



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

ENERGY INSTITUTE

**TEPELNÉ ZTRÁTY RODINNÉHO DOMU A NÁVRHY  
OPATŘENÍ NA JEJICH ELIMINACE**

HEAT LOSS OF BUILDINGS AND PROPOSALS FOR MEASURES TO ELIMINATE THEM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Michael Dokoupil

**VEDOUcí PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

**BRNO 2019**



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Michael Dokoupil**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Tepelné ztráty rodinného domu a návrhy opatření na jejich eliminaci**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Náklady na elektrickou energii a vytápění jsou základními výdaji každé domácnosti, proto se vyplatí hledat možné úspory, které by se pozitivně projevíly při ekonomické bilanci. Ne všechna opatření ale jsou z dlouhodobého hlediska výhodná, jak se na první pohled zdá.

V rámci realizace bakalářské práce budou provedeny návrhy pasivních i aktivních opatření, které povedou ke snížení energie potřebné pro vytápění dvoupatrového podsklepeného rodinného domu. Bude proveden výpočet tepelných ztrát vzorového domu a ekonomické posouzení navržených opatření.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- tvorba přehledu možných opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti
- výpočet tepelných ztrát rodinného dvoupatrového domu
- návrhy opatření pro dům
- ekonomické posouzení návrhů

#### **Seznam doporučené literatury:**

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

HUMM, Othmar. Nízkoenergetické domy. Praha: Grada, 1999. Stavitel. ISBN 80-716-9657-9.

MALATĚÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-2-7-3250-3.

BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2536-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

-----  
doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

-----  
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se věnuje problematice tepelných ztrát a návrhu zateplení na jejich eliminaci u rodinného domu. V úvodu práce se nachází přehled možných opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti budov. Dále je popsán, obecně i konkrétně, výpočet tepelných ztrát rodinného domu a jsou navrženy varianty zateplení pro snížení tepelných ztrát. V závěru práce se tyto varianty porovnají a vybere se nejekonomičtější řešení.

## Klíčová slova

Tepelné ztráty, rodinný dům, zateplení, investice, návratnost

## Abstract

This bachelor thesis is dedicated to the issue of heat losses of the family house and thermal insulation design for their elimination. In the introduction, there is an overview of possible measures leading to the reduction of the energy consumption of buildings. Furthermore, the calculation of heat loss of a family house is described, generally and specifically, and thermal insulation variants are proposed to reduce heat losses. In conclusion, these variants are compared and the most economical solution is chosen.

## Key words

Heat loss, family house, thermal isolation, invesment, payback period

## **Bibliografická citace**

DOKOUPIL, Michael. *Tepelné ztráty rodinného domu a návrhy opatření na jejich eliminaci*. Brno, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Tepelné ztráty rodinného domu a návrhy opatření na jejich eliminace vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

-----  
Datum

-----  
Jméno a příjmení

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při zpracování této bakalářské práce.



# Obsah

Úvod .....	8
1 Postupy vedoucích ke snížení energetické náročnosti.....	12
1.1 Energetická náročnost.....	12
1.2 Tepelné ztráty .....	13
1.2.1 Obecně.....	13
1.2.2 Součinitel prostupu tepla .....	13
1.3 Tepelně-izolační zajištění .....	14
1.3.1 Druhy zateplení .....	16
2 Tepelné ztráty rodinného domu.....	19
2.1 Popis rodinného domu .....	19
2.1.1 Prostředí domu a okolí.....	19
2.1.2 Plán domu a místností .....	19
2.1.3 Materiály konstrukce, oken a dveří .....	20
2.1.4 Vytápění domu a spotřeba .....	22
2.2 Výpočet tepelných ztrát .....	22
2.2.1 Prezentace normy .....	22
2.2.2 Vlastní výpočet.....	23
2.2.3 Celková roční spotřeba energie na vytápění.....	29
3 Návrh opatření pro snížení tepelných ztrát.....	30
3.1 Popis zvoleného zateplení.....	30
3.1.1 Zateplení obálky budovy EPS o tl. 100 mm.....	30
3.1.2 Zateplení obálky budovy EPS o tl. 200 mm.....	30
3.1.3 Zateplení půdy a podkrovního pokoje.....	31
3.1.4 Zateplení obálky budovy EPS o tl. 100 mm a půdy .....	31
3.2 Výpočet tepelných ztrát po zateplení.....	31
3.2.1 Zateplení obálky budovy EPS o tloušťce 100 mm .....	31
3.2.2 Zateplení obálky budovy EPS o tloušťce 200 mm .....	32
3.2.3 Zateplení půdy a podkrovního pokoje.....	33
3.2.4 Zateplení obálky budovy EPS tloušťky 100 mm a půdy.....	35
4 Ekonomické posouzení návrhu.....	37

4.1	Investice do zateplení .....	37
4.2	Posouzení návratnosti investic.....	37
5	Zhodnocení výsledků .....	39
	Závěr .....	40
	Zdroje .....	41
	Seznam veličin .....	44
	Seznam příloh .....	46

## ÚVOD

Problém s udržení tepla je jeden z nejstarších problémů na světě, protože se objevuje už od dob prvních lidí, kteří instinktivně věděli, že pro udržení tepla v tělech, resp. v obydlích, se musí přidat další vrstva kůže, nebo dřeva, aby udrželi teplo tam, kde je ho potřeba. Nevěda tedy pojmu jako tepelné ztráty, či zateplení, se sami stávali inženýry v energetické oblasti.

Tento problém přetrvává do současnosti, a proto v posledních několika desetiletích vidíme snahu o optimalizaci práce s energiemi, hlavně kvůli stále se zvětšující poptávce po ní. Nejlogičtějším opatřením pro snížení tepelných ztrát se pořád jeví zateplení vnější části budovy, oddělující obyvatele od nepřívětivých podmínek venku.

Oproti našim předkům máme nyní nejvíce možností, jak zateplit naše obydlí, co jsme kdy měli. Navíc nám technický pokrok poskytl další důležitou věc pro zateplování domů, a tj. navrhnutí zateplení a propočítání jeho účinnosti předem. I před aplikací zateplení můžeme porovnat, jaké zateplení je pro nás nejlepší a jaké tedy zvolit.

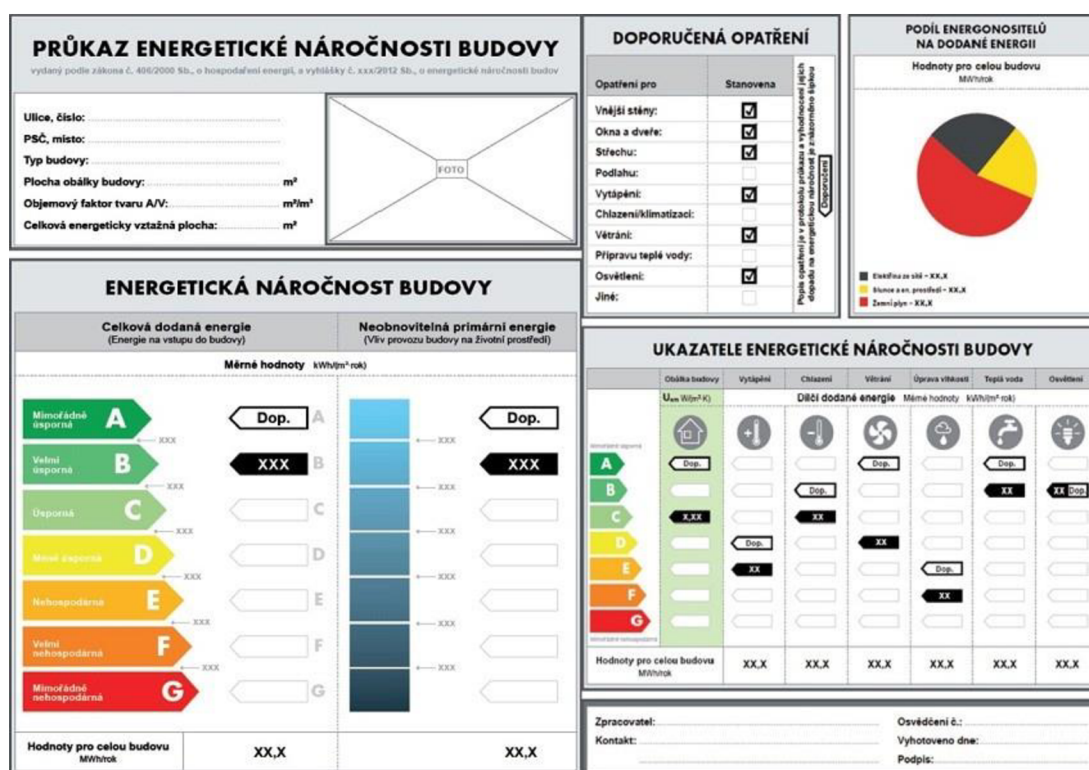
Tato bakalářská práce má za cíl vytvořit přehled možných opatření vedoucích ke snížení energetické náročnosti budovy. Dále vypočítat tepelné ztráty rodinného domu a navrhnout varianty zateplení na jejich eliminaci. Nakonec by práce měla ekonomicky posoudit jednotlivé návrhy a určit nejlepší variantu zateplení.

# 1 Postupy vedoucích ke snížení energetické náročnosti

## 1.1 Energetická náročnost

Energetická náročnost budovy (ENB) je pojem, který zahrnuje veškerou spotřebu energie v budově použitou na vytápění, ohřátí teplé vody, klimatizace, větrání, osvětlení a dalších podpůrných systémů, jako jsou čerpadla a ventilátory. Stanovuje na základě energetického posudku, což je rozbor nemovitosti z hlediska hospodaření s energiemi, včetně předběžného návrhu stavebních opatření, jejich cenách a dopadu. [1][2][3]

Součástí vyhodnocení tohoto posudku je průkaz energetické náročnosti budovy (PENB), který slovně i graficky zobrazuje energetickou náročnost dané budovy, viz obrázek 1.1.



Obr. 1.1 Část energetického průkazu [7]

Tento štítek stanovuje, do které třídy budova patří a jaké jsou doporučené zlepšení ohledně energetického hospodaření. Jak je patrné z Obrázku č. 1, může být budova zařazena do třídy A-G s tím, že třída A je nejehospodárnější a většina nových nebo zrekonstruovaných budov musí spadat do třídy A nebo B. [2]

Tato bakalářská práce se bude zabývat jen částí ENB, která se zabývá energií dodávanou zdrojem tepla v domě a způsoby snížení ENB, což zahrnuje zateplení budovy nebo výměnu oken a dveří.

## 1.2 Tepelné ztráty

### 1.2.1 Obecně

Tepelná ztráta objektu je okamžitá hodnota tepelné energie, která z domu uniká díky prostupu tepla, zářením skrze průsvitné konstrukce a větráním. Tepelná ztráta prostupem je množství tepla, která se odvádí z domu ven vlivem rozdílů teplot uvnitř a venku budovy. Hodnota této ztráty závisí na ploše, kterou teplo prochází, na součiniteli prostupu tepla a na rozdílu teplot. Tepelná ztráta větráním je způsobena faktem, že musí být zajištěna minimální výměna vzduchu, aby nedošlo ke kumulaci škodlivých látek v místnosti. Hodnota tepelných ztrát se počítá vždy pro extrémní klimatické podmínky, např. v ČR je to teplota  $-15^{\circ}\text{C}$ . Hodnota tepelných ztrát je důležitá pro dimenzování radiátorů a tepelných zdrojů vytápění. [4][5]

### 1.2.2 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla definujeme jako množství tepla, které unikne konstrukcí o ploše  $1\text{ m}^2$  při rozdílu teplot  $1\text{ Kelvin}$ . Jinými slovy kvantifikuje vliv šíření tepla prostupem přes konstrukci. Součinitel prostupu tepla závisí na odporu konstrukce při přestupu tepla a dalších vlastnostech materiálu, ze kterého je konstrukce vyrobena. [4][6][8]

Vztah mezi součinitelem prostupu tepla  $U$  a tepelným odporem konstrukce  $R_T$  podle normy ČSN EN 12831 je:

$$U_k = \frac{1}{R_T} \quad (1.1)$$

kde  $U_k$   $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$  ... součinitel prostupu tepla

$R_T$   $[\text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}]$  ... odpor konstrukce při přestupu tepla

Z rovnice (1.1) můžeme odvodit, že součinitel prostupu tepla je jen převrácenou hodnotou odporu konstrukce při přestupu tepla. Tepelný odpor se skládá ze součtu odporů při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce, součinitel tepelné vodivosti materiálu a tloušťka vrstvy v konstrukci, čemuž odpovídá vztah:

$$R_T = R_{si} + \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\lambda_i} + R_{se} \quad (1.2)$$

kde  $R_{si}$   $[\text{W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}]$  ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně

$t$   $[\text{m}]$  ... tloušťka vrstvy v konstrukci

$\lambda$   $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$  ... součinitel tepelné vodivosti materiálu

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

V tabulce 1.1 jsou výsledky výpočtu součinitele prostupu tepla severní zateplené obvodové stěny vypočítané v programu Microsoft Excel. Zbytek výpočtů se nachází v příloze 2.

Venkovní zateplené stěna			
Materiál	$t$ [m]	$\lambda$ [W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup> ]	$R$ [W <sup>-1</sup> · m <sup>2</sup> · K]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně			0,130
Omítka	0,020	0,970	0,021
Cihla	0,300	0,860	0,349
Vnější omítka	0,030	1,000	0,030
Fasáda	0,010	1,100	0,009
Polystyren	0,100	0,040	2,500
Odpor při přestupu tepla na venkovní straně			0,04
$\Sigma R_T$ [W <sup>-1</sup> · m <sup>2</sup> · K]			3,079
$U_k$ [W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup> ]			0,325

Tabulka 1.1 Výpočet součinitele prostupu tepla severní zateplené obvodové stěny

### 1.3 Tepelně-izolační zajištění

Hlavním důvodem pro zateplení budov je snížení tepelné výměny, tj. přenosu tepla vedením, prouděním a zářením. Ve stavebnictví se tato tepelná výměna označuje jako tepelná vodivost a značí se  $\lambda$ . Čím nižší je tato hodnota, tím se zlepšují izolační vlastnosti materiálu. V tabulce 1.2 jsou uvedeny některé druhy izolací a jejich charakteristik (hustota  $\rho$ , tepelná vodivost  $\lambda$ ). [8][9][10]

Přehled izolačních materiálů

Skupina materiálů	Materiál	$\rho_v$ [kg.m <sup>-3</sup> ]	$\Lambda$ [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
Pěnoplastické látky	Pěnové polystyreny	30	0,035
	Extrudované polystyreny	30	0,030
	Pěnové polyuretany	35	0,027
	Pěnové polyetyleny	25	0,026
	Pěněné pryskyřice	40	0,040
	Pěněné PVC	60	0,043
Vláknité materiály	Skleněná vlákna	50	0,038
	Minerální vlákna	75	0,037
	Syntetická vlákna	160	0,065
	Ovčí vlna	30	0,039
Pěněné silikáty	Pěnové sklo	120	0,044
Minerální materiály	Expandovaný perlit	75	0,060
	Expandovaný vermikulit	100	0,065
	Strusková pemza	500	0,130
	Keramzit	350	0,110
Materiály na bázi dřeva a přírodních vláken	Piliny a mineralizované hobliny	140	0,060
	Sláma a rákos	70	0,050

Tabulka 1.2 Přehled izolačních materiálů [22]

### 1.3.1 Druhy zateplení

Je mnoho druhů tepelných izolací. Jedny z prvních izolací, které se používají několik tisíc let, byly přírodní hmoty, např. sláma, dřevo, hlína. Další pokrok se objevil až ve středověku, kdy se používaly tzv. dřevovláknité desky, složené z dřevěných hoblin spojené minerálním pojivem. Syntetické materiály se poprvé objevují ve 20. století, nejdůležitějším se stává polystyren, který se ve vylepšeném složení používá dodnes. Další krokem byly v 70. letech minerální vaty, které mají lepší vlastnosti, např. větší ohnivzdornost. V současnosti je na trhu mnoho nových druhů izolací a stále se vyvíjejí další, např. vakuové izolace, jejichž výzkum probíhá na VUT, anebo ETICS systémy.

#### 1.3.1.1 Přírodní materiály

Jak bylo zmíněno výše, přírodní materiály jsou s lidstvem spojeny od prvních příbytků. V dnešní době se jejich užívání vrací zpátky, hlavně díky energetické nenáročnosti výroby, malé zátěži životního prostředí a lehké manipulaci a instalaci, protože se nemusí používat ochranné pomůcky.[12][13]

Součinitel tepelné vodivosti má díky velkému množství druhů přírodních materiálů velký rozsah, např. 0,035 W/mK u ovčí vlny a u měkkého dřeva 0,13 W/mK, a tedy i energetická amortizace má velký rozsah. Nevýhodami přírodních materiálů mohou být velké rozdíly v rozložení hustoty materiálu, které mohou vést k nerovnoměrnému mechanickému namáhání, způsobené vlhkostí či vnějším zatížením. Dalším faktorem vyskytujícím se především u přírodních materiálů jsou obecně živé organismy, hlavně hmyz a houby, které mohou výrazně znehodnotit vlastnosti těchto materiálů. [9][15][25]



Obr. 1.2 Konopná izolace [14]



### 1.3.1.2 Polystyren

Polystyren je v současné době nejpoužívanější tepelný izolant. Vděčí za to díky velmi dobrým izolačním vlastnostem, nízké ceně a velké variabilitě, jak v použití, tak v množství typů. Značí se PPS a základní dělení je na expandované a extrudované. Expandované polystyreny (XPS) se vyrábí ve formách za pomoci zpevňování a nadutí pentanem, čímž vznikne otevřená struktura, která lépe izoluje, ale také lépe nasává vodu. Extrudované polystyreny (EPS) se naopak do forem vtlačuje, čímž je jeho struktura pevnější a nasákavost menší.

Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  se nachází v rozmezí 0,035-0,040 W/mK a energetická amortizace je 8-20 měsíců. Hlavní nevýhody polystyrenu jsou teplotní degradace a hořlavost nad 70 °C, dále pak nasákavost a malá odolnost v tlaku, obě nevýhody se negují přidáváním aditiv, např. grafit. [9][15][23]



Obr. 1.3 Izolace z extrudovaného polystyrenu [15]

### 1.3.1.3 Vláknité minerální materiály

Tepelné izolace ve formě vláken jsou obecně nazývány jako minerální vaty. Jedná se o kombinaci tepelné a akustické izolace. Základní prvkem je minerální vata, která se vyrábí z vyvřelých hornin tavením, formováním taveniny do tenkých vláken a navázáním materiálu k pojivu, většinou k umělé pryskyřici. Dělí se podle tavené horniny, např. čedičová a skelná, a poté se odlišují přidáváním dalších přísad a dalšími úpravami. [8][9][15][17]

Výhody vláknitých izolací jsou propustnost vodních par, nehořlavost, odolnost proti škůdcům a plísním a výše zmíněná akustická izolace. Používá se proto na vnitřní i venkovní zateplení, popřípadě na izolaci potrubí. Minerální materiály mají součinitel tepelné vodivosti v rozmezí 0,03-0,045 W/mK a energetickou amortizaci 2-10 měsíců. Nevýhodou je vyšší cena, uvolňování částic při zpracování a při pokládání na dům, což sebou nese větší požadavky na zajištění dostatečných pracovních podmínek, respirátory a rukavice jsou nezbytností. [8][9][15][17][23]



Obr. 1.4 Izolace z vláknité minerální vaty [19]

#### 1.3.1.4 Pěnové sklo

Tato izolace vzniká dvěma způsoby. První způsob spočívá ve výrobě ze speciálního aluminio-silikátového skla, které se rozemele na prášek, přidá se uhlíkové prach, vloží se do forem a zahřeje se, přičemž se objem zvětší až 20x a vytvaruje se dle formy. Druhá varianta spočívá ve zpracování odpadních střepů, které se roztaví a vlijí do forem.

Vlastnosti pěnového skla jsou velmi dobré. Materiál je totiž nehořlavý, pevný v tlaku, nenasákne vodu, recyklovatelný a zdravotně nezávadný. Navíc poměr ceny a tepelných vlastností je velmi přívēitvý, pokud se pěnové sklo vyrábí z recyklovaného skla. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  je 0,04-0,06 W/mK a energetická amortizace jsou 2-3 měsíce. Nevýhodami jsou velmi vysoký difúzní odpor, tzn. nepropustnost vodních par, vyšší cena oproti ostatním druhům izolací a objemová hmotnost. [9][15][16][17][18][24]



Obr. 1.5 Pěnové sklo[20]

## 2 Tepelné ztráty rodinného domu

### 2.1 Popis rodinného domu

#### 2.1.1 Prostředí domu a okolí

Dům se nachází ve městě Přerov, v okolí dalších rodinných domů a stojí samostatně. Plány domu jsou z roku 1925. Vchodové dveře jsou orientovány na sever. Nadmořská výška se pohybuje kolem 200 m. V tabulce 3.1 jsou uvedeny klimatické podmínky pro danou lokalitu odečtené z normy.

Klimatické údaje			
Název	Označení	Hodnota	Jednotka
Výpočtová venkovní teplota	$\theta_e$	-12	°C
Průměrná roční venkovní teplota	$\theta_{m,e}$	3,5	°C

Tabulka 2.1 Klimatické údaje

#### 2.1.2 Plán domu a místností

Rodinný dům je dvoupatrový, s půdním prostorem a podsklepený. Z domovních dveří se vchází na chodbu se schodištěm, které vede do sklepa a do druhého patra. Z chodby v prvním patře se lze dostat do ložnice, kuchyně, koupelny a jídelny, která je průchozí a vede do obývacího pokoje. Ve druhém patře se nachází chodba, ze které je vstup do jednoho obyvatelného pokoje, zasklené terasy a půdy. Sklep se skládá z chodby, ze které je vstup do jedné malé a dvou velkých místností. Půdorysy sklepa, přízemí, prvního patra a bokorys jsou v příloze 1 a popisují je tabulky 2.2 a 2.3, které obsahuje některé upřesňující hodnoty o místnostech. Teploty místností byly změřeny teploměrem přímo v domě, aby lépe odpovídaly skutečnosti než hodnoty odečtené z normy.

Vytápěné místnosti			
Místnost s označením	Teplota	Plocha	Objem
	$\theta_{int,i}$	$A_k$	$V_i$
	°C	$m^2$	$m^3$
Kuchyň 1.01	20	8,3	24,9
Koupelna 1.02	24	5,8	17,4
Ložnice 1.03	20	21,2	63,6
Jídelna 1.04	20	25,0	75,0
Obývací pokoj 1.05	20	25,0	75,0
WC 1.06	20	1,5	4,5
Chodba 1.07	20	8,1	24,3
Podkrovní pokoj 2.01	20	22,0	61,6
Celkem		116,9	346,3

Tabulka 2.2 Údaje o vytápěných místnostech

Pro nevytápěné prostory se zavádí teplotní redukční součinitel  $b_u$ , který zohledňuje rozdíl mezi vytápěným a nevytápěným prostorem, vypočítá se z rovnice (2.1) a je zapsán v tabulce 2.3.

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (2.1)$$

kde  $\theta_{int,i}$  [°C] ... výpočtová vnitřní teplota místnosti

$\theta_u$  [°C] ... teplota nevytápěné místnosti

$\theta_e$  [°C] ... venkovní teplota

$b_u$  [-] ... teplotní redukční součinitel

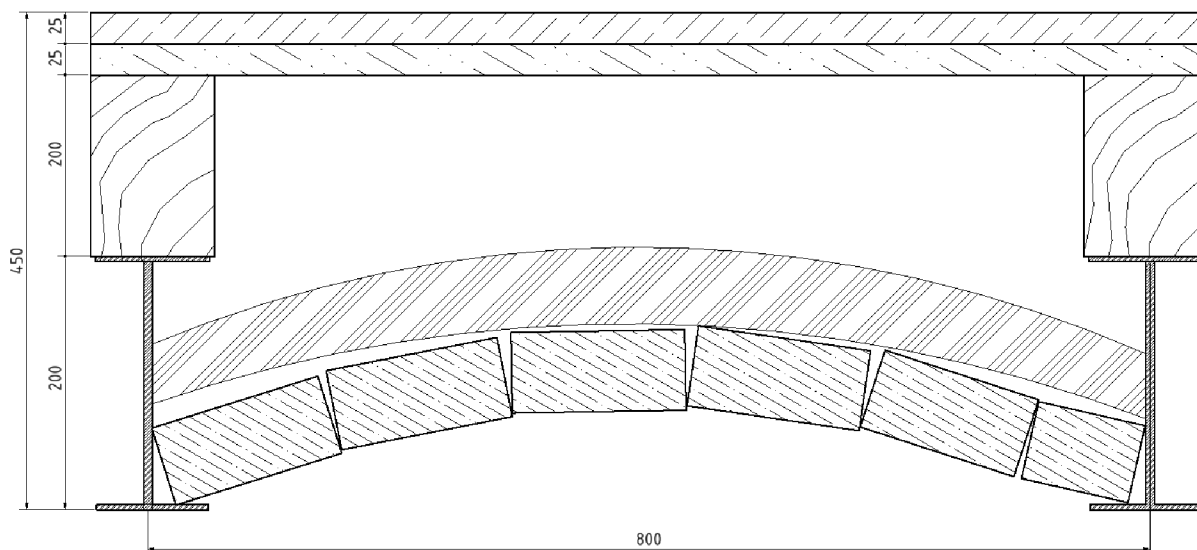
Nevytápěné místnosti		
Místnost s označením	Výpočtová vnitřní teplota	b-hodnota
	$\theta_{int,i}$	$b_u$
	°C	-
Schodiště 0.00	10	0,313
Chodba 0.01	10	0,313
Sklep 0.02	10	0,313
Prádelna 0.03	10	0,313
Sklep 0.04	10	0,313
Chodba 2.00	10	0,313
Půda 2.02	-6	0,813
Terasa 2.03	10	0,313

Tabulka 2.3 Údaje o nevytápěných místnostech

### 2.1.3 Materiály konstrukce, oken a dveří

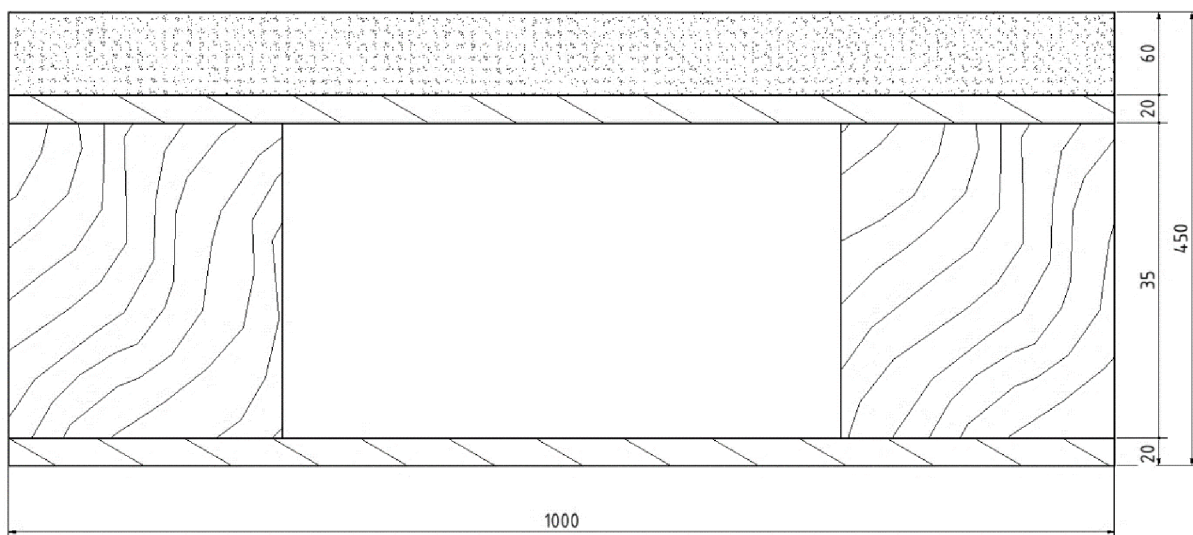
Obvodové i vnitřní zdi v domě jsou postaveny z plných pálených cihel, které jsou omítnuté a natřené. Severní stěna je navíc zateplena 100 mm polystyrenu. Kvůli stáří domu se nedochovaly přesné plány skladeb podlah a stropů, proto práce vychází ze zkušeností při přestavbě domu a u stropu přízemního podlaží z kvalifikovaného odhadu.

Podlaha přízemí se skládá z traverz, mezi kterými jsou v oblouku naskládány cihly, které jsou zasypány škvárou. Na traverzách jsou uchyceny trámy, na kterých jsou přibity desky, na nichž leží parkety, viz obrázek 2.1. Při výpočtech přestupu tepla se traverzy, což jsou tepelné mosty, uvažovaly jako část podlahy spolu s trámky a zakomponovaly se do výpočtů vynásobením koeficientem 0,2, protože zabírají asi 20 % výměry podlahy. Zbytek výměry podlahy se vynásobil koeficientem 0,8 a následně se provedl součet těchto výsledků.



Obr. 2.1 Řez podlahou přízemí

Strop přízemního podlaží se skládá z trámu zapuštěných do zdí, na nichž jsou přibity desky, omítnuté ze spodu a z vrchu zalité betonem, viz schéma 4.1b. Při výpočtech součinitele prostupu tepla jsem postupoval obdobně jako v případě podlahy přízemí.



Obr. 2.2 Řez stropem přízemí

Dveře i okna jsou shodně vyrobeny ze dřeva, popř. dřevotřísky, a skla. Všechna okna jsou špaletová, vnitřní dveře plné, kromě dveří mezi vytápěnou a nevytápěnou chodbou v přízemí, ty jsou prosklená.

### 2.1.4 Vytápění domu a spotřeba

Dům je vytápěn ústředním vytápěním, které zajišťuje plynový kotel. Teplota v domě je nastavitelná ručně na termostatu, který ji po celý den i udržuje. Pro potřeby této bakalářské práce je nutné vědět roční spotřebu plynu na vytápění, ideálně za několik let, aby se zredukovaly možné výkyvy spotřeby, např. kvůli nadprůměrnému poklesu teploty v zimě, a také celkové náklady za tuto položku.

Celková roční spotřeba plynu na vytápění a cena se odečte z faktur dodavatele plynu z 3 po sobě následujících let, aby se předešlo výše zmíněným problémům. Výsledek byl zprůměrován, zapsán a dále zpracován v kapitole 2.2.3 Celková roční spotřeba plynu.

## 2.2 Výpočet tepelných ztrát

### 2.2.1 Presentace normy

Norma ČSN EN 12831 se nazývá „Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu“ a byla poprvé vydána v roce 2003 k přímému používání. V roce 2005 byla vydána tisková oprava, která byla převzata překladem. V letošním roce 2018 byla vydána zatím poslední verze této normy ČSN EN 12831, její název zní „Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu“, je rozdělena do 4 částí, z nichž zatím jen 2 byly přeloženy a schváleny k používání. V této bakalářské práci bude použita část normy s názvem „Část 1: Tepelný výkon pro vytápěný prostor“. Norma udává i detailnější postup při výpočtu tepelného výkonu, viz tabulka 2.4. [21]

a)	Stanovení základních údajů: – výpočtové venkovní teploty – průměrné roční venkovní teploty
b)	Určení každého prostoru budovy: vytápěný ( teplota), nevytápěný
c)	Stanovení: rozměrových vlastností a tepelných vlastností • všech stavebních částí pro každý vytápěný a nevytápěný prostor.
d)	Výpočet návrhových tepelných ztrát prostupem: • (návrhový součinitel tepelné ztráty prostupem x návrhový rozdíl teplot)
e)	Výpočet návrhových tepelných ztrát větráním: • (návrhový součinitel tepelné ztráty větráním x návrhový rozdíl teplot)
f)	Výpočet celkové tepelné ztráty: (návrhová tepelná ztráta prostupem + návrhová tepelná ztráta větráním)
g)	Výpočet zátopového výkonu: (dodatečný výkon potřebný pro vyrovnání účinků přerušovaného vytápění)
h)	Výpočet návrhového celkového tepelného výkonu: (celkové návrhové tepelné ztráty + zátopový výkon)

Tabulka 2.4 Postup při výpočtu tepelného výkonu [21]

## 2.2.2 Vlastní výpočet

Následující kapitola se bude zabývat výpočtem tepelných ztrát, ze začátku obecně, později i s konkrétními výsledky podle normy ČSN EN 12831-1. Jako ukázkovou místnost jsem zvolil podkrovní pokoj, protože se na něm díky jeho poloze nejlépe projeví jednotlivé verze zateplení. Všechny koeficienty jsou vybírány z normy ČSN EN 12831-1 a u každého bude odkazováno na tabulku nebo přílohu, ze které se daný koeficient odečte. Výpočty budou probíhat v programu Excel v upravené tabulce z webu ČVUT. [33]

### 2.2.2.1 Navrhovaná tepelná ztráta prostupem tepla

Tato kapitola se bude zabývat výpočtem tepelných ztrát prostupem tepla. Nebudou zde započítány tzv. tepelné mosty, které by výpočty ztížily nad rámec bakalářské práce. Samotný výpočet se skládá z rovnice:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2.2)$$

kde  $H_{T,ie}$  ... součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes obálku domu

$H_{T,iue}$  ... součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do venkovního prostředí skrz nevytápěný prostor

$H_{T,ig}$  ... součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do zeminy

$H_{T,ij}$  ... součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s velmi odlišnou teplotou

$\theta_{int,i}$  ... vnitřní návrhová teplota vytápěného prostoru

$\theta_e$  ... výpočtová venkovní teplota

Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí  $H_{T,ie}$  v sobě obsahuje veškeré části budovy, které patří do obálky domu, tzn., oddělují vytápěný prostor od venkovního. Ve výpočtu se objevuje korekční součinitel, který zahrnuje přítomnost tepelných mostů a kterého vyčteme z normy.

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k \quad (2.3)$$

kde  $A_k$  ... plocha stavební části

$U_k$  ... součinitel prostupu tepla stavební části

$e_k$  ... korekční součinitel vystavení povětrnostních podmínek, byla použita výchozí hodnota podle normy,  $e_k = 1$ , z přílohy D.4.1

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do venkovního prostředí skrz nevytápěný prostor  $H_{T,iue}$  se vypočítá pomocí rovnice:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u \quad (2.4)$$

kde  $b_u$  ... teplotní redukční součinitel, odečtené hodnoty z normy

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do zeminy  $H_{T,ig}$  bere v potaz tepelné ztráty podlahami a základovými stěnami přímým stykem a určuje se podle rovnice:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w \quad (2.5)$$

kde  $f_{g1}$  ... korekční součinitel zohledňující vliv změny ročních teplot, z normy použijeme základní hodnotu  $f_{g1} = 1,45$ , uvedené v příloze D.4.3.

$f_{g2}$  ... korekční součinitel beroucí v potaz rozdíl mezi průměrnou roční teplotou a výpočtovou venkovní teplotou, vypočítá se podle vztahu:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (2.6)$$

kde  $\theta_{m,e}$  ... průměrná roční teplota

$U_{equiv,k}$  ... ekvivalentní součinitel přestupu tepla stavební části, vychází z typu podlahy a určuje se na základě normy, pomocí parametru  $B'$ , který určíme z tohoto vztahu:

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad (2.7)$$

kde  $A_g$  ... plocha dané podlahové konstrukce

$P$  ... obvod dané podlahové konstrukce

$G_w$  ... korekční součinitel zohledňující vliv spodní vody. Tento vliv se musí uvažovat, pokud vzdálenost mezi předpokládanou vodní hladinou spodní vody a úrovní podlahy podzemního podlaží je menší než 1 m. Jinak se uvažuje  $G_w = 1$ .

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s velmi odlišnou teplotou  $H_{T,ie}$  se vypočítá podle rovnice:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot f_{ij} \quad (2.8)$$

kde  $f_{ij}$  ... redukční teplotní součinitel a vypočítá se jako:

$$f_{ij} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{sous.prost.}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (2.9)$$



V tabulce 2.5 jsou zapsány výsledky výpočtu tepelné ztráty prostupem tepla pro podkrovní pokoj.

Podkrovní pokoj				
Součinitel tepelné ztráty do venkovního prostředí přes obálku domu				
Část místnosti	Plocha $A_k$ [m <sup>2</sup> ]	Součinitel prostupu tepla $U_k$ [W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup> ]	Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie}$ [W · K <sup>-1</sup> ]	
Venkovní stěna nezateplená	11,620	0,325	3,775	
Venkovní stěna zateplená	8,740	1,728	15,107	
Okno	2,880	2,350	6,768	
Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do venkovního skrz nevytápěný prostor				
Část místnosti	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$U_k$ [W · m <sup>-2</sup> · K <sup>-1</sup> ]	$b$ [-]	$H_{T,ie}$ [W · K <sup>-1</sup> ]
Vnitřní stěna na půdu	21,995	0,057	0,813	1,019
Vnitřní stěna - půda	14,840	1,455	0,813	19,165
Vnitřní stěna - chodba	9,730	1,244	0,313	3,784
Dveře na chodbu	1,890	2,000	0,313	1,181
Terasa	4,900	1,455	0,313	2,434
				$\Sigma H_{T,ie} = 53,233$
Tepelná ztráta				
Součinitel tepelné ztráty prostupem $\Sigma H_{T,ie}$ [W · K <sup>-1</sup> ]	Teplotní rozdíl $\theta_{int,i} - \theta_e$ [°C]		Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i}$ [W]	
53,233	32		1703	

Tabulka 2.5 Výsledky výpočtu tepelné ztráty prostupem

### 2.2.2.2 Navrhovaná tepelná ztráta větráním

Navrhovaná tepelná ztráta větráním se podle normy dá vypočítat dvěma způsoby. Prvním způsobem se počítá tzv. přirozené větrání, což odpovídá klasickému otevření okna nebo dveří. Druhým způsobem by se počítalo větrání nucené, které bere v potaz klimatizace anebo ventilátory. Pro náš případ rodinného domu použijeme první způsob, protože se v domě nenachází žádné větrací systémy. Dle normy se vypočítá rovnicí:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2.10)$$

kde  $H_{V,i}$  ... součinitel návrhové tepelné ztráty větráním, u kterého se uvažují konstantní hodnoty hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu odečtené z normy, se spočítá dle rovnice:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad (2.11)$$

kde  $\dot{V}_i$  ... výměna vzduchu při přirozeném větrání ve vytápěném prostoru je hodnota, která udává průtok vzduchu a je definována jako:

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i}) \quad (2.12)$$

kde  $\dot{V}_{inf,i}$  ... množství vzduchu vyměněné infilrací ve vytápěném prostoru  
 $\dot{V}_{min,i}$  ... minimální výměna vzduchu nutná z hygienických důvodů

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (2.13)$$

kde  $n_{50}$  ... intenzita výměny vzduchu za hodinu pro budovu při rozdílu tlaků 50 Pa, odečtené z tabulky D.7 a vybrán pro střední těsnost obvodového pláště budovy pro rodinný dům

$e_i$  ... stínící činitel (stínění prostoru zástavbou), odečtené z tabulky D.8

$\varepsilon_i$  ... výškový korekční činitel zohledňující rychlost proudění vzduchu ve větších výškách nad zemí, odečtené z tabulky D.9 a vybráno pro výšku vytápěného prostoru nad úrovní země do 10 m.

Minimální výměna vzduchu se spočítá podle rovnice:

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad (2.14)$$

kde  $n_{min}$  ... minimální intenzita výměny venkovních vzduchu, stanoví se pro každou místnost z tabulky D.6.

V tabulce 2.7 jsou zapsány výsledky výpočtu tepelné ztráty větráním pro podkrovní pokoj.

Tepelná ztráta větráním pro podkrovní pokoj									
Hygienické množství vzduchu			Infiltrace obvodovým pláštěm budovy				Max. výměna vzduchu	Součinitelel tepelné ztráty větráním	Tepelná ztráta větráním
$V_m$ [m <sup>3</sup> ]	$n_{min}$ [h <sup>-1</sup> ]	$V_{min,i}$ [m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]	$n_{50}$ [h <sup>-1</sup> ]	$e_i$ [h <sup>-1</sup> ]	$\varepsilon_i$ [h <sup>-1</sup> ]	$V_{inf,i}$ [m <sup>3</sup> · h <sup>-1</sup> ]	$V_i$ [h <sup>-1</sup> ]	$H_{V,i}$	$\Phi_{V,i}$
61,586	0,5	30,793	7,000	0,030	1	25,86 6	30,793	10,470	335,028

Tabulka 2.6 výsledky výpočtu tepelné ztráty větráním pro podkrovní pokoj

### 2.2.2.3 Tepelný zátopový výkon

Prostory s přerušovaným vytápěním v době útlumu vyžadují zátopový tepelný výkon k dosažení požadované výpočtové vnitřní teploty. Jeho hodnota je závislá na akumulacních vlastnostech stavby, době zátopu, teplotním poklesu a vlastnostech regulačního systému. [26][27]

Norma obsahuje zjednodušenou metodu výpočtu zátopového tepelného výkonu pro budovy, která se může použít v určených případech a její hodnota se stanoví podle rovnice:

$$\Phi_{hu,i} = A_i \cdot f_{RH,i} \quad (2.15)$$

kde  $A_i$  ... podlahová plocha vytápěného prostoru

$f_{RH,i}$  ... korekční součinitel beroucí v potaz dobu zátopu a předpokládaný pokles vnitřní teploty, odečtený z tabulky D.10 pro pokles teploty o 2 stupně, nízkou intenzitu větrání, vysokou měrnou objemovou kapacitu a 2 hodiny zátopu.

Tepelný zátopový výkon platí pro všechny varianty zateplení a nemění se v průběhu výpočtů. Výpočet tepelného zátopového výkonu se nachází v příloze 2 a výsledek je zapsán v tabulce 2.7.

### 2.2.2.4 Návrhový tepelný výkon

Celkový návrhový tepelný výkon pro vytápěný prostor se vypočítá jako součet tepelných ztrát přestupem, větráním a zátopového výkonu, zapsáno rovnicí:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} \quad (2.16)$$

V tabulce 2.7 jsou zapsány výsledky výpočtu návrhových tepelných ztrát a celkový návrhový výkon. Hodnoty platí pro všechny

Tepelné ztráty pro nezateplený dům				
Místnost a označení	Návrhová tepelná ztráta přestupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Zátopový výkon	Celkový návrhový tepelný výkon
	$\Phi_{T,i} [W]$	$\Phi_{V,i} [W]$	$\Phi_{RH,i} [W]$	$\Phi_{HL,i} [W]$
Kuchyň 101	570	406	125	1101
Koupelna 102	393	319	87	799
Ložnice 103	748	346	318	1412
Jídelna 104	1426	408	375	2209
Obývací pokoj 105	1520	408	375	2303
WC 106	215	24	23	262
Chodba 107	145	0	122	266
Podkrovní pokoj 201	1703	335	330	2368
Celkem	6721	2247	1754	10721

Tabulka 2.7 výsledky výpočtu návrhových tepelných ztrát a celkového výkonu

### 2.2.3 Celková roční spotřeba energie na vytápění

Výpočet spotřeba tepla na vytápění počítá celkovou roční potřebu energie na topnou sezonu v GJ/rok nebo MWh/rok dle lokality, délky otopného období a dalších okrajových podmínek. Výpočet bude probíhat pomocí webového kalkulátoru (Obr. 2.3) a výsledky se porovnají s reálnou spotřebou plynu za poslední roky.

<b>Lokalita (Tabulka)</b>		<input type="radio"/> $t_{em} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ <input checked="" type="radio"/> $t_{em} = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ <input type="radio"/> $t_{em} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ <span style="color: red;">???</span>	
Město	Přerov	Délka topného období	$d = 252$ [dny]
Venkovní výpočtová teplota $t_e =$	$-12$ $^{\circ}\text{C}$	Prům. teplota během otopného období $t_{es} =$	$3.5$ $^{\circ}\text{C}$

<input checked="" type="checkbox"/> <b>Vytápění</b> Tepelná ztráta objektu $Q_C = 10,721$ kW Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 20$ $^{\circ}\text{C}$ <span style="color: red;">???</span> Vytápěcí denostupně $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 4158$ K.dny Opravné součinitele a účinnosti systému $\epsilon_i = 0.85$ <span style="color: red;">???</span> $\eta_o = 0.97$ <span style="color: red;">???</span> $\epsilon_t = 0.90$ <span style="color: red;">???</span> $\eta_r = 0.95$ <span style="color: red;">???</span> $\epsilon_d = 1.00$ <span style="color: red;">???</span> Opravný součinitel $\epsilon$ <span style="color: red;">???</span> <input type="radio"/> $\epsilon = \epsilon_i \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_d = 0.765$ <input checked="" type="radio"/> $\epsilon = 0.71$ $Q_{VYT,r} = \frac{\epsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$ $Q_{VYT,r} = \left( \begin{array}{l} 92.7 \text{ GJ/rok} \\ 25.8 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$	<input type="checkbox"/> <b>Ohřev teplé vody</b> $t_1 =$ <input type="text"/> $^{\circ}\text{C}$ <span style="color: red;">???</span> $\rho =$ <input type="text"/> $\text{kg/m}^3$ <span style="color: red;">???</span> $t_2 =$ <input type="text"/> $^{\circ}\text{C}$ <span style="color: red;">???</span> $c =$ <input type="text"/> $\text{J/kgK}$ <span style="color: red;">???</span> $V_{2p} =$ <input type="text"/> $\text{m}^3/\text{den}$ <span style="color: red;">???</span> Koeficient energetických ztrát systému $z =$ <input type="text"/> <span style="color: red;">???</span> Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody $Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 25.7 \text{ kWh}$ Teplota studené vody v létě $t_{svl} =$ <input type="text"/> $^{\circ}\text{C}$ Teplota studené vody v zimě $t_{svz} =$ <input type="text"/> $^{\circ}\text{C}$ Počet pracovních dní soustavy v roce $N =$ <input type="text"/> [dny] $Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$ $Q_{TUV,r} = \left( \begin{array}{l} 0 \text{ GJ/rok} \\ 0 \text{ MWh/rok} \end{array} \right)$
--	--

<b>Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody</b>
$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} =$ <b>92.7 GJ/rok</b>
<b>25.8 MWh/rok</b>

Obr. 2.3 Webový kalkulátor [33]

Předchozí obrázek ukazuje výpočet celkové roční spotřeby na vytápění dle webového kalkulátoru, vypočtené na základě tepelných ztrát domu a venkovních podmínek. Koeficienty při výpočtu byly voleny tak, aby co nejvíce odpovídaly realitě stavby a otopné soustavy. [32]

- Koeficient  $\eta_o$  - účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy. Volí se v rozmezí 0.9 pro kotelnu na pevná paliva bez rozdělení kotelny na sekce až po 1.0 pro plynovou kotelnu s otopnou soustavou rozdělenou do sekcí. Voleno 0,97, z důvodu vytápění starším plynovým kotlem.
- Koeficient  $\eta_r$  - účinnost rozvodu vytápění. Volí se v rozmezí 0.95 až 0.98 podle provedení. Zvoleno 0,95 kvůli stáří otopné soustavy.

- Koeficient  $\varepsilon$  - Součinitel  $\varepsilon$  je též možné určit z odborné literatury nebo podle vlastních zkušeností. Voleno 0,71, což odpovídá regulaci prostorový termostatem.

Reálná roční spotřeba plynu byla odečtena z faktur za plyn a její hodnota se zprůměrovala ze tří po sobě následujících období na  $2650 \text{ m}^3$ , přepočteno na  $28,2 \text{ MWh}$  za rok.

Celková roční spotřeba energie na vytápění vypočtená z webového kalkulátoru je oproti reálné spotřebě zatížena několika nepřesnostmi, zejména nepřičtením spotřeby plynu na ohřev teplé vody a vaření a vybíráním koeficientů, které jsou ze své podstaty přibližné, aby obsáhly co největší počet možných kombinací okrajových podmínek.

Konečným porovnáním výsledků se dá usuzovat, že výpočet pomocí kalkulátoru se oproti reálné spotřebě výrazně neliší, rozdíl je 8,5 % bez započtení tepla na vaření atd., viz odstavec výše, proto můžeme předpokládat, že výpočet ztrát byl správný, a používat hodnoty z webového kalkulátoru i pro ostatní verze zateplení.

Z poslední faktury za plyn, za období 2017 – 2018, se dá odečíst celková cena s přiřčením měsíčních poplatků. S touto cenou se bude počítat i nadále, protože je velmi náročné odhadnout růst cenu plynu samotného nebo zvyšování cen díky inflaci. Celková cena za zúčtovací období 2017-2018 při spotřebě plynu  $28,210 \text{ MWh/rok}$  byla  $28\,252,670 \text{ Kč}$ , což odpovídá ceně plynu za jednotku  $1001,513 \text{ Kč/MWh}$ , včetně poplatků.

### 3 Návrh opatření pro snížení tepelných ztrát

Tato kapitola se bude zabývat návrhem čtyř opatření pro snížení tepelných ztrát domu a jejich reálným využitím pro zateplení domu. Princip výpočtu ceny spočíval v ručním výpočtu výměry stěn a podlah z plánů domu, v kalkulaci nákladů na materiál pomocí webového kalkulátoru firmy Weber, popř. Isover u půdy, a přiřčením nákladů za práci vypočtené díky informacím na webové stránce zabývající se cenou práce v ČR. U všech variant bude použit extrudovaný polystyren EPS různých tloušťek, kromě půdy, kde budou použita minerální vata. Tepelné izolanty, polystyren a minerální vata, jsou od firmy Isover a doplňkové materiály, např. lepicí hmota, penetrace, jsou od firmy Weber.

#### 3.1 Popis zvoleného zateplení

##### 3.1.1 Zateplení obálky budovy EPS o tloušťce 100 mm

První variantu pro snížení tepelných ztrát jsem zvolil zateplení vnějšího pláště polystyrénem EPS tloušťky 100 mm, kromě zateplení již zateplené části pláště, záchodu, kvůli malé ploše pláště, a neobytých nevytápěných prostor, tzn. schodiště. Výměra je  $150 \text{ m}^2$  a cena je odhadnuta na  $53\,160 \text{ Kč}$  za materiál + odhadnuta na  $61\,650 \text{ Kč}$  za práci a omítku. Celkové náklady jsou tedy  $114\,810 \text{ Kč}$ . [29][30]

##### 3.1.2 Zateplení obálky budovy EPS o tloušťce 200 mm

Druhá možnost pro snížení tepelných ztrát vychází z první varianty, ale tloušťku EPS jsem zvolil 200 mm. Výměra je  $150 \text{ m}^2$  a cena je  $89\,900 \text{ Kč}$  za materiál + odhadnuta na  $61\,650 \text{ Kč}$  za práci a omítku. Celkové náklady jsou  $151\,550 \text{ Kč}$ . [29][30]

### 3.1.3 Zateplení půdy a podkrovního pokoje

Třetí varianta počítá se zateplením podlahy půdy a stěn a stropu podkrovního pokoje ze stran půdy. Protože je půda pochozí, zateplení se bude provádět pomocí technologie STEPcross od firmy Isover v tloušťce 160 mm a jedna stěna podkrovního pokoje bude zateplená 100 mm EPS ze strany půdy. Celková výměra půdy je 110 m<sup>2</sup>, cena za materiál je 34 843 Kč a díky nízké náročnosti provedení je cena práce nulová. Celková výměra stěny je 18 m<sup>2</sup>, cena materiálu je 14 000 Kč a cena práce je odhadnuta na 7400 Kč. Celkově se náklady zastaví na sumě 56 243 Kč. [29][30] [31]

### 3.1.4 Zateplení obálky budovy EPS o tloušťce 100 mm a půdy

Jako poslední variantu jsem zvolil kombinaci první a třetí varianty, tzn. zateplení obálky domu 100 mm EPS a zateplení půdy a podkrovního pokoje, viz varianta tři. Celková výměra stěn je 168 m<sup>2</sup>, výměra půdy je 110 m<sup>2</sup> a celková cena je 171 053 Kč. [29] [31]

## 3.2 Výpočet tepelných ztrát po zateplení

V této kapitole jsou zapsané výsledky součinitele tepelných ztrát a návrhové tepelné ztráty pro podkrovní pokoj, dále výsledky návrhových tepelných ztrát a celkový návrhový tepelný výkon pro celou budovu, vše vypočítané v programu Excel, obdobně jako pro nezateplený dům. Zateplení domu má vliv pouze na tepelné ztráty prostupem, tzn., všechny ostatní druhy ztrát jsou stejné pro všechny typy zateplení.

### 3.2.1 Zateplení obálky budovy EPS o tloušťce 100 mm

První varianta se zabývá výpočtem tepelných ztrát pro zateplení obálky budovy polystyrenem tloušťky 100 mm. Výsledky výpočtu součtu součinitelů tepelné ztráty pro zateplený podkrovní pokoj jsou v tabulce 3.1.

Porovnání výsledků			
Nezateplený pokoj		Zateplený pokoj	
Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$	Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$
$\Sigma H_{T,ie} = 53,233$	1703	$\Sigma H_{T,ie} = 40,965$	1310

Tabulka 3.1 Porovnání výsledků

Z výsledků můžeme vyčíst snížení součtu součinitelů tepelné ztráty do venkovního prostředí přes obálku domu a tepelné ztráty přes obálku domu pro podkrovní pokoj o 23,1 %.

V tabulce 3.2 jsou zapsány výsledky výpočtu tepelných ztrát pro celý dům po zateplení a jejich porovnání s výchozím stavem.

Tepelné ztráty pro zateplení obálky EPS tloušťky 100 mm				
Místnost a označení	Návrhová tepelná ztráta přestupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Zátopový výkon	Celkový návrhový tepelný výkon
	$\Phi_{T,i} [W]$	$\Phi_{V,i} [W]$	$\Phi_{RH,i} [W]$	$\Phi_{HL,i} [W]$
Kuchyň 101	362	406	125	893
Koupelna 102	111	319	87	517
Ložnice 103	451	346	318	1115
Jídelna 104	540	408	375	1323
Obývací pokoj 105	729	408	375	1512
WC 106	215	24	23	262
Chodba 107	145	0	122	266
Podkrovní pokoj 201	1311	335	330	1976
Celkem	3863	2247	1754	7864
Celkem nezateplený	6721	2247	1754	10721

Tabulka 3.2 Tepelné ztráty pro zateplení obálky EPS tloušťky 100 mm

Z výsledků můžeme vidět, že se tepelné ztráty pro celý dům snížily o 26,6 %.

### 3.2.2 Zateplení obálky budovy EPS o tloušťce 200 mm

Druhá varianta se od té první liší jen tloušťkou zateplení, je dvojnásobná. Výsledky výpočtu součtu součinitelů tepelné ztráty pro zateplený podkrovní pokoj jsou v tabulce 3.3.

Porovnání výsledků			
Nezateplený pokoj		Zateplený pokoj	
Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$	Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$
$\Sigma H_{T,ie} = 53,233$	1703	$\Sigma H_{T,ie} = 39,692$	1270

Tabulka 3.3 Porovnání výsledků



Z výsledků můžeme vyčíst snížení součtu součinitelů tepelné ztráty do venkovního prostředí přes obálku domu a tepelné ztráty přes obálku domu pro podkrovní pokoj o 25,4 %.

V tabulce 3.4 jsou zapsány výsledky výpočtu tepelných ztrát pro celý dům po zateplení a jejich porovnání s výchozím stavem.

Tepelné ztráty pro zateplení obálky EPS tloušťky 200 mm				
Místnost a označení	Návrhová tepelná ztráta přestupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Zátopový výkon	Celkový návrhový tepelný výkon
	$\Phi_{T,i}[W]$	$\Phi_{V,i}[W]$	$\Phi_{RH,i}[W]$	$\Phi_{HL,i}[W]$
Kuchyň 101	335	406	125	866
Koupelna 102	73	319	87	479
Ložnice 103	412	346	318	1076
Jídelna 104	424	408	375	1207
Obývací pokoj 105	625	408	375	1408
WC 106	215	24	23	262
Chodba 107	145	0	122	266
Podkrovní pokoj 201	1270	335	330	1935
Celkem	3499	2247	1754	7500
Celkem nezateplený	6721	2247	1754	10721

Tabulka 3.4 Tepelné ztráty pro zateplení obálky EPS tloušťky 200 mm

Z výsledků lze vyčíst, že se tepelné ztráty pro celý dům snížily o 30,0 %.

### 3.2.3 Zateplení půdy a podkrovního pokoje

Třetí varianta se zabývá možností zateplení půdy kamennou vlnou a podkrovního pokoje kamennou vlnou a polystyrenem. Výsledky výpočtu součtu součinitelů tepelné ztráty pro zateplený podkrovní pokoj a porovnání s nezatepleným pokojem jsou v tabulce 3.5.

Porovnání výsledků			
Nezateplený pokoj		Zateplený pokoj	
Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$	Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$
$\Sigma H_{T,ie} = 53,233$	1703	$\Sigma H_{T,ie} = 37,640$	1204

Tabulka 3.5 Porovnání výsledků

Z výsledků můžeme vyčíst snížení součtu součinitelů tepelné ztráty do venkovního prostředí přes obálku domu a tepelné ztráty přes obálku domu pro podkrovní pokoj o 29,3 %.

V tabulce 3.6 jsou zapsány výsledky výpočtu tepelných ztrát pro celý dům po zateplení a jejich porovnání s výchozím stavem.

Tepelné ztráty pro zateplení půdy a podkrovního pokoje				
Místnost a označení	Návrhová tepelná ztráta přestupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Zátopový výkon	Celkový návrhový tepelný výkon
	$\Phi_{T,i} [W]$	$\Phi_{V,i} [W]$	$\Phi_{RH,i} [W]$	$\Phi_{HL,i} [W]$
Kuchyň 101	568	406	125	1099
Koupelna 102	398	319	87	804
Ložnice 103	748	346	318	1412
Jídlna 104	1421	408	375	2204
Obývací pokoj 105	1515	408	375	2298
WC 106	215	24	23	262
Chodba 107	145	0	122	266
Podkrovní pokoj 201	1204	335	330	1870
Celkem	6214	2247	1754	10214
Celkem nezateplený	6721	2247	1754	10721

Tabulka 3.6 Tepelné ztráty pro zateplení půdy a podkrovního pokoje

Z výsledků můžeme vidět, že se tepelné ztráty pro celý dům snížily o 4,7 %.

### 3.2.4 Zateplení obálky budovy EPS tloušťky 100 mm a půdy

Čtvrtá varianta je kombinací zateplení obálky budovy a půdy včetně podkrovního pokoje. Výsledky výpočtu součtu součinitelů tepelné ztráty pro zateplený podkrovní pokoj a porovnání s nezatepleným pokojem jsou v tabulce 3.7.

Porovnání výsledků			
Nezateplený pokoj		Zateplený pokoj	
Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$	Součinitel tepelné ztráty $H_{T,ie} [W \cdot K^{-1}]$	Návrhová tepelná ztráta přestupem $\Phi_{T,i} [W]$
$\Sigma H_{T,ie} = 53,233$	1703	$\Sigma H_{T,ie} = 25,372$	812

Tabulka 3.7 Porovnání výsledků

Z výsledků můžeme vyčíst snížení součtu součinitelů tepelné ztráty do venkovního prostředí přes obálku domu a tepelné ztráty přes obálku domu pro podkrovní pokoj o 52,3 %.

Tepelné ztráty pro zateplení obálky EPS tloušťky 100 mm, půdy a podkrovního pokoje				
Místnost a označení	Návrhová tepelná ztráta přestupem	Návrhová tepelná ztráta větráním	Zátopový výkon	Celkový návrhový tepelný výkon
	$\Phi_{T,i}[W]$	$\Phi_{V,i}[W]$	$\Phi_{RH,i}[W]$	$\Phi_{HL,i}[W]$
Kuchyň 101	360	406	125	891
Koupelna 102	109	319	87	515
Ložnice	451	346	318	1115
Jídelna 104	535	408	375	1318
Obývací pokoj 105	723	408	375	1506
WC 106	215	24	23	262
Chodba 107	145	0	122	266
Podkrovní pokoj 201	812	335	330	1477
Celkem	3349	2246	1753	7349
Celkem nezateplený	6721	2247	1754	10721

Tabulka 3.8 Tepelné ztráty pro kombinaci zateplení

V tabulce 3.8 jsou zapsány výsledky výpočtu tepelných ztrát pro celý dům po zateplení a jejich porovnání s výchozím stavem. Z výsledků můžeme vidět, že se tepelné ztráty pro celý dům snížily o 31,4 %.

## 4 Ekonomické posouzení návrhu

V této kapitole se objeví porovnání celkových ročních spotřeb energie a nákladů pro jednotlivá zateplení. Dále posouzení návratnosti investic do zateplení v rozumném čase.

### 4.1 Investice do zateplení

Tabulka 4.1 porovnává celkové roční spotřeby energie a náklady pro jednotlivá zateplení.

Porovnání tepelných výkonů a cen zateplení					
Varianta zateplení	Nezateplený	Zateplený EPS 100	Zateplený EPS 200	Zateplená půda	Zateplený EPS 100 + půda
Celková roční spotřeba energie [MWh/rok]	25,8	18,9	18	24,5	17,7
Cena zateplení [Kč]	0	114810	151550	56243	171 053
Náklady za plyn [Kč/rok]	25839	18928	18027	24537	17726

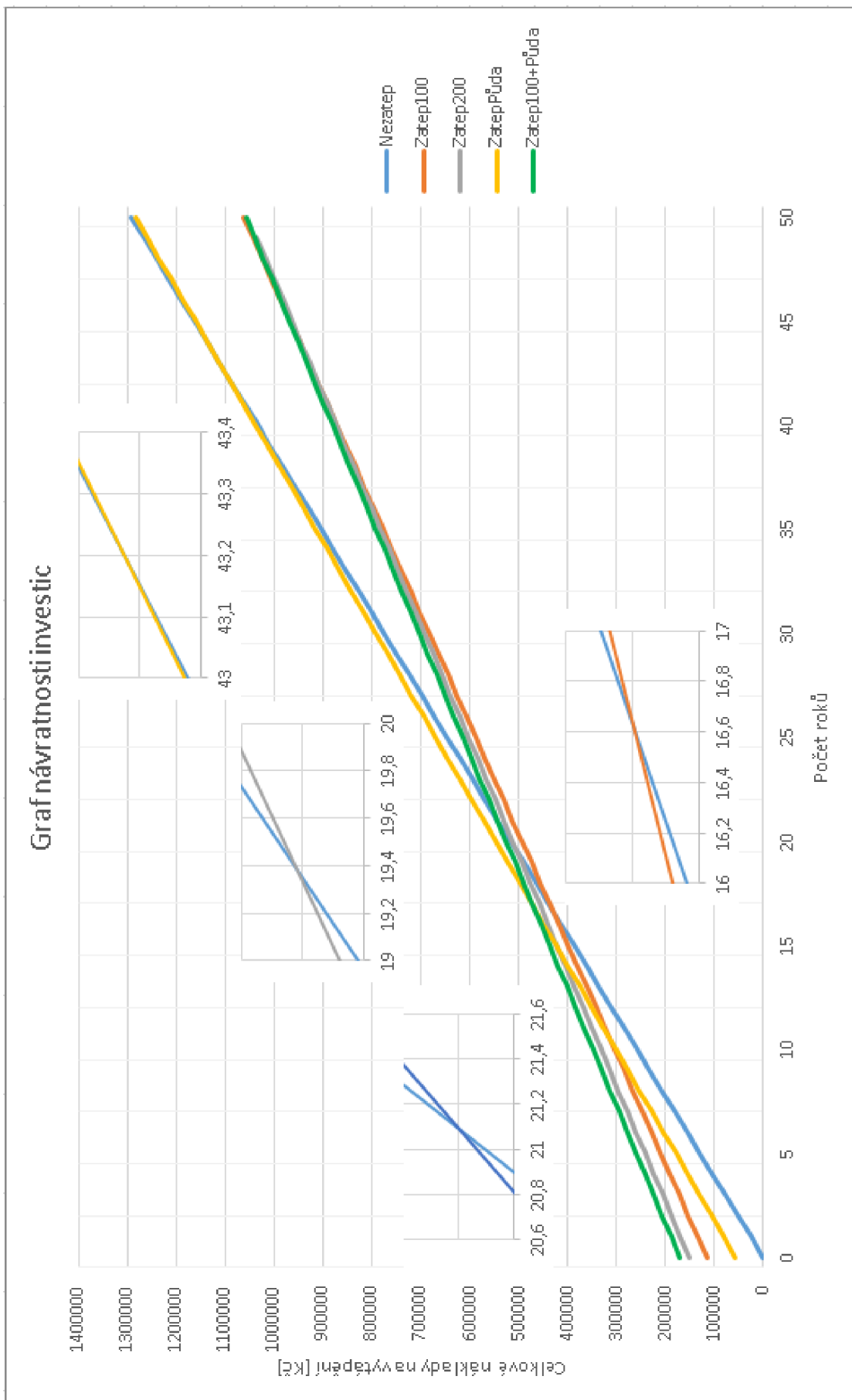
Tabulka 4.1 Porovnání tepelných výkonů a cen zateplení

Zde vidíme, že největší investice do zateplení připadají na poslední variantu zateplení, tzn. zateplení obálky, půdy a podkrovního pokoje, nejmenší pro zateplení půdy. Platí, že největší investice přinesla největší snížení ročních nákladů za plyn, naopak nejmenší investice přinesla minimální snížení.

### 4.2 Posouzení návratnosti investic

Graf 4.1 byl vytvořen z dat v předchozí tabulce pomocí programu Excel a ilustruje, za jak dlouho se vrátí náklady na zateplení, nebo také, kdy se při daném zateplení začíná šetřit oproti nezateplenému domu.

Z grafu je patrné, že nejdříve se nám vrátí náklady investované do zateplení obálky pomocí EPS 100 mm a bude to za 17 let. Návratnost varianty zateplení obálky 200 mm EPS je 20 let a varianty zateplení obálky EPS 100 mm a půdy s podkrovním pokojem je 22 let. Co se týče návratnosti, zůstává poslední varianta zateplení půdy, kde se náklady na zateplení vrátí za 44 let.



Graf 4.1

## 5 Zhodnocení výsledků

V této kapitole se shrnou výsledky z kapitol 5. a 6., porovnájí se mezi sebou a určí se nejlepší možná varianta pro reálné využití. Nejdůležitějším faktorem v hodnocení výsledků v této bakalářské práci je návratnost investic, protože ta je z dlouhodobého hlediska nejjasnějším ukazatelem výhodnosti investice do daných zateplení.

Výchozím stavem domu je dům nezateplený, resp. ne zcela zateplený ze severní strany, s celkovou tepelnou ztrátou 10,7 kW, přepočítanou na spotřebu plynu 25,8 MWh/rok, jejíž cena je 25 839 Kč/rok.

První varianta počítá se zateplením obálky budovy polystyrenem tloušťky 100 mm v celkové ceně 114 810 Kč, s celkovou tepelnou ztrátou 7,8 kW, přepočtenou na spotřebu plynu 18,9 MWh/rok, jejíž cena je odhadnuta na 18928 Kč/rok, a návratností 17 let.

Druhá varianta počítá se zateplením obálky budovy polystyrenem tloušťky 200 mm v celkové ceně 151 550 Kč, s celkovou tepelnou ztrátou 7,5 kW, přepočtenou na spotřebu plynu 18 MWh/rok, jejíž cena je odhadnuta na 18027 Kč/rok, a návratností 20 let.

Třetí varianta počítá se zateplením půdy a podkrovního pokoje v celkové ceně 56243 Kč, s celkovou tepelnou ztrátou 10,2 kW, přepočtenou na spotřebu plynu 24,5 MWh/rok, jejíž cena je odhadnuta na 24537 Kč/rok, a návratností 44 let.

Čtvrtá varianta počítá se zateplením obálky budovy polystyrenem tloušťky 100 mm a zateplením půdy a podkrovního pokoje v celkové ceně 171 053 Kč, s celkovou tepelnou ztrátou 7,4 kW, přepočtenou na spotřebu plynu 17,7 MWh/rok, jejíž cena je odhadnuta na 17726 Kč/rok, a návratností 22 let.

V návratnosti investic se ukázalo jako nejlepší zateplení obálky domu polystyrenem tloušťky 100 mm, i když nebylo nejlepší v žádné jiné oblasti, protože mělo nejlepší poměr počáteční investice, tepelných ztrát a spotřeby plynu za rok.

Druhá varianta, vycházející z první, měla dobu návratnosti investic do zateplení o 2 roky kratší než varianta čtvrtá, a i přes relativně velkou počáteční investici a malému poklesu tepelných ztrát oproti první variantě je tedy tato varianta druhá v návratnosti investic.

Varianta třetí měla nejmenší základní investici do zateplení, ale také nejmenší snížení tepelných ztrát, tvořící největší náklady za roční spotřebu plynu, proto má relativně k ostatním velmi dlouhou návratnost investic.

Co se týče tepelných ztrát, roční spotřeby plynu a cenou za roční spotřebu plynu, nejmenších hodnot dosahovalo zateplení čtvrté, tzn. kombinace zateplení obálky a půdy s podkrovním pokojem. Díky vysokým počátečním nákladům na zateplení a malému poklesu tepelných ztrát oproti první i druhé variantě je tato varianta až třetí v návratnosti investic.

V jednotlivých částech práce se objevují některé nedokonalosti výpočtů. Kvůli stáří domu se nedochovaly přesné výkresy a u výpočtů odporu při přestupu tepla se někdy vycházelo z kvalifikovaného odhadu skladby stěn a stropů. Dále při výpočtu spotřeby energie na vytápění se počítalo s výsledky z webového kalkulátoru, i když byla známa reálná spotřeba, protože se do této spotřeby započítával ohřev teplé vody, kvalifikovaně odhadnut na max. 10 % spotřeby, což p odečtu od celkové spotřeby odpovídalo výsledku z kalkulátoru.

## Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala tepelnými ztrátami rodinného domu a jejich eliminací. V úvodní části bylo cílem shrnout fyzikální základy k prostupu tepla materiály, poté sepsat rešerši izolačních materiálů, které jsou ideální pro snížení tohoto prostupu materiálem. Prostřední část práce se zabývala konstrukcí rodinného domu, na kterou navazovalo počítání součinitele prostupu tepla a končilo výpočtem tepelných ztrát a spotřeby plynu pro celý dům, ze kterého vycházel návrh několika verzí zateplení pro snížení těchto ztrát a spotřeb. Práce končí shrnutím a porovnáním výsledků pro vybrané druhy zateplení.

Po provedené rešerši bylo pro návrhy variant zateplení vybráno zateplení pro obálku budovy pomocí extrudovaného polystyrenu (EPS) a pro oblast půdy technologie STEPcross, která používá minerální vatu, oba tepelné izolanty od firmy Isover a doplňkové materiály od firmy Weber. Následoval výpočet pro čtyři různé návrhy zateplení, bylo to zateplení obálky domu EPS tloušťky 100 mm, 200 mm, zateplení půdy a zateplení obálky EPS tloušťky 100 mm včetně zateplení půdy vjednom.

Výpočet tepelných ztrát prostupem, větráním a tepelného výkonu probíhal v programu Excel na základě informací z normy ČSN EN 12 831-1, přepočítal se na spotřebu plynu za rok webovým kalkulátorem a spočítaly náklady na plyn za rok. Podle těchto nákladů se určila návratnost investice do jednotlivých zateplení. Výsledky výpočtů pro nezateplený dům byly u tepelných ztrát 10,7 kW, přepočítány na cenu plynu 25 839 Kč/rok. První opatření počítá se zateplením obálky budovy EPS tloušťky 100 mm s celkovou tepelnou ztrátou 7,8 kW, přepočítanou na cenu plynu 18928 Kč/rok, a návratností 17 let. Druhá varianta počítá se zateplením obálky budovy EPS tloušťky 200 mm s tepelnou ztrátou 7,5 kW, přepočtenou na cenu plynu 18027 Kč/rok, a návratností 20 let. Třetí varianta počítá se zateplením půdy a podkrovního pokoje s celkovou tepelnou ztrátou 10,2kW, přepočtenou na cenu plynu 24537 Kč/rok, a návratností 44 let. Čtvrtá varianta počítá se zateplením obálky budovy polystyrenem tloušťky 100 mm a zateplením půdy a podkrovního pokoje s celkovou tepelnou ztrátou 7,4 kW, přepočtenou na cenu plynu 17726 Kč/rok, a návratností 22 let.

Jedním z hlavních cílů této práce bylo vybrat nejlepší variantu zateplení pro rodinný dům. Po výpočtech a srovnání výsledků vyšlo jako nejlepší řešení zateplení obálky domu pomocí polystyrenu tloušťky 100 mm s návratností 17 let. Tato doba by ale neodpovídala realitě, protože se nepočítá se zvyšováním cen za energie a inflací. I když by se se zvyšováním cen energií doba návratnosti zmenšovala, celkové náklady za plyn by se zvětšily. Přesto tato návratnost svědčí z dlouhodobého hlediska o tom, že by se investice do takového zateplení měla provést, jelikož doba bydlení bývá častokrát delší, nehledě na to, že by zateplená stavba měla větší hodnotu na trhu.



## Zdroje

- [1] Energetická náročnost budov. *Státní energetická inspekce* [online]. Praha: Státní energetická inspekce [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.cresei.cz/?portofolio=kontrolujeme-penb>
- [2] Průkaz energetické náročnosti budovy. *Průkaz energetické náročnosti budovy* [online]. Wikipedie: Otevřená encyklopedie, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFkaz\\_energetick%C3%A9\\_n%C3%A1ro%C4%8Dnosti\\_budovy](https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFkaz_energetick%C3%A9_n%C3%A1ro%C4%8Dnosti_budovy)
- [3] MACHOLDA, František a Karel SRDEČNÝ. Průkaz energetické náročnosti budovy. *EkoWATT* [online]. 2008 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/prukaz-energeticke-narocnosti-budovy>
- [4] ELCNER, J. *Porovnání výpočtu tepelných ztrát dle ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Košner, Ph.D.
- [5] ŠUBRT, Roman. Co je tepelná ztráta objektu a výpočet potřeby tepla na vytápění. *Revitalizace* [online]. Revitalizace.com, 2011, 31.1. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.revitalizace.com/teorie-vypocty/co-je-tepelna-ztrata-objektu-a-vypocet-potreby-tepla-na-vytapeni/>
- [6] COPEK, Tomáš. *Přestup tepla na skrápěném trubkovém svazku* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2014 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=85684](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=85684). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [7] Průkaz energetické náročnosti budovy a energetický audit. *Tzbinfo* [online]. tzbinfo, 2013 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/10584-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-a-energeticky-audit>
- [8] VYPLEL, Michal. *VLIV PROVEDENÍ ZATEPLENÍ NA BYTOVÝ DŮM V ŽIDENICÍCH* [online]. Brno, 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/66428/DP\\_Textova\\_cast\\_Michal\\_Vyplel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/66428/DP_Textova_cast_Michal_Vyplel.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství.
- [9] STEMPEL, Ulrich E. *Zateplení a rekonstrukce rodinného domu*. Praha: Grada, 2014, 157 s. : barev. il., plány ; 24 cm. ISBN 978-80-247-4808-5.
- [10] ŤUKA, Jiří. *Vliv provedení zateplení domu pro seniory ve Šternberku na výdaje spojené s jeho provozem* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Ústav soudního inženýrství, 2017 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=149124](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=149124). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství.
- [11] Tepelné izolace: Polystyren, minerální vata a další. *Nazeleno.cz* [online]. Nazeleno.cz, 2010 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace-2/tepelne-izolace-polystyren-mineralni-vata-a-dalsi.aspx>
- [12] Historie izolačních systémů. *EZIN Speciál - Tepelné izolace* [online]. EZIN Speciál - Tepelné izolace, © 2009 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://ezin-tepelne-izolace.pronasdum.cz/index.php?p=historie-izolacnich-systemu>

- [13] RYDLO, Pavel. Nová generace tepelných izolantů pro zateplovací systémy ETICS. *Isover* [online]. Isover, 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/aktuality/nova-generace-tepelnych-izolantu-pro-zateplovaci-systemy-etics>
- [14] Konopná Izolace. *Zateplení fasád.eu* [online]. Zofí fasády, ©2011 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.zatepleni-fasad.eu/tepelna-izolace/konopna-izolace/>
- [15] KATALOG TEPELNÝCH IZOLACÍ. *Izolace-info* [online]. Izolace-info, ©2008-2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/>
- [16] Tepelný izolant. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%BD\\_izolant](https://cs.wikipedia.org/wiki/Tepeln%C3%BD_izolant)
- [17] Hydroizolace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydroizolace>
- [18] PRUŽNÁ IZOLACE S ANTIMIKROBIÁLNÍ OCHRANOU. *Azflex* [online]. Šroda Śląska: Armacell [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.azflex.sk/wp-content/uploads/af-armaflex-microbance.pdf>
- [19] Zateplení kontaktní fasády minerální vlnou. *Isover* [online]. Isover, ©2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/aplikace/zatepleni-fasady/zatepleni-kontaktni-fasady-mineralni-vlnou>
- [20] Pěnové sklo – tepelná izolace pro jednodušší a levnější stavební řešení. *Stavebnictví3000.cz* [online]. Hradec Králové: Stavebnictví3000.cz, 2011 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/penove-sklo-tepelna-izolace-pro-jednodussi-a-levnejsi-stavebni-reseni>
- [21] ČSN EN 12831. *TZB-info* [online]. Praha: TZB-info, ©2001-2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/normy/csn-en-12831-2005-03>
- [22] Jaké výhody má minerální vlna jako tepelná izolace domu?. *Nazeleno.cz* [online]. Nazeleno.cz, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/jake-vyhody-ma-mineralni-vlna-jako-tepelna-izolace-domu/>
- [23] SROVNÁNÍ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ. *Teplá pěna* [online]. Jablonné v Podještědí: tepla-pena.cz, 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.tepla-pena.cz/srovnani-izolacnich-materialu/>
- [24] ZÁKLADNÍ PŘEHLED TEPELNĚ IZOLAČNÍCH MATERIÁLŮ. *ISTAVITEL* [online]. istavitel.cz, 2009 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zakladni-prehled-tepelne-izolacnich-materialu\\_80](http://istavitel.cz/clanek/izolace/tepelne-izolace/zakladni-prehled-tepelne-izolacnich-materialu_80)
- [25] BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012 [cit. 2019-05-22]. ISBN ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: <http://upload.epax.cz/materialy.pdf>
- [26] ELCNER, Jakub. *Porovnání výpočtu tepelných ztrát dle ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2008, 78 stran, 56 stran obrazových příloh + 1 CD-ROM. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. JAN KOŠNER, Ph.D.

- [27] ČSN EN 12831-1 - Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. 1. Praha: Český normalizační institut, 2018.
- [28] Součinitel prostupu tepla a součinitel spárové průvzdušnosti oken a dveří dle ČSN 73 0540-3 (1994). *TZB-info* [online]. Praha: TZB-info, ©2001-2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/32-soucinitel-prostupu-tepla-a-soucinitel-sparove-pruvzdušnosti-okna-a-dveri-dle-csn-73-0540>
- [29] Výběr systému. *Weber Kalkulátor* [online]. Praha: Weber, c2018 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [https://www.weber-kalkulator.cz/step2/?\\_fid=5xbs](https://www.weber-kalkulator.cz/step2/?_fid=5xbs)
- [30] ZEDNÍCI. *Cenikyremesel* [online]. Praha: cenikyremesel [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.cenikyremesel.cz/ceniky/zednici>
- [31] Kalkulačka zateplení. *E-isover* [online]. Praha: Isover [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.e-isover.cz/kalkulacka-eshop>
- [32] REINBERK, Zdeněk. Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *Vytapeni.tzb-info* [online]. TZB-info [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [33] Index of /vyucujici/51/tepelne-ztraty. *Tzb.fsv.cvut* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, 2016 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/51/tepelne-ztraty/>

## Seznam veličin

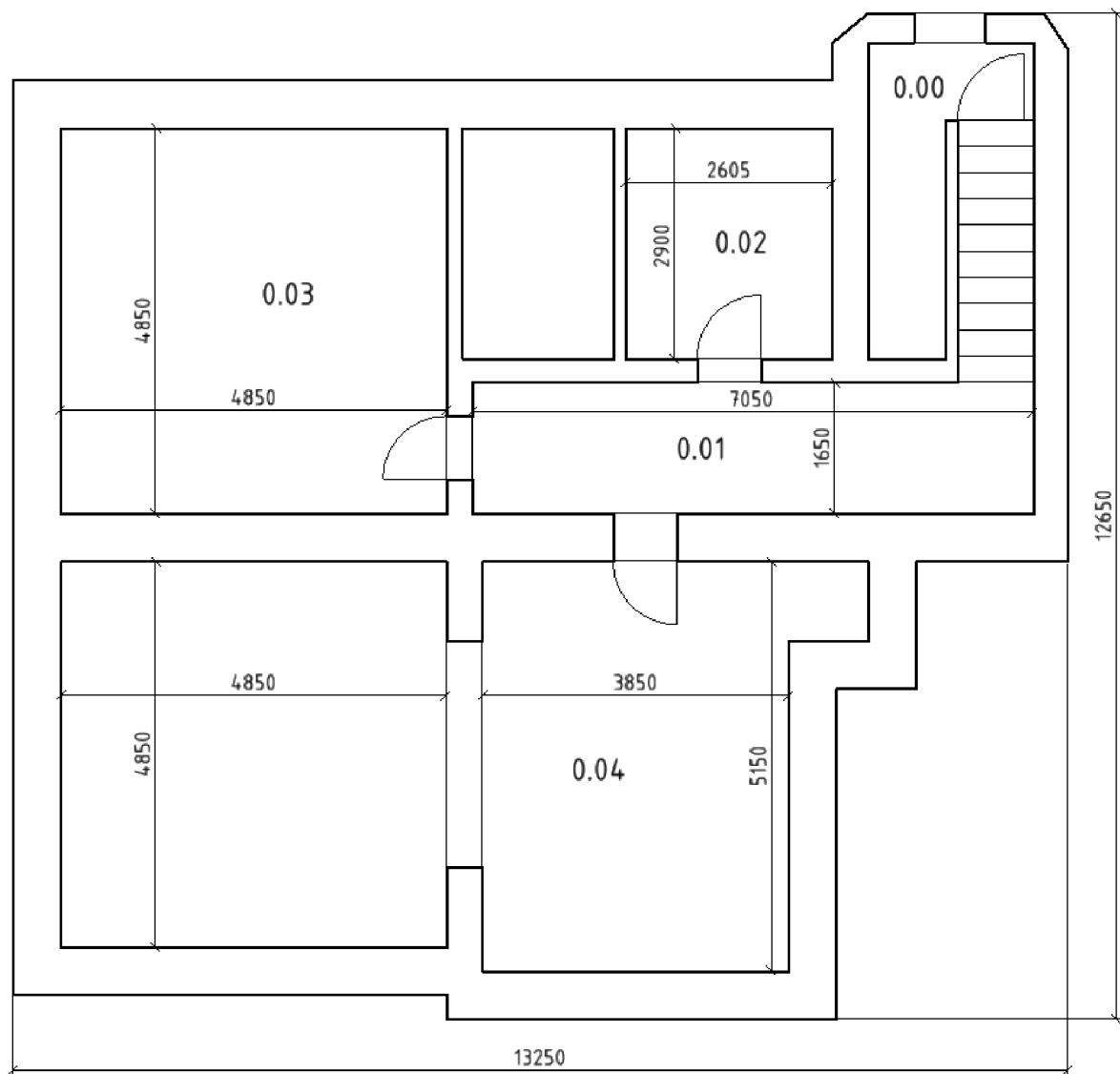
Symbol	Veličina	Jednotka
$A_i$	Podlahová plocha	$m^2$
$A_k$	Plocha místnosti	$m^2$
$A_g$	Plocha podlahové konstrukce	$m^2$
$B'$	Charakteristický parametr	$m$
$b_u$	Teplotní redukční činitel	<i>dn</i>
$c$	Měrná tepelná kapacita	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$d$	Počet dnů, kdy je dům vytápěn	$K \cdot dn$
$D$	Vytápěcí denostupně	—
$e_i$	Stínící součinitel	—
$e_k$	Korekční činitel povětrnostních vlivů	—
$f_{g1}$	Korekční činitel zohledňující vliv ročních změn	—
$f_{g2}$	Korekční činitel zohledňující rozdíl mezi roční	—
$f_{ij}$	Redukční teplotní součinitel korigující teplotní rozdíl mezi	—
$f_{RH}$	Zátopový součinitel	—
$G_w$	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody	—
$H_{T,ie}$	Součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes obálku domu	$W \cdot K^{-1}$
$H_{T,ig}$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do zeminy	$W \cdot K^{-1}$
$H_{T,ij}$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do vedlejších vytápěných prostor s velmi odlišnou teplotou	$W \cdot K^{-1}$
$H_{T,iue}$	Součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru do venkovního prostředí skrz nevytápěný prostor	$W \cdot K^{-1}$
$H_{v,i}$	Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním	$W \cdot K^{-1}$
$n_{50}$	Součinitel intenzity výměny vzduchu	$h^{-1}$
$n_{min}$	Součinitel intenzity minimální výměny vzduchu	$h^{-1}$
$P$	Obvod dané podlahové konstrukce	$m$
$R_T$	Tepelný odpor konstrukce	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$R_{se}$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$R_{si}$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
$t$	Tloušťka materiálu	$m$
$U_k$	Součinitel prostupu tepla	$m^{-2} \cdot W \cdot K^{-1}$
$U_{equiv}$	Ekvivalentní součinitel přestupu tepla stavební části	$m^{-2} \cdot W \cdot K^{-1}$
$V_i$	Objem místnosti	$m^3$
$\dot{V}$	Průtok vzduchu	$m^3 \cdot h^{-1}$
$\dot{V}_i$	Výměna vzduchu při přirozeném větrání ve vytápěném prostoru	$m^3 \cdot h^{-1}$
$V_{inf,i}$	Množství vzduchu vyměněné infiltrací ve vytápěném prostoru	$m^3 \cdot h^{-1}$

$V_{\min,i}$	Minimální výměna vzduchu nutná z hygienických důvodů	$m^3 \cdot h^{-1}$
$\epsilon_i$	Výškový korekční součinitel	—
$\eta_o$	Účinnost obsluhy, možnosti regulace soustavy	%
$\eta_r$	Účinnost rozvodu vytápění	%
$\theta_e$	Výpočtová venkovní teplota	$^{\circ}C$
$\theta_{es}$	Průměrná venkovní teplota	$^{\circ}C$
$\theta_{\text{int},i}$	Výpočtová teplota vytápěné místnosti	$^{\circ}C$
$\theta_{m,e}$	Průměrná roční teplota pro danou oblast	$^{\circ}C$
$\theta_{m,\text{int}}$	Průměrná vnitřní teplota	$^{\circ}C$
$\theta_u$	Teplota nevytápěné místnosti	$^{\circ}C$
$\theta_{\text{sous,prost}}$	Teplota sousedního vytápěného prostoru	$^{\circ}C$
$\lambda$	Součinitel tepelné vodivosti	$W \cdot m^{-2}K^{-1}$
$\rho$	Hustota	$kg \cdot m^{-3}$
$\xi\Phi_{HL}$	Celkový návrhový tepelný výkon	$W$
$\Phi_{RH}$	Návrhový tepelný zátopový výkon	$W$
$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem	$W$
$\Phi_{V,i}$	Návrhová tepelná ztráta větráním	$W$

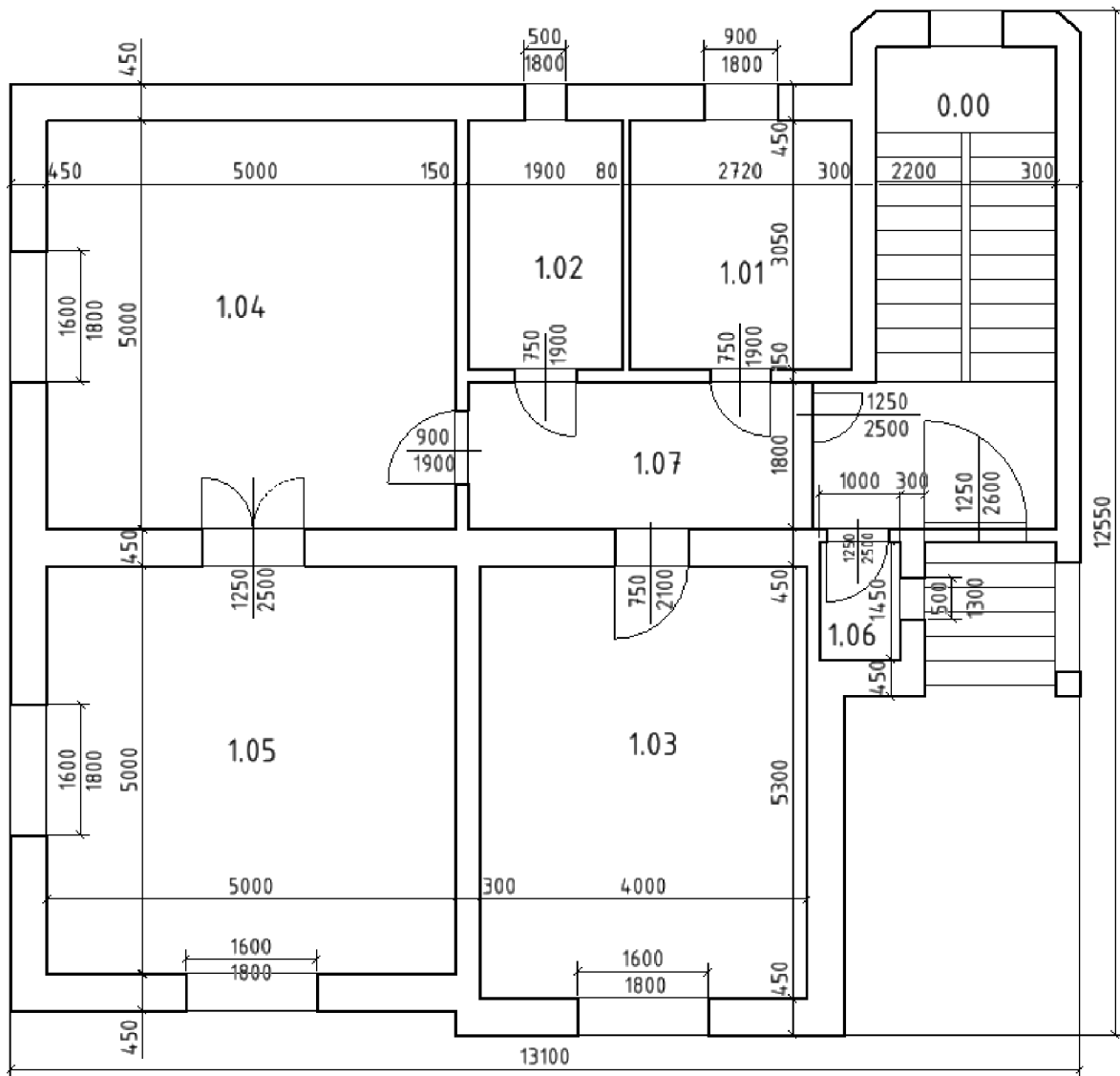
## Seznam příloh

- 1 Půdorysy jednotlivých pater a bokorys domu
- 2 Výpočty odporu při přestupu tepla, zátopového výkonu a tepelných ztrát – Pouze elektronická verze na CD

## Příloha 1

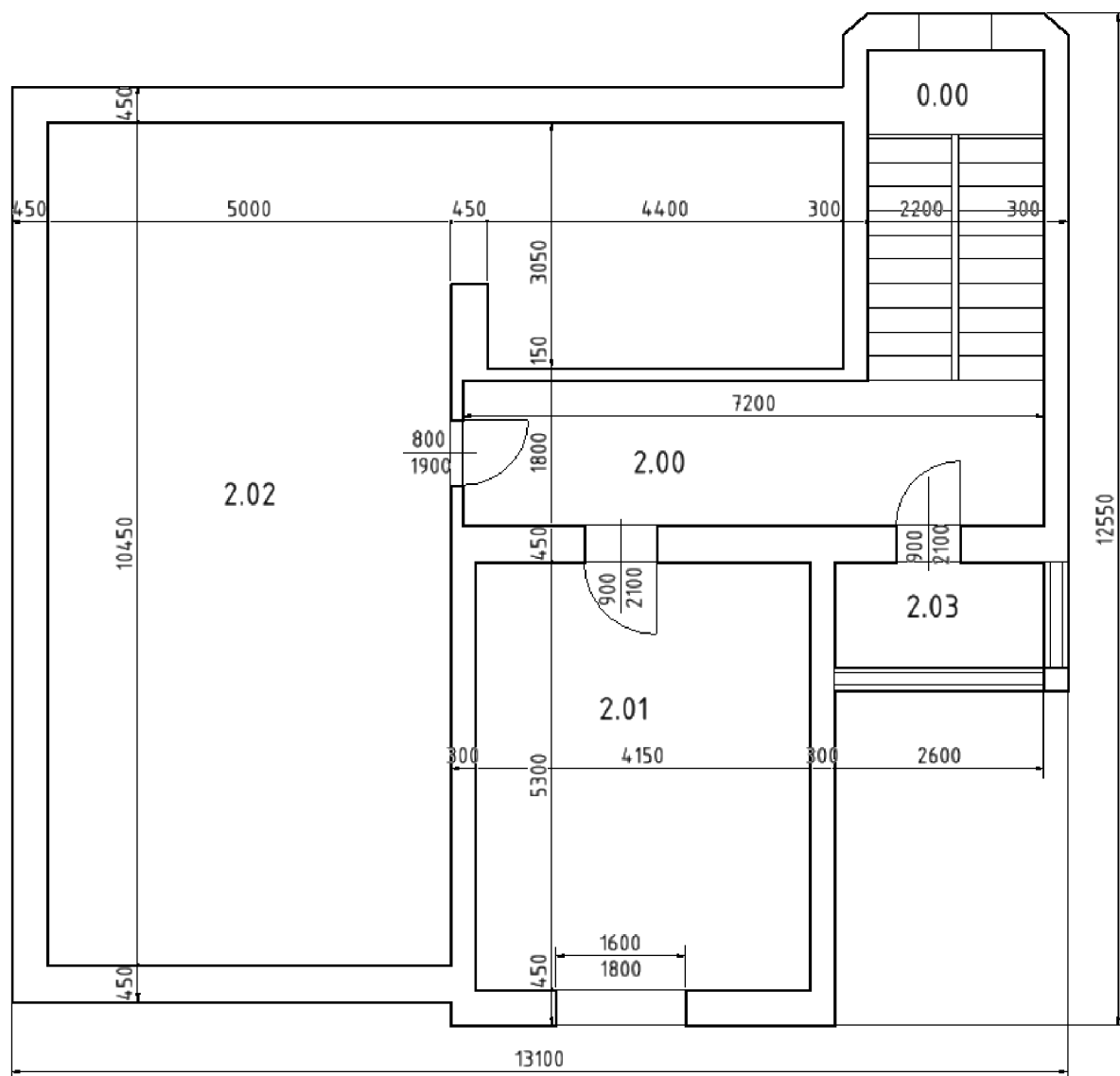


Obr. P1.1 Půdorys sklepa

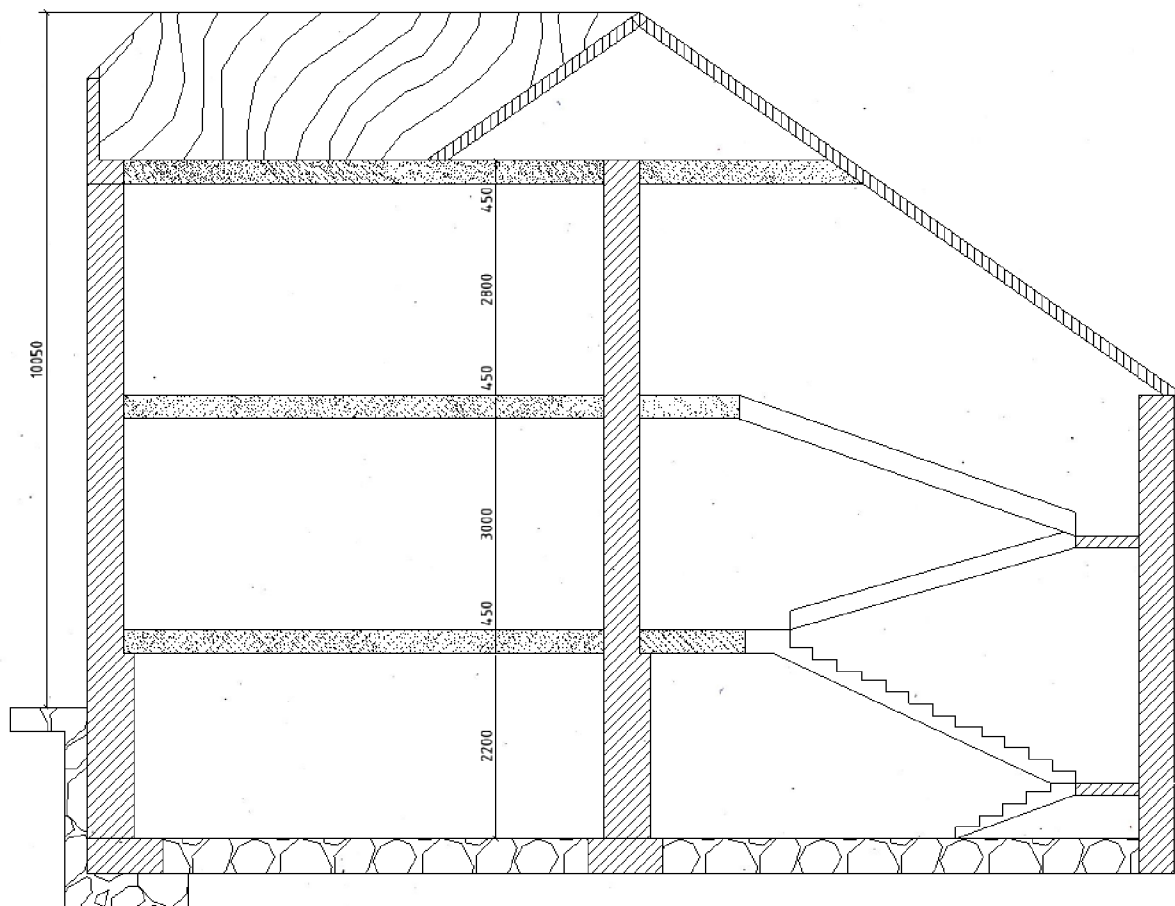


Obr. P1.2 Půdorys přízemí





Obr. P1.3 Půdorys prvního patra



Obr. P1.4 Bokorys domu