosti bude vyšší než u elektrické varianty. Náklady na pořízení plynového vytápění jsou 118 073 Kč. Pokud budeme postupovat stejným způsobem, vyjde nám, že u navrhovaných obálek se nám investice vrátí za 14 let.



Obrázek 9: návratnost plynového vytápění. Vytvořeno autorem

### **5. 6. 7. Porovnání variant**

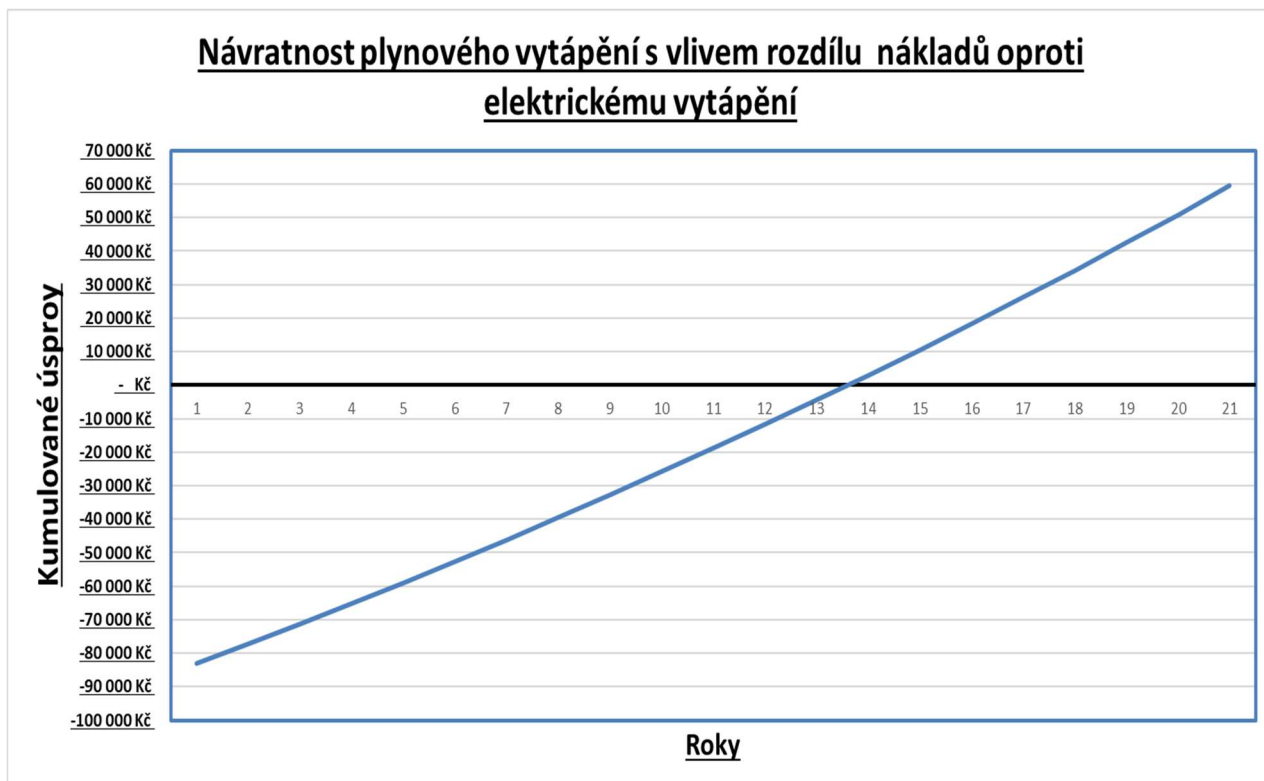
Na první pohled se může zdát, že je výhodnější vytápět elektrickou energií, protože její systém má menší pořizovací náklady, které se vrátí hned v prvním roce. V potaz se musí brát také to, že náklady na vytápění plynem jsou poloviční oproti elektřině. Proto je v dalším kroku nutné zavést analýzu, ve které se zohledňuje rozdíl mezi náklady na vytápění plynem oproti elektřině.

### **5. 6. 8. Doba návratnosti plynového vytápění oproti elektrickému.**

V této analýze uvážím u jednotlivých navrhovaných variant obálek rozdíl mezi náklady na vytápění pomocí plynu a elektřiny. Pokud tedy porovnám tyto náklady v prvním roce, dostanu tyto výsledky.

V prvním roce rozdíl nákladů u navrhovaných obálek činí 5 867 Kč. Celková ušetřená suma potom je 142 563 Kč. Dále jsem zjišťoval, za jak dlouhou dobu se vrátí investice do plynového vytápění, když si ho zvolíme oproti elektrickému vytápění. Proto jsem sestavil „cash flow“

úspor vytápění plynové varianty oproti elektrické variantě. V nultém roce jsem dal investici jako záporné číslo a přičítal k němu v průběhu let úspory vzniklé z vybrání plynové soustavy. Následně mi vyšly tyto výsledky. U všech navrhovaných obálek je návratnost ve 14. roce.



Obrázek 10: Návratnost plynového vytápění s vlivem úspor oproti elektrickému vytápění. Vytvořeno autorem

### **Závěr této analýzy**

I když plynová varinata vytápění má vyšší počáteční náklady, je výhodnější z důvodu menších peněžních nákladů za energie než vytápění elektřinou. Z mého osobního názoru je dobré toto porovnání zvážit, protože pokud by nám více stoupla cena elektřiny oproti plynu, mohla by se zkrátit doba návratnosti na 10 let, a to je z mého pohledu smyslupná doba navrácení systému.

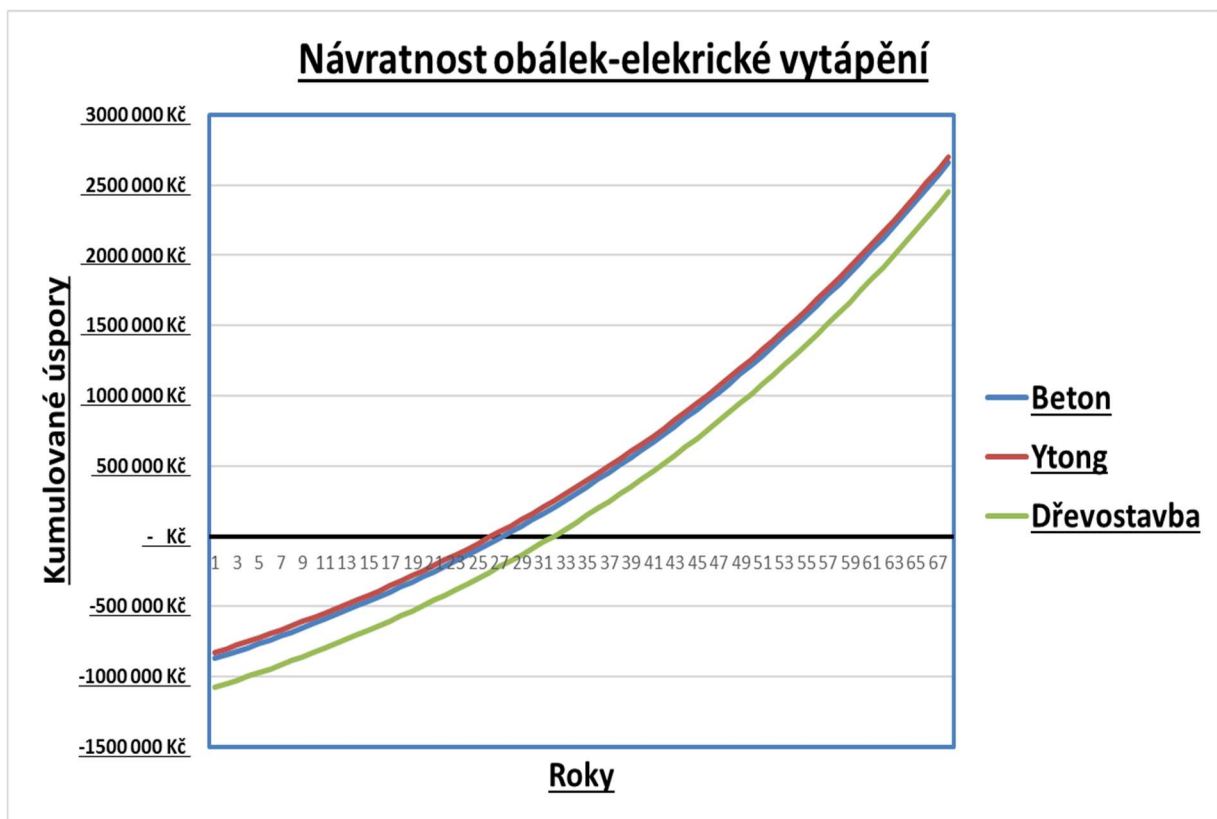
## **5. 7. Doby návratností obálek vzhledem k úsporám za vytápění**

V této analýze se zabývám dobou návratnosti jednotlivých obálek oproti klasickému domu s vyšší potřebou tepla na vytápění. Nejprve jsem se zaměřil na návratnost elektrického vytápění a plynového vytápění nezávisle na sobě, a poté jsem uvážil nižší cenu plynu oproti elektřině a tento rozdíl aplikoval do další analýzy.

### **5. 7. 1. Doba návratnosti obálek-elektrického vytápění**

Pro zjištění, kdy se vrátí investice obálek, jsem si znovu sestavil „cash flow“ pro jednotlivé obálky. V nultém roce jsem zadal jejich počáteční náklady a k nim ještě přičítal náklady na elektrické vytápění.

Číselně tyto náklady byly pro ytongovou obálku 827 119 Kč, pro betonovou variantu 871 129 Kč a pro dřevostavbu 1 076 179 Kč. Tyto hodnoty jsem v nultém roce zadal jako minusová čísla. Poté jsem k nim přičítal úspory za vytápění oproti klasickému domu. Doby návratnosti pak vyšly pro jednotlivé obálky takto. Investice do ytongové obálky se nám vrátí za 26 let, u betonové obálky za 27 let a u dřevostavby za 31 let.



Obrázek 11: návratnost obálek-elektrické vytápění. Vytvořeno autorem

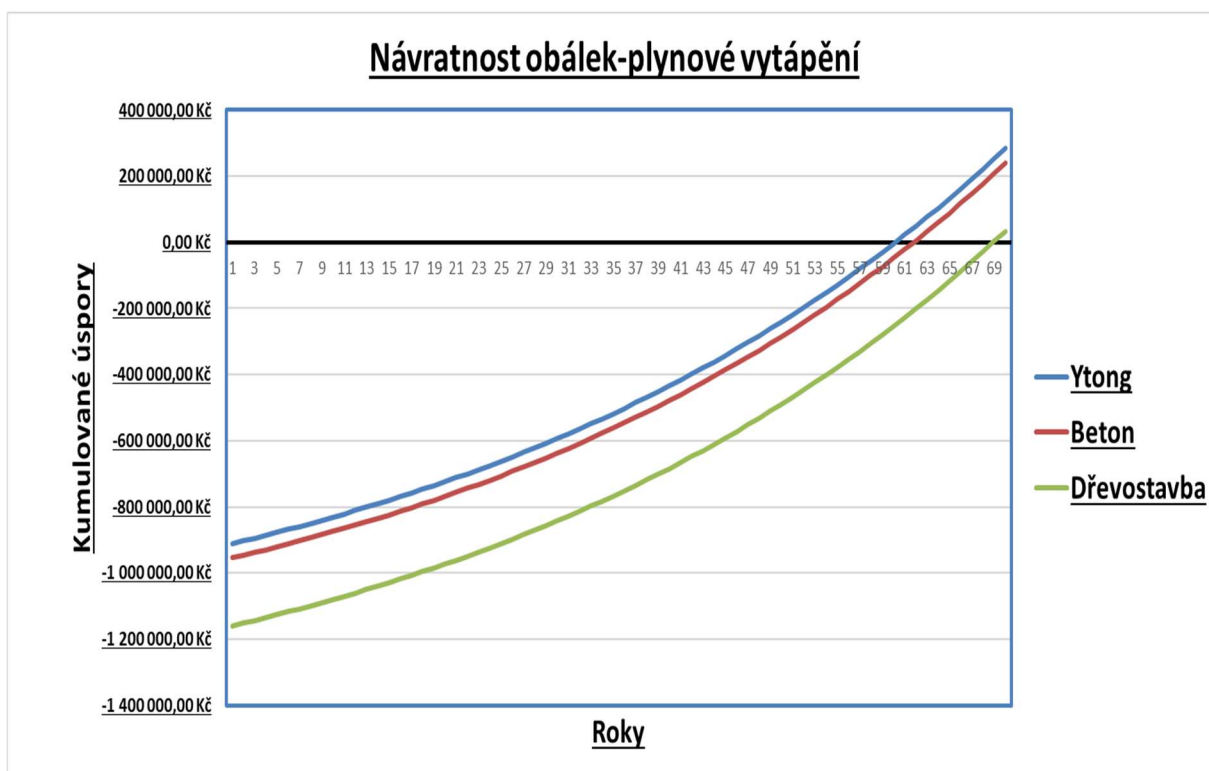
### Závěr této analýzy

Doby návratnosti obálek jsou, dá se říci, nízké. Jedná se o rozmezí 20 až 30 let do navrácení investice. Je to způsobeno již zmiňovaným velkým rozdílem mezi klasickým domem, který bych vytápěl elektřinou a navrhovanými obálky.

### 5. 7. 2. Doba návratnosti obálek-plynové vytápění

Jako v předešlé analýze jsem si vypracoval „cash flow“ pro jednotlivé obálky za účelem navrácení investice obálek. V nultém roce jsem zadal jejich počáteční náklady a k nim ještě přičítal náklady na plynovou verzi vytápění.

Číselně tyto náklady byly pro ytongovou obálku 910 255 Kč, pro betonovou variantu 954 265 Kč a pro dřevostavbu 1 159 314 Kč. Tyto hodnoty jsem v nultém roce zadal jako minusová čísla. Poté jsem k nim přičítal úspory za vytápění oproti klasickému domu. Doby návratnosti pak vyšly pro jednotlivé obálky takto. Investice do ytongové obálky se nám vrátí za 60 let, u betonové obálky je tato doba 61 let a u dřevostavby je to 68 let.



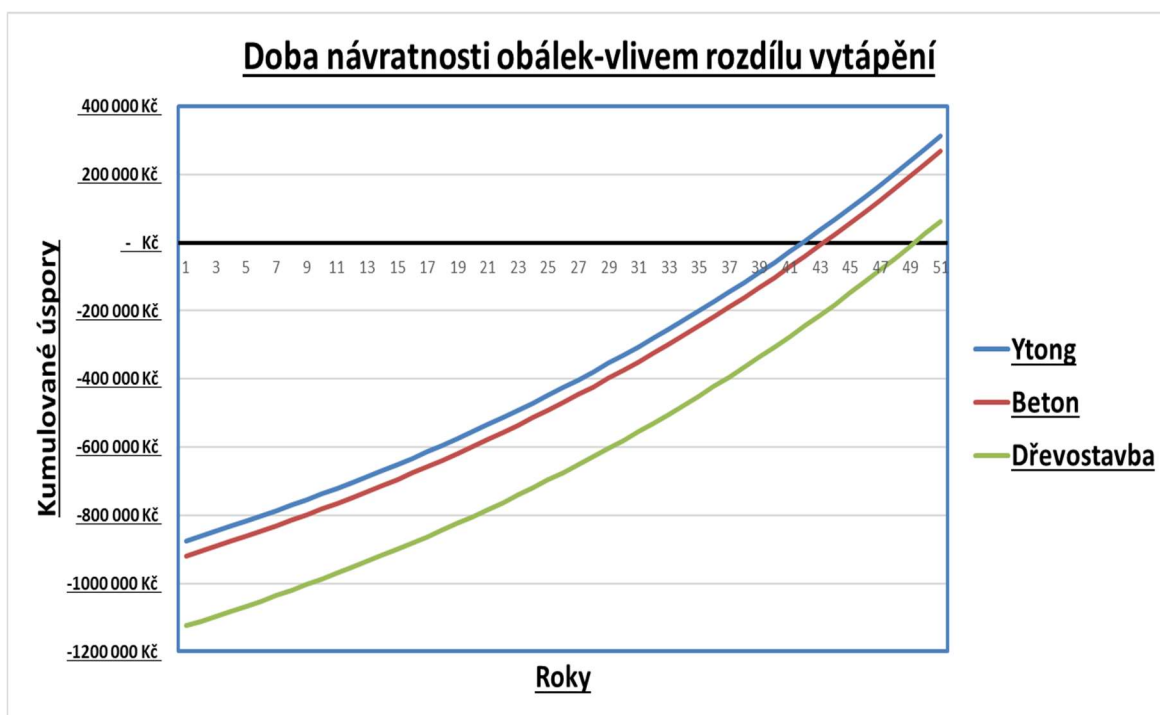
Obrázek 12: návratnost obálek-plynové vytápění. Vytvořeno autorem

### Závěr této analýzy

Dobá návratnosti u plynové verze je skoro dvojnásobně delší pro všechny navrhované obálky. Je to hlavně proto, že u této verze je menší rozdíl na nákladech na vytápění mezi navrhovanými obálkami a klasickým domem.

### **5. 7. 3. Doba návratnosti obálek vlivem rozdílu ceny plynu a elektřiny**

Nyní zase musíme uvážit rozdíl cen za plyn a elektřinu, jelikož je plyn levnější médium. Vznikají nám úspory, pokud zvolíme plynový systém vytápění oproti elektrickému. Proto jsem při tomto posouzení od sebe odedčital náklady na vytápění elektřinou a plynem, ze kterých mi vznikly kladné úspory. Poté jsem z těchto úspor udělal „cash flow“ a do nultého roku dal počáteční investice do obálek. K nim jsem přičetl náklady na pořízení plynového vytápění. Doby návratnosti pro obálky vyšly následně. Ytongová obálka se vrátí za 41 let, betonová za 43 let a nejdelší se nám vrací dřevostavba, která má dobu návratnosti 49 let.



Obrázek 13: návratnost obálek-vlivem rozdílných nákladů na vytápění. Vytvořeno autorem

### **Závěr této analýzy**

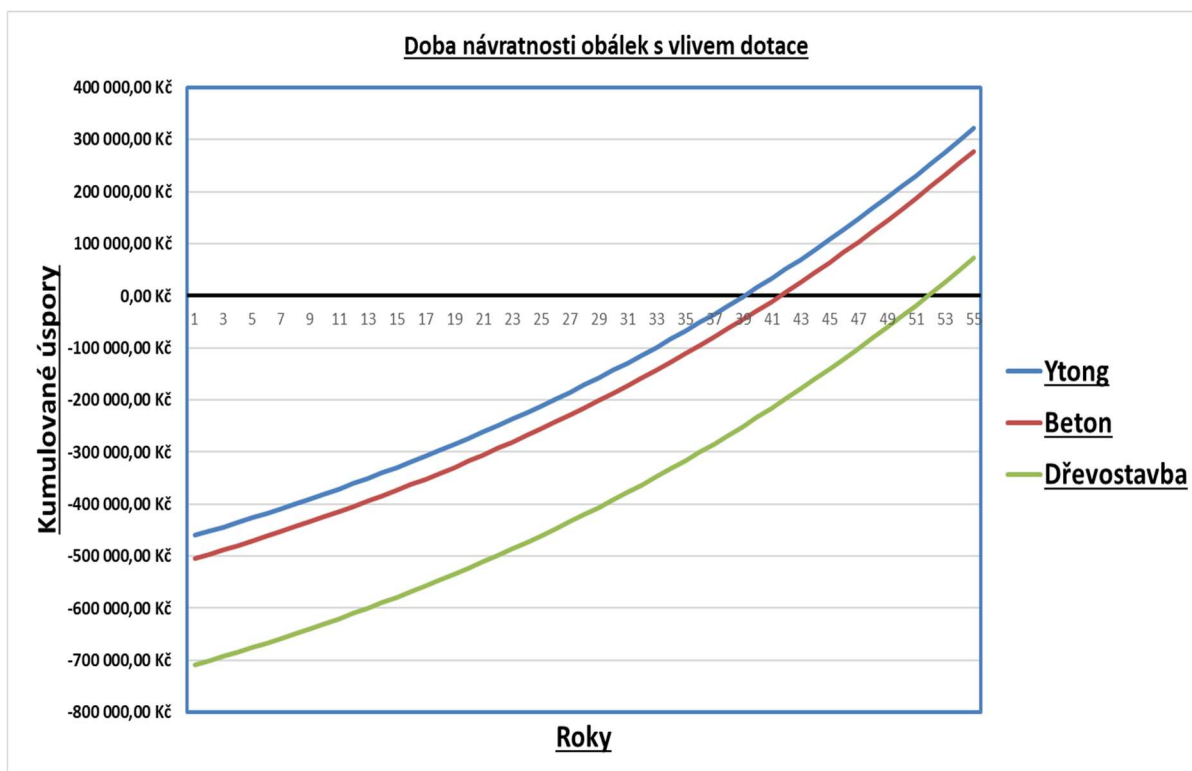
Jako nejlepší varianta vyšla ytongová obálka, která má nejmenší pořizovací náklady. Druhá v pořadí je betonová varianta a třetí dřevostavba kvůli vyšší pořizovací investici. Díky započítání úspor plynoucích z volby plynového systému oproti elektrickému se nám urychlila návratnost u všech obálek téměř o 20 let.

### **5. 7. 4. Doba návratnosti s programem nová zelená úsporám**

Jelikož všechny obálky mají roční měrnou potřebu tepla na vytápění menší nebo rovnou hodnotě  $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}^1$ , součinitel jednotlivých navržených konstrukcí vyhovuje pasivnímu standardu a celkový průměrný součinitel prostupu tepla je menší nebo roven hodnotě  $0,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^1$ . Také mají systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla a uvažoval bych,

že mají neprůvzdušnost menší nebo rovnou hodnotě  $0,6 [1.h^{-1}]$ . Potom bych mohl tyto obálky zařadit do skupiny podoblasti podpory B2, kdy výše podpory je 450 000 Kč. [19]

Dobu návratnosti vypočtu jako v minulých případech. Do této analýzy tedy zahrnu úspory plynového vytápění oproti klasickému domu a také dotaci z programu Nová zelená úsporám. Poté mi z této analýzy vyšly tyto výsledky. Doba návratnosti u ytongové obálky vyšla ve 39 roce, betonová varianta se vrátí za 41 let a dřevostavba za 51 let.



Obrázek 14. návratnost obálek vlivem dotace. Vytvořeno autorem

### Závěr této analýzy

Dotace Zelená úsporám nám o značnou dobu zkrátí návratnost jednotlivých navrhovaných obálek. Z tohoto důvodů je tedy dobré dbát na dobrý návrh a provedení domu, aby vyhovoval všem kritériím pro zahrnutí do programu Zelená úsporám.



## **6. Závěr**

V této práci byl čtenář seznámen s navrhováním nízkoenergetických a pasivních domů.

V teoretické části byly definovány faktory ovlivňující návrh takového domu. Byly popsány také požadavky investorů, které nejsou až tak v souladu s navrhováním v nízkoenergetickém standardu, a byly zde uvedeny příklady již realizovaných budov.

V praktické části byly navrženy tři obálky pasivního domu. Návrh se zabýval návrhem obvodových stěn a střešních konstrukcí. Tyto konstrukce pak byly posouzeny samostatně v programu Teplo 2017, jestli vyhovují parametrům podle dané konstrukce pro pasivní domy. Následně se posuzovaly jako celek v programu Energie 2019, kde se zjišťovaly jejich měrné potřeby tepla na vytápění na rok a celkové součinitele tepla obálky jako celku. Další krokem bylo návržení dvou variant zdrojů tepla a otopných soustav. Poté následovaly jednotlivé analýzy obálek podle energie, kterou se vytápí a byly vypočteny doby návratnosti obálek i zdrojů tepla. Do jedné z analýz byly brány v úvahu i dotace z programu Nová zelená úsporám. Čím dál více se do podvědomí širší veřejnosti dostává myšlenka nízkoenergetického bydlení. Jedním z možných efektů je, že čím dál více rodinných domů bude realizováno jako pasivních, a to má nejen kladný finanční dopad pro uživatele, ale i pro životní prostředí, protože by se snižovaly potřeby energie a s nimi spojená jejich výroba.

Toto téma je velice aktuální vzhledem k tomu, jak se neustále vyvíjejí technologie a vznikají nové lepší materiály. Jsou vytvářeny různé dotační programy pro nízkoenergetické domy a v neposlední řadě stoupají hlavně ceny energie.

Z mého osobního hlediska mi práce přinesla větší přehled o tématu, se kterým bych se chtěl do budoucna více zabývat.

### **Splnění cílů práce**

- Seznámení čtenáře s problematikou nízkoenergetických budov, a to zvláště jednoduše a srozumitelně i pro člověka, který se nikdy s touto problematikou nesetkal. Tento bod
- Stanovení důležitých faktorů ovlivňující návrh pasivních domů, jakožto územní, architektonické a stavební faktory.
- První dva cíle byly splněny v kapitolách 2 a 3. Ve druhé kapitole je čtenář seznámen s pojmy nízkoenergetický a pasivní dům a také podle jakých kritérií se hodnotí a certifikují. Ve třetí kapitole se poté mohl dočíst o faktorech, které ovlivňují samotný návrh pasivních domů, ať už šlo o faktory, fyzikální, územní, architektonické nebo konstrukční.

- Udělat rešerši již postavených domů v pasivním standardu
- Třetí cíl je vyřešen pomocí kapitoly 4, kde jsou uvedeny 3 již stojící stavby realizované v pasivním standardu.
- Návrh dispozice, tří různých variant konstrukčních obálek domu, které budou vyhovovat pasivnímu standartu hlavně v oblasti součinitele prostupu tepla a měrné roční potřeby tepla na vytápění. Jejich následné posouzení z hlediska investičních nákladů.
- Navrhnutí dvou rozdílných systémů vytápění, podle kterých se bude určovat doba návratnosti samotných systémů vytápění a navrhovaných obálek.
- Pomocí finančních analýz objasnit finanční výhodnost pasivních domů.
- Zbytek cílů je splněn v praktické části. Kdy jako první se navrhuje dispozice a tvar domu, poté následuje materiálový návrh jednotlivých obálek a jejich finanční ocenění pomocí programu Kros 4. Obálky se následně posuzují podle tepelně izolačních vlastností a dle nákladů na nosné konstrukce, izolace, povrchové úpravy, podle celkové ceny a ceny na m<sup>2</sup>. Následuje návrh vytápěcích soustav a stanovení jejich pořizovacích nákladů. Na konec proběhl výpočet nákladů na vytápění a stanovení dob návratností, jak obálek, tak systému vytápění v několika různých variantách.

Všechny cíle práce tedy byly splněny.

## **Zdroje**

### **E-knihy, infolisty**

- [1] TYWONIAK, Jan. *NÍZKOENERGETICKÉ DOMY 3 Nulové, pasivní a další* [online]. Praha 7: Grada Publishing, 2012 [cit. 2020-05-23]. ISBN 978-80-247-8051-1.
- [2] Architektura pasivního domu - Pasivnidomy.cz. Centrum pasivního domu - Pasivnidomy.cz [online]. Copyright © 2006 [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/architektura-pasivniho-domu/t4026?s=102>
- [3] Základní principy - Pasivnidomy.cz. Centrum pasivního domu - Pasivnidomy.cz [online]. Copyright © 2006 [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/zakladni-principy/t134>
- [4] HUDEC, Mojmir. *Pasivní rodinný dům Proč a jak stavět* [online]. Praha: Grada Publishing, 2008 [cit. 2020-05-23]. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [5] BROTÁNEK, Aleš a Klára BROTÁNKOVÁ. *Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech* [online]. Praha: Grada Publishing, 2012 [cit. 2020-05-23]. ISBN 978-80-247-8124-2.
- [6] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady* [online]. Praha: Grada Publishing, 2008 [cit. 2020-05-23]. ISBN 978-80-247-2061-6.

### **Internetové zdroje**

- [7] Průkaz energetické náročnosti budov | PRE. [online]. Copyright © 2014 [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.pre.cz/cs/velkoodberatele/sluzby-zakaznikum/informace/energeticka-legislativa-a-dotacni-programy/prukaz-energeticke-narocnosti-budov/>
- [8] Klasika TWO BY FOUR - dřevostavba realizovaná na staveništi | Dřevostavby, časopis o bydlení - DřevoStavby. Dřevostavby - Portál | Dřevostavby, časopis o bydlení - DřevoStavby [online]. Copyright © 2020 Kladenská 107, Praha 6 [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5500-two-by-four-drevostavba-ralizovana-na-stavenisti>
- [9] Základní vlastnosti betonu | eBeton - Specialista na beton. *eBeton* | *eBeton - Specialista na beton* [online]. [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/encyklopedie/zakladni-vlastnosti-betonu>
- [10] Maxplus - Rychle, přesně a lehce [online]. Copyright ©mb [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.maxplus.cz/pdf/maxplus-technicka-brozura.pdf>

- [11] *Stavební materiál pro stavbu i rekonstrukce* | Ytong.cz [online]. Copyright © Xella Group. All rights reserved. [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.ytong.cz/tepelna-izolace.php>
- [12] *Zelené střechy mají v novém tisíciletí zelenou* | ASB Portal. *ASB-portal.cz* | *odborný portál | architektura, stavebnictví, byznys* [online]. Copyright © Jaga Media, s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strecha/zelene-strechy-maji-vnovem-tisicileti-zelenou>
- [13] *Tepelná izolace. Přehled, materiály, druhy a způsoby použití* | Stavebnictvi3000.cz. *Stavebnictvi3000.cz – věrohodný pohled na stavění a materiály* [online]. [cit. 23.05.2020] Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/tepelna-izolace-velky-prehled>
- [14] *Minerální izolace a její použití* | ASB Portal. *ASB-portal.cz* | *odborný portál | architektura, stavebnictví, byznys* [online]. Copyright © Jaga Media, s.r.o. Všechna práva vyhrazena. [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/zatepleni/mineralni-izolace-a-jeji-pouziti>
- [15] *Vlastnosti foukané izolace Climatizer Plus v porovnání s konkurencí. Zdravá a přírodní foukaná izolace. Až 60% úspora energie - Climatizer Plus* [online]. [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.climatizer.cz/foukana-izolace/vlastnosti-izolace/>
- [16] *Jaké výhody má kondenzační plynový kotel?* | E.ON. *Pomáháme šetřit peníze i přírodu* | E.ON [online]. [cit. 23.05.2020]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/radce/uspورا-energie/jak-na-usporne-vytapani/jake-vyhody-ma-kondenzacni-plynovy-kotel>
- [17] *Jaké jsou výhody a nevýhody plynového vytápění?* | Dům Kotlů. *DŮM KOTLŮ.CZ Kde je teplo, tam je dobře* [online]. Copyright © Dům Kotlů [cit.24.05.2020]. Dostupné z: <https://dumkotlu.cz/jake-jsou-vyhody-a-nevyhody-plynoveho-vytapani/>
- [18] K&V ELEKTRO a.s. - e1.cz. [online]. [cit.24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.e1.cz/produkt/1512500-primotop-airelec-basic-pro-0-75kw-bila-750w-?t=popis>
- [19] *Rodinné domy – výstavba – Nová zelená úsporám. Nová zelená úsporám – Dotace pro úsporné bydlení* [online]. [cit.24.05.2020] Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-vystavba/>
- [20] *Kontakt: Elektrikar-hlinsko. Revize, elektrikář, opravy, montáž* [online]. Copyright © 2012 Všechna práva vyhrazena. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://elektrikar-hlinsko.webnode.cz/kontakt/>

- [21] Kabel CYKY-J 3x2,5 balení 100 m | Levný elektromateriál. *Levný elektromateriál* [online] [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: [https://www.levny-elektromaterial.cz/Kabel-CYKY-J-3x2-5-baleni-100-m-d26.htm?gclid=CjwKCAjw5Ij2BRBdEiwA0Frc9ZjE7\\_pbdNyabmBq4OYQ6n9BmSWfVF7waDGNguJ1Si\\_ukoj-EMrg1BoCmzMQAvD\\_BwE](https://www.levny-elektromaterial.cz/Kabel-CYKY-J-3x2-5-baleni-100-m-d26.htm?gclid=CjwKCAjw5Ij2BRBdEiwA0Frc9ZjE7_pbdNyabmBq4OYQ6n9BmSWfVF7waDGNguJ1Si_ukoj-EMrg1BoCmzMQAvD_BwE)
- [22] PROTHERM Kotel GEPARD 23 MOV (0010016287) - AkoupelnyAtopeni.cz. *AkoupelnyAtopeni.cz - vše pro koupelny a topení* [online]. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: [https://www.akoupelnyatopeni.cz/topeni-a-ohrev-vody/protherm-kotel-gepard-23-mov-0010016287?gclid=CjwKCAjwkun1BRAIEiwA2mJRWazOYBSIprxsA2AdWW-iUdtt64Cqe4aMweBc16WCZfz7PWAZBWsXnxoCjskQAvD\\_BwE](https://www.akoupelnyatopeni.cz/topeni-a-ohrev-vody/protherm-kotel-gepard-23-mov-0010016287?gclid=CjwKCAjwkun1BRAIEiwA2mJRWazOYBSIprxsA2AdWW-iUdtt64Cqe4aMweBc16WCZfz7PWAZBWsXnxoCjskQAvD_BwE)
- [23] FOALBIT AL S40 pás oxid. (radon) 7,5m2 ICOPAL - Stavebniny Šťastný | Brno. *Stavebniny Šťastný - Ryze česká firma se stavebním materiálem* [online]. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.stavebninystastny.cz/foalbit-al-s40-pas-oxid-radon-7-5m2-icopal.html>
- [24] Zateplení fasády, zateplení fasád, ceník za m2 | E-ISOVER - tepelné izolace, zvukové izolace a protipožární izolace. *ISOVER: tepelné izolace, zvukové izolace a protipožární izolace* [online]. Copyright © Divize Isover, Saint [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.e-isover.cz/zatepleni-fasady>
- [25] Zateplení střechy | E-ISOVER - tepelné izolace, zvukové izolace a protipožární izolace. *ISOVER: tepelné izolace, zvukové izolace a protipožární izolace* [online]. Copyright © Divize Isover, Saint [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.e-isover.cz/zatepleni-strechy>
- [26] DÖRKEN Delta REFLEX - hliníková parotěsná folie - internetové stavebniny. *Internetové stavebniny Trimot* [online]. Copyright © [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.internetove-stavebniny.cz/folie/dorken-delta-reflex-hlinikova-parotesna-folie/>
- [27] DÖRKEN Delta VENT N - difuzní střešní folie - internetové stavebniny. *Internetové stavebniny Trimot* [online]. Copyright © [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.internetove-stavebniny.cz/stresni-folie-2/dorken-delta-vent-n-difuzni-stresni-folie/>
- [28] *Perfektní izolace pro rodinné domy, průmyslové a komerční stavby - nadkrokevní & PIR izolace* | *Puren.cz* [online]. Copyright © 2020 Obchodní zastoupení Puren v ČR a SR. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.puren.cz/plus-izolace>

- [29] KVH hranoly | drevoonline.cz - prodej dřeva a veškerého stavebního řeziva s dodáním po celé ČR. *drevoonline.cz - prodej dřeva a veškerého stavebního řeziva s dodáním po celé ČR* [online]. Copyright © 2010 [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.drevoonline.cz/drevoonline/eshop/2-1-KVH-hranoly>
- [30] FATRAFOL - FATRAFOL - S FATRAFOL 810/V tl.1,5mm š.1,65 - Še. *Coleman S.I., a.s. - materiály pro střechy a fasády - Coleman* [online]. Copyright © 2002 [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://e.coleman.cz/fatrafol-810-v-tl15mm-s16m-se-p-041704-cz>
- [31] HYDROBIT V 60 S 35 10m2/role (200m2 pal) - Izomat.cz. *IZOMAT stavebniny s.r.o.* [online]. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.izomat.cz/hydroizolace-1/asfaltove-pasy/oxidovane-pasy/vedag/hydrobit-v-60-s-35-10m2-role-200m2-pal.html>
- [32] GLASBIT G200 S 40 | Stavebniny-Rychle.cz. *Stavebniny, tepelné izolace | Stavebniny-Rychle.cz* [online]. Copyright © 2020 Stavebniny [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <http://www.stavebniny-rychle.cz/glasbit-g200-s-40.html>
- [33] Sadrovláknité desky | James Hardie Europe GmbH. *Document Moved* [online]. Copyright © 2020 James Hardie Europe GmbH. Všechna práva vyhrazena. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.fermacell.cz/cz/produkty/sadrovlaknite-desky/sadrovlaknite-desky>
- [34] *Stavební materiál pro stavbu i rekonstrukce | Ytong.cz* [online]. Copyright © Xella Group. All rights reserved. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.ytong.cz/presnetvarnice-ytong.php>
- [35] RADIK KLASIK - KORADO, a.s. - KORADO, a.s.. *Kvalitní topení, vytápění, radiátory, chlazení a větrání - KORADO, a.s.* [online]. Copyright © 2020 KORADO, a.s. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-klasik.html>
- [36] Baumit Star EPS. *Úvod | Baumit.cz* [online]. [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <https://baumit.cz/produkty/zateplovaci-systemy/baumit-star-eps>
- [37] Baumit Star Mineral. *Úvod | Baumit.cz* [online]. Dostupné [cit. 24.05.2020]. z: <https://baumit.cz/produkty/zateplovaci-systemy/baumit-star-mineral>
- [38] Kontakt | ERMONT spol. s.r.o.. *ERMONT spol. s.r.o.* [online]. Copyright © 2013 [cit. 24.05.2020]. Dostupné z: <http://www.ermont.cz/kontakt/>

## **Seznam obrázků a tabulek**

Obrázek 1: Roční měrná potřeba tepla na vytápění podle kategorií budov(Tywoniak,2012) .	11
Obrázek 2:Základní vlastnosti pasivních budov (Tywoniak,2012) .....	12
Obrázek 3:Přehled veličin charakterizujících pasivní budovu (podle TNI 73 0329/TNI 73 0330 a PHPP)(Tywoniak,2012) .....	13
Obrázek 4-Půdorysy pater. Vytvořeno autorem.....	29
Obrázek 5:vybrané součinitele prostupu tepla dle konstrukce (Centrum pasivního domu,2011) .....	31
Obrázek 6: náklady na vytápění elektřinou. Vytvořeno autorem.....	39
Obrázek 7: náklady na vytápění plynem. Vytvořeno autorem .....	41
Obrázek 8: návratnost elektrického vytápění. Vytvořeno autorem.....	42
Obrázek 9: návratnost plynového vytápění. Vytvořeno autorem.....	43
Obrázek 10: Návratnost plynového vytápění s vlivem úspor oproti elektrickému vytápění. Vytvořeno autorem.....	44
Obrázek 11: návratnost obálek-elektrické vytápění. Vytvořeno autorem .....	45
Obrázek 12: návratnost obálek-plynové vytápění. Vytvořeno autorem.....	46
Obrázek 13: návratnost obálek-vlivem rozdílných nákladů na vytápění. Vytvořeno autorem..	47
Obrázek 14. návratnost obálek vlivem dotace. Vytvořeno autorem .....	48

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1: celkové náklady. Vytvořeno autorem .....	33
Tabulka 2: porovnání nákladů na nosné konstrukce. Vytvořeno autorem.....	33
Tabulka 3: porovnání nákladů na izolace. Vytvořeno autorem.....	34
Tabulka 4: porovnání nákladů na povrchové úpravy. Vytvořeno autorem.....	34
Tabulka 5: náklady na konstrukce na m <sup>2</sup> . Vytvořeno autorem .....	35
Tabulka 6: porovnání nákladů na m <sup>2</sup> konstrukcí. Vytvořeno autorem.....	35
Tabulka 7:náklady na kombinovanou obálku. Vytvořeno autorem .....	35
Tabulka 8: pořizovací náklady elektrického vytápění. Vytvořeno autorem .....	36
Tabulka 9:pořizovací náklady plynového vytápění. Vytvořeno autorem .....	37

## Seznam norem a nařízení

TNI 73 0329: Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

TNI 73 0331: Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Vyhláška č. 78/2013 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov, Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby se změnami: 20/2012 Sb., Ministerstvo pro místní rozvoj.

Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií, Parlament ČR.

ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

## Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
U	Součinitel prostupu tepla	W/ (m <sup>2</sup> .K)
n <sub>50</sub>	Neprůvzdušnost při rozdílu tlaku 50 Pa	h <sup>-1</sup>
A/V	Faktor tvaru	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>

Jednotky	Význam
hod, h	hodina
m	metr
W	Watt
K	Kelvin



## **Seznam příloh**

### Skladby konstrukcí:

Nízkoener. Dům-Betonová stěna  
Nízkoener. Dům-Betonová střecha  
Nízkoener. Dům-Dřevostavba stěna  
Nízkoener. Dům-Dřevostavba střecha pultová  
Nízkoener. Dům-Ytong stěna  
Nízkoener. Dům-Ytong střecha sedlová  
Nízkoener. Dům-Základová deska

### Výsledky z programu energie:

Výsledky energie-Beton  
Výsledky energie-Dřevostavba  
Výsledky energie-Ytong

### Sešit programu excel

Výpočty  
Rozpočty