

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

Energetická náročnost rodinných domů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Matěj Rambousek Č. 6-TZSI-2023

Vedoucí práce: Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Rambousek** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **501360**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energetická náročnost rodinných domů

Název bakalářské práce anglicky:

Energy Performance of Family Houses

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte rešerši energetické náročnosti tří různých rodinných domů s ohledem na potřebu tepla na vytápění, přípravu teplé vody a osvětlení. Zaměřte se na dosažení nízkoenergetického či pasivního standartu budov. Pro systém větrání využijte systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Věnujte se podrobněji tepelně technickým možnostem stavby na dosažení co nejnižší energetické náročnosti. Jako možný zdroj tepla uvažujte tepelné čerpadlo vzduch-voda, kondenzační plynový kotel a kotel na biomasu. Na základě dosažených výsledků zpracujte základní ekonomickou analýzu jednotlivých variant s ohledem na zvolený typ zdroje tepla. Návrh zdroje tepla není součástí zadání, ale jeho typ bude sloužit pouze pro ekonomickou analýzu s ohledem na typ paliva.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, MPO ČR 2020.
- [2] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [3] ČSN EN ISO 52016-1. Energetická náročnost budov – Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony. –
- [4] ČSN EN 12831-1. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu.
- [5] ČSN EN 12831-3. Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu .

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:


Ing. Roman Vavříčka, Ph.D. ústav techniky prostředí FS


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

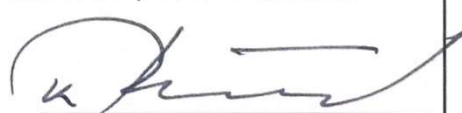
Datum zadání bakalářské práce: **20.03.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce:


Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

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.

20.3.2023

Datum převzetí zadání

Rambousek

Podpis studenta

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá energetickou náročností typických rodinných domů a jejich ekonomickou rozvahou. Jsou použity různé varianty stavebních konstrukcí s odlišnými tepelně-technickými vlastnostmi. Práce řeší celkovou potřebu energie po zohlednění potřeby tepla na vytápění, vzduchotechniky, teplou vodu, provoz domácnosti a využití tepelných zisků. V závěru jsou porovnány investiční a provozní náklady při použití různých zdrojů energie.

Summary

The bachelor thesis is focused on energy demands of typical family houses and their economic considerations. Multiple variants of building constructions with various technological properties have been used. The thesis handles total energy needs after including heating, air conditioning, hot water, electricity for household and usage of heat gains. Finally, the investment and operating costs are compared for various heat sources.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Energetická náročnost rodinných domů“ vypracoval(a) samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 5.6.2023

Matěj Rambousek

Obsah

Souhrn.....	3
Summary.....	3
Soupis použitého značení.....	7
1. Úvod.....	10
2. Hodnocení energetické náročnosti budov	11
2.1. Nízkoenergetický dům	11
2.2. Budova s téměř nulovou spotřebou energie	11
2.3. Pasivní dům.....	12
2.4. Budova s velmi nízkou energetickou náročností	12
3. Modelové budovy.....	13
3.1. Popis jednotlivých zvolených architektonických řešení	13
3.1.1. Dům Mauna.....	13
3.1.2. Dům Pisa	14
Dům Kamona.....	15
4. Použité konstrukce.....	16
4.1. Určení součinitele prostupu tepla.....	16
4.2. Svislé konstrukce	17
4.3. Horizontální konstrukce	18
4.4. Konstrukce střechy.....	20
4.5. Výplně otvorů.....	21
5. Výpočet tepelných ztrát.....	22
5.1. Tepelná ztráta prostupem tepla	22
5.2. Tepelná ztráta větráním.....	23
6. Výpočet tepelných zisků.....	26
6.1. Solární tepelné zisky	26
6.1.1. Neprůhledné prvky	26
6.1.2. Průhledné prvky.....	28
6.2. Vnitřní tepelné zisky	28
7. Celková bilance potřeby tepla pro vytápění	29
7.1. Celkové tepelné zisky a ztráty.....	29
7.2. Využitelnost tepelných zisků	30
7.3. Celková potřeba tepla na vytápění	32
8. Potřeba dalších energií pro domácnost.....	34
8.1. Teplá voda.....	34
8.2. Elektřina	34
9. Porovnání variant konstrukcí.....	35

10. Porovnání zdrojů tepla	37
10.1. Použité zdroje tepla	37
10.2. Návratnosti různých zdrojů	37
11. Závěr	39
Seznam zdrojů.....	40
Seznam obrázků.....	42
Seznam tabulek	42
Seznam grafů	43
Přílohy.....	43

Soupis použitého značení

a_H	Parametr porovnávající časové konstanty	[-]
$a_{H,0}$	Parametr porovnávající časové konstanty	[-]
$a_{H,red}$	Redukční faktor na přerušované vytápění	[-]
$A_{c_{pohledová}}$	Plocha stěny vystavená solárnímu působení	$[m^2]$
A_k	Plocha konstrukce	$[m^2]$
A_{sol}	Efektivní sběrná plocha specifické orientace	$[m^2]$
B'	Charakteristický parametr	$[m]$
c_{vod}	Tepelná kapacita vody	$[kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
c_{vzd}	Tepelná kapacita vzduchu	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
C_m	Vnitřní tepelná kapacita budovy	$[J \cdot K^{-1}]$
d_n	Tloušťka vrstvy stavební konstrukce	$[m]$
e_i	Koeficient chránění	[-]
F_f	Podíl rámu na celkové ploše okna	[-]
$F_{r,i}$	Faktor sálání mezi konstrukcí a oblohou	[-]
F_{sh}	Korekce stínění na externí překážky	[-]
$F_{sh,gl}$	Korekční součinitel stínění, typicky 0,7	[-]
F_w	Korekce pro rozptyl zasklení	[-]
g	Solární faktor zasklení	[-]
g_n	Propustnost zasklení	[-]
h_r	Zpětné sálání pro průměrnou teplotu	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$H_{V,i}$	Měrný tepelný tok větráním	$[W \cdot K^{-1}]$
H_T	Měrný tepelný tok prostupem a infiltrací celé budovy	$[kW \cdot K^{-1}]$
$H_{V,i}$	Měrný tepelný tok větráním jednotlivých místnosti	$[kW \cdot K^{-1}]$
I_{sol}	Solární záření za měsíc na specificky orientovanou plochu	$[kWh \cdot m^2]$
n_{hod}	Počet hodin v měsíci	$[h]$
n_{50}	Výměna vzduchu při tlaku 50 Pa	$[h^{-1}]$
os	Počet osob	[-]
O_{pdl}	Obvod podlahy přiléhající venkovnímu prostředí	$[m]$
Q_{Hgn}	Celkový tepelný zisk za daný měsíc	$[kWh]$
$Q_{H,ht}$	Celková potřeba tepla v daném měsíci	$[kWh]$
$Q_{H,int}$	Vnitřní tepelný zisk za měsíc	$[W]$
$Q_{H,nd}$	Celková měsíční potřeba tepla na vytápění	$[kWh]$
$Q_{H,sol}$	Solární tepelný zisk za daný měsíc	$[kWh]$
Q_{HT}	Potřeba tepla na vytápění a infiltraci v daném měsíci	$[kWh]$
Q_{Hv}	Potřeba tepla na větrání v daném měsíci	$[kWh]$
Q_{inf}	Tepelná ztráta infiltrací	$[W]$

Q_{os}	Produkce tepla jednoho člověka	[W]
$Q_{T,i}$	Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru (i) prostupem	[W]
$Q_{T,ia}$	Ztráta do sousedních vytápěných prostor (a)	[W]
$Q_{T,ie}$	Ztráta do venkovního prostředí (e)	[W]
$Q_{T,iaBE}$	Ztráta do sousedních funkčních částí budovy (aBE)	[W]
$Q_{T,iae}$	Ztráta přes sousední nevytápěné prostory nebo budovy (a)	[W]
$Q_{T,ig}$	Ztráta do zeminy (g)	[W]
Q_{Tk}	Tepelná ztráta prostupem konstrukcí	[W]
Q_{TVden}	Denní potřeba tepla na ohřev vody	[kWh]
Q_v	Celková tepelná ztráta větráním	[W]
R_f	Tepelný odpor podlahy	[m ² · K · W ⁻¹]
R_n	Tepelný odpor n-té vrstvy konstrukce	[m ² · K · W ⁻¹]
R_{se}	Vnější tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² · K · W ⁻¹]
R_{si}	Vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² · K · W ⁻¹]
S_{pdl}	Plocha podlahy v počítané místnosti	[m ²]
t_e	Venkovní návrhová teplota	[°C]
t_{em}	Průměrná teplota venkovního prostředí daného měsíce	[°C]
t_i	Vnitřní návrhová teplota	[°C]
t_{ip}	Vážená průměrná teplota vytápěných prostorů budovy	[°C]
t_{ke}	Teplota za konstrukcí	[°C]
t_1	Vstupní teplota vody	[°C]
t_2	Požadovaná teplota vody	[°C]
U	Součinitel prostupu tepla	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
U_g	Součinitel prostupu tepla sklem	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
U_k	Součinitel prostupu tepla určen rovnicemi (1,4,5)	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
U_{pdl}	Součinitel prostupu tepla podlahou	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
U_w	Součinitel prostupu tepla oknem	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
V_{in}	Přívod čerstvého vzduchu do místnosti	[m ³ · h ⁻¹]
V_{inf}	Infiltrační průtok vzduchu	[m ³ · h ⁻¹]
V_m	Objem místnosti	[m ³]
V_{TVos}	Požadavek teplé vody na osobu	[l · den ⁻¹ · os ⁻¹]
w	Celková tloušťka obvodových stěn	[m]
z	Poměrový koeficient ztrát	[-]
$\alpha_{i,e}$	Součinitel přestupu tepla na povrchu konstrukce	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
$\alpha_{s,c}$	Pohltivost slunečního záření	[-]
β	Sklon konstrukce	[°]
Δt_{er}	Rozdíl teplot, 11 °K pro mírné teplotní pásmo	[°K]

ΔU_k	Korekce zohledňující tepelné mosty	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
ϵ_i	Korekční činitel výšky	[-]
η	Účinnost zpětného získávání tepla	[%]
$\eta_{H,gn}$	Faktor využitelnosti tepelných zisků	[-]
λ	Součinitel tepelné vodivosti materiálu	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
λ_n	Součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
λ_{zem}	Součinitel tepelné vodivosti zeminy	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
ρ_{vod}	Hustota vody	$[kg \cdot m^{-3}]$
ρ_{vzd}	Hustota vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
τ	Časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	Referenční časová konstanta budovy	[h]
	měsíční metody	[h]
ϕ_r	Sálání vůči obloze	[W]

1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je porovnání a analýza architektonických provedení rodinných domů při použití různých konstrukčních provedení stavebních prvků. S ohledem na dlouhodobě rostoucí ceny energií a jejich skokový růst v posledních letech v závislosti na světové politicko-ekonomické situaci je třeba zvažovat ekonomickou stránku novostaveb, a to včetně dostupnosti stavebních materiálů.

V této práci jsou řešeny tepelně-technické vlastnosti a ekonomická návratnost tří typických architektonických řešení rodinných domů pro různé provedení stavebních konstrukcí

za využití volně dostupných stavebních materiálů. Pro každou variantu byly použity stejné typy konstrukcí, pouze s minimální změnou, či dodatkem pro splnění architektonického návrhu.

Posuzované budovy byly voleny z katalogu projekční firmy GSERVIS a jedná se přízemní bungalov Mauna, dvoupodlažní dům se sedlovou střechou Pisa a dvoupodlažní dům moderního designu Kamona.

Pro změnu tepelně-technických vlastností stěn bylo měněno zdivo samotné v provedení různých variant tvarovek Porotherm. Střešní a podlahová konstrukce byla měněna změnou tloušťky a kvality izolační vrstvy, jako izolační vrstva jsou použity desky na bázi polystyrenu a polyisokyanurátu (PIR). Pro prosklené konstrukce jsou použita okna od výrobce Vekra, pro dostatečnou rozmanitost variant je použita celá řada Natura, od dvojskla po trojsklo se speciálním povlakem.

Dále je v práci provedena analýza jednotlivých stavebních variant domů za účelem volby nejvhodnější varianty pro další vyhodnocení. Na základě tohoto rozboru je provedena ekonomická analýza návratnosti při použití tepelného čerpadla a plynového kondenzačního kotle jako zdrojů tepla pro jednotlivé domy a vybrané varianty konstrukcí.

2. Hodnocení energetické náročnosti budov

Snížení spotřeby primární neobnovitelné energie ve společnosti vede logicky ke snížení spotřeby energií jednotlivých domácností a jedinců, kteří se na celkové spotřebě podílejí nejvýznamnějším podílem. Pro dosažení tohoto cíle jsou používány legislativy a normy ukládající požadavky na celkovou energetickou náročnost budov. Ta v kostce obsahuje spotřebu energie na vytápění, větrání, přípravu teplé vody, chlazení, úpravu vlhkosti a osvětlení. Z pohledu snížení spotřeby energie na vytápění jsou asi nejdiskutovanějším hlediskem tepelně-technické vlastnosti jednotlivých stavebních konstrukcí. Otázkou pro investora tak velmi často je, zda vysoká investice do kvalitních materiálů a izolací, dokáže natolik výrazně snížit roční spotřebu energií, aby reálná doba návratnosti takových opatření byla v udržitelném časovém horizontu. Ne zřídka nejkvalitnější provedení stavebních prvků z pohledu tepelně-technických vlastností, musí nutně znamenat efektivní řešení tohoto problému.

2.1. Nízkoenergetický dům

Standard nízkoenergetického domu patří k nejstarším na našem území, a je i nejméně přísným. Jeho hlavním faktorem je maximální měrná potřeba tepla pro vytápění nesmí přesahovat $50 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Je definován v normě ČSN 730540-2 [1] a je uveden v technické normalizační informaci TNI 730329. [2] Tepelně-technické vlastnosti konstrukcí jsou omezeny dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. [3]

2.2. Budova s téměř nulovou spotřebou energie

Pro veškeré novostavby od roku 1.1.2020 je nutné se řídit tímto standardem, jeho obsah je udáván zákonem 406/2000 Sb. o hospodaření energií. [4] Samotné hodnoty se odvíjejí od tzv. referenční budovy. Za tu je považována budova stejného druhu, geometrického tvaru (včetně prosklených ploch), orientace, vnějších faktorů a užívání, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů. Měrná potřeba tepla pro vytápění se musí pohybovat v rozmezí $30 - 70 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Pro malé jednopodlažní budovy tato hodnota může být i více než $80 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Zároveň musí být část spotřebované primární energie získávána z obnovitelných zdrojů, dle typu budovy se může jednat o podíl od 15 do 25 %. Požadované tepelně-technické parametry specifikuje vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov. [3]

2.3. Pasivní dům

Pasivní standard je v dnešní době nejpokročilejší a nejvíce rozvinutý z hlediska stavebního řešení konstrukcí, ale v ČR není legislativně požadován a jedná se tedy o dobrovolný standard. Hranice potřeby tepla pro vytápění je $15 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Součinitele prostupu tepla musí být nižší nebo rovny požadavku dle ČSN 730540-2 [1]. Pro minimalizaci ztrát, a udržení kvality vnitřního prostředí, je použit systém vzduchotechniky se zpětným získáváním tepla a maximální výměnou vzduchu $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Chladicí nebo topná zátěž nesmí přesáhnout $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ [5]

2.4. Budova s velmi nízkou energetickou náročností

V rámci dotačního programu ČR „Nová zelená úsporám“ pro podporu novostaveb rodinných domů a různé rekonstrukce jsou určeny 3 stupně pro měrnou potřebu tepla na vytápění.

V základní úrovni není potřeba omezena, v pasivní úrovni je požadována maximální potřeba energie na vytápění $20 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. V úrovni pasiv+ je požadavek maximálně $15 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$. Mezi další požadavky patří například: procentní zastoupení obnovitelných zdrojů, průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcí $U \leq 0,6 \text{ Wm}^2\text{K}^{-1}$, nebo povinnost instalace systému větrání se zpětným získáváním tepla. [6] [7]

3. Modelové budovy

Pro porovnání byla zvoleny 3 typická architektonická řešení z internetového projekčního katalogu firmy GSERVIS. Za účelem možnosti porovnání byly použity stejné varianty konstrukcí pro všechna řešení u všech tří domů. Každá varianta konstrukcí zastupuje používané stupně tepelně technických vlastností, disponujících od varianty s nejnižší investicí, ale stále využívající moderní stavební materiály, až po variantu využívající nejlepší běžně dostupné stavební materiály.

3.1. Popis jednotlivých zvolených architektonických řešení

3.1.1. Dům Mauna

Mauna [obr. 1] reprezentuje rodinný dům nacházející se v řídké zástavbě, jako je vesnice nebo vzdálené předměstí. Jedná se o jednopodlažní bungalov se sedlovou střechou o spádu 30°. Dům obsahuje celkem 10 místností. Jednou z nich je spojená kuchyně s obývacím pokojem, jenž disponuje velkou prosklenou stěnou. Celkový podíl zasklení tohoto domu je 8 % z plochy vnější obálky.



Obrázek 1 Vizualizace RD Mauna [8]

3.1.2. Dům Pisa

Pisa [obr. 2] reprezentuje tradiční dvou patrový dům nacházející ve střední zástavbě měst, nebo ve vesnické krajině. Dům má jednoduchý obdélníkový půdorys a sedlovou střechou o spádu 60°. Disponuje osmi místnostmi v přízemí a šest místnostmi v prvním patře. V přízemí je využito všech stěn pro umístění oken, v prvním patře je částečně šikmý strop kopírující střechu a jsou použita střešní okna. Podíl zasklení na celkové obálce budovy je 7,8 %.



Obrázek 2 Vizualizace RD Pisa [9]

Dům Kamona

Kamona [obr 3.] reprezentuje moderní dvou podlažní dům nacházející se ve střední městské zástavbě.

Dům má dispozici tři kvádrů, kde přízemní patro je tvořeno obytnou částí a oddělenou garáží. První patro je tvořeno přesazeným kvádrem, jež využívá obytnou část a garáž jako nosnou konstrukci. V přízemí je devět místností a v prvním patře je šest místností. Díky modernímu architektonickému řešení je použito velké množství oken a prosklených stěn, čímž je dosaženo podílu zasklení 15,9 % z celkové plochy obálky budovy.



Obrázek 3 Vizualizace RD Kamona [10]

4. Použité konstrukce

Pro konstrukci každého rodinného domu jsou uvažovány celkem čtyři varianty konstrukcí, kde první varianta má největší potřebu tepla na vytápění a čtvrtá varianta nejmenší. Skladby konstrukcí je volena ohledem na navržené hodnoty součinitele prostupu tepla a jejich porovnání s ČSN 730540-2 [1]. Varianta 1 je uvažována jako základní, splňující pouze požadované hodnoty součinitele prostupu tepla. Varianta 2 splňuje doporučené hodnoty, jež jsou dle vyhlášky č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov [3] považované jako minimální pro novostavby. Varianta 3 se nachází na hranici doporučených a pasivních hodnot. Varianta 4 využívá stavebních materiálů s horší dostupností pro dosažení pasivního standardu součinitele prostupu tepla. Jsou použity tvarovky plněné tepelnou izolací a okna s trojsklem se speciální odrazivou vrstvou. Z osobního rozhovoru s osobami zodpovědnými za objednávky materiálu ve stavebních firmách bylo zjištěno, že čekací lhůta může trvat až 2 roky. Pro zkrácení je použito značení VAR1, VAR2, VAR3 a VAR4.

4.1. Určení součinitele prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla je definován jako množství tepelné energie procházející 1 m^2 při rozdílu teplot média před a za konstrukcí $1 \text{ }^\circ\text{K}$. Jeho výpočet je pro neprůsvitné konstrukce definován dle normy ČSN EN ISO 6946 rovnicí (1). [11]

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_n^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_n^m \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (1)$$

Kde

U	Součinitel prostupu tepla	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
R_n	Tepelný odpor n-té vrstvy konstrukce	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{si}	Vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{se}	Vnější tepelný odpor při přestupu tepla	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
d_n	Tloušťka vrstvy stavební konstrukce	$[m]$
$\alpha_{i,e}$	Součinitel přestupu tepla na povrchu konstrukce	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
λ_n	Součinitel tepelné vodivosti vrstvy konstrukce	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$

Součinitele přestupu tepla byly použity $\alpha_i = 8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ a $\alpha_e = 23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Prostup tepla podlahou do zeminy byl vypočten dle normy ČSN ISO 13 370. [12] Pro určení výpočetní metody je použit charakteristický parametr (2). [11]

$$B' = \frac{S_{pdl}}{0,5 \cdot O_{pdl}} \quad [m] \quad (2)$$

Kde

B'	Charakteristický parametr	$[m]$
O_{pdl}	Obvod podlahy přiléhající venkovnímu prostředí	$[m]$
S_{pdl}	Plocha podlahy v počítané místnosti	$[m^2]$

Charakteristický parametr je porovnáván vůči ekvivalentní tloušťce podlahy d_t (3). [11]

$$d_t = w + \lambda_{zem} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [m] \quad (3)$$

Kde

d_t	Ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
w	Celková tloušťka obvodových stěn	[m]
R_{si}	Vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² · K · W ⁻¹]
R_f	Tepelný odpor podlahy	[m ² · K · W ⁻¹]
R_n	Vnější tepelný odpor n-té vrstvy konstrukce	[m ² · K · W ⁻¹]
λ_{zem}	Součinitel tepelné vodivosti zeminy	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]

Vzhledem k architektonickému provedení domů, které nejsou podsklepené a k žádné ze stěn není přilehlá zemina lze použít podmínky (4,5) pro určení součinitele prostupu tepla podlahy. [11]

$$d_t < B' \rightarrow U_{pdl} = \frac{2 \cdot \lambda_{zem}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (4)$$

$$d_t \geq B' \rightarrow U_{pdl} = \frac{\lambda_{zem}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (5)$$

Kde

U_{pdl}	Součinitel prostupu tepla podlahou	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
-----------	------------------------------------	--

Pro výplně otvorů byl použit součinitel prostupu tepla udávaný výrobcem dle technických podkladů.

4.2. Svislé konstrukce

Pro vnitřní stěny mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C jsou použity tvarovky Porotherm 11 a Porotherm 24 Profi. [13] Vzhledem k minimálnímu vlivu na celkové ztráty objektu je uvažována pouze jedna varianta.

Tabulka 1 Skladba příčky VS1

Označení	VS 1	Název	Vnitřní nosná stěna 270				Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,879163
Unormové		Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně					U doporučené	1,8
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 90 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti	tloušťka vrstvy
		Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i	8	Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e	8	λ	d	
		Typ vrstvy	Materiál vrstvy				[W/m.K]	[mm]
		Omítky	Omítka vápennocementová				0,99	15
		Porotherm	POROTHERM 24 Profi - broušená				0,28	240
		Omítky	Omítka vápennocementová				0,99	15

Tabulka 2 Skladba příčky VS2

Označení	VS 2	Název	Vnitřní stěna 140 mm				Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	1,388305
Unormové		Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně					U doporučené	1,8
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 90 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti	tloušťka vrstvy
		Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i	8	Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e	8	λ	d	
		Typ vrstvy	Materiál vrstvy				[W/m.K]	[mm]
		Omítky	Omítka vápennocementová				0,99	15
		Porotherm	POROTHERM 11 - příčka				0,25	110
		Omítky	Omítka vápennocementová				0,99	15

Pro vnější stěnu jsou použity různé tvarovky Porotherm 38. Použití doplňkové tepelné izolace nebylo použito s cílem zachovat jednotnou tloušťku stěn.

Tabulka 3 Skladba vnější stěny ESI-VAR1

Označení	ES 1	Název	Vnější nosná stěna				Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,299785
Unormové		Stěna vnější					U požadované	0,3
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 90 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti	tloušťka vrstvy
		Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i	8	Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e	23	λ	d	
		Typ vrstvy	Materiál vrstvy				[W/m.K]	[mm]
		Omítky tepelně izolační silikátové	Omítka perlitová 1				0,1	30
		Porotherm	POROTHERM 38 P+D - nebroušená - nosná				0,133	380
		Omítky	Omítka vápennocementová				0,99	10

Tabulka 4 Součinitele prostupu tepla vnější stěnou ESI

Varianta	Měněný materiál	d [mm]	U [W/m ² .K]
VAR1	POROTHERM 38 P+D - nebroušená	380	0,299
VAR2	POROTHERM 38 Profi - broušená	380	0,248
VAR3	POROTHERM 38 EKO+ Profi	380	0,204
VAR4	POROTHERM 38 T Profi - Tepelně izolační	380	0,156

4.3. Horizontální konstrukce

Pro konstrukci podlahy přilehlé k zemině a stropu z vytápěného do venkovního prostoru je měněna tloušťka a kvalita použité izolace.

Tabulka 5 Skladba podlahy konstrukce P1-VAR1

Označení	P 1	Název	Podlaha přilehlá k zemině				Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,430515
Unormové		Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině 4), 6)					U požadované	0,45
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 90 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti	Tloušťka vrstvy
		Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i	8	Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e		23	λ	d
		Typ vrstvy		Materiál vrstvy		[W/m.K]	[mm]	
		Hydroizolace		Stěrka hydroizolační		0,8	3	
		Malty		Anhydritová stěrka		1,2	54	
		Hydroizolace		Fólie polyetylenová		0,2	1	
		Tepelně izolační pěnoplastické materiály		Pěnový expandovaný polystyren EPS 70		0,039	70	
		Hydroizolace		Fólie polyetylenová		0,2	1	
		Beton hutný		Železobeton 4		1,43	100	
		Sypké materiály		Štěrka		0,65	150	

Tabulka 6 Součinitele prostupu tepla podlahou pro konstrukci P1

Varianta	Měněný materiál	d [mm]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
VAR1	Pěnový expandovaný polystyren EPS 70	70	0,039	0,431
VAR2	Pěnový expandovaný polystyren EPS 150	100	0,035	0,295
VAR3	Pěnový expandovaný polystyren EPS 150	140	0,035	0,221
VAR4	Pěnový expandovaný polystyren EPS 200	200	0,034	0,156

Tabulka 7 Skladba stropní konstrukce mezi patry pro konstrukci S2

Označení	S 2	Název	Strop				Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,676256
Unormové		Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně					U doporučené	1,45
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 0 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti	Tloušťka vrstvy
		Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i	8	Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e		23	λ	d
		Typ vrstvy		Materiál vrstvy		[W/m.K]	[mm]	
		Hydroizolace		Stěrka hydroizolační		0,8	3	
		Malty		Anhydritová stěrka		1,2	54	
		Hydroizolace		Fólie polyetylenová		0,2	1	
		Tepelně izolační pěnoplastické materiály		Pěnový expandovaný polystyren EPS 200		0,034	40	
		Beton hutný		Železobeton 4		1,43	100	
		Omitky		Omitka vápennocementová		0,99	10	

Tabulka 8 Skladba stropní konstrukce mezi vytápěným a nevytápěným prostorem pro konstrukci S3-VAR1

Označení	S 3	Název	Strop-venkovní			Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,236581
Unormové		Strop s podlahou nad venkovním prostorem				U požadované	0,24
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 0 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti
Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i		8		Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e		23	
Typ vrstvy			Materiál vrstvy			λ	tloušťka vrstvy
						[W/m.K]	[mm]
Hydroizolace			Stěrka hydroizolační			0,8	3
Malty			Anhydritová stěrka			1,2	54
Hydroizolace			Fólie polyetylenová			0,2	1
Tepelně izolační pěnoplastické materiály			Pěnový expandovaný polystyren EPS 200			0,034	40
Beton hutný			Železobeton 4			1,43	100
Tepelně izolační pěnoplastické materiály			Pěnový expandovaný polystyren EPS 100			0,037	100
Omitky tepelně izolační silikátové			Omitka perlitová 6			0,18	10

Tabulka 9 Součinitele prostupu tepla mezi venkovním a vytápěným prostorem pro konstrukci S3

Varianta	Měněný materiál	d [mm]	λ [W/m.K]	U [W/m ² .K]
VAR1	Pěnový expandovaný polystyren EPS 100	100	0,037	0,237
VAR2	Pěnový expandovaný polystyren EPS 200	160	0,034	0,161
VAR3	Pěnový expandovaný polystyren EPS 200	180	0,034	0,147
VAR4	Pěnový expandovaný polystyren EPS 200	250	0,034	0,113

4.4. Konstrukce střechy

Konstrukce střechy je provedena ve variantě dřevěné sedlové střechy se spádem 30 ° a 60 °, nebo betonových panelů v případě ploché střechy.

Tabulka 10 Skladba sedlové střechy S1-VAR1 pro dům Mauna

Označení	S 1	Název	Střecha			Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,206823
Unormové		Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně				U požadované	0,24
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 30 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti
Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i		8		Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e		23	
Typ vrstvy			Materiál vrstvy			λ	d
						[W/m.K]	[mm]
Hydroizolace			Fólie PVC			0,2	2
Tepelně izolační pěnoplastické materiály			Pěnový polyisokyanurát - PIR - TOPDEK			0,022	100
mi			Al fólie			204	2
Dřevo_materiály_z_aglomerovaného_dřeva_a_korku			Dřevo měkké, tepelný tok kolmo k vláknům			0,18	20

Tabulka 11 Skladba ploché střechy S1-VAR1 pro dům Kamona

Označení	S 1	Název	Střecha			Součinitel prostupu tepla U [W/m ² K]	0,2086
Unormové		Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně				U požadované	0,24
Stínění: Fsh	1	Pohltivost vnějšího povrchu	0,6	Sklon: 0 °	Korekce tepelných mostů	0,03	Součinitel tepelné vodivosti
Součinitel přestupu tepla na vnitřní straně α_i		8		Součinitel přestupu tepla na vnější straně α_e		23	
Typ vrstvy			Materiál vrstvy			λ	d
						[W/m.K]	[mm]
Hydroizolace			Fólie PVC			0,2	2
Tepelně izolační pěnoplastické materiály			Pěnový polyisokyanurát - PIR - TOPDEK			0,022	100
mi			Al fólie			204	2
Beton_hutný			Železobeton_4			1,43	100

Tabulka 12 Součinitele prostupu tepla pro střechnu S1

Varianta	Měněný materiál	d [mm]	U-Mauna [W/m ² .K]	U-Pisa [W/m ² .K]	U [W/m ² .K]
VAR1	PIR -TOPDEK	100	0,207	0,207	0,209
VAR2	PIR -TOPDEK	140	0,150	0,150	0,151
VAR3	PIR -TOPDEK	160	0,132	0,132	0,133
VAR4	PIR -TOPDEK	180	0,118	0,118	0,119

Všechny vlastnosti použitého zdiva byly převzaty z online katalogu výrobce Wienerberger. [13] Vlastnosti izolačních materiálů a jejich ceny jsou převzaty z online katalogu výrobce DEK. [14] Vlastnosti ostatních materiálů jsou převzaty z online katalogu dostupném na tzb-info. [15]

4.5. Výplně otvorů

Pro vstupní dveře byl použit normový součinitel prostupu tepla $U = 0,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Pro všechny interiérové dveře byl použit součinitel prostupu tepla $U = 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. [1]

Prosklené prvky [tab. 13] byly voleny z katalogu výrobce Vekra z řady Natura. [16] (Konkrétní vlastnosti oken je možno získat pouze na základě konkrétního dotazu na zákaznickou podporu firmy Vekra)

Tabulka 13 Vlastnosti jednotlivých druhů oken

Varianta	Typ použitého okna	gn [-]	g [-]	Uw [W/m ² .K]	Ug [W/m ² .K]	Cena [Kč/m ²]
VAR1	Vekra Natura 68	0,82	0,64	1,2	1,1	2500
VAR2	Vekra Natura 78	0,74	0,52	0,9	0,7	4000
VAR3	Vekra Natura 94	0,74	0,52	0,77	0,6	6000
VAR4	Vekra Natura 94+IZ	0,64	0,43	0,63	0,4	7000

Vzhledem k různým vlastnostem rámu a orientace, jsou dále dělena dle umístění.

Tabulka 14 Vlastnosti různých provedení oken

Značení	Druh okna	Ff [-]	β [°]
O1	Běžné okno	0,3	90
OD1	Prosklené dveře	0,3	90
O2	Francouzská okna	0,1	90
OD2	Posuvné dveře	0,32	90
OS1	Střešní okno	0,32	60

5. Výpočet tepelných ztrát

Výpočet tepelných ztrát je proveden dle normy ČSN EN 12 831-1. [17] Tepelná ztráta objektu je primárně tvořena součtem tepelné ztráty prostupem obálkou budovy a tepelnou ztrátou větráním. Pro optimalizaci tepelných ztrát je nejvhodnější použít kombinaci změny skladby vnějších konstrukcí budovy a nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Při použití pouze jednoho ze způsobů se může zhoršit kvalita vnitřního prostředí, a změna je méně ekonomicky výhodná nežli provedení obou změn současně. Pokud se jedná o rekonstrukci je velice častým opatřením výměna oken a dodatečná tepelná izolace pláště budovy. Tímto se ovšem budova utěsní a pouze vzácně je dosahováno dostatečné výměny vzduchu v prostoru. Při instalaci vzduchotechnického systému je výhodné používat systém se zpětným získáváním tepla a tím i významně snížit tepelnou ztrátu větráním.

5.1. Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta prostupem jednotlivých vytápěných prostor byla určena dle rovnice (6). [11]

$$Q_{T,i} = \sum_m(Q_{T,ie} + Q_{T,ia} + Q_{T,iae} + Q_{T,iaBE} + Q_{T,ig}) \quad [W] \quad (6)$$

Kde

$Q_{T,i}$	Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru (i) prostupem	[W]
$Q_{T,ie}$	Ztráta do venkovního prostředí (e)	[W]
$Q_{T,ia}$	Ztráta do sousedních vytápěných prostor (a)	[W]
$Q_{T,iae}$	Ztráta přes sousední nevytápěné prostory nebo budovy (a)	[W]
$Q_{T,iaBE}$	Ztráta do sousedních funkčních částí budovy (aBE)	[W]
$Q_{T,ig}$	Ztráta do země (g)	[W]

Jednotlivé tepelné ztráty jsou určeny dle rovnice (7).

$$Q_{T_k} = A_k \cdot (U_k + \Delta U_k) \cdot (t_i - t_{ke}) \quad [W] \quad (7)$$

Kde

Q_{T_k}	Tepelná ztráta prostupem konstrukcí	[W]
A_k	Plocha konstrukce	[m ²]
U_k	Součinitel prostupu tepla určen rovnicemi (1,4,5)	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
ΔU_k	Korekce zohledňující tepelné mosty	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
t_i	Vnitřní návrhová teplota	[°C]
t_{ke}	Teplota za konstrukcí	[°C]

Pro výpočet tepelných ztrát prostupem tepla je použita venkovní návrhová teplota $t_e = -15\text{ °C}$ a korekce pro tepelné mosty je zvolena, jako $\Delta U_k = 0,03\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pro budovu blížící se optimalizovanému řešení dle ČSN 73 0540-4. [18] Vnitřní návrhové teploty jsou $t_i = 20\text{ °C}$ pro většinu místností a $t_i = 24\text{ °C}$ pro koupelny.

5.2. Tepelná ztráta větráním

Pro dosažení hygienických norem je v každém objektu nutno dosáhnout dostatečné výměny vzduchu. Jako primární kritérium slouží koncentrace CO_2 v ovzduší, jehož koncentrace nesmí překročit hodnotu 1500 ppm dle vyhlášky č. 20/2012 Sb.. [19] Za účelem dosažení tohoto parametru musí být zajištěn dostatečný přívod čerstvého vzduchu a to minimálně $25\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$ nebo půlnásobná výměna vzduchu, kdy se každou hodinu vymění polovina vzduchu v místnosti. [19]

Tabulka 15 větrání pro dům Mauna

Dům:	Mauna	t_i	přívod	odvod	$H_{v,i}$
Č. místnosti	Název místnosti	[°C]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[W/K]
101	Předsíň	20		20	0,0
102	Chodba	20			0,0
103	WC	20		35	0,0
104	Pokoj 1	20	30		10,1
105	Koupelna	24		55	0,0
106	Pokoj 2	24	30		10,1
107	Ložnice	20	50		16,8
108+109	Obývací pokoj + kuchyň + spíž	20	75	75	25,3
110	Technická místnost	20			0,0
Součet:			185	185	62,3

Tabulka 16 větrání pro dům Pisa

Dům:	Pisa	t_i	přívod	odvod	H
Č. místnosti	Název místnosti	[°C]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[W/K]
101	Předsíň	20		20	0,0
102	Technická místnost	20			0,0
103	Chodba	20		40	0,0
104	Koupelna	24		50	0,0
105	Pokoj 1	20	30		10,1
106	Obývací pokoj	20	50		16,8
207	Pokoj 2	20	30		10,1
208	Ložnice	20	45		15,2
209	Chodba + sklad	20		15	0,0
210	Pokoj 3	20	20		6,7
211	Koupelna 2	24		50	0,0
Součet:			175	175	58,9

Tabulka 17 větrání pro dům Kamona

Dům:	Kamona	t_i	přívod	odvod	H
Č. místnosti	Název místnosti	[°C]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[W/K]
101	Předsíň+sklad	20		20	0,0
102	Obývací místnost + kuchyň	20	40	80	13,5
103	Ložnice+šatník	20	50		16,8
104	Koupelna 1	24		40	0,0
105	Pracovna	20	25		8,4
106	Technická místnost + kumbál	20			0,0
207	Toaleta	24		25	0,0
208	Chodba	20			0,0
209	Pokoj 1	20	30		10,1
210	Pokoj 2	20	30		10,1
211	Pokoj 3	20	30		10,1
212	Koupelna 2	24		40	0,0
Součet:			205	205	69,0

Měrný tepelný tok větráním byl vypočten dle rovnice (8). [11]

$$H_{V,i} = \frac{V_{in}}{3600} \cdot \rho_{vzd} \cdot c_{vzd} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (8)$$

Kde

$H_{V,i}$	Měrný tepelný tok větráním místnosti	$[W \cdot K^{-1}]$
V_{in}	Přívod čerstvého vzduchu do místnosti	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
ρ_{vzd}	Hustota vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
c_{vzd}	Tepelná kapacita vzduchu	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$

Zá účelem snížení potřeby tepla je ve výpočtech uvažována vzduchotechnická jednotka disponující výměníkem pro zpětné získávání tepla. Pro účely této práce je zvolena pro všechny budovy a varianty jednotka s teplotním faktorem $\eta = 80 \%$, jakožto reprezentace průměrné jednotky. Celková tepelná ztráta větráním se zohledněním zpětného získávání tepla se určí z rovnice (9). [11]

$$Q_V = \sum_m H_{V,i} \cdot \left(1 - \frac{\eta}{100}\right) \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (9)$$

Kde

Q_v	Celková tepelná ztráta větráním v místnosti	$[W]$
$H_{V,i}$	Měrný tepelný tok větráním	$[W \cdot K^{-1}]$
η	Účinnost zpětného získávání tepla	$[\%]$
t_i	Vnitřní návrhová teplota	$[°C]$
t_e	Venkovní návrhová teplota	$[°C]$

Ve výpočtu je dále uvažováno s infiltrací dle EN ISO 12831-1 z rovnice (10). [17]

$$V_{inf} = 2 \cdot V_m \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \epsilon_i \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (10)$$

Kde

V_{inf}	Infiltrační průtok vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
V_m	Objem místnosti	$[m^3]$
n_{50}	Výměna vzduchu při tlaku 50 Pa	$[h^{-1}]$
e_i	Koeficient chránění	$[-]$
ϵ_i	Korekční činitel výšky	$[-]$

Vzhledem k parametrům zkoumaných budov je korekční součinitel výšky $\epsilon_i = 1$, výměna vzduchu je $n_{50} = 2 h^{-1}$ a koeficient chránění e_i volen jako 0 pro místnost bez oken 0,02 pro místnosti s 1 oknem a 0,03 pro místnosti s více okny. [17]

Tepelná ztráta infiltrací je vypočtena pomocí rovnice (11).

$$Q_{inf} = V_{inf} \cdot c_{vzd} \cdot \rho_{vzd} \cdot (t_i - t_e) \quad [W] \quad (11)$$

Kde

Q_{inf}	Tepelná ztráta infiltrací	$[W]$
V_{inf}	Infiltrační průtok vzduchu	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
$\rho_{vzd} = 1,2$	Hustota vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
$c_{vzd} = 1010$	Tepelná kapacita vzduchu	$[J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$
t_i	Vnitřní návrhová teplota	$[^{\circ}C]$
t_e	Venkovní návrhová teplota	$[^{\circ}C]$

6. Výpočet tepelných zisků

Tepelné zisky jsou složeny z vnitřních a vnějších zisků. Výpočty všech zisků jsou provedeny v souladu s normou ČSN EN ISO 52016-1. [20] Celkové tepelné zisky jsou prostým součtem vnitřních a solárních zisků. [21]

$$Q_{hgn} = Q_{Hsol} + Q_{Hint} \quad [kWh] \quad (12)$$

Kde

Q_{Hgn}	Celkový tepelný zisk za daný měsíc	[kWh]
Q_{Hsol}	Solární tepelný zisk za daný měsíc	[kWh]
Q_{Hint}	Vnitřní tepelný zisk za daný měsíc	[kWh]

6.1. Solární tepelné zisky

Tepelné zisky z vnějšího prostředí jsou přímým důsledkem solárního záření. Jejich velikost je závislá na orientaci osluněných ploch (sklon konstrukce a orientace vůči světové straně), pohltivosti povrchu a propustnosti prosklených konstrukcí. Vhodně zachycené solární zisky mohou pokrýt značnou část potřebného tepla na vytápění a přispívají k výraznému snížení celkové potřeby energie na vytápění [21]. Na druhou stranu je nutné zvážit důsledek extrémního požadavku na využívání solárních zisků zejména pro letní měsíce, a to proto abychom neúměrně s tímto nezvyšovali potřebu energie na chlazení.

6.1.1. Neprůhledné prvky

$$Q_{Hsol} = \sum (F_{sh} \cdot A_{sol} \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \phi_r) \cdot n_{hod} \quad [kWh] \quad (13)$$

Kde

Q_{Hsol}	Solární tepelný zisk za daný měsíc	[kWh]
F_{sh}	Korekční součinitel stínění	[-]
A_{sol}	Efektivní sběrná plocha specifické orientace	[m ²]
I_{sol}	Solární záření za měsíc na specificky orientovanou plochu	[kWh · m ²]
$F_{r,i}$	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[-]
ϕ_r	Sálení vůči obloze	[kW]

Pro určení solárního záření byla použita norma ČSN 730331-1 [22] ze které, je patrné, že největší zisky vznikají na stěně v orientaci $\pm 60^\circ$, kde $\pm 0^\circ$ značí jih a $\pm 180^\circ$ označuje sever. S ohledem na tento poznatek je budovy vhodné orientovat stranou s největší obytnou částí na jih a využít zbylé 2 stany pro východní a západní zisky.

Tabulka 18 korekční součinitele solárních zisků [12]

Korekce stínění na externí překážky	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	
	Horizontální	Vertikální
F_{sh}	F_{ti}	
[-]	[-]	
1	1	0,5

Vnější plochu pláště vystavenou solárnímu záření je nutno přepočítat na efektivní plochu, ve které jsou zahrnuty: součinitel prostupu tepla, tepelný odpor pro přestup na vnějším povrchu a pohltivost stěny. [21]

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_k \cdot A_{c_{pohledová}} \quad [m^2] \quad (14)$$

Kde

A_{sol}	Efektivní sběrná plocha specifické orientace	$[m^2]$
$\alpha_{s,c}$	Pohltivost slunečního záření	[-]
$R_{se} = 0,04$	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu	$[m^2 \cdot K^{-1} \cdot W^{-1}]$
U_k	Součinitel prostupu tepla konstrukce	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$A_{c_{pohledová}}$	Plocha stěny vystavená solárnímu působení	$[m^2]$

Jako poslední je nutno určit zpětné sálání z povrchu budovy k obloze. [21]

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_k \cdot A_{c_{pohledová}} \cdot h_r \cdot \Delta t_{er} \quad [W] \quad (15)$$

Kde

ϕ_r	Sálání vůči obloze	$[W]$
U_k	Součinitel prostupu tepla konstrukce	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$A_{c_{pohledová}}$	Plocha stěny vystavená solárnímu působení	$[m^2]$
$h_r = 5$	Zpětné sálání pro průměrnou teplotu 10 °C	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Δt_{er}	Rozdíl teplot, 11 °K pro mírné teplotní pásmo	$[°K]$

6.1.2. Průhledné prvky

Postup je obdobný jako u neprůhledných prvků, ale je nutno zohlednit propustnost zasklení, podíl rámu a rozptyl světla o sklo. Pro výpočet solárních zisků jsou použity rovnice (13,15) a dochází ke změně pouze v rovnici pro efektivní sběrnou plochu. [21]

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - F_f) \cdot A_{c_{pohledová}} \quad [m^2] \quad (16)$$

Kde

A_{sol}	Efektivní sběrná plocha specifické orientace	$[m^2]$
$F_{sh,gl}$	Korekční součinitel stínění, typicky 0,7	[-]
g_n	Celková propustnost zasklení	[-]
F_w	Korekce pro rozptylování zasklením, normově 0,9	[-]
F_f	Podíl plochy rámu na celkové ploše okna	[-]
$A_{c_{pohledová}}$	Plocha celého průhledného prvku včetně rámu	$[m^2]$

6.2. Vnitřní tepelné zisky

Pro návrh je uvažováno vždy se čtyř člennou rodinou, kde nejsou všichni členové v domácnosti po celý den. Z tohoto důvodu je uvažováno s koeficientem přítomnosti osob v budově 0,7, kdy jsou všichni členové rodiny v domě pouze 70 % dne. Je uvažováno s tepelnou produkcí člověka $Q_{os} = 100 \text{ W} \cdot os^{-1}$. Dále je do zisků zahrnuto 100 W na osvětlení a domácí elektroniku. Celkový měsíční tepelný zisk je určen podle rovnice (14). [21]

$$Q_{H_{int}} = \frac{4 \cdot Q_{os} \cdot 0,7 + 1}{1000} \cdot n_{hod} \quad [W] \quad (14)$$

Kde

$Q_{H_{int}}$	Vnitřní tepelný zisk za měsíc	$[W]$
Q_{os}	Produkce tepla jednoho člověka	$[W]$
n_{hod}	Počet hodin v měsíci	$[h]$

7. Celková bilance potřeby tepla pro vytápění

7.1. Celkové tepelné zisky a ztráty

Vzhledem k proměnlivé venkovní teplotě je nutno použít metodu výpočtu s měsíčním, nebo denním krokem. Z důvodu dostupnosti dat o solárních intenzitách pouze v měsíčním kroku, byla zvolena tato metoda. Solární data byla čerpána z normy ČSN 730331-1. [22] Data průměrných denních teplot byla poskytnuta vedoucím práce pro oblast Praha. Na základě znalosti celkové tepelné ztráty prostupem a infiltrací, lze určit měrný tepelný tok prostupem a infiltrací. [21]

$$H_T = \frac{\Sigma(Q_{inf} + Q_{T,i})}{(t_{ip} - t_e)} \quad [W \cdot K^{-1}] \quad (15)$$

Kde

H_T	Měrný tepelný tok prostupem a infiltrací celé budovy	$[W \cdot K^{-1}]$
Q_{inf}	Tepelná ztráta infiltrací	$[W]$
$Q_{T,i}$	Celková tepelná ztráta vytápěného prostoru (i) prostupem	$[W]$
t_{ip}	Vážená průměrná teplota vytápěných prostorů budovy	$[^{\circ}C]$
t_e	Venkovní návrhová teplota	$[^{\circ}C]$

Ze znalosti měrných tepelných toků lze určit jim odpovídající potřeby tepla pro jednotlivé měsíce, dle průměrné teploty v daném měsíci. [21]

$$Q_{HT} = H_T \cdot (t_{ip} - t_{em}) \cdot n_{hod} \quad [kWh] \quad (16)$$

Kde

Q_{HT}	Potřeba tepla na vytápění a infiltraci v daném měsíci	$[kWh]$
H_T	Měrný tepelný tok prostupem a infiltrací celé budovy	$[kW \cdot K^{-1}]$
t_{ip}	Vážená průměrná teplota vytápěných prostorů budovy	$[^{\circ}C]$
t_{em}	Průměrná teplota venkovního prostředí daného měsíce	$[^{\circ}C]$
n_{hod}	Počet hodin v měsíci	$[h]$

$$Q_{Hv} = \Sigma_m H_{V,i} \cdot (1 - \eta) \cdot (t_{ip} - t_{em}) \cdot n_{ho} \quad [kWh] \quad (17)$$

Kde

Q_{Hv}	Potřeba tepla na větrání v daném měsíci	$[kWh]$
$H_{V,i}$	Měrný tepelný tok větráním jednotlivých místnosti	$[kW \cdot K^{-1}]$
η	Účinnost zpětného získávání tepla	$[\%]$
t_{ip}	Vážená průměrná teplota vytápěných prostorů budovy	$[^{\circ}C]$
t_{em}	Průměrná teplota venkovního prostředí daného měsíce	$[^{\circ}C]$
n_{hod}	Počet hodin v měsíci	$[h]$

Celková potřeba tepla na vytápění pro jednotlivé měsíce, zahrnující tepelné ztráty prostupem, infiltrací a nuceného větrání je určena, jako prostý součet jednotlivých částí stejně, jako jsou určeny tepelné zisky (12). [21]

$$Q_{H,ht} = Q_{HT} + Q_{Hv} \quad [kWh] \quad (18)$$

Kde

$Q_{H,ht}$ Celková potřeba tepla v daném měsíci [kWh]

Q_{HT} Potřeba tepla na vytápění a infiltraci v daném měsíci [kWh]

Q_{Hv} Potřeba tepla na větrání v daném měsíci [kWh]

7.2. Využitelnost tepelných zisků

Díky tepelným ziskům lze snížit celkovou potřebu. Vzájemná časová korelace průběhu venkovních teplot a intenzit solárního záření znamená, že největší solární zisky jsou v čase, kdy tepelné ztráty jsou relativně nízké a nelze je plně využít. Pro rodinné domy je uvažován redukční faktor pro přerušované vytápění $a_{H,red} = 1$, kde vytápění není přerušeno. Pro určení faktoru využitelnosti tepelných zisků je třeba určit časovou konstantu budovy, vycházející z vnitřní tepelné kapacity budovy a bezrozměrný parametr porovnávající referenční časovou konstantu $t_{H,0} = 15$ pro měsíční metodu s vypočtenou konstantou. Vzhledem k použitému zdivu je uvažována střední třída budovy. [21]

$$\tau = \frac{\frac{C_m}{3600}}{H_T + \sum H_{v,i}} \quad [h] \quad (19)$$

Kde

τ Časová konstanta budovy [h]

C_m Vnitřní tepelná kapacita budovy [J · K⁻¹]

H_T Měrný tepelný tok prostupem a infiltrací celé budovy [kW · K⁻¹]

$H_{v,i}$ Měrný tepelný tok větráním jednotlivých místností [kW · K⁻¹]

Tabulka 19 vnitřní tepelná kapacita dle druhu budovy [21]

Třída budovy	Vnitřní tepelná kapacita budovy C_m [J/K] (měsíční metoda)
Velmi lehká	80 000 · Podlahová plocha vytápěné zóny
Lehká	110 000 · Podlahová plocha vytápěné zóny
Střední	165 000 · Podlahová plocha vytápěné zóny
Těžká	260 000 · Podlahová plocha vytápěné zóny
Velmi těžká	370 000 · Podlahová plocha vytápěné zóny

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (20)$$

Kde

a_H	Parametr porovnávající časové konstanty	[-]
$a_{H,0}$	Parametr porovnávající časové konstanty	[-]
τ	Časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	Referenční časová konstanta budovy měsíční metody	[h]

Způsob výpočtu faktoru využitelnosti závisí na poměru celkových tepelných zisků a celkové potřeby tepla budovy. [21]

$$\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} > 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \left(\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}\right)^{a_H}}{1 - \left(\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}\right)^{a_H+1}} \quad [-] \quad (21)$$

$$\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} = 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \quad [-] \quad (22)$$

$$\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}} \quad [-] \quad (23)$$

Kde

$Q_{H,gn}$	Celkový tepelný zisk za daný měsíc	[kWh]
$Q_{H,ht}$	Celková potřeba tepla v daném měsíci	[kWh]
$\eta_{H,gn}$	Faktor využitelnosti tepelných zisků	[-]
a_H	Parametr porovnávající časové konstanty	[-]

7.3. Celková potřeba tepla na vytápění

Na základě dříve zjištěných koeficientů lze určit celkovou potřebu tepla na vytápění poníženou o využitelné tepelné zisky pro jednotlivé měsíce a následnou roční potřebu tepla. [21]

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - Q_{H,gn} \cdot \eta_{H,gn}) \quad [kWh] \quad (24)$$

Kde

$Q_{H,nd}$	Celková měsíční potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$a_{H,red}$	Redukční faktor na přerušované vytápění	[-]
$Q_{H,ht}$	Celková potřeba tepla v daném měsíci	[kWh]
$Q_{H,gn}$	Celkový tepelný zisk za daný měsíc	[kWh]
$\eta_{H,gn}$	Faktor využitelnosti tepelných zisků	[-]

Pro určení roční potřeby tepla jsou zanedbány měsíce se zápornou, nebo zanedbatelně nízkou potřebou tepla.

Tabulka 20 bilance potřeby tepla pro dům Mauna-VAR1

Měsíc	Počet dnů	Počet hod	Střední venkovní teplota	Měrný tepelný tok vytápění	Potřeba tepla na vytápění	Měrný tepelný tok větráním	Potřeba tepla větráním	Celková potřeba a tepla	Vnitřní tepelné zisky	Solární tepelné zisky	Celkové tepelné zisky	Bilanční poměr pro režim vytápění	Faktor využitelnosti tep. zisků vytápění	redukční faktor na přerušované vytápění	Potřeba tepla
	n [den]	nhod [h]	tem [°C]	Ht [W/K]	QH-tr [kWh]	Hv [W/K]	QH,ve [kWh]	QH,ht [kWh]	QH,int [kWh]	QH,sol [kWh]	QH,gn [kWh]	yH [-]	nH,gn [-]	aH,red [-]	QH,nd [kWh]
Leden	31	744	-0,38	178,20	2768,3	12,46	193,5	2961,8	282,7	291,7	574,4	0,194	0,997	1	2388,9
Únor	28	672	-0,4		2502,8		175,0	2677,7	255,4	587,4	842,8	0,315	0,988	1	1845,2
Březen	31	744	3,75		2220,7		155,2	2375,9	282,7	851,4	1134,1	0,477	0,959	1	1288,5
Duben	30	720	6,99		1733,4		121,2	1854,5	273,6	2140,5	2414,1	1,302	0,666	1	247,1
Květen	31	744	12,68		1036,8		72,5	1109,2	282,7	1791,8	2074,5	1,870	0,505	1	61,9
Červen	30	720	22,14		-210,4		-14,7	-225,1	273,6	1688,7	1962,3	-8,716	0,287	1	-787,8
Červenec	31	744	22,38		-249,2		-17,4	-266,7	282,7	1725,1	2007,8	-7,529	0,287	1	-842,4
Srpen	31	744	19,37		149,8		10,5	160,3	282,7	1794,1	2076,8	12,957	0,077	1	0,0
Září	30	720	18,84		213,0		14,9	227,9	273,6	1225,3	1498,9	6,578	0,152	1	0,3
Říjen	31	744	11,66		1172,0		81,9	1253,9	282,7	989,2	1271,9	1,014	0,772	1	272,5
Listopad	30	720	7,03		1728,2		120,8	1849,0	273,6	442,2	715,8	0,387	0,977	1	1149,5
Prosinec	31	744	1,62		2503,1		175,0	2678,1	282,7	206,2	488,9	0,183	0,998	1	2190,2

Tabulka 21 tepelné ztráty domu Mauna

Mauna					
		VAR1	VAR2	VAR3	VAR4
tepelná ztráta	kW	6,71	5,48	4,82	4,15
potřeba energie	kWh/rok	9444	6998	5573	4551
měrná potřeba energie	kWh/rok.m ²	61	45	36	29

Tabulka 22 tepelné ztráty domu Pisa

Pisa					
		VAR1	VAR2	VAR3	VAR4
tepelná ztráta	kW	6,28	5,22	4,63	4,04
potřeba energie	kWh/rok	9484	7271	5928	4933
měrná potřeba energie	kWh/rok.m ²	62	47	39	32

Tabulka 23 tepelné ztráty domu Kamona

Kamona					
		VAR1	VAR2	VAR3	VAR4
tepelná ztráta	kW	8,47	6,79	5,91	4,99
potřeba energie	kWh/rok	10492	7384	5566	4329
měrná potřeba energie	kWh/rok.m ²	60	42	32	25

Tabulka 24 průměrné tepelné ztráty

Průměr					
		VAR1	VAR2	VAR3	VAR4
tepelná ztráta	kW	7,16	5,83	5,12	4,39
potřeba energie	kWh/rok	9807	7218	5689	4604
měrná potřeba energie	kWh/rok.m ²	61	45	35	29

8. Potřeba dalších energií pro domácnost

8.1. Teplá voda

Pro přípravu teplé vody je uvažováno s čtyř člennou rodinou a potřebou $40 \text{ l} \cdot \text{den}^{-1} \cdot \text{os}^{-1}$. [21]

$$Q_{TV_{den}} = (1 + z) \cdot \rho_{vod} \cdot c_{vod} \cdot V_{TV_{os}} \cdot os \cdot (t_2 - t_1) \quad [kWh] \quad (25)$$

Kde

$Q_{TV_{den}}$	Denní potřeba tepla na ohřev vody	[kWh]
$z = 0,4$	Poměrový koeficient ztrát	[-]
$\rho_{vod} = 981$	Hustota vody	[kg · m ⁻³]
$c_{vod} = 4,186$	Tepelná kapacita vody	[kJ · kg ⁻¹ · K ⁻¹]
$V_{TV_{os}} = 40$	Požadavek teplé vody na osobu	[l · den ⁻¹ · os ⁻¹]
$os = 4$	Počet osob	[-]
$t_2 = 55$	Požadovaná teplota vody	[°C]
t_1	Vstupní teplota vody	[°C]

Výsledná roční potřeba tepla pro ohřev vody je 4,43 MWh/a pro všechny domy a varianty.

8.2. Elektřina

Pro rodinné domy je průměrná spotřeba elektrické energie pro svícení a napájení běžných spotřebičů kolem 2 MWh za rok. [23] Tuto energii je třeba zohlednit z důvodu různých tarifů pro poskytování elektrické energie domácnosti s tepelným čerpadlem a bez něj. Ceny elektrické energie jsou převzaty z nejnovějšího ceníku poskytovatele, jímž je zvolena firma EON. Pro zobecnění je ve všech případech použit vysoký tarif. Elektrická energie je odebírána v tarifu D57d za $5,4 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ při použití tepelného čerpadla s poplatkem $9630 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$ a v tarifu D02d za $6,5 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ pro potřeby pouze v domácnosti. Zemní plyn je odebírán za $2,32 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$ s poplatkem $7700 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}$ ve kterém je započten poplatek za elektřinu pro domácnost. [24] [25]

9. Porovnání variant konstrukcí

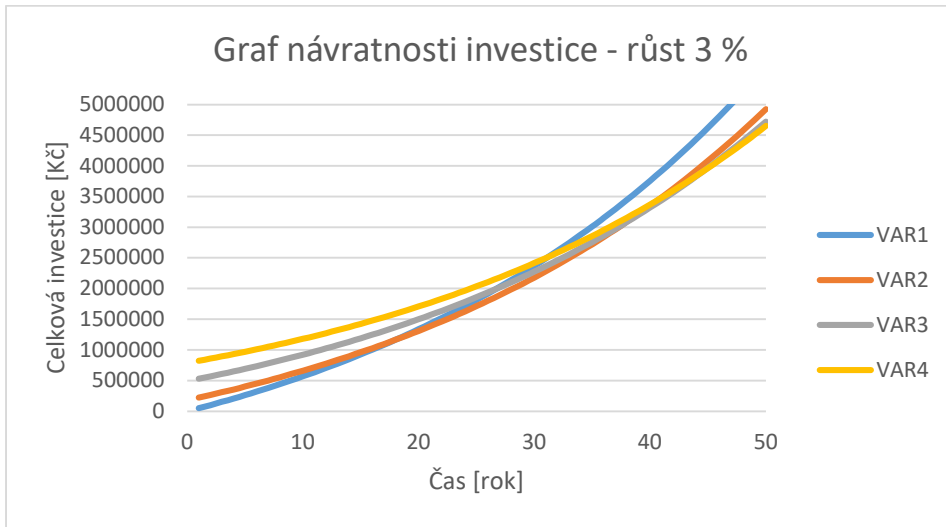
Dle dotačního titulu Nová zelená úsporám, spadají všechny budovy ve všech variantách do oblasti B-novostavba, dle požadavků na měrnou potřebu tepla na vytápění jsou všechny budovy schopny dosáhnout pouze základní neomezené úrovně. Pro dotační úroveň pasiv je limitní hodnota měrné potřeby tepla na vytápění $20 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. Nejnižší dosažená hodnota ve všech variantách je $24 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$. [7]

Pro jednotlivé varianty je dosažena stejná dotační úroveň, tudíž jsou dotace zanedbány. Pro porovnání jednotlivých variant je použita průměrná cena tepelné energie $3 \text{ Kč} \cdot \text{kWh}^{-1}$. Zohlednění inflace a meziročního růstu cen energií je provedeno pomocí tří scénářů. Pro zohlednění nízkého růstu cen je uvažován 3% růst [graf 1], z dat o současné situaci a ekonomických předpokladů je použit střední růst 7 % [graf 2] a pro extrémní případ je použit růst 12 % [graf 3]. Posouzení návratnosti je provedeno pro průměr hodnot všech tří budov, kde stavební investice pro první variantu je 0 Kč. [26]

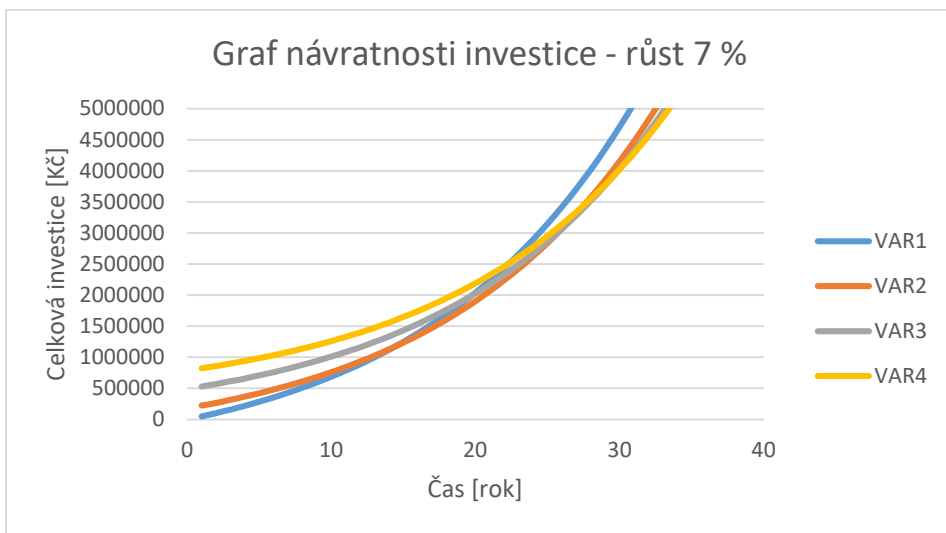
Tabulka 25 doby návratu investice pro jednotlivé varianty a růsty cen

Návratnost [rok]				
Růst cen	VAR1	VAR2	VAR3	VAR4
3	0	17	26	31
7	0	14	19	22
12	0	11	15	17

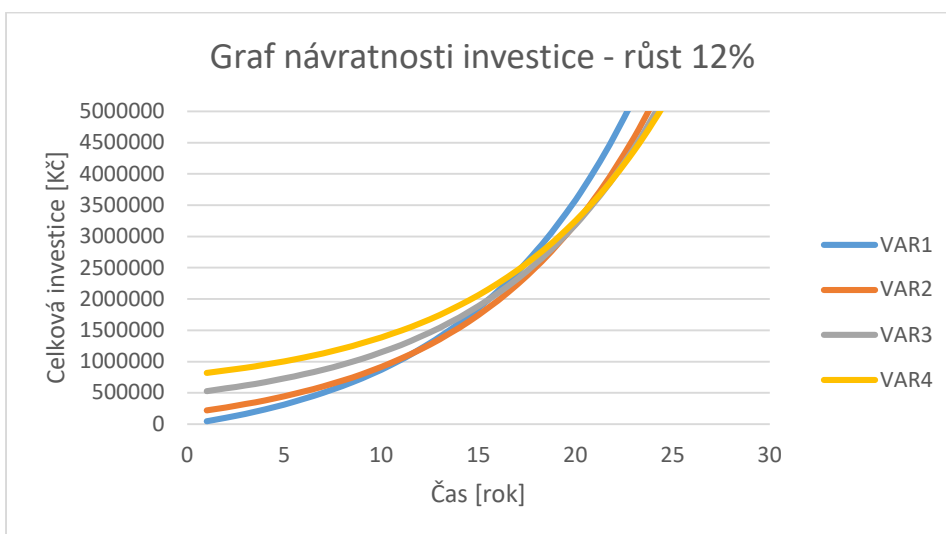
Všechny rozvahy uvažují s variantou 1 jako základní hodnotou a pro posouzení je použit střední scénář cenového růstu. Návratnost druhé varianty je 14 let, třetí varianty 19 let a čtvrté varianty 22 let. S ohledem na dostupnost jednotlivých stavebních materiálů, a návratnosti jsou použity pro další rozvahu varianty 1 a 3.



Graf 1 návratnost investice – růst 3 %



Graf 2 návratnost investice – růst 7 %



Graf 3 návratnost investice – růst 12 %

10. Porovnání zdrojů tepla

Dotační titul Nová zelená úsporám zaměřující se na ekologické řešení budov je rozdělen do oblastí A-E. Zkoumané budovy spadají do oblasti B – novostavba v základní úrovni. V oblasti C zaměřující se zdroje a zpětné získávání energie není splněna kvalifikace do žádné z podoblastí zdrojů tepla, pro oblast C.1 je nutná výměna za neekologický kotel a oblast C.2 požaduje zdroj pro samostatnou přípravu teplé vody. Oblast C.4 zaměřená na systém vzduchotechniky se zpětným získáváním tepla je splněna pro všechny budovy a varianty, tudíž je zanedbána. [7]

10.1. Použité zdroje tepla

Je použito tepelné čerpadlo vzduch-voda Logatherm WLW196i od výrobce Buderus s akumulací nádrží pro topnou vodu a akumulací ohřevem teplé vody. Čerpadlo je vybaveno pojistným zařízením pro otopnou soustavu a regulačním systémem. Kvůli většímu rozptylu vypočtených tepelných ztrát jsou použity varianty:

Logatherm WLW196i-6 SH290SR+P120,5	326 000 Kč
Logatherm WLW196i-8 SH290SR+P120,5	337 000 Kč
Logatherm WLW196i-11 SH290SR+P200,5	398 000 Kč

Jako plynový kotel je zvolen Logamax plus GB192-15 iT150S od výrobce Buderus s cenou 136 000 Kč. Kotel je vybaven integrovaným pojistným zařízením a akumulací topné vody. Součástí ceny je akumulací ohřev teplé vody. Zdroje tepla na pevná paliva nejsou použity pro jejich prostorová omezení v řešených objektech. Parametry jednotlivých zdrojů tepla jsou převzaty z produktových listů výrobce a ceny z internetového obchodu třetí strany. [27] [28] [29] [30]

10.2. Návratnosti různých zdrojů

Je provedeno porovnání stavebních variant 1 a 3 při použití tepelného čerpadla (TČ) a plynového kondenzačního kotle (PL). Z porovnání je patrné, že při zhoršení ekonomického vývoje se návratnost zlepšuje. V případě použití tepelného čerpadla v obou případech jsou návratnosti 46, 30 a 23 let. Pro ekologicky nejlepší variantu výměny plynového kotle s konstrukcí varianty 1 za tepelné čerpadlo s konstrukcí varianty 3 jsou návratnosti 23, 18 a 15 let.

Tabulka 26 návratnost zdrojů pro 3% růst cen

	Návratnost [rok]				
	TČ1/PL1	TČ3/PL3	TČ3/TČ1	PL3/PL1	TČ3/PL1
Průměr	12	15	46	31	23
Mauna	11	15	46	30	23
Pisa	11	14	45	30	22
Kamona	13	15	46	33	25

Tabulka 27 návratnost zdrojů pro 7% růst cen

Návratnost [rok]					
	TČ1/PL1	TČ3/PL3	TČ3/TČ1	PL3/PL1	TČ3/PL1
Průměr	10	12	30	22	18
Mauna	10	12	30	22	18
Pisa	10	12	30	22	17
Kamona	11	12	31	23	19

Tabulka 28 návratnost zdrojů pro 12% růst cen

Návratnost [rok]					
	TČ1/PL1	TČ3/PL3	TČ3/TČ1	PL3/PL1	TČ3/PL1
Průměr	9	10	23	17	15
Mauna	9	11	23	17	14
Pisa	9	10	22	17	14
Kamona	10	11	23	18	15

S ohledem na současnou politickou, ekonomickou a ekologickou situaci lze předpokládat rozdílný růst cen pro elektrickou energii a plyn. Pro další porovnání je uvažován 12% růst cen plynu a 7% růst všech ostatních cen. Při použití tepelného čerpadla v obou variantách je návratnost 30 let a při změně plynového kotle za tepelné čerpadlo a změny zdiva je návratnost 13 let.

Tabulka 29 návratnost zdrojů pro kombinovaný růst cen

Návratnost [rok]					
	TČ1/PL1	TČ3/PL3	TČ3/TČ1	PL3/PL1	TČ3/PL1
Průměr	8	9	30	17	13
Mauna	8	9	30	17	13
Pisa	8	9	30	17	13
Kamona	9	9	31	18	14

11. Závěr

Cílem práce je porovnání energetické náročnosti tří různých architektonických provedení rodinných domů pro různé varianty skladeb stavebních konstrukcí a následné porovnání ekonomické návratnosti při použití různých zdrojů tepla. Nejprve jsou určeny tepelně technické vlastnosti všech konstrukcí, které jsou následně použity pro určení tepelných ztrát prostupem tepla a tepelné ztráty větráním se zpětným získáváním tepla. Následně jsou určeny tepelné zisky a vytvořena celková bilance potřeby tepla pro vytápění. V poslední řadě je určena potřeba tepla na ohřev vody a potřeba energie pro domácnost. Z potřeby energií jsou stanoveny provozní náklady při využití zdroje tepla na zemní plyn (kondenzační plynový kotel) a elektřinu (TČ). Z výsledku vyplývá, že použitá změna konstrukcí se nejvíce projevuje u domu Kamona, kde vlivem 16 % zasklení vnější obálky lze dosáhnout velkých tepelných zisků a použitím kvalitnějších okenních konstrukcí snížit měrnou tepelnou ztrátu budovy o 60 % ve variantě 4 a o 48 % ve variantě 3. Pro průměrné hodnoty všech tří budov je snížení měrných tepelných ztrát je pro jednotlivé varianty 26 %, 41 % a 52 % vůči variantě 1.

Pro investiční náklady byla provedena rozvaha využití dotací. Dotace stavební části dosahuje stejné úrovně pro všechny varianty konstrukcí. Vzhledem k uvažování novostavby nelze získat dotaci na jednotlivé zdroje tepla. V součtu je dosaženo stejných dotací pro všechny varianty, a tudíž jsou zanedbány.

Z vypočtených hodnot vyplývá, že samotné tepelné čerpadlo má vůči plynovému kotli návratnost do dvanácti let, v případě kombinace stavební investice a změny plánovaného zdroje tepla z plynového kotle na tepelné čerpadlo je to v průměru 18 let. Při uvažování použití tepelného čerpadla a vysoké investice ve variantách 1 a 3 je návratnost 30 let. Životnost samotného tepelného čerpadla s vhodnou údržbou lze uvažovat 20 let. V kombinacích stavební investice a nízkých provozních nákladů, použitím tepelných čerpadel pro obě varianty, je návratnost mnohem větší než životnost tepelného čerpadla. Tento výsledek je očekávatelný a lze očekávat nutnost výměny a prodloužení doby návratnosti investice.

Nejvíce pravděpodobná varianta vývoje dle současné situace se snahou snížit uhlíkové emise a nestabilního trhu s plynem, naznačuje výhodnost investice do stavební části a přechod u návrhu plynového kotle na tepelné čerpadlo s návratností 13 let. Varianty samotné změny zdroje pro variantu 1 a 3 ukazují návratnost 8 a 9 let, což ukazuje na návratnost samotné stavební změny 4 roky.

Seznam zdrojů

- [1] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [2] TNI 73 0329 Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy, Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [3] „Vyhláška č. 264/2020 Sb. Vyhláška o energetické náročnosti budov,“ 5 Květen 2020. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264/zneni-20200901?text=>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [4] „Zákon č. 406/2000 Sb. Zákon o hospodaření energií,“ 20 Květen 2023. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406>.
- [5] Passive House Institute, „Passipedia: What is a passive house,“ [Online]. Available: https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [6] P. Ing. Michal Čejka a P. Ing. Jan Antonín, „tzb.info,“ 16 Leden 2017. [Online]. Available: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [7] ČR, Státní fond životního prostředí, „Nová zelená úsporám,“ 1 Červen 2022. [Online]. Available: https://novazelenausporam.cz/files/documents/storage/2022/06/07/1654591457_NZ%C3%9A%20RD%20Z%C3%A1vazn%C3%A9%20pokyny_01-06-2022.pdf. [Přístup získán 10 Květen 2023].
- [8] GSERVIS : Vizualizace domu Mauna, [Online]. Available: <https://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/mauna/>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [9] GSERVIS : Vizualizace domu Pisa, [Online]. Available: https://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/pasiv_pisa/. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [10] GSERVIS : Vizualizace domu Kamona, [Online]. Available: https://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/pasiv_kamona/. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [11] Ing. Roman Vavříčka, „Výpočet tepelných ztrát,“ [Online]. Available: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty_New_2019.pdf. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [12] ČSN EN ISO 13370 Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody, Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [13] Wienerberger s.r.o., „Katalog Porotherm,“ [Online]. Available: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/brochures/pricelists/CZ_MKT_POR_Cenik_Porotherm_B2B.pdf. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [14] DEK, „eshop DEK,“ [Online]. Available: <https://www.dek.cz/produkty/vypis/3-tepelne-izolace>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [15] „Katalog stavebních materiálů,“ tzb-info, [Online]. Available: <https://stavba.tzb->

- info.cz/docu/tabulky/0000/000086_katalog.html#nahoru. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [16] „Vekra - Natura,“ [Online]. Available: <https://www.vekra.cz/produkt/eurookna-natura-68/>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [17] ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [18] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody, Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [19] „Vyhláška č. 20/2012 Sb,“ [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-20/zneni-20120201>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [20] ČSN EN ISO 52016-1 Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy, Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [21] Ing. Roman Vavříčka, „Výpočet potřeby tepla a paliva,“ [Online]. Available: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf. [Přístup získán 20 Kvetěn 2023].
- [22] ČSN 73 0331-1. Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet – Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data., Praha: Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [23] Skupina ČEZ, „CEZ: Jaká je průměrná spotřeba elektřiny u rodinného domu?,“ [Online]. Available: <https://www.cez.cz/cs/clanky/elektrina/jaka-je-prumerna-spotreba-elektriny-u-rodinneho-domu-174046>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [24] EON, „Ceník Komplet elektřina za věrnost,“ 21 Duben 2023. [Online]. Available: https://www.eon.cz/getmedia/9a3ce7b0-340f-4183-842d-8d64b768ea6b/Cenik-Komplet-elektrina-za-vernost-na-2-roky-4_23-distribucni-uzemi-CEZ.pdf?last-modified=638179543876542193&ext=.pdf. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [25] EON, „Ceník Komplet plyn za věrnost na 2 roky 4/23,“ 21 Duben 2023. [Online]. Available: https://www.eon.cz/getmedia/18d776bc-c987-43ce-bf34-52789707e43e/Cenik-Komplet-plyn-za-vernost-na-2-roky-4_23-distribucni-uzemi-GasNet.pdf?last-modified=638179544948598115&ext=.pdf. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [26] V. Ing. Roman, „mmspektrum - Energetická náročnost budov,“ 15 Únor 2023. [Online]. Available: <https://www.mmspektrum.com/clanek/energeticka-narocnost-budov>. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [27] Buderus, „Projekční podklady LOGATHERM WLW 196i,“ Květen 2020. [Online]. Available: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/fuer_partner/projektanty-/projecni-podklady-/wlw_s_6721830616_cz_v4.pdf. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [28] Buderus, „Projekční podklady pro LOGAMAX GB 192,“ Květen 2020. [Online]. Available: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/fuer_partner/planunsdokumente/wall_mounted_boilers/pp_gb192it_2016_cz_cz.pdf. [Přístup získán 20 Květen 2023].
- [29] „Solidpb,“ Eshop-plynové kondenzační kotle, [Online]. Available: <https://www.solidpb.cz/logamax-plus-gb192it/>. [Přístup získán 20 Květen 2023].

- [30] „Solidpb.cz,“ Eshop-tepelná čerpadla, [Online]. Available: <https://www.solidpb.cz/tepelne-cerpadlo-buderus-wlw196i-ar-comfort/>. [Přístup získán 20 Květen 2023].

Seznam obrázků

Obrázek 1 Vizualizace RD Mauna [3].....	13
Obrázek 2 Vizualizace RD Pisa [4]	14
Obrázek 3 Vizualizace RD Kamona [5]	15

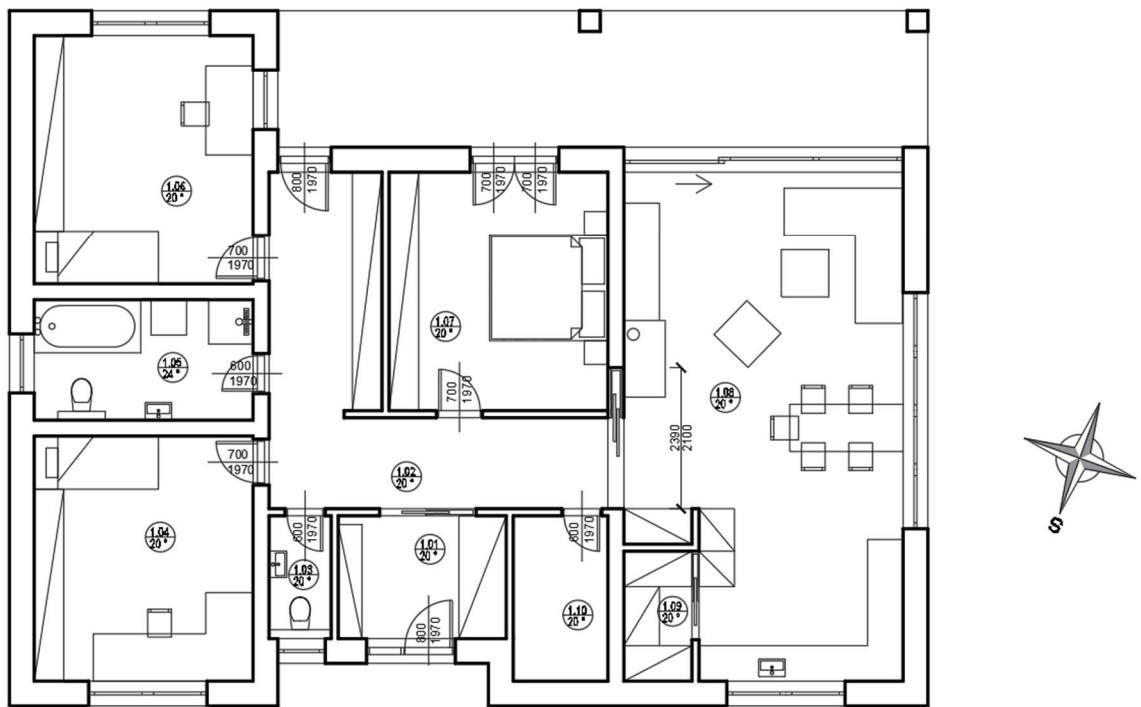
Seznam tabulek

Tabulka 1 Skladba příčky VS1	18
Tabulka 2 Skladba příčky VS2	18
Tabulka 3 Skladba vnější stěny ES1-VAR1	18
Tabulka 4 Součinitele prostupu tepla vnější stěnou ES1	18
Tabulka 5 Skladba podlahy konstrukce P1-VAR1	19
Tabulka 6 Součinitele prostupu tepla podlahou pro konstrukci P1	19
Tabulka 7 Skladba stropní konstrukce mezi patry pro konstrukci S2	19
Tabulka 8 Skladba stropní konstrukce mezi vytápěným a nevytápěným prostorem pro konstrukci S3-VAR1.....	20
Tabulka 9 Součinitele prostupu tepla mezi venkovním a vytápěným prostorem pro konstrukci S3	20
Tabulka 10 Skladba sedlové střechy S1-VAR1 pro dům Mauna	20
Tabulka 11 Skladba ploché střechy S1-VAR1 pro dům Kamona	20
Tabulka 12 Součinitele prostupu tepla pro střechu S1	21
Tabulka 13 Vlastnosti jednotlivých druhů oken	21
Tabulka 14 Vlastnosti různých provedení oken	21
Tabulka 15 větrání pro dům Mauna.....	23
Tabulka 16 větrání pro dům Pisa	23
Tabulka 17 větrání pro dům Kamona	24
Tabulka 18 korekční součinitele solárních zisků [12]	27
Tabulka 19 vnitřní tepelná kapacita dle druhu budovy [12].....	30
Tabulka 20 bilance potřeby tepla pro dům Mauna-VAR1	32
Tabulka 21 tepelné ztráty domu Mauna	32
Tabulka 22 tepelné ztráty domu Pisa.....	33
Tabulka 23 tepelné ztráty domu Kamona	33
Tabulka 24 průměrné tepelné ztráty	33
Tabulka 25 doby návratu investice pro jednotlivé varianty a růsty cen	35
Tabulka 26 návratnost zdrojů pro 3% růst cen	37
Tabulka 27 návratnost zdrojů pro 7% růst cen	38
Tabulka 28 návratnost zdrojů pro 12% růst cen	38

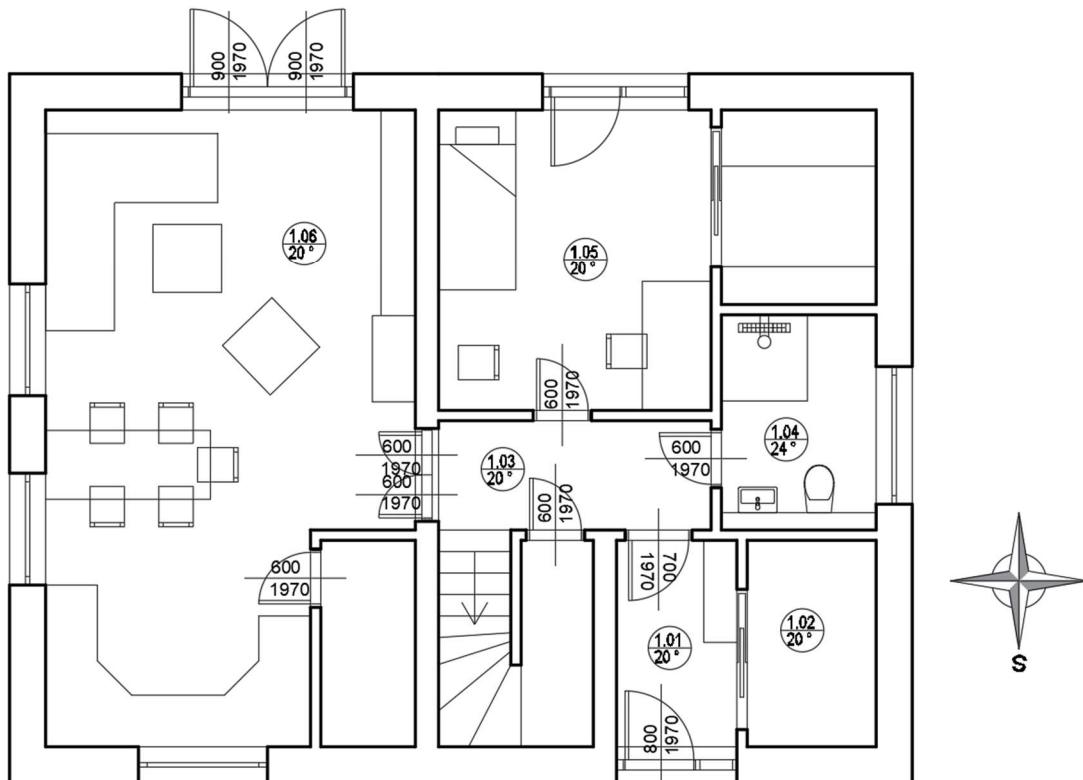
Seznam grafů

Graf 1 návratnost investice – růst 3 %	36
Graf 2 návratnost investice – růst 7 %	36
Graf 3 návratnost investice – růst 12 %	36

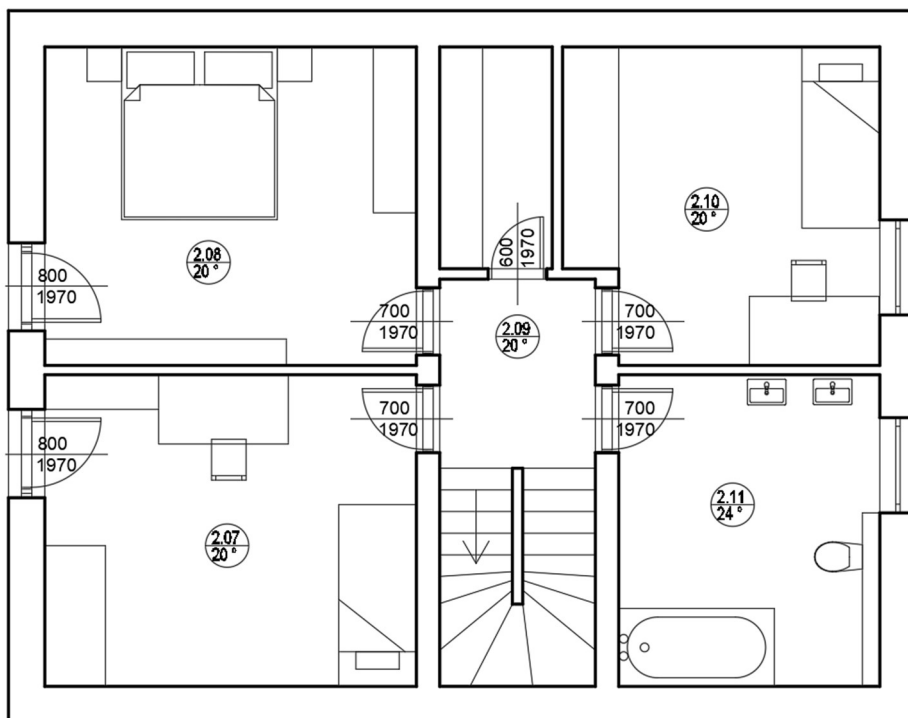
Přílohy



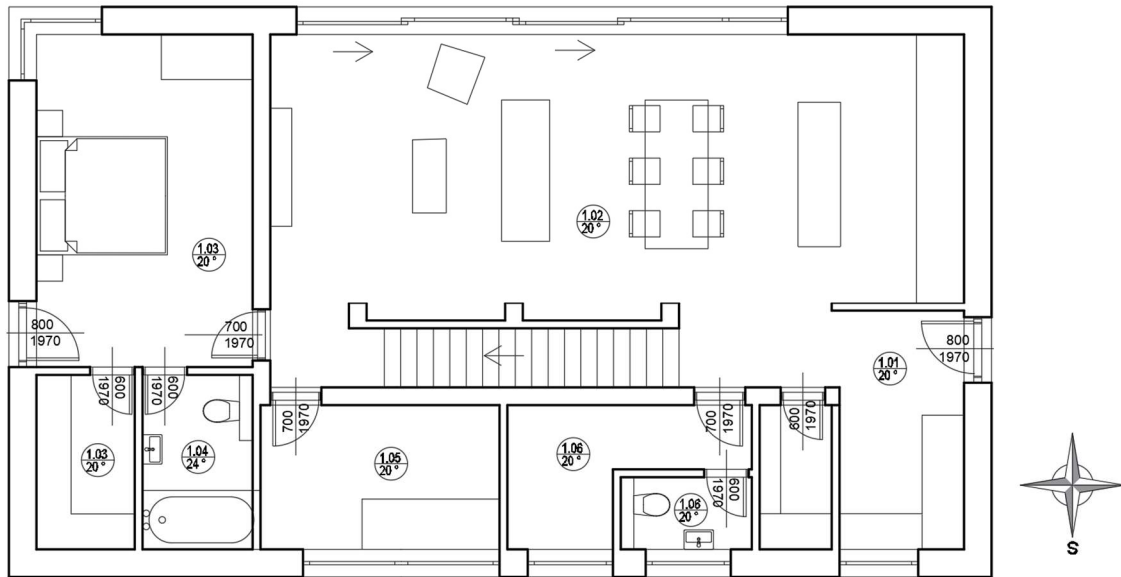
Příloha 1 výkres domu Mauna



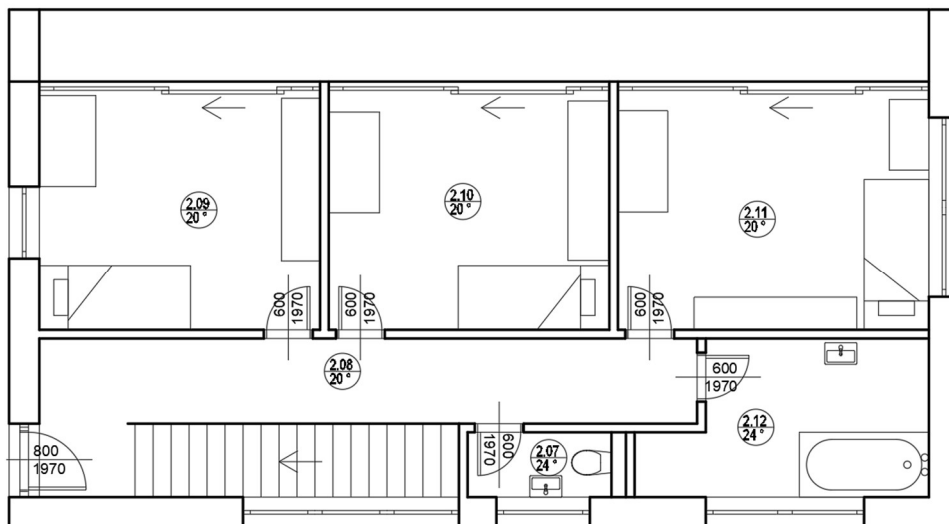
Příloha 2 výkres 1. patra domu Pisa



Příloha 3 výkres 2. patra domu Pisa



Příloha 4 výkres 1. patra domu Kamona



Příloha 5 výkres 2. patra domu Kamona