

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ U RODINNÝCH DOMŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Lukáš Zych

5-TZSI-2018

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

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zych** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **457511**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Náklady na vytápění u rodinných domů

Název bakalářské práce anglicky:

Heating Costs in Family Houses

Pokyny pro vypracování:

Studie srovnání investičních a provozních nákladů na vytápění alespoň tří typů rodinných domů pro dosažení nízkoenergetického a pasivního standardu. Studie bude zadána jako rešerše s důrazem na výpočet energetické náročnosti budovy z pohledu dílčí dodané energie na vytápění.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov ? Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. 2011.
- 2) ČSN EN 12 831: Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Český normalizační institut. 2005.
- 3) ČSN EN ISO 13 790: Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. Český normalizační institut. 2009.
- 4) Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.


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: **26.04.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **04.06.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:


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


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


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
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.

26.4.2018

Datum převzetí zadání

Zych

Podpis studenta

SOUHRN

Bakalářská práce se zabývá stanovením energetické náročnosti budov z pohledu dílčí dodané energie na vytápění. Následně je provedeno srovnání investičních a provozních nákladů na vytápění několika vypracovaných variant jednotlivých domů po dosažení nízkoenergetického a pasivního standardu. Dále je vypracována rešerše a výpočty pro vhodnou volbu zdroje na vytápění, přípravu teplé vody a dodávku elektřiny pro celou domácnost.

SUMMARY

The bachelor thesis deals with assessment of the energy performance of buildings in terms of partially supplied energy for heating. Subsequently, a comparison of the investment and operating costs for the heating of several variants after achieving the low energy or passive standards of individual houses is accomplished. In conclusion, research and calculations are made for the appropriate choice of sources for heating, hot water preparation and electricity supply for the whole household.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Náklady na vytápění u rodinných domů“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze

Lukáš Zych

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D., za seznámení s problematikou obsahu bakalářské práce, cenné rady a připomínky při konzultacích.

OBSAH

ÚVOD	- 8 -
SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	- 9 -
1. VÝBĚR RODINNÝCH DOMŮ	- 11 -
1.1. Rodinný dům č. 1	- 11 -
1.2. Rodinný dům č. 2	- 12 -
1.3. Rodinný dům č. 3	- 12 -
2. ENERGETICKÉ STANDARDY BUDOV	- 13 -
2.1. Pasivní dům.....	- 13 -
2.2. Nízkoenergetický dům	- 14 -
3. NÁVRH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ	- 14 -
3.1. Výpočet součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí.....	- 15 -
3.2. Stěny	- 16 -
3.3. Strop.....	- 16 -
3.4. Podlaha.....	- 17 -
3.5. Střecha	- 18 -
4. VÝBĚR OKEN A DVEŘÍ.....	- 19 -
4.1. Typ č. 1	- 19 -
4.2. Typ č. 2	- 19 -
4.3. Typ č. 3	- 19 -
5. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	- 20 -
5.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla.....	- 20 -
5.2. Návrhová tepelná ztráta větráním	- 22 -
6. VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ	- 23 -
6.1. Vnitřní tepelné zisky	- 23 -
6.2. Tepelné zisky z oslunění.....	- 23 -
6.3. Využitelnost tepelných zisků	- 25 -

7. VÝPOČET TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY	- 26 -
8. CELKOVÁ POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ.....	- 26 -
8.1. Předběžné vyhodnocení	- 27 -
9. SROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ.....	- 29 -
9.1. Dům č. 1.....	- 30 -
9.2. Dům č. 2.....	- 34 -
9.3. Dům č. 3.....	- 36 -
10. ZDROJ TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ RODINNÝCH DOMŮ.....	- 38 -
10.1. Zemní plyn	- 38 -
10.2. Tepelné čerpadlo vzduch-voda	- 40 -
10.3. Centrální zásobování teplem	- 41 -
10.4. Výsledné zpracování	- 41 -
ZÁVĚR	- 46 -
POUŽITÁ LITERATURA.....	- 50 -
SEZNAM PŘÍLOH.....	- 52 -
Příloha 1 – Celkové provozní a investiční náklady domu č. 1 (1c a 2a)	- 53 -
Příloha 2 - Investiční a provozní náklady domu č. 2 var. 1c	- 53 -
Příloha 3 - Investiční a provozní náklady domu č. 2 var. 2a	- 54 -
Příloha 4 - Investiční a provozní náklady domu č. 3 var. 1c	- 54 -
Příloha 5 - Investiční a provozní náklady domu č. 3 var. 2a	- 55 -
Příloha 6 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 po 20 letech.....	- 55 -
Příloha 7 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 0	- 56 -
Příloha 8 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 1a	- 56 -
Příloha 9 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 1b	- 57 -
Příloha 10 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 2b	- 57 -

ÚVOD

Ačkoliv ceny energií v posledních letech mírně klesly, snižování nákladů na vytápění je přesto momentálně velice aktuálním tématem. Důležitost tohoto tématu spočívá v nepředvídatelnosti budoucích cen energií a v neobnovitelnosti některých energetických zdrojů.

Bakalářská práce se zaměřuje na výpočty energetické náročnosti budov z pohledu dílčí dodané energie na vytápění. Na základě návrhu stavebních konstrukcí budou provedeny výpočty tepelných ztrát, tepelných zisků a ročních potřeb tepla počítaných přes měsíční metodu. Jedná se o výpočty pro tři vybrané rodinné domy, které mezi sebou mají určité odlišnosti. Návrhy a výpočty proběhnou pro dva energetické standardy, konkrétně pro nízkoenergetický a pasivní standard.

Cílem práce bude zjištění, za jakých podmínek se vyplatí investice do kvalitnější konstrukce domu, například tepelně-izolační vrstvy, do kvalitnějších oken či do řízeného větrání domu se zpětným získáváním tepla, tj. rekuperační jednotkou. Tohoto se dosáhne posuzováním a výpočty několika variant rodinných domů z pohledu finančních nároků na jednotlivé varianty. Investiční a provozní náklady s uvažováním inflace budou prezentovány formou grafů, kde bude patrna návratnost našich investic v průběhu několika let.

Dále bude posouzena vhodnost volby zdrojů energií na vytápění, přípravu teplé vody a dodávku elektřiny pro provoz domácnosti.

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

a	- parametr	[-]
c	- měrná tepelná kapacita	[J/kg.K]
d_n	- tloušťka tepelné izolace v okrajové zóně podlahy	[m]
f	- přítomnost osob	[-]
g	- propustnost	[-]
h	- počet hodin	[-]
i	- intenzita větrání	[-]
l	- délka lineárního prostupu tepla	[m]
m	- počet dnů	[den]
n	- počet osob	[-]
s	- tloušťka	[m]
t	- teplota	[K]
w	- tloušťka obvodových stěn	[m]
z	- koeficient energetických ztrát	[-]
A	- účinná sběrná plocha	[m ²]
B'	- charakteristický parametr	[m]
D	- délka tepelné izolace	[m]
F	- korekční součinitel	[-]
G_w	- součinitel zahrnující vliv spodní vody	[-]
H	- součinitel tepelné ztráty/zisku	[W/K]
I	- intenzita slunečního záření	[kWh/m ²]
NS	- nízkoenergetická stavba	[-]
O	- obvod	[m]
PS	- pasivní stavba	[-]
Q	- potřeba tepla	[kWh]
U	- součinitel prostupu tepla	[W/m ² .K]
R	- tepelný odpor	[m ² .K/W]
S	- plocha stavební části	[m ²]
V_p	- denní potřeba teplé vody	[m ³ /den]
α	- součinitel tepla	[W/m ² .K]
γ	- poměr	[-]
λ	- součinitel tepelné vodivosti	[W/m.K]

η	- účinnost	[-]
	- faktor využití	[-]
ρ	- hustota	[kg/m ³]
Φ	- návrhová tepelná ztráta/zisk	[W]
Ψ	- součinitel lineárního prostupu tepla	[W/m.K]

Indexy:

1	- vstup
2	- výstup
e	- externí
ev	- venkovní výpočtová
g	- vliv vodorovné okrajové izolace podlahy
gl	- stínění
gn	- tepelné zisky
ht	- tepelné ztráty
i	- interní, z/do interiéru
ie	- prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí
ig	- prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí zeminou
iv	- vnitřní výpočtová
iz	- izolace
l	- lineární
n	- n-tý/á
np	- neprůhledné prvky
nd	- celkový
ob	- obloha
p	- podlahy
pp	- průhledné prvky
poh	- pohledová
r	- mezi stavebním prvkem a oblohou
rek	- rekuperátor
s	- skutečný
se	- vnější při přestupu tepla
sh	- externí překážky
si	- vnitřní při přestupu tepla
sol	- solární
s,o	- domácí spotřebiče a osvětlení
s,p	- bytová jednotka
st	- střední
v	- větráním
w	- nerozptýlené zasklení
zem	- zemina
zv	- vnitřní zisk
H	- bezrozměrný
F	- rámu
T	- prostupem tepla
TV	- teplá voda

1. VÝBĚR RODINNÝCH DOMŮ

Při výběru rodinných domů byl kladen důraz na rozmanitost typů staveb. Konkrétně na počet pater, tvar domu, typ střechy a v neposlední řadě také na velikost a druh oken. Pro výpočty byla do všech tří domů uvažována čtyřčlenná rodina v obvyklém obsazení – otec, matka a dvě děti.

1.1. Rodinný dům č. 1

Jako první dům byl zvolen přízemní rodinný dům střední velikostní kategorie. S dispozicí 4+1 a svou celkovou užitkovou plochou 151,2 m² bez problémů uspokojí nároky čtyřčlenné rodiny. Stěna obývacího pokoje směřující na prostornou krytou terasu je tvořena francouzskými okny. Kromě těchto oken slouží k vchodu na terasu zadní vchod vedoucí z hlavní chodby domu a prosklené dveře z jedné ze tří ložnic. Hlavní vchod je orientován na západ, dům se svým řešením hodí i pro osoby se sníženou schopností pohybu.



obr. 1 Rodinný dům č. 1

1.2. Rodinný dům č. 2

Pro druhý typ stavby byl vybrán dvoupodlažní dům ze střední velikostní kategorie s přílehlou garáží. Se svou dispozicí 5+1 a užitkovou plochou 176,9 m² dostatečně vyhovuje čtyřčlenné rodině. Jedna místnost může být vybavením řešena jako pracovna s případnou možností využití jako pokoj pro hosty. Pro přístup na nekrytou terasu, která je situována na jih, slouží francouzská okna v obývacím pokoji.



obr. 2 Rodinný dům č. 2

1.3. Rodinný dům č. 3

Jako třetí stavba byl vybrán taktéž dvoupodlažní dům střední kategorie s celkovou užitkovou plochou 163,3 m² a dispozicí 4+1. Dům je řešený tak, aby byly oba dětské pokoje oddělené od hlavní ložnice. Jsou tedy umístěny do prvního patra domu, kde mají i vlastní sociální zařízení. Za domem se nachází terasa přístupná skrze posuvné balkonové

dveře v obývacím pokoji. Terasa je také orientovaná na jih stejně jako v předchozím případě, takže nám poskytne dostatek sluníčka po celý rok.



obr. 3 Rodinný dům č. 3

2. ENERGETICKÉ STANDARDY BUDOV

Budovy, které se v dnešní době staví, se dělí do několika energetických standardů, jako například pasivní stavba, nízkoenergetická stavba, budova s téměř nulovou spotřebou energie a další. Toto dělení se provádí hlavně na základě požadované hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění, která je udávána v $kWh/m^2.a$. Aby dům dosahoval požadovaných hodnot, musí splňovat určité konstrukční řešení. Další kritéria používaná k hodnocení v jednotlivých energetických třídách nejsou součástí výpočetního řešení této bakalářské práce.

2.1. Pasivní dům

Termín pasivní dům plyne z principu pasivních tepelných zisků v domě a lze ho považovat za technicky nejideálnější po stránce stavebního řešení. Jedná se především o využití vnějších tepelných zisků a zároveň se uvažuje i s tepelnou bilancí vnitřních tepelných zisků od spotřebičů a osob. Aby tyto tepelné zisky měly smysl, je zapotřebí dbát na dostatečnou tepelnou izolaci, která musí dosahovat výborných parametrů,

abychom splnili nároky na pasivní dům. Těmito nároky se myslí hlavně nízké náklady na vytápění, konkrétně se jedná o měrnou potřebu tepla $15 \text{ kWh/m}^2.a$. Velký důraz je zde kladen také na výběr kvalitních dveří a oken, jejich umístění, celkové umístění domu a orientace na světové strany. Na jih orientovaná budova, která nebude zastíněná okolní zástavbou, dosahuje dostatečného množství tepelných zisků, které jsou pro pasivní stavby klíčové.

Větrání je u stavby tohoto typu podmíněno návrhem řízeného větrání se zpětným získáváním tepla. Mezi výhody pasivního domu patří kromě nízkých nákladů na vytápění také eliminace zdravotních problémů, protože zde dochází k odstraňování škodlivých nečistot a prachu vlivem filtrace vzduchu, která zajišťuje stálý přívod čerstvého vzduchu bez tvoření průvanu.

Pasivní domy se vyznačují hlavně kompaktními tvary bez zbytečných výčnělků, které následně mohou vytvářet podmínky pro vznik tepelných mostů. [1][2][3][4][5][6]

2.2. Nízkoenergetický dům

Kvůli rostoucím cenám energií vznikl koncept nízkoenergetického domu, který je jakýmsi kompromisem mezi běžnou stavbou a pasivním standardem. Nízkoenergetický dům má podobnou stavební konstrukci jako dům pasivní, pouze je zde použito menší množství izolace. Jeho výstavba je tedy levnější než u pasivního standardu, ovšem náklady na vytápění jsou pochopitelně o něco vyšší. Potřeba tepla na vytápění dosahuje maximálně $50 \text{ kWh/m}^2.a$. Oproti běžným novostavbám má takový dům pouze poloviční až třetinovou potřebu tepla na vytápění.

Tento typ stavby se vyznačuje otopnou soustavou o nízkém výkonu, využívá obnovitelných tepelných zdrojů a k dosažení hranice roční potřeby tepla na vytápění nižší než $50 \text{ kWh/m}^2.a$ může být použito i řízené větrání se zpětným získáváním tepla. [1][2][3][4][5][6]

3. NÁVRH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Prvky stavební konstrukce byly navrženy ve dvou variantách – pro nízkoenergetický dům a pro pasivní dům. Ve většině případů byla snaha o podobné složení konstrukce, kde bylo pouze použito větší množství izolace, která nám zajišťuje dosažení nižšího součinitele prostupu tepla.

3.1. Výpočet součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí

„Součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejich povrchů o 1 K [7].“ Při šíření tepla prostupem se jedná o klíčovou vlastnost hodnotící celou konstrukci. Jedná se o převrácenou hodnotu tepelného odporu R [m².K/W].

Výpočet probíhá dle vztahu

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_e}}, \quad (1)$$

kde R_{si} představuje vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla, R_{se} vnější tepelný odpor při přestupu tepla a R_n tepelný odpor n-té stavební konstrukce. Tloušťka n-té stavební konstrukce se značí s_n , součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce je λ_n . [9]

Součinitele tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce jsou pro mé výpočty následující: $\alpha_i = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a $\alpha_e = 23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Hodnoty součinitelů tepla pro potřebné stavební konstrukce jsou uvedeny dle normy ČSN 73 0540-2 v následující tabulce.

Tabulka 1 Požadované hodnoty součinitelů tepla

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]		
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy
<i>Stěna vnější</i>	0,3	0,25	0,18 až 0,12
<i>Strop</i>	0,3	0,2	0,15 až 0,10
<i>Střecha</i>	0,24	0,16	0,15 až 0,10
<i>Podlaha</i>	0,45	0,3	0,22 až 0,15

U stavebních konstrukcí použitých u pasivních domů se drží v rozmezí daném sloupcem Doporučené hodnoty pro pasivní budovy. Nízkoenergetické domy se řídí sloupcem Doporučené hodnoty. Tabulka je výtažkem z Tabulky 3 v normě ČSN 73 0540-2 [8].

Výsledné zaokrouhlené součinitele prostupu tepla stavebních konstrukcí najdeme pod tabulkami u příslušné stavební konstrukce. Všechny požadované hodnoty konstrukcí jsou dle normy ČSN 73 0540-2 splněny.

3.2.Stěny

Stěny pro nízkoenergetické a pasivní domy byly navrženy podle následujících tabulek. Jako základní stavební prvek jsme použili broušené cihly HELUZ Family 30, které se vyznačují propracovanou technologií dosahující vysoké pevnosti, prodyšnosti a vysokého tepelného odporu. Vnější omítkový systém je tvořen tepelně izolační jádrovou omítkou, na vnitřní systém je použita lehčená jádrová omítkka. Pro pasivní stavbu byla zvolena tepelná izolace v podobě pěnového polystyrenu o tloušťce 180 mm.

Tabulka 2 Složení stěn pro nízkoenergetické domy

Stavební prvek	$s [m]$	$\lambda [W/m.K]$
Vnější omítkový systém s tepelněizolační jádrovou omítkou	0,04	0,1
HELUZ Family 30 broušená	0,3	0,093
Vnitřní omítkový systém s lehčenou jádrovou omítkou	0,015	0,5

Výsledný součinitel prostupu tepla pro tuto konstrukci byl $U = 0,21 W/m^2K$.

Tabulka 3 Složení stěn pro pasivní domy

Stavební prvek	$s [m]$	$\lambda [W/m.K]$
Vnější omítkový systém s tepelněizolační jádrovou omítkou	0,04	0,1
HELUZ Family 30 broušená	0,3	0,093
Pěnový polystyren	0,18	0,039
Vnitřní omítkový systém s lehčenou jádrovou omítkou	0,015	0,5

Součinitel prostupu tepla pro vnější stěnu u pasivní stavby byl $U = 0,12 W/m^2K$.

3.3.Strop

Pro stropní základní konstrukci byla zvolena variabilní montovaná konstrukce YTONG EKONOM 250+0 o tloušťce 250 mm. Jako tepelná izolace slouží Isover ORSIK, což je čedičová vlna, která nabízí výborné parametry. Její tloušťka je variabilní, takže pro pasivní budovu byla použita pouze větší vrstva. Pro nášlapnou vrstvu jsou použity OSB desky, na kterých je PVC podlaha.

Tabulka 4 Složení stropu pro nízkoenergetické domy

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
YTONG EKONOM 250+0	0,25	0,368
Isover ORSIK Čedičová vlna	0,14	0,038
Omítka	0,015	0,1
OSB deska 22mm	0,022	0,1
PVC podlahy Gerflor Nera First	0,0021	0,25

Součinitel prostupu tepla pro tuto konstrukci činil $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabulka 5 Složení stropu pro pasivní domy

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
YTONG EKONOM 250+0	0,25	0,368
Isover ORSIK Čedičová vlna	0,26	0,038
Omítka	0,015	0,1
OSB deska 22mm	0,022	0,1
PVC podlahy Gerflor Nera First	0,0021	0,25

Součinitel prostupu tepla stropem u pasivního domu byl $U = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.4.Podlaha

Základní složka podlahové konstrukce je vrstva železobetonu, na které se nachází hydroizolační asfaltový pás ELASTEK 40 DEKOR. Tepelná izolace je řešena pomocí podlahového EPS 200. Pro nízkoenergetickou budovu činí tloušťka 120 mm, pro pasivní 200 mm. Dále je použita vrstva Anhydritu, což je jedna z nejžádanějších hrubých podlah na trhu, na které je už samotná PVC podlaha. Návrh probíhal dle normy ČSN 73 0540-2, avšak součinitel prostupu tepla podlahou byl vypočten dle ČSN EN ISO 13 790.

Tabulka 6 Složení podlahy pro nízkoenergetické domy

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Železobeton	0,15	1,43
Hydroizolační asfaltový pás ELASTEK 40 DEKOR	0,0045	0,2
Podlahový EPS 200	0,12	0,034
Anhydrit	0,05	1,8
PVC podlahy Gerflor Nera First	0,0021	0,25

Tabulka 7 Složení podlahy pro pasivní budovu

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Železobeton	0,15	1,43
Hydroizolační asfaltový pás ELASTEK 40 DEKOR	0,0045	0,2
Podlahový EPS 200	0,20	0,034
Anhydrit	0,05	1,8
PVC podlahy Gerflor Nera First	0,0021	0,25

Výpočty součinitele prostupu tepla podlahou jsou uvedeny v kapitole 5.1.2.

3.5.Střecha

Střecha pro nízkoenergetický i pasivní dům je řešena jako jednoplášťová s tepelně izolační vrstvou, což je v tomto případě polystyren EPS. Pro nízkoenergetický dům o tloušťce 200 mm, pro pasivní 320 mm. Jako hydroizolační vrstva slouží asfaltové pásy a lepenky. Nosná vrstva je tvořena masivním konstrukčním systémem YTONG Komfort 250+.

Tabulka 8 Složení střechy pro nízkoenergetický dům

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Asfaltové pásy a lepenky	0,045	0,21
YTONG Komfort 250+	0,25	0,368
Střešní polystyren EPS	0,2	0,038
Omítka perlitová	0,015	0,1

Výsledná hodnota součinitele prostupu tepla této stavební konstrukce činil $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabulka 9 Složení střechy pro pasivní dům

Stavební prvek	s [m]	λ [W/m.K]
Asfaltové pásy a lepenky	0,045	0,21
YTONG Komfort 250+	0,25	0,368
Střešní polystyren EPS	0,32	0,038
Omítka perlitová	0,015	0,1

Součinitel prostupu tepla této stavební konstrukce byl pro pasivní stavbu roven $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4. VÝBĚR OKEN A DVEŘÍ

Pro výpočty celkových potřeb tepla a dosahování energetických standardů byly vybrány 3 typy oken, posuvných portálů a vchodových dveří. Tento výběr byl zvolen na základě rozdílných tepelně-izolačních vlastností.

4.1. Typ č. 1

Jako základní typ oken a posuvných dveří byla použita dvoukomorová plastová okna Vekra Prima resp. posuvné HS portály se zasklením dvojsklem a výsledným součinitelem prostupu tepla $1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Vchodové dveře byly vybrány taktéž od firmy Vekra se součinitelem prostupu tepla dveřmi $1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Do dveří bylo vybráno bezpečnostní dvojsklo.

4.2. Typ č. 2

Druhým typem jsou zvolena taktéž okna a dveře od společnosti Vekra, tentokrát však ne plastová, ale dřevěná okna Natura 68. K zasklení bylo zvoleno dvojsklo s výsledným součinitelem prostupu tepla oknem $1,2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Stejný součinitel prostupu tepla má i druhý typ posuvných dveří HS 78. K zasklení bylo použito rovněž dvojsklo.

Dřevěné vchodové dveře Trend byly vybrány pro jejich součinitel prostupu tepla $1,0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, který mají díky bezpečnostnímu trojsklu.

4.3. Typ č. 3

Třetím a z tepelně-izolačního hlediska nejlepším typem pro zvolené stavby byla použita dřevěná okna a dveře od společnosti Slavona. Okna a posuvné dveře byly zvoleny Slavona Solid Comfort se standardním zasklením izolačním trojsklem a celkovým součinitelem prostupu tepla pouhých $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Vchodové dveře byly vybrány celodřevěné Solid Comfort Trend se součinitelem prostupu tepla taktéž $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

5. VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

5.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelné ztráty prostupem tepla jsou tepelné ztráty do vnějšího prostředí způsobené vedením tepla obklopující konstrukcí. Jedná se o součet součinitele tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí a součinitele ztráty prostupem zeminou násobený rozdílem vnitřní výpočtové teploty a venkovní výpočtové teploty. Vzorce pro tyto součinitele jsou uvedeny níže. [9]

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig}) \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad (2)$$

5.1.1. Součinitel tepelné ztráty prostupem

Součinitel tepelných ztrát prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí $H_{T,ie}$ se počítá podle vzorce

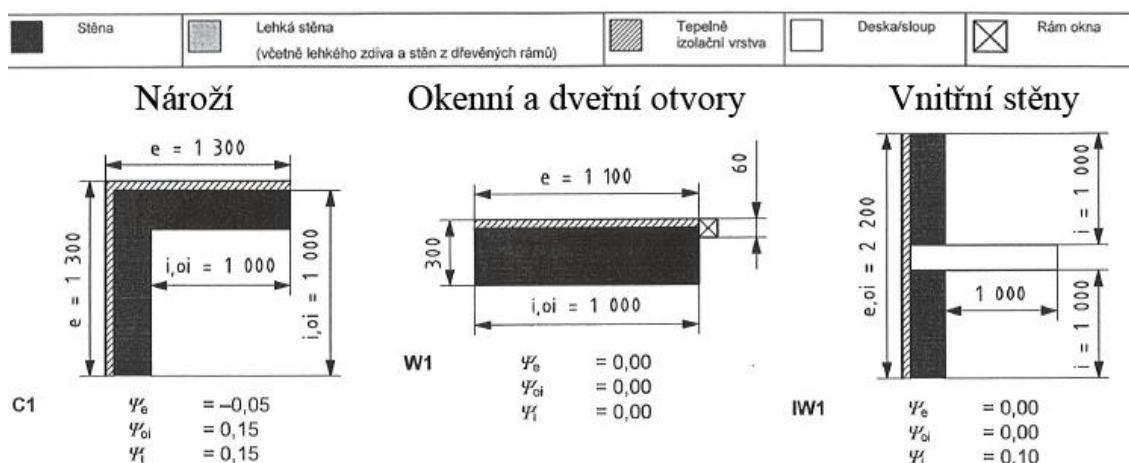
$$H_{T,ie} = \sum S_n \cdot U_n + \sum \psi_l \cdot l_l, \quad (3)$$

ve kterém je S_n plocha stavební části, U_n součinitel prostupu tepla, ψ_l součinitel lineárního prostupu tepla tepelného mostu a l_l délka lineárního tepelného mostu mezi vnějším a vnitřním prostředím. [9][10]

Tepelné mosty

Tepelné mosty mají negativní vliv na energetickou bilanci budovy. Obecně se dá říci, že tepelný most je místo zvýšeného tepelného toku z interiéru do exteriéru, což je samozřejmě nežádoucí. Dělí se na lineární a bodové. Pokud se u bodových tepelných mostů jedná o křížení s lineárními, většinou se zanedbávají. Lineární tepelné mosty se obvykle vyskytují na spojích mezi vnějšími prvky (napojení stěna – stěna, střecha – stěna), vnitřními a vnějšími prvky, spojení stropu podlaží se stěnami a v neposlední řadě v napojení oken a dveří na vnější stěny. [10][11]

Pro ukázkou jsou uvedeny některé vybrané typy tepelných mostů pro pasivní dům.



obr. 4 Lineární tepelné mosty - pasivní dům (vyňato z [10])

Procentuální vliv tepelných mostů na návrhovou tepelnou ztrátu prostupem tepla byl uvažován 50% u nízkoenergetických staveb a 20% u pasivních.

5.1.2. Součinitel tepelné ztráty prostupem zeminou

Tento součinitel s označením $H_{T,g}$ se počítá dle zjednodušeného vztahu upraveného z ČSN EN ISO 13 770 jako

$$H_{T,ig} = \left[S_p \cdot \left(U_p + \frac{2 \cdot \psi_{g,ev}}{B'} \right) + 1 \right] \cdot G_w, \quad (4)$$

kde G_w představuje součinitel zahrnující vliv spodní vody a je bezrozměrný. Pro naše výpočty jsme uvažovali vzdálenost mezi úrovní základů a hladinou spodní vody větší než 1 m, tudíž byl $G_w = 1$. Lineární součinitel prostupu tepla zastupující také vliv vodorovné okrajové izolace podlahy $\psi_{g,ev}$ je počítán dle vztahů

$$\psi_{g,ev} = -\frac{\lambda_{zem}}{\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (5)$$

$$d' = \lambda_{zem} \cdot \left(\frac{d_n}{\lambda_{iz}} - \frac{d_n}{\lambda_{zem}} \right) \quad (6)$$

$$d_t = w + \lambda_{zem} (R_{si} + R_p + R_{se}), \quad (7)$$

kde je D délka tepelné izolace přesahující pod budovu, d_n tloušťka tepelné izolace v okrajové zóně podlahy, w tloušťku obvodových stěn obsahující všechny vrstvy, R_p tepelný odpor podlahy a λ_{zem} je hodnota součinitele tepelné vodivosti. [9]

Dále bylo počítáno dle vztahů

$$B' = \frac{S_p}{0,5 * O_p} \quad (8)$$

$$d_t < B' \Rightarrow U_p = \frac{2 \cdot \lambda_{zem}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) \quad (9)$$

$$d_t \geq B' \Rightarrow U_p = \frac{\lambda_{zem}}{0,457 \cdot B' + d_t}, \quad (10)$$

charakteristický parametr B' (S_p je plocha podlahy a O_p je obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí), který je porovnáván s celkovou ekvivalentní tloušťkou podlahy d_t (7) a následně je z něj podle vztahu (9) resp. (10) počítáno U_p potřebné pro výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou $H_{T,g}$ (4). [9]

5.2. Návrhová tepelná ztráta větráním

Kromě tepelných ztrát prostupem se musí do výpočtů uvažovat také tepelné ztráty větráním. Pro minimalizování těchto ztrát se do domů instalují již zmíněné rekuperační výměníky. Návrhová tepelná ztráta větráním se poté počítá dle vztahu

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \cdot (1 - \eta), \quad (11)$$

kde $H_{V,i}$ představuje součinitel návrhové tepelné ztráty větráním a η je účinnost rekuperačního výměníku. Tato účinnost představuje využití odpadního tepla pro předehřev chladného vzduchu. Účinnost 60 % je považována za dobrou, nad 80 % pak za výbornou. Pro výpočty byla uvažována účinnost 90 %, kterou uvádí výrobce námi zvolené rekuperační jednotky a dosažení této hodnoty je pro rodinné domy typické. [9][12]

5.2.1. Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním je počítán podle vzorce (12). Veličina c je měrná tepelná kapacita vzduchu, ρ je hustota vzduchu, O představuje objem místnosti a i je intenzita větrání. Pro výpočty byly použity hodnoty 0,3 pro místnosti s občasným pobytem, 0,5 pro trvalý pobyt a 1 pro WC, koupelny a kuchyně. [9]

$$H_{V,i} = \frac{i \cdot O}{3600} \cdot \rho \cdot c \quad (12)$$

5.2.2. Výběr rekuperační jednotky

Rekuperační jednotka je vzduchotechnické zařízení nasávající venkovní vzduch, který se ohřívá od vzduchu odváděného z interiéru. Tento proces probíhá bez mísení těchto dvou vzduchů, takže zajišťuje stále čerstvý vzduch, který je navíc filtrován. [12]

Pro minimalizaci návrhové tepelné ztráty větráním byla zvolena vysoce účinná rekuperační jednotka VENUS Comfort HRV-15AC-N-54-R se jmenovitým průtokem vzduchu $140 \text{ m}^3/\text{hod}$, který je dostatečný pro všechny tři vybrané domy. Z grafu účinnosti rekuperace od výrobce byla odečtena účinnost 90 %. Cena jednotky byla stanovena na 22 000 Kč, s příslušenstvím a montáží dosahovala celková cena 44 000 Kč.

6. VÝPOČET TEPELNÝCH ZISKŮ

Při výpočtu návrhového tepelného výkonu a měrné potřeby tepla se musí počítat také s tepelnými zisky. Konkrétně jde o vnitřní tepelné zisky a tepelné zisky z oslunění. Výpočet je proveden v souladu s ČSN EN ISO 13 790.

6.1. Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky domu jsou zisky od domácích spotřebičů, z umělého osvětlení a od osob, které v domě pobývají. V rodinném domě nepředstavují příliš velkou část zisků, ovšem např. u kancelářských budov může být jejich podíl již významný na celkové tepelné potřebě.

$$\phi_{zv} = \phi_{so} \cdot f + \phi_{sp} \quad (13)$$

V práci byla považována přítomnost osob 70 % doby v roce, což je ve vzorci (13) koeficient f . Energie od domácích spotřebičů a osvětlení je $\phi_{so} = 100 \text{ W/os}$. Na každou bytovou jednotku připadá $\phi_{sp} = 100 \text{ W}$. [13]

6.2. Tepelné zisky z oslunění

Tepelné zisky z oslunění hrají podstatnou roli v projektování jak nízkoenergetické stavby, tak stavby pasivní. Největší solární zisky jsou samozřejmě v letních měsících, když je sluneční záření nejintenzivnější a střední venkovní teplota t_{ep} nejvyšší.

Počítají se dle vztahu

$$\phi_{sol} = F_{sh} \cdot (\sum A_{sol}) \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \phi_{r,i} \quad (14)$$

kde F_{sh} představuje korekci stínění na externí překážky, $F_{r,i}$ je faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou, ten je buď roven 0,5 při vertikálním stavu, nebo 1 při stavu horizontálním. A_{sol} zastupuje součet účinných solárních sběrných ploch průhledných a neprůhledných prvků. Jeho výpočet je podrobněji popsán rovnicí (15) pro průhledné prvky a rovnicí (16) pro neprůhledné prvky. $F_{sh,gl}$ je korekční součinitel stínění, g_{gl} celková propustnost průhlednými prvky, která je součinem korekcí pro nerozptylové zasklení F_w a celkové propustnosti zasklení g_n . F_F je podíl plochy rámu a $A_{pp,poh}$ je plocha průhledných prvků. Ve vzorci (16) je počítána účinná solární sběrná plocha neprůhledných prvků pomocí pohltivosti slunečního záření neprůhledných prvků $\alpha_{s,c}$, tepelného odporu přestupu tepla na vnějším povrchu R_{se} , součinitele prostupu tepla neprůhledných částí U_{np} a plochy neprůhledných prvků $A_{np,poh}$. Sálání vůči obloze ϕ_r je popsáno rovnicí (17). Součinitel h_r je součinitel přestupu tepla sáláním na vnější straně a $\Delta t_{e,r}$ je průměrný rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy. [13]

$$A_{sol,p} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{pp,poh} \quad (15)$$

$$A_{sol,n} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_{np} \cdot A_{np,poh} \quad (16)$$

$$\phi_r = R_{se} \cdot U_{np} \cdot A_{np,poh} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad (17)$$

I_{sol} je intenzita slunečního záření. Její hodnoty pro různé měsíce jsou uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10 Celkové solární záření za měsíc [13]

	Počet dnů	Stř. venk. tep.	Celkové solární záření za měsíc								
	n	t_{ep}	$I_{sol,n} [kWh/m^2]$								
Měsíc	[den]	[°C]	sever	jih	východ	západ	horizont	SZ	JZ	SV	JV
Leden	31	-1	7	50	15	20	23	12	44	12	37
Únor	28	1	13	56	26	28	40	20	51	20	47
Březen	31	4	23	82	51	53	79	37	76	36	73
Duben	30	9	32	95	74	72	118	49	86	51	92
Květen	31	14,6	47	97	104	93	161	73	98	79	109
Červen	30	17	52	87	115	88	166	73	88	91	108
Červenec	31	18,2	47	93	100	93	162	75	97	78	103
Srpen	31	18,8	38	100	88	88	143	63	100	64	101
Září	30	13,8	24	95	60	64	96	40	86	38	82
Říjen	31	9,4	17	75	34	48	57	25	71	21	51
Listopad	30	4	9	36	14	18	24	11	32	10	25
Prosinec	31	-0,5	6	29	11	12	17	9	26	9	23

6.3. Využitelnost tepelných zisků

Faktor využitelnosti tepelných zisků se značí $\eta_{H,gn}$ a závisí hlavně na tepelně akumulčních vlastnostech objektu. Nikdy totiž nevyužijeme všechny tepelné zisky. Vypočítán je dle rovnice (18), resp. (19) a (20). V rovnicích se objevuje a_H , což je bezrozměrný parametr závislý na časových konstantách budovy. [13]

$$\text{pokud } \gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (18)$$

$$\gamma_H = 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (19)$$

$$\gamma_H < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad (21)$$

$$\gamma_H = \frac{\text{celkové tepelné zisky}}{\text{celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$$

7. VÝPOČET TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Do výpočtů a následných grafů byl zahrnut také výpočet tepla potřebného na přípravu teplé vody do domácnosti. Výpočet probíhal podle vzorce (22), kde n představuje počet členů domácnosti, V_p denní potřebu teplé vody na 1 osobu, t_1 teplotu studené vody (10 °C), t_2 teplotu teplé vody (55 °C), ρ hustotu vody, c měrnou tepelnou kapacitu vody a z je koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody. Pro čtyřčlennou domácnost byla stanovena potřeba tepla na přípravu teplé vody $\dot{Q}_{TV_S} = 3\,500 \text{ kWh/rok}$. [14]

$$\dot{Q}_{TV_S} = n \cdot V_p \cdot (t_2 - t_1) \cdot \rho \cdot c \cdot (1 + z) \quad (22)$$

Z grafů v 9. kapitole je patrné, že u nízkoenergetické stavby převládá v potřebách tepla složka na vytápění, kdežto u pasivních staveb je dominantní složka na přípravu teplé vody a potřeba tepla na vytápění je podstatně menší.

8. CELKOVÁ POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Potřeba tepla na vytápění se počítá podle vztahu (23) a počítá se pro různá časová období – u nás se jednalo o měsíční výpočetní metodu, tedy potřebu tepla na každý měsíc zvlášť. V letních měsících (červen, červenec a srpen) byla uvažována nulová potřeba tepla na vytápění.

Celková potřeba na vytápění je poté součet jednotlivých měsíčních potřeb na vytápění a pro tyto výpočty byly udělené odlišné varianty, jak se požadovaných energetických standardů dosáhne. Jednotlivé varianty jsou spolu s výslednými hodnotami a grafy uvedeny v následující kapitole.

Ve vztahu (24) vidíme celkovou potřebu tepla na pokrytí tepelných ztrát $Q_{H,ht}$ obsahující součet potřeby tepla prostupem $Q_{H,T}$ a potřeby tepla větráním $Q_{H,V}$. Výpočty těchto potřeb jsou uvedeny ve vzorcích (25) a (26). Střední venkovní teplota t_{ep} je uvedena v tabulce 10. Střední vnitřní teplota $t_{s,i}$ je počítána dle vztahu (27) podle objemu určité místnosti a požadované teploty v ní. Ve vztahu se ještě objevuje h , což je počet hodin v určitém měsíci.

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad (23)$$

$$Q_{H,ht} = Q_{H,V} + Q_{H,T} \quad (24)$$

$$Q_{H,T} = H_T \cdot (t_{s,i} - t_{ep}) \cdot h \quad (25)$$

$$Q_{H,V} = H_V \cdot (t_{s,i} - t_{ep}) \cdot h \cdot (1 - \eta_{rek}) \quad (26)$$

$$t_{s,i} = \frac{\sum V_n \cdot t_n}{\sum V_n} \quad (27)$$

Celkové tepelné zisky $Q_{H,gn}$ obsahují součet všech solárních tepelných zisků $Q_{H,sol}$ a vnitřních tepelných zisků $Q_{H,i}$. Solární tepelné zisky se počítají součtem tepelných zisků za určitý měsíc. [13]

8.1. Předběžné vyhodnocení

Tabulka 11 Přehled jednotlivých variant

Variantá	Piktogram	Vysvětlení
0		Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ne
1a		Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne
1b		Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ne
1c		Typ oken a dveří: první Přidaná izolace: ne Zpětné získávání tepla: ano
2a		Typ oken a dveří: druhý Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano
2b		Typ oken a dveří: třetí Přidaná izolace: ano Zpětné získávání tepla: ano

Tabulka 12 Roční potřeba tepla pro dům č. 1

Dům č. 1				
<i>Varianta</i>	<i>Roční potřeba tepla na vytápění [kWh]</i>	<i>Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh]</i>	<i>Provozní náklady pro cenu 2,2 Kč/kWh [Kč]</i>	<i>Nárůst investičních nákladů na danou variantu [Kč]</i>
<i>0</i>	<i>11 000</i>	<i>3 500</i>	<i>31 900</i>	<i>0</i>
<i>1a</i>	<i>7 300</i>	<i>3 500</i>	<i>23 760</i>	<i>211 000</i>
<i>1b</i>	<i>7 300</i>	<i>3 500</i>	<i>23 760</i>	<i>180 500</i>
<i>1c</i>	<i>6 700</i>	<i>3 500</i>	<i>22 440</i>	<i>44 000</i>
<i>2a</i>	<i>2 050</i>	<i>3 500</i>	<i>12 210</i>	<i>195 000</i>
<i>2b</i>	<i>1 200</i>	<i>3 500</i>	<i>10 340</i>	<i>254 000</i>

Tabulka 13 Roční potřeba tepla pro dům č. 2

Dům č. 2				
<i>Varianta</i>	<i>Roční potřeba tepla na vytápění [kWh]</i>	<i>Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh]</i>	<i>Provozní náklady pro cenu 2,2 Kč/kWh [Kč]</i>	<i>Nárůst investičních nákladů na danou variantu [Kč]</i>
<i>0</i>	<i>9 600</i>	<i>3 500</i>	<i>28 820</i>	<i>0</i>
<i>1a</i>	<i>9 200</i>	<i>3 500</i>	<i>27 940</i>	<i>64 200</i>
<i>1b</i>	<i>7 750</i>	<i>3 500</i>	<i>24 750</i>	<i>133 000</i>
<i>1c</i>	<i>4 600</i>	<i>3 500</i>	<i>17 820</i>	<i>44 000</i>
<i>2a</i>	<i>1 660</i>	<i>3 500</i>	<i>11 352</i>	<i>207 000</i>
<i>2b</i>	<i>920</i>	<i>3 500</i>	<i>9 724</i>	<i>276 000</i>

Tabulka 14 Roční potřeba tepla pro dům č. 3

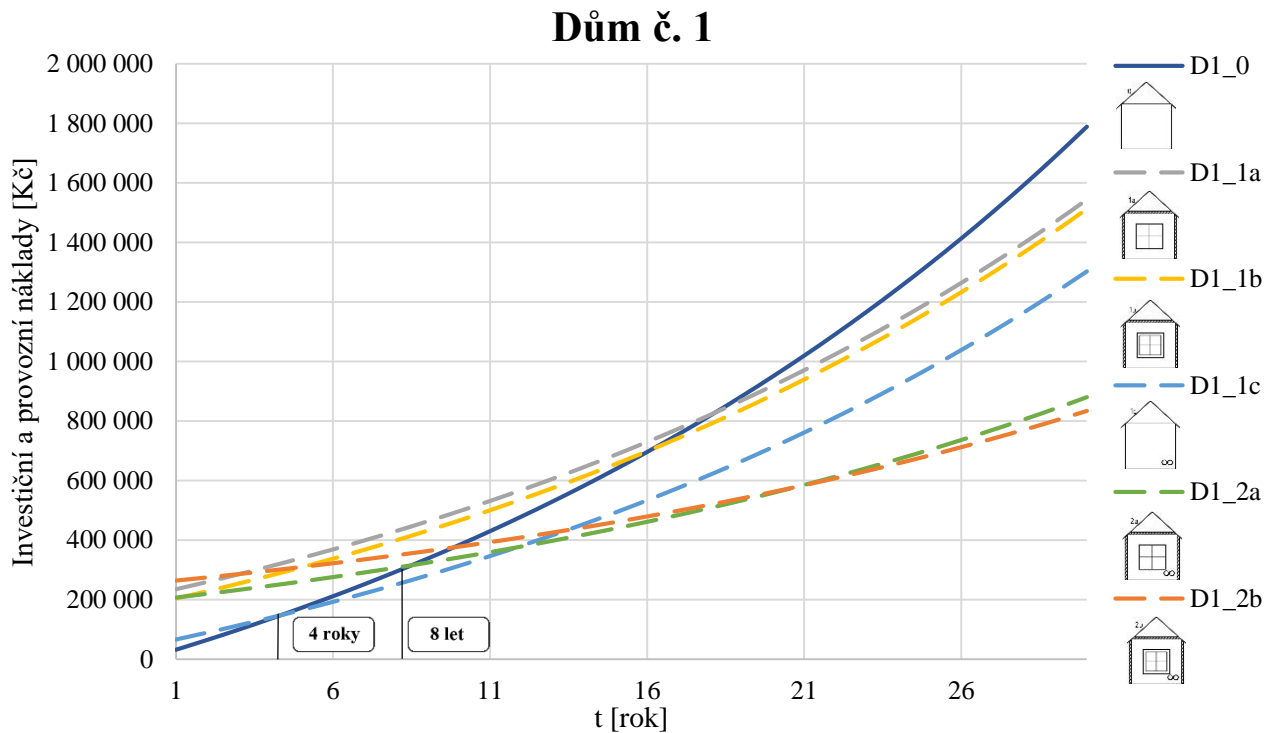
Dům č. 3				
<i>Varianta</i>	<i>Roční potřeba tepla na vytápění [kWh]</i>	<i>Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh]</i>	<i>Provozní náklady pro cenu 2,2 Kč/kWh [Kč]</i>	<i>Nárůst investičních nákladů na danou variantu [Kč]</i>
<i>0</i>	<i>14 000</i>	<i>3 500</i>	<i>38 500</i>	<i>0</i>
<i>1a</i>	<i>10 800</i>	<i>3 500</i>	<i>31 460</i>	<i>167 000</i>
<i>1b</i>	<i>10 800</i>	<i>3 500</i>	<i>31 460</i>	<i>156 300</i>
<i>1c</i>	<i>8 000</i>	<i>3 500</i>	<i>25 300</i>	<i>44 000</i>
<i>2a</i>	<i>2 600</i>	<i>3 500</i>	<i>13 420</i>	<i>230 000</i>
<i>2b</i>	<i>1 500</i>	<i>3 500</i>	<i>11 000</i>	<i>273 000</i>

9. SROVNÁNÍ INVESTIČNÍCH A PROVOZNÍCH NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ

V následující kapitole bylo provedeno porovnání a vyhodnocení investičních nákladů na stavbu a provozních nákladů na vytápění. Pro všechny 3 domy bylo zvoleno 6 stejných variant dosažení energetických standardů lišících se pouze tloušťkami izolací a jiným typem oken a dveří. Tyto varianty jsou blíže popsány u prvního domu, u zbylých dvou jsou analogické.

V grafech, které vidíme níže, je uvedena závislost investičních a provozních nákladů na čase pro jednotlivé varianty. Posuzovaná byla pouze stavební konstrukce při pevné ceně energií na vytápění a přípravu teplé vody $2,2 \text{ Kč/kWh}$. Vhodností investic do různých zdrojů energií jsem se zabýval v další kapitole. Pro provozní náklady bylo počítáno s 4% inflací. Z průsečíků křivek jednotlivých variant můžeme odečíst návratnost investic do lepší stavební konstrukce či kvalitnějších oken. Z grafů je patrné, že v průběhu 30 let jsou zde opravdu značné finanční rozdíly.

9.1. Dům č. 1



obr. 5 Graf srovnání investičních a provozních nákladů domu č. 1

9.1.1. Nultá varianta

Nultá varianta byla počítána pro doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukcemi a pro první typ oken, tedy dvojitě zasklení a celkový součinitel prostupu tepla oknem $1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Rekuperační jednotka nebyla použita.

Měrná potřeba tepla pro tuto variantu činila $76 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, takže se touto variantou nepodařilo dosáhnout ani nízkoenergetického standardu. Cena za stavbu v této variantě byla uvažována nulová a v dalších variantách bylo počítáno s investicemi navíc oproti této. Konkrétně se jednalo o investice do oken, dveří, izolace a rekuperační jednotky. Roční potřeba tepla na vytápění činila $11\,000 \text{ kWh}$, což při průměrné ceně $2,2 \text{ Kč}$ za 1 kWh elektřiny představovalo náklady na vytápění v hodnotě $24\,200 \text{ Kč}$ za rok.

9.1.2. Varianta 1a

Jako další varianta byla zvolena kombinace druhého typu oken a dveří, rekuperační jednotka nebyla použita a měnily se tloušťky tepelných izolací tak, aby se dosáhlo nízkoenergetického standardu, tedy dokud nebyla měrná potřeba tepla menší než $50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$. Roční potřeba tepla poté činila $7\,300 \text{ kWh}$ ($16\,000 \text{ Kč/rok}$).

V této variantě došlo k zesílení tepelné izolace stěn o 28 cm a zesílení stropní izolace o 26 cm. Investice do této varianty byly celkově o 211 000 Kč vyšší než v nultém případě.

9.1.3. Varianta 1b

Následující varianta byla podobná variantě předchozí a měla i stejné výsledky v potřebě tepla, pouze byla použita nejlepší zvolená okna z hlediska tepelné izolace, tedy třetí typ - trojsklo a celkový součinitel prostupu okna $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Rekuperační jednotka opět nebyla použita a nízkoenergetického standardu se dosáhlo pomocí tloušťky izolací, která ovšem díky lepším vlastnostem oken a dveří nemusela být tak velká. Konkrétně se jednalo o přidání 18 cm izolace v oblasti stěn a 12 cm v oblasti stropu. Investice do izolací a oken byly oproti nulté variantě vyšší o 180 500 Kč.

9.1.4. Varianta 1c

Třetí variantou k dosažení nízkoenergetického standardu byla varianta 1c. Jednalo se o případ s rekuperační jednotkou, prvním typem oken a doporučenými hodnotami součinitele prostupu tepla stavebními konstrukcemi.

Měrná potřeba tepla pro tuto variantu činila $46 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ a roční potřeba tepla byla tedy 6 700 kWh, což představuje roční náklady na vytápění 14 740 Kč. Oproti nulté variantě zde byla použita pouze rekuperační jednotka, která představovala investici 44 000 Kč.

Tato varianta byla z hlediska návratnosti investičních nákladů velice zajímavá, viděli jsme zde totiž návratnost investic za 4 roky, což je velice krátká doba, jelikož domy ve většině případů nestavíme na 10 nebo 20 let, ale na dobu mnohem delší.

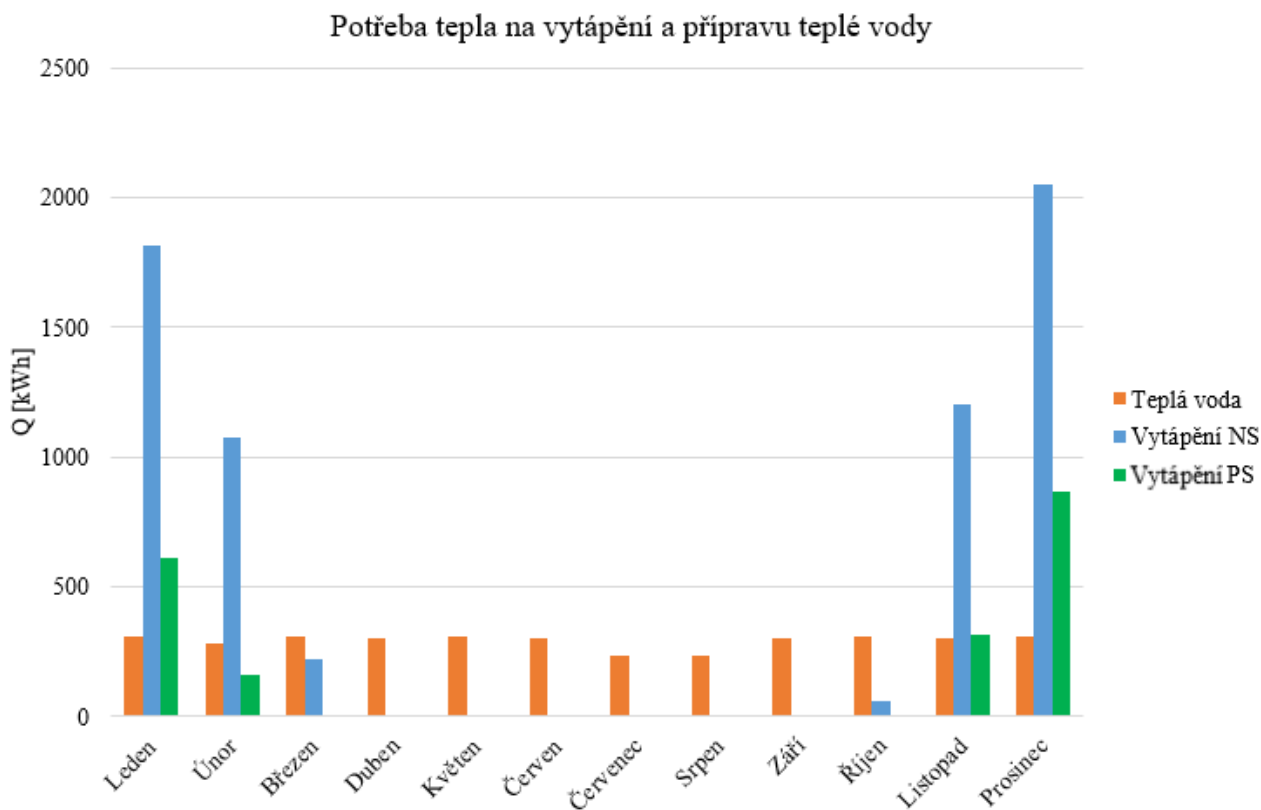
9.1.5. Varianta 2a

První variantou pro dosažení pasivního standardu u prvního domu byla varianta 2a. V tomto případě byla použita rekuperační jednotka a druhý typ oken a dveří. Výpočty potřeb tepla byly provedeny pro hodnoty součinitelů prostupu tepla pro pasivní domy z tabulky 10.

Měrná potřeba tepla na vytápění poté byla $14 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, což splňuje požadavek na pasivní stavbu, který je $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$. Roční potřebou tepla dosahovala pouhých 2 050 kWh (4 510 Kč/rok).

K zateplení stěn bylo použito 18 cm vrstvy pěnového polystyrenu, stropní izolace je o 12 cm tlustší a došlo zde i ke změně zateplení střechy a podlah. Tyto investice spolu s investicemi do oken a rekuperační jednotky činily o 195 000 Kč více než u nulté varianty.

Varianta 2a byla dalším zajímavým příkladem. Návratnost investičních nákladů zde činila necelých 11 let a rozdíl nákladů na vytápění za 30 let provozu domu oproti nulté variantě více než 900 000 Kč byl opravdu znatelný.



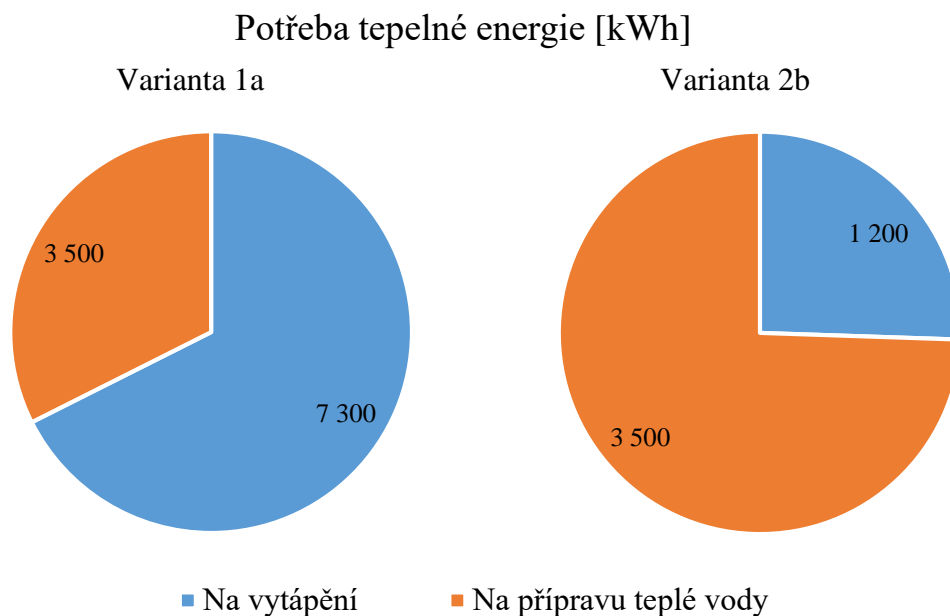
obr. 6 Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody domu č. 1 (var. 1c a 2a)

Na obrázku č. 6 vidíme graf porovnání potřeb tepla přípravu teplé vody (oranžově) a vytápění variant 1c (modře) a 2a (zeleně). Je zde vidět, že i nejpřívětivější varianta nízkoenergetického domu měla oproti pasivní stavbě poměrně velké rozdíly potřeb tepla na vytápění v zimních měsících. Naopak v jarních a letních měsících zde nebyly rozdíly, jelikož potřeba tepla se zde zúžila jen na přípravu teplé vody.

9.1.6. Varianta 2b

Druhou variantou pro první pasivní dům bylo opět použití rekuperační jednotky, stejných hodnot součinitelů prostupu tepla a použití třetího typu oken a dveří.

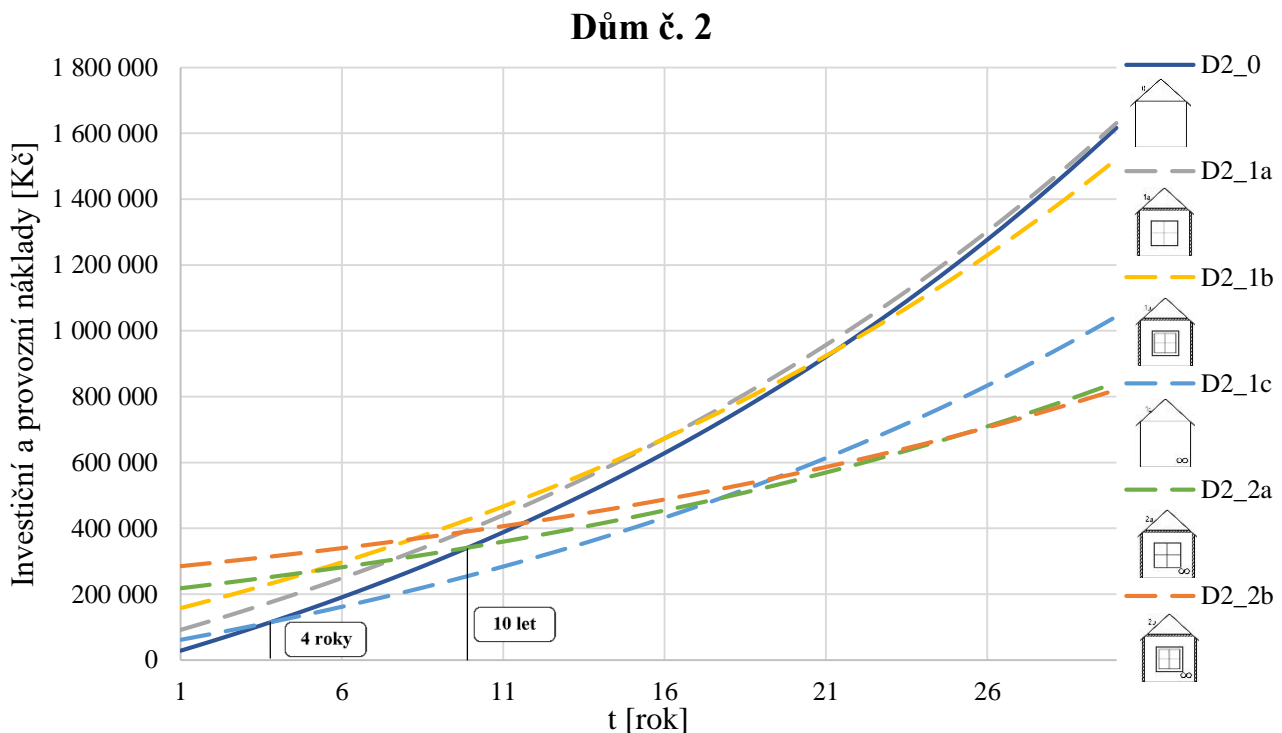
V tomto případě dosahovala měrná potřeba tepla $8 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ a celková potřeba tepla $1\,200 \text{ kWh}$ ($2\,640 \text{ Kč/rok}$). Zateplení domu bylo stejné jako u varianty 2a. Celkové investice oproti nultému případu činily $254\,000 \text{ Kč}$.



obr. 7 Porovnání potřeb tepelné energie

V grafu na obrázku č. 7 je vidět zajímavé porovnání potřebné energie na vytápění a přípravu teplé vody u nízkoenergetického a pasivního domu. Z grafu je patrné, že potřeba tepla pro vytápění u nízkoenergetického domu převažuje nad teplem potřebným k přípravě teplé vody, ovšem u pasivního standardu je tomu obráceně a dominuje zde potřeba tepla pro teplou vodu.

9.2. Dům č. 2



obr. 8 Graf srovnání investičních a provozních nákladů domu č. 2

9.2.1. Nultá varianta

Popis nulté varianty byl stejný jako u domu č. 1, avšak zde bylo i s těmito parametry téměř dosaženo nízkoenergetické stavby. Konkrétně se jednalo o měrnou potřebu tepla $52 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, což představovalo pro energeticky vztažnou plochu druhého domu potřebu tepla 9600 kWh . Roční náklady na vytápění byly tedy $21\,100 \text{ Kč}$.

9.2.2. Varianta 1a

K první možnosti dosažení nízkoenergetického standardu druhého domu s měrnou potřebou tepla $50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ byla použita lepší okna a dveře, tedy druhý typ. Přidané zateplení zde nebylo potřeba, takže se investice oproti nulté variantě zvedly pouze o $64\,200 \text{ Kč}$. Při potřebě tepla $9\,200 \text{ kWh/rok}$ a ročními náklady na vytápění $20\,200 \text{ Kč}$ je z grafu zřetelné, že křivky jsou velice podobné.

9.2.3. Varianta 1b

I v další variantě dosažení nízkoenergetického domu nebylo třeba přidat zateplení, ale stačila opět pouze lepší okna. Měrná potřeba tepla zde dosahovala $42 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$

(7 750 kWh) a náklady na vytápění 17 000 Kč. Co se týče investic navíc oproti nulté variantě, pohybovaly se na 133 000 Kč.

9.2.4. Varianta 1c

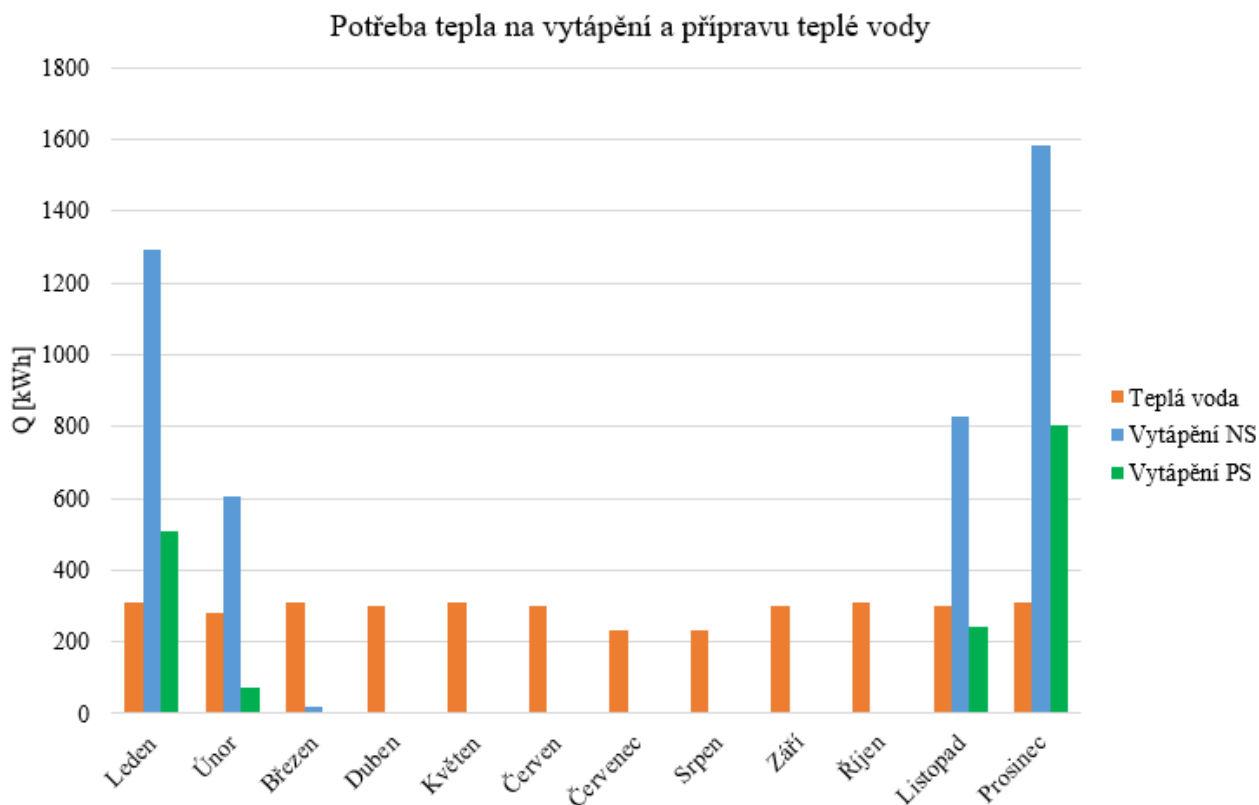
Použitím rekuperační jednotky se investiční náklady na variantu 1c zvedly pouze o 44 000 Kč a potřeba tepla dosahovala 25 kWh/m².a, což představovalo roční náklady na vytápění 10 100 Kč (4 600 kWh).

S 4% inflací je patrna návratnost do 4 let, tedy opět se jednalo o velice zajímavou variantu z hlediska srovnání investičních a provozních nákladů.

9.2.5. Varianta 2a

Pasivního standardu u druhého domu se dosáhlo u varianty 2a. Konkrétně šlo o pasivní stavbu s měrnou potřebou tepla 9 kWh/m².a, tedy 1 660 kWh a náklady na vytápění 3 650 Kč. Investice do oken, dveří a přidané izolace činily 207 000 Kč.

Návratnost investičních nákladů v průběhu 10 let řadí tuto variantu také do těch, u kterých bychom se měli pozastavit. Po 30 letech provozu pasivního domu v této variantě dosahuje rozdíl provozních nákladů v porovnání s nultou variantou 770 000 Kč.

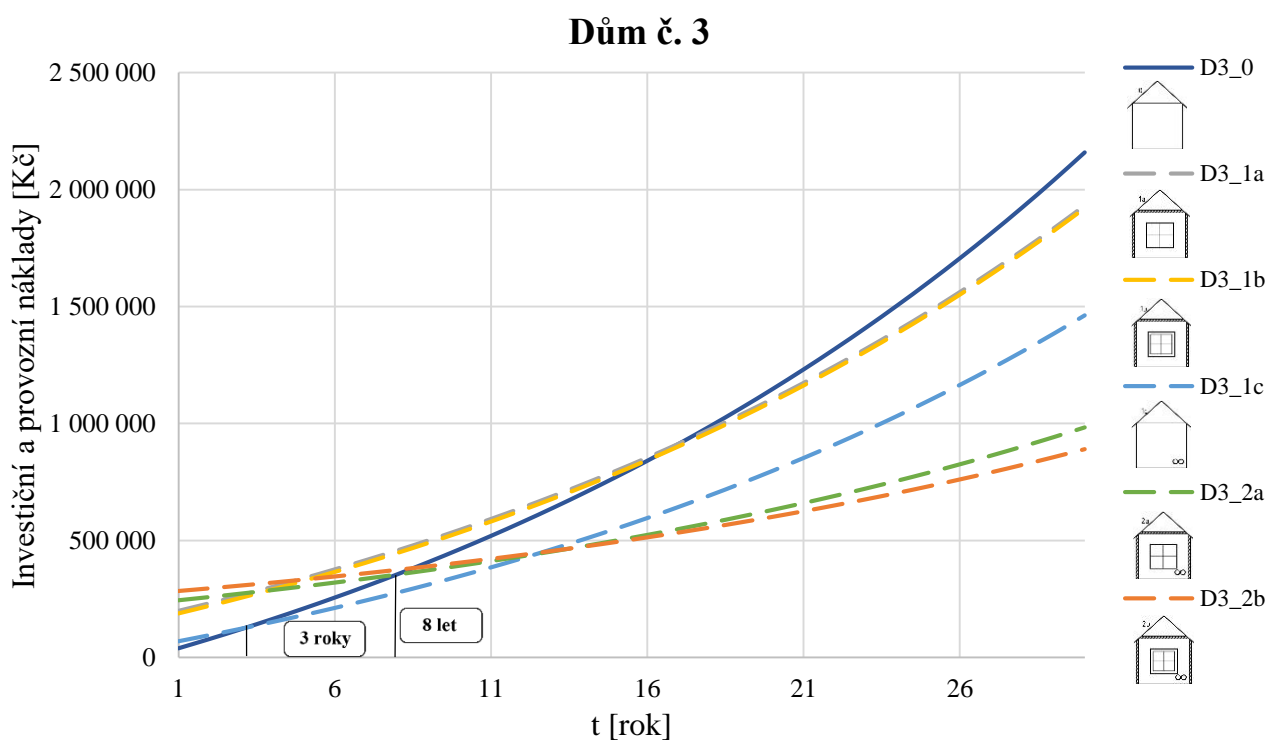


obr. 9 Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody domu č. 2 (var. 1c a 2a)

9.2.6. Varianta 2b

Druhou variantou dosažení pasivního standardu s měrnou potřebou tepla $5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ byla varianta 2b. Roční náklady na vytápění zde činily $2\,000 \text{ Kč}$ (920 kWh) a investice oproti nulté variantě se zvedly o $276\,000 \text{ Kč}$.

9.3. Dům č. 3



obr. 10 Graf srovnání investičních a provozních nákladů domu č. 3

9.3.1. Nultá varianta

Nultou variantou u třetího domu se povedlo dosáhnout měrné potřeby tepla $65 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ($14\,000 \text{ kWh}$), což na nízkoenergetickou stavbu nestačilo. Roční náklady na vytápění činily $31\,000 \text{ Kč}$.

9.3.2. Varianta 1a

První variantou k dosažení nízkoenergetické stavby třetího domu byla varianta 1a. Došlo zde k použití lepších oken, dveří a zateplení. Přidaná izolace na stěny byla v tloušťce 22 cm , v oblasti střechy 6 cm a 10 cm ve stropní konstrukci. Tyto investiční náklady činily $167\,000 \text{ Kč}$. Roční náklady na vytápění při měrné potřebě tepla $50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ($10\,800 \text{ kWh}$) byly $23\,800 \text{ Kč}$.

9.3.3. Varianta 1b

Další variantou pro dosažení nízkoenergetického domu byla varianta 1b. Byla použita lepší okna a dveře a zateplení stěn o tloušťce 10 cm. Měrná potřeba tepla zde činila $50 \text{ kWh/m}^2.a$ (10 800 kWh), což představovalo stejné roční náklady na vytápění 23 800 Kč, ovšem investiční náklady 156 300 Kč. Už z těchto čísel je patrné, že oproti variantě 1a se tato varianta vyplatila, jelikož počáteční investice jsou nižší.

9.3.4. Varianta 1c

Ovšem variantou, která se již potřetí investičně a provozně vyplatila a jevila se jako nejzajímavější, byla varianta s použitím rekuperační jednotky s celkovou investicí 44 000 Kč. Měrná potřeba tepla činila $37 \text{ kWh/m}^2.a$, což po přepočtu na potřebu tepla bylo 8 000 kWh/rok (18 000 Kč/rok).

Jak už u této varianty bývá zvykem, i zde se jeví jako zajímavá. Z grafu je patrné, že návratnost investičních nákladů je v průběhu 3 let a po 30 letech provozu je zde rozdíl 700 000 Kč.

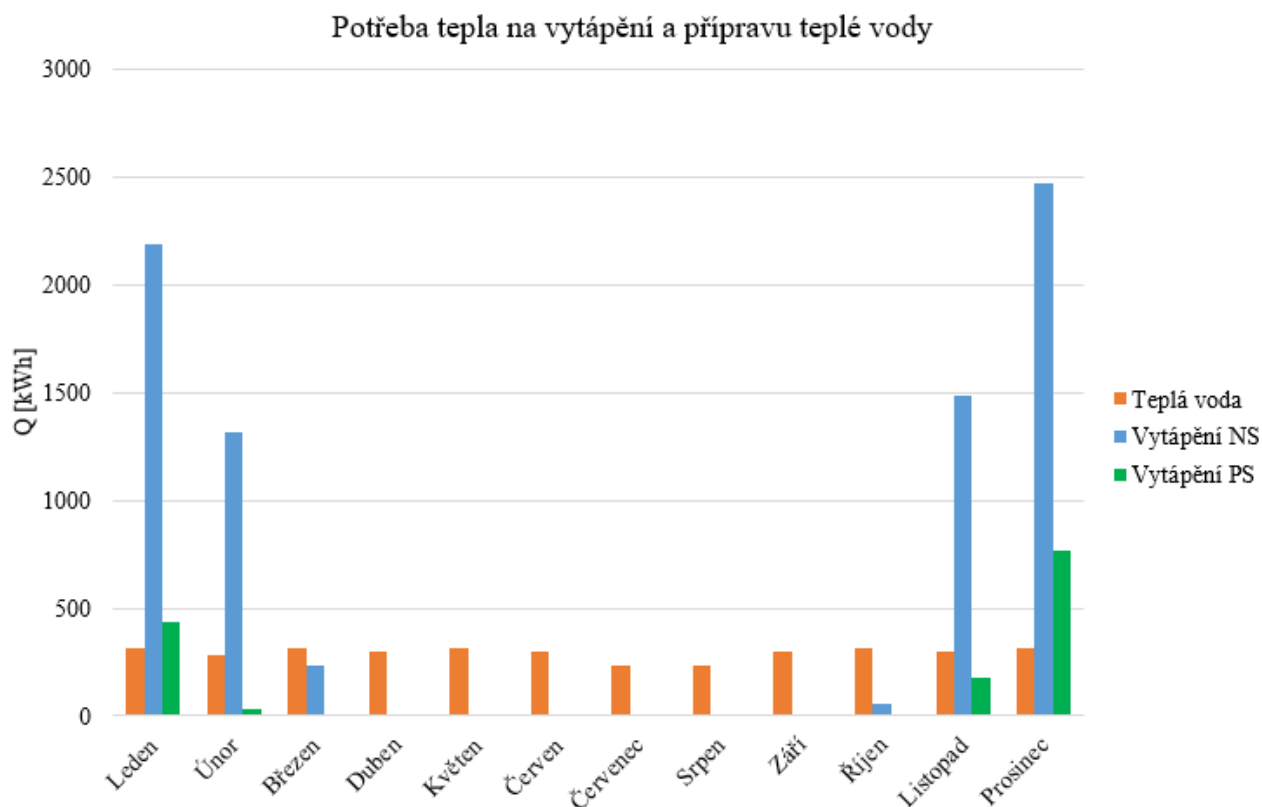
9.3.5. Varianta 2a

První variantou dosažení pasivní stavby domu č. 3 byla dosažena měrná potřeba tepla $12 \text{ kWh/m}^2.a$, tedy 2 600 kWh. Roční náklady na vytápění činily 5 700 Kč a investiční náklady na stavbu 230 000 Kč.

U této varianty je také vhodné se pozastavit, jelikož se zde v průběhu 30 let provozu domu objevuje rozdíl 1 200 000 Kč oproti nulté variantě. Návratnost investic do pasivní stavby je zde skoro až neuvěřitelných 8 let.

9.3.6. Varianta 2b

Tato varianta byla opět variantou k dosažení pasivní stavby třetího domu. Měrná potřeba tepla byla $7 \text{ kWh/m}^2.a$, což bylo při přepočtu na energeticky vztažnou plochu 1 500 kWh. Roční náklady na vytápění činily tedy 3 300 Kč a investiční náklady 273 000 Kč.



obr. 11 Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody domu č. 3 (var. 1c a 2b)

10. ZDROJ TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ RODINNÝCH DOMŮ

V práci jsem se zabýval také volbou vhodného zdroje tepla pro vytápění rodinných domů. Konkrétně byly jako zdroje tepla uvažovány plyn, tepelné čerpadlo vzduch-voda a centrální zásobování teplem (dále CZT). Rešerše a následná finanční analýza byla provedena pro všechny tři domy ve variantách 1c, jelikož dosahuje nízkých investičních nákladů a 2a, která má investiční náklady sice vyšší, ale provozní má velmi nízké, takže se jedná o zajímavé varianty stavebního řešení. K potřebě energie na vytápění a přípravu teplé vody byla přidána také roční potřeba elektrické energie na ostatní spotřebiče, která činila 5 800 kWh.

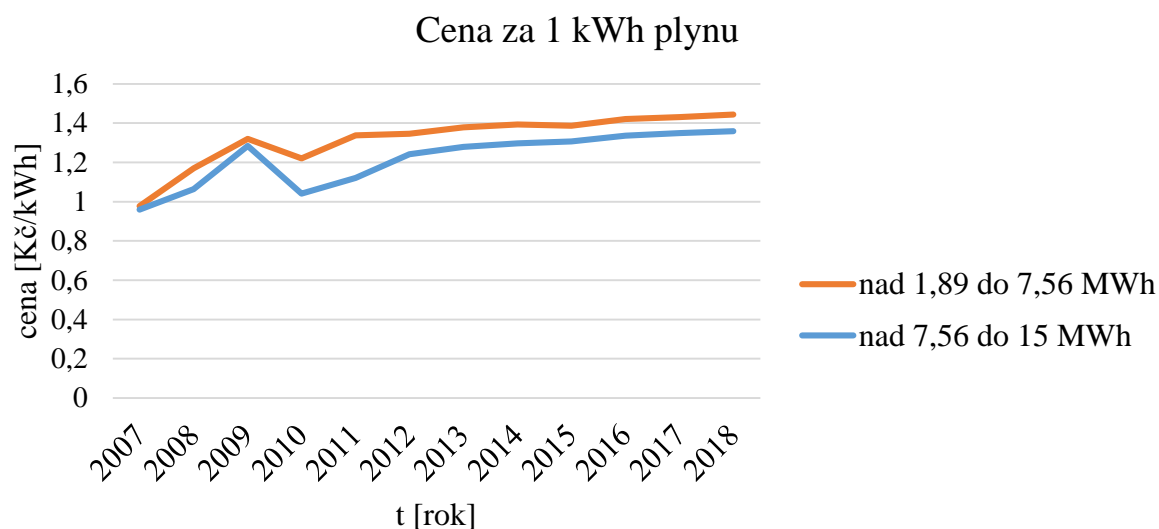
10.1. Zemní plyn

Při vytápění s využitím plynového kotle, ať nízkoteplotním nebo kondenzačním, se dosahuje poměrně vysoké účinnosti a nachází se zde možnost připojení k různým druhům otopných soustav, jako například podlahové vytápění, otopná tělesa a podobně. Kromě přípravy tepla na vytápění nám plynový kotel slouží i na přípravu teplé vody. [15]

Tabulka 15 Cena za plyn v roce 2018 od společnosti E.ON

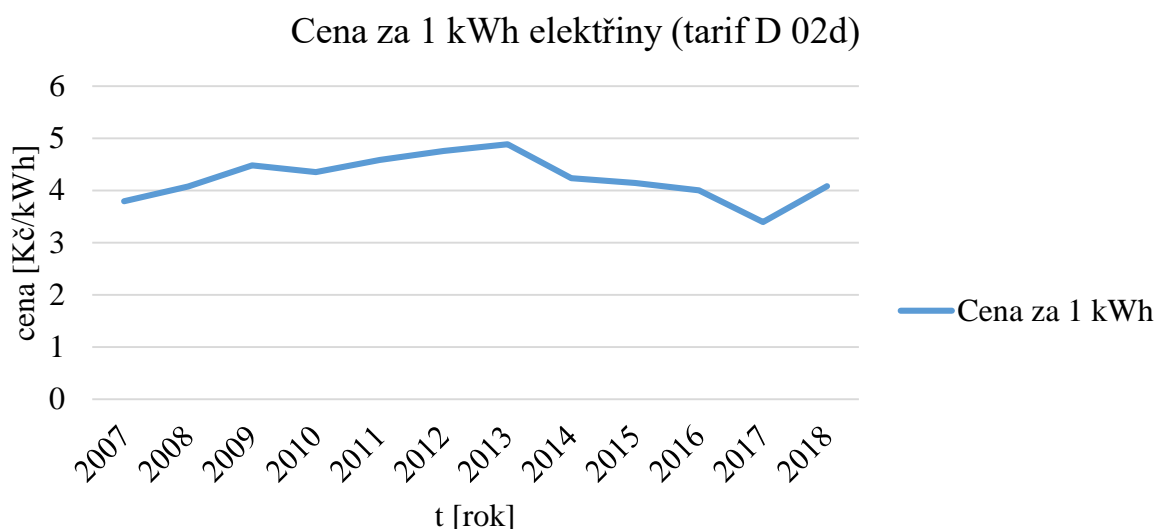
Spotřeba za rok	Cena	Paušální plat za rok
<i>[MWh]</i>	<i>[Kč/kWh]</i>	<i>[Kč]</i>
do 1,89	1,84	1413
nad 1,89 do 7,56	1,44	2201
nad 7,56 do 15	1,36	3875

Cena za zemní plyn se liší v závislosti na roční spotřebě. V grafu na obrázku č. 12 vidíme vývoj ceny plynu za 1 kWh od roku 2007 u společnosti E.ON. Průměrný meziroční cenový rozdíl v sazbě 1,89 až 7,56 MWh zde činil 0,0423 Kč/kWh a 89,62 Kč za přípojnou hodnotu. V sazbě 7,56 až 15 MWh činil 0,0362 Kč/kWh a 131,54 Kč za přípojnou hodnotu, budeme tedy pro výpočty předpokládat, že se ceny rapidně nezmění a budou se nadále vyvíjet v podobném tempu. Investice do kondenzačního kotle a zásobníku teplé vody je cca 60 000 Kč. [16][17]



obr. 12 Vývoj ceny za 1 kWh plynu od roku 2007

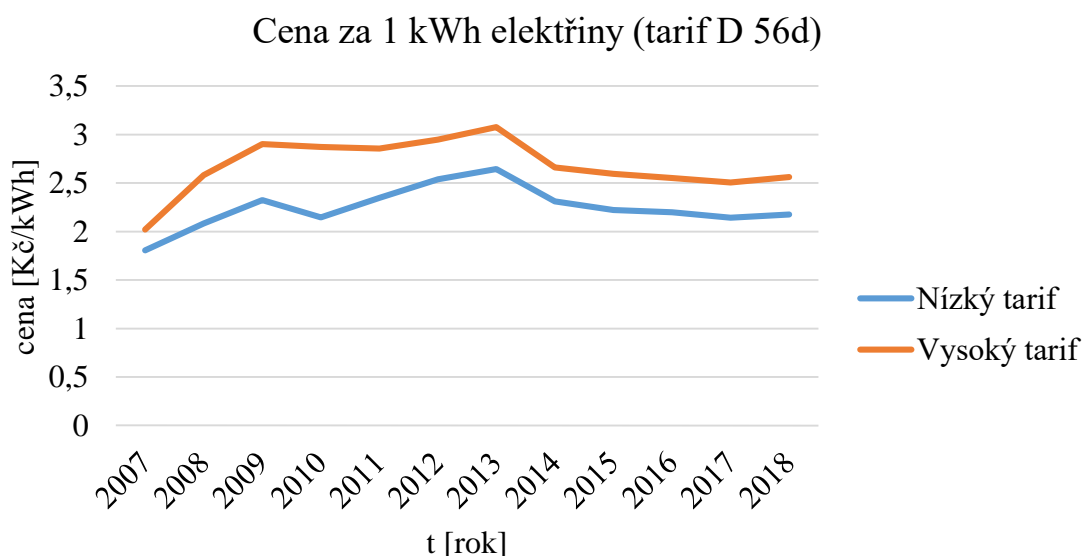
Cena za elektřinu se liší dle tarifů. Za předpokladu, že by byla elektřina používána pouze na provoz ostatních spotřebičů a ne na vytápění ani přípravu teplé vody, spadá dům do sazby D 02d, což je jednotarifová sazba pro střední spotřebu a cena činí u společnosti ČEZ 4,08 Kč/kWh. Od roku 2007 se tato cena průměrně meziročně změnila o 0,0262 Kč/kWh a cena za přípojnou hodnotu se zvýšila o 50 Kč za rok. [18]



obr. 13 Vývoj ceny za 1 kWh elektřiny dle tarifu D02d od roku 2007

10.2. Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Výhodou vytápění tepelným čerpadlem vzduch-voda je skutečnost, že platí zcela jiná sazba elektřiny pro rodinný dům. Konkrétně se jedná o dvoutarifovou sazbu D 56d, při které je využíván 22 hodin denně nízký tarif a pouze 2 hodiny denně vysoký tarif. Cena stanovená váženým průměrem obou hodnot tarifů činí u společnosti ČEZ 2,17 Kč/kWh a průměrně se od roku 2007 změnila o 0,035 Kč/kWh, což vychází z grafu na obr. 14, a o 134,9 Kč/kWh ročně za přípojnou hodnotu. Tepelné čerpadlo vzduch-voda je využíváno na vytápění a přípravu teplé vody a jeho počáteční investice činí 200 000 Kč.

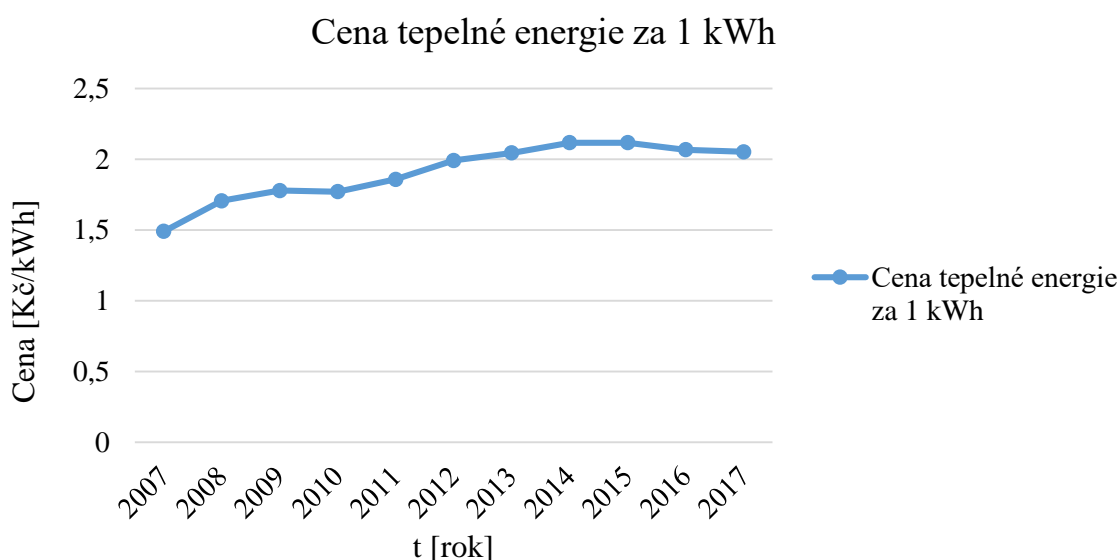


obr. 14 Vývoj ceny za 1 kWh elektřiny dle tarifu D 56d od roku 2007

10.3. Centrální zásobování teplem

Centrální zásobování teplem (dále jen CZT) je způsob, jak získávat teplo na vytápění a přípravu teplé vody. Jedná se o systém, který zahrnuje výrobu, rozvod a dodávku tepla tepelnými sítěmi do odběrných míst. Dle Teplárenského sdružení České republiky je cca 1,5 milionu domácností, které jsou takto zásobovány. [19]

Na základě výročních zpráv Energetického regulačního úřadu byla provedena rešerše na průměrnou cenu tepelné energie. V grafu na obr. č. 15 je vidět vývoj ceny za 1 kWh tepelné energie za posledních 10 let. Cena činí 2,05 Kč/kWh a průměrný meziroční nárůst ceny vycházející z grafu na obr. 15. byl 0,056 Kč/kWh. Následující výpočty byly proto také provedeny na základě předpokladu podobného tempa růstu ceny po dobu 20 let. Počáteční investice do CZT je cca 70 000 Kč. [20]



obr. 15 Vývoj ceny 1GJ tepelné energie od roku 2007 dle ERU

Elektrická energie byla spočítána se sazbou stejnou jako u první varianty, tedy jednotarifová sazba D 02d.

10.4. Výsledné zpracování

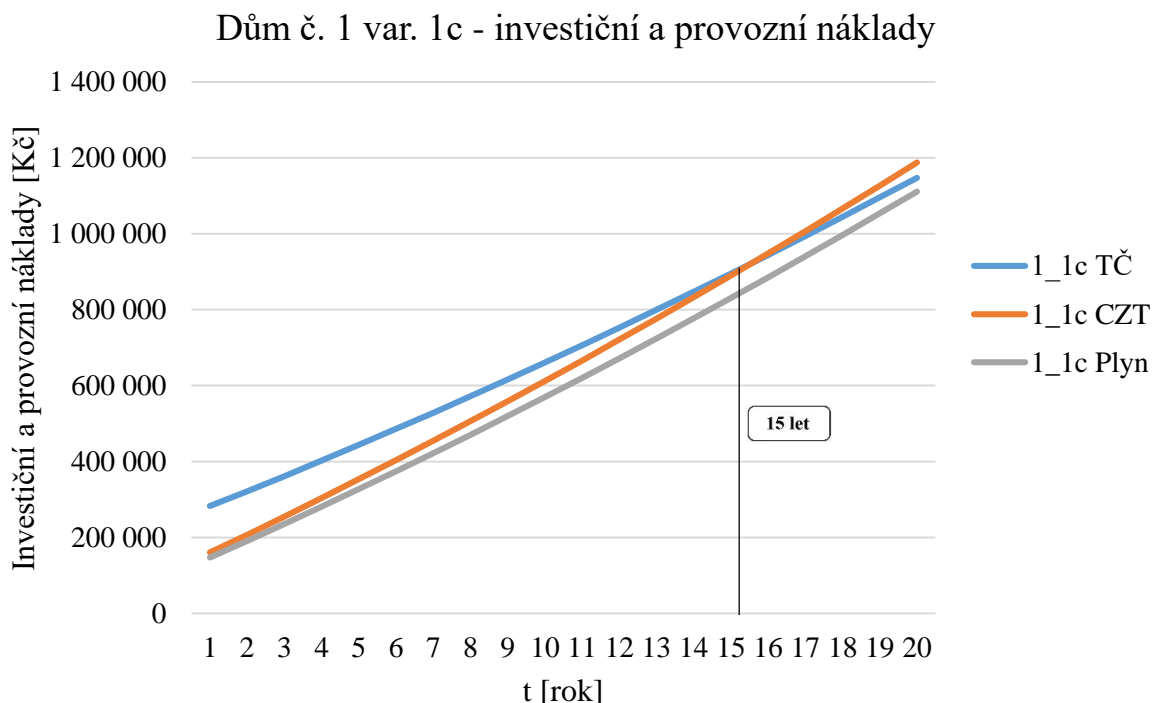
V následujících grafech je znázorněna závislost investičních a provozních nákladů na čase u prvního domu ve variantách 1c a 2a. Do investičních nákladů byly zařazeny náklady na stavební konstrukce a zdroj tepelné energie.

Výsledné zpracování proběhlo podle cen za energie z následující tabulky.

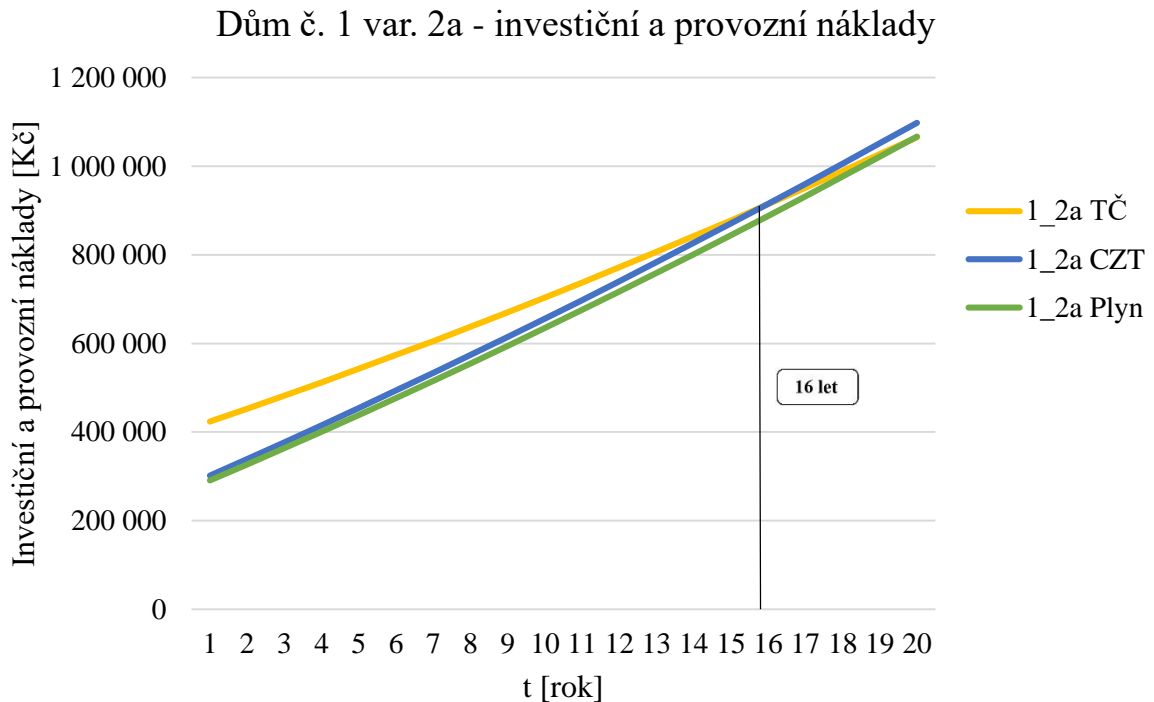
Tabulka 16 Ceny za 1 kWh jednotlivých energií

Zdroj energie	Cena v roce 2018 [Kč/kWh]	Průměrný meziroční nárůst [Kč/kWh]	Průměrný meziroční nárůst [%]
TČ	2,17	0,035	1,61
CZT	2,05	0,056	2,73
Plyn (1,89 - 7,56 MWh)	1,44	0,042	2,92
Plyn (7,56 - 15 MWh)	1,36	0,036	2,65

Z grafu na obrázku č. 16 je patrné, že nejnižší počáteční investice u prvního domu v nízkoenergetickém standardu s rekuperační jednotkou jsou do plynového kondenzačního kotle, poté do CZT a nakonec do tepelného čerpadla vzduch-voda. Investice do tepelného čerpadla vzduch-voda oproti CZT se po 15 letech vrátí a dále se spoří. Otázkou však zůstává, jestli se tato možnost opravdu vyplatí, jelikož 15 let je na hranici životnosti všech těchto zařízení. Počáteční investice do CZT a plynového kotle jsou takřka stejné, avšak provozní náklady po 20 letech provozu domu jsou u plynového kondenzačního kotle o 80 000 Kč nižší. Vytápění a příprava teplé vody s použitím CZT se tedy u tohoto domu nevyplatí.



obr. 16 Závislost investičních a provozních nákladů domu 1 var. 1c na čase

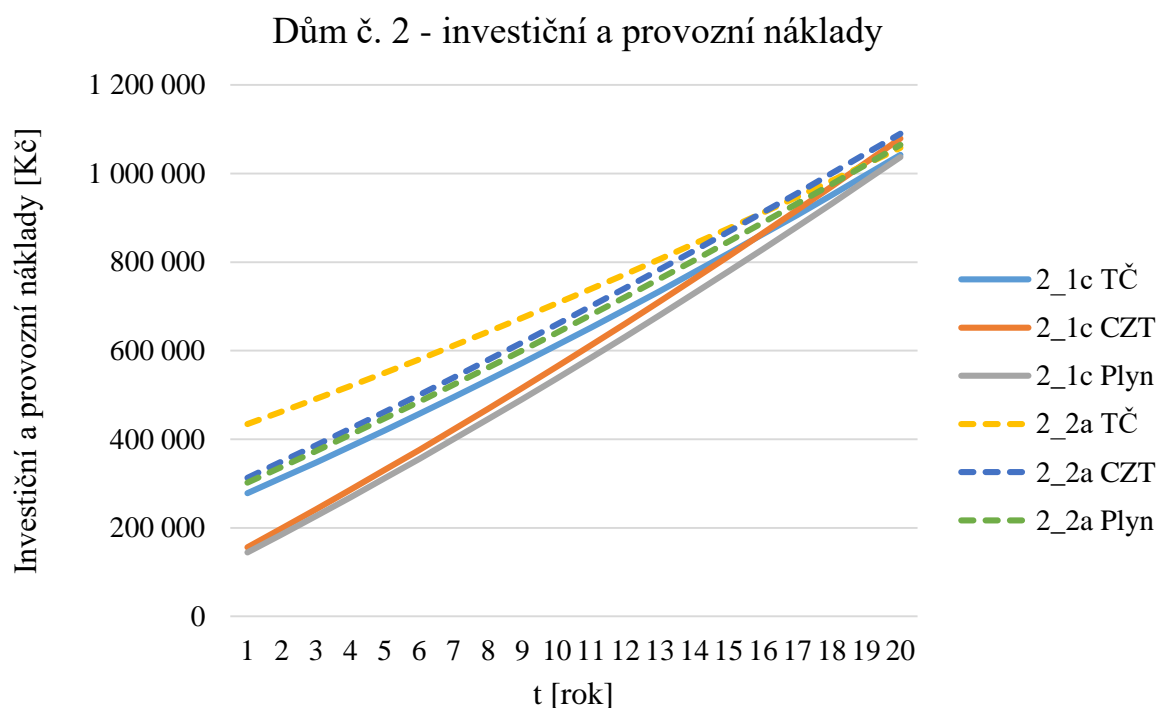


obr. 17 Závislost investičních a provozních nákladů domu 1 var. 2a na čase

Pro variantu prvního domu 2a vychází výsledky podobně - investice do tepelného čerpadla vzduch-voda místo do CZT se vrátí za 16 let, do 20 let v porovnání s plynovým kotlem. Ten má nejnižší počáteční investice s úsporou 31 000 Kč oproti CZT, takže je opět vidět, že se CZT nevyplácí.

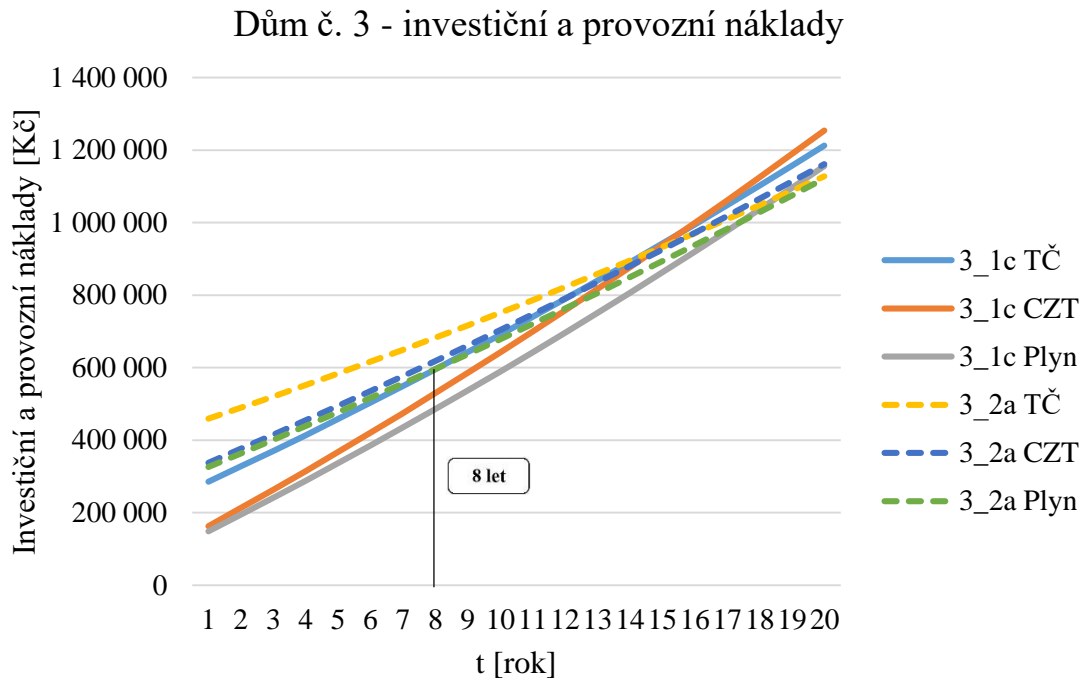
Z grafu celkového srovnání variant 1c a 2a (Příloha 1) je zřejmé, že investice do pasivního domu s tepelným čerpadlem vzduch-voda ve variantě 2a se díky nízkým tepelným ztrátám domu, vysokým tepelným ziskům a tudíž ve výsledku nízkým provozním nákladům domu vrátí do 14 let oproti nízkoenergetickému domu s tepelným čerpadlem vzduch-voda ve variantě 1c. Z grafu je také patrné, že investice do pasivní varianty domu 2a a tepelného čerpadla vzduch-voda jsou o 250 000 Kč vyšší, než do varianty 1c nízkoenergetického domu s plynovým kotlem, avšak provozní náklady po 20 letech jsou nižší pouze o necelých 45 000 Kč.

Pro druhý dům nevyšly v potřebách tepla ve variantách 1c a 2a velké rozdíly, takže se investice do pasivního domu po 20 letech nevyplatí vůbec. Jako nejlepší a finančně nejpřívětivější varianta se jeví nízkoenergetický dům ve variantě s rekuperační jednotkou a plynovým kotlem pro zdroj energie na vytápění a přípravu teplé vody.



obr. 18 Graf celkového srovnání investičních a provozních nákladů domu č. 2

U třetího domu už se investice do pasivní stavby v průběhu 20 let opět vyplácí. Finančně nejlépe vychází varianta pasivního domu s kondenzačním plynovým kotlem, což je vidět v grafu na obr. 19, ovšem investiční náklady do této varianty jsou o více než 150 000 Kč vyšší než do varianty u nízkoenergetického domu s plynovým kotlem a rozdíl v provozních nákladech po 20 letech je pouhých 30 000 Kč. Z grafu je i patrné, že se do 8 let vrátí počáteční investice do pasivního domu s plynovým kotlem oproti nízkoenergetickému domu s tepelným čerpadlem vzduch-voda.



obr. 19 Graf celkového srovnání investičních a provozních nákladů domu č. 3
 Grafy variant 1c a 2a pro dům č. 2 a 3 jsou uvedeny v přílohách.

ZÁVĚR

V práci byly nejprve navrženy stavební konstrukce pro pasivní a nízkoenergetický standard, u kterých byly provedeny výpočty součinitelů prostupu tepla. Poté byly vybrány tři typy oken, posuvných systémů a dveří pro tři zvolené rodinné domy, které mezi sebou měly určité odlišnosti. Následně byly vypočítány tepelné ztráty prostupem a větráním, dále tepelné zisky z oslunění a od vnitřních zdrojů u všech staveb v několika variantách, kterými se podařilo dosáhnout určitých energetických standardů.

Poté byla vypočtena potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody, z čehož byly určeny roční náklady na vytápění rodinných domů. V následujících tabulkách jsou přehledně uvedeny výsledky těchto výpočtů včetně přidaných investičních nákladů.

Tabulka 17 Dům č. 1

Dům č. 1				
<i>Varianta</i>	<i>Roční potřeba tepla na vytápění [kWh]</i>	<i>Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh]</i>	<i>Provozní náklady domu pro 2,2 Kč/kWh [Kč]</i>	<i>Nárůst investičních nákladů na danou variantu [Kč]</i>
<i>0</i>	11 000	3 500	31 900	0
<i>1a</i>	7 300	3 500	23 760	211 000
<i>1b</i>	7 300	3 500	23 760	180 500
<i>1c</i>	6 700	3 500	22 440	44 000
<i>2a</i>	2 050	3 500	12 210	195 000
<i>2b</i>	1 200	3 500	10 340	254 000

Tabulka 18 Dům č. 2

Dům č. 2				
<i>Varianta</i>	<i>Roční potřeba tepla na vytápění [kWh]</i>	<i>Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh]</i>	<i>Provozní náklady domu pro 2,2 Kč/kWh [Kč]</i>	<i>Nárůst investičních nákladů na danou variantu [Kč]</i>
<i>0</i>	9 600	3 500	28 820	0
<i>1a</i>	9 200	3 500	27 940	64 200
<i>1b</i>	7 750	3 500	24 750	133 000
<i>1c</i>	4 600	3 500	17 820	44 000
<i>2a</i>	1 660	3 500	11 352	207 000
<i>2b</i>	920	3 500	9 724	276 000

Tabulka 19 Dům č. 3

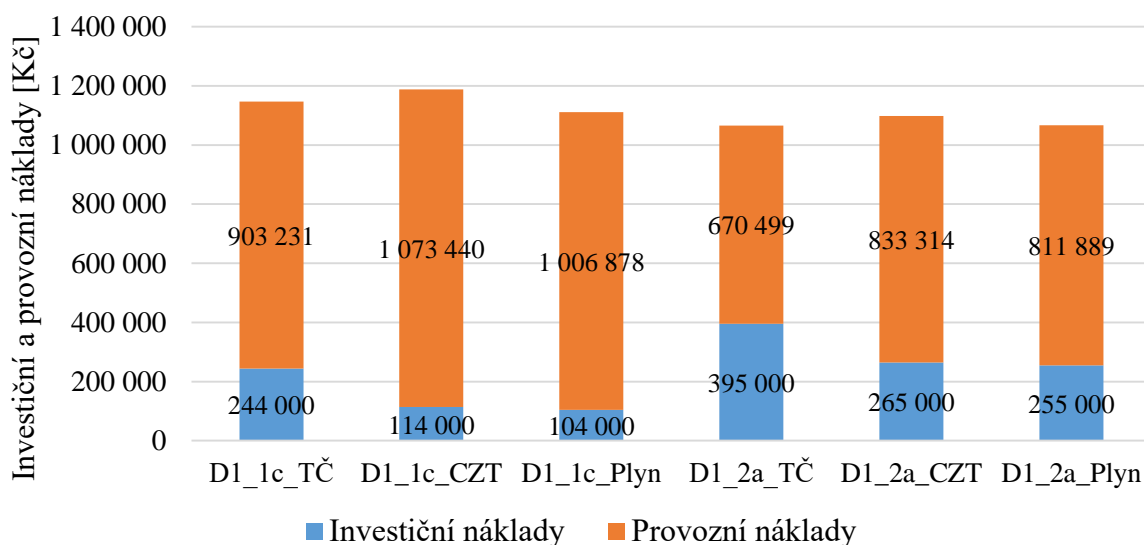
Dům č. 3				
<i>Varianta</i>	<i>Roční potřeba tepla na vytápění [kWh]</i>	<i>Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh]</i>	<i>Provozní náklady domu pro 2,2 Kč/kWh [Kč]</i>	<i>Nárůst investičních nákladů na danou variantu [Kč]</i>
<i>0</i>	<i>14 000</i>	<i>3 500</i>	<i>38 500</i>	<i>0</i>
<i>1a</i>	<i>10 800</i>	<i>3 500</i>	<i>31 460</i>	<i>167 000</i>
<i>1b</i>	<i>10 800</i>	<i>3 500</i>	<i>31 460</i>	<i>156 300</i>
<i>1c</i>	<i>8 000</i>	<i>3 500</i>	<i>25 300</i>	<i>44 000</i>
<i>2a</i>	<i>2 600</i>	<i>3 500</i>	<i>13 420</i>	<i>230 000</i>
<i>2b</i>	<i>1 500</i>	<i>3 500</i>	<i>11 000</i>	<i>273 000</i>

Jako nejvýhodnější z pohledu počátečních investic, které tvořila přidaná tepelná izolace, kvalitnější okna a dveře a případná rekuperační jednotka, a z provozních nákladů na vytápění, přípravu teplé vody a elektřinu pro provoz domácnosti se vždy jevila varianta 1c a 2a. U varianty 1c se jednalo o variantu s rekuperační jednotkou a základním typem plastových oken a dveří, takže měla velmi nízké investiční náklady. Tepelná izolace oproti nulté variantě nebyla potřeba k tomu, aby bylo dosaženo nízkoenergetické stavby. Varianta 2a byla variantou pasivního domu, kde byla použita tepelná izolace, rekuperační jednotka a druhý typ oken a dveří.

Pro tyto dvě varianty u všech tří domů byla proto provedena rešerše na vývoj ceny třech zdrojů energií za posledních 10 let, podle které byly zpracovány výsledky pro celkové náklady domu na vytápění, příprava teplé vody a elektrickou energii. Z grafů bylo poté patrné, po kolika letech se vyplatí investice do pasivního domu místo nízkoenergetického a kdy se vrátí investice do tepelného čerpadla vzduch-voda. Aby se finanční rozdíly více projevily, byl proveden odhad cen energií na následujících 20 let za předpokladu, že vývoj cen se rapidně nezmění a bude pokračovat v podobném tempu růstu. Výsledky těchto výpočtů jsou uvedeny v následujících grafech.

U prvního domu bylo dosaženo závěru, že se po 14 letech vrátí jak investice do pasivního domu, tak i do tepelného čerpadla vzduch-voda, jelikož při vytápění tímto zařízením platí výhodná dvoutarifová sazba elektřiny D 56d i na zbylou elektrickou energii pro provoz domácnosti.

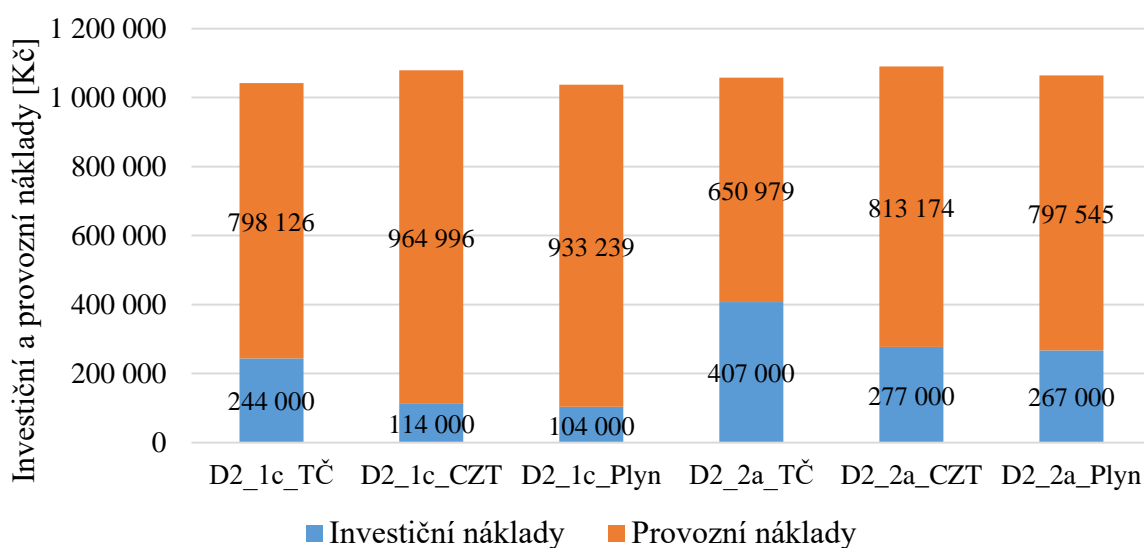
Dům č. 1 - investiční a provozní náklady po 20 letech



obr. 20 Dům č. 1 - celkové investiční a provozní náklady za 20 let

Druhý dům nejevil velký rozdíl v potřebě tepla na vytápění mezi variantami 1c a 2a, takže nejpřívětivější kombinace byla v podobě nízkoenergetického domu s rekuperační jednotkou a plynovým kondenzačním kotlem. A to i za předpokladu, že na zbylou elektrickou energii platí dražší jednotarifová sazba D 02d.

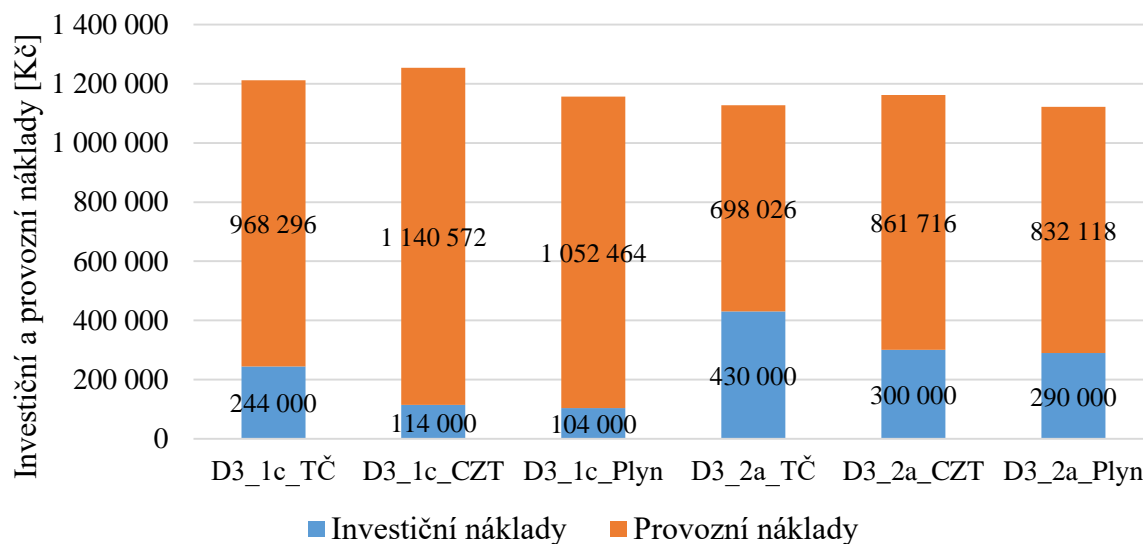
Dům č. 2 - investiční a provozní náklady po 20 letech



obr. 21 Dům č. 2 - celkové investiční a provozní náklady za 20 let

Finančně nejvýhodnější možností pro třetí dům vyšla kombinace s pasivním domem a plynovým kondenzačním kotlem, kterým by bylo provedeno vytápění a přípravu teplé vody. Pro zbylou elektrickou energii opět platí jednotarifová sazba D 02d.

Dům č. 3 - investiční a provozní náklady po 20 letech



obr. 22 Dům č. 3 - celkové investiční a provozní náklady za 20 let

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Energetické standardy budov - Pasivní standard. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/347-energeticke-standardy-budov-pasivni-standard>
- [2] Nízkoenergetický nebo pasivní?. *Zelené domky* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://zelenedomky.cz/priprava/nizkoenergeticky-nebo-pasivni/>
- [3] ZÁSADY VÝSTAVBY NÍZKOENERGETICKÝCH DOMŮ. *ekoWATT* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/zasady-vystavby-nizkoenergeticky-domu>
- [4] CO JE PASIVNÍ DŮM?. *CENTRUM PASIVNÍHO DOMU* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [5] 4 energetické standardy. *NÁŠ DŮM* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <https://www.nasdum.cz/nase-sluzby/4-energeticke-standardy>
- [6] Energetické standardy budov. *ŠANCE PRO BUDOVY* [online]. [cit. 2018-04-08]. Dostupné z: <http://www.sanceprobudovy.cz/assets/files/Energeticke%20standardy.pdf>
- [7] Prostup tepla stavební konstrukcí: Součinitel prostupu tepla. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [8] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [9] VAVŘIČKA, Roman. *01 – Výpočet tepelných ztrát* [online]. 23.3.2017 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty.pdf
- [10] ČSN EN ISO 14683: *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích - Lineární činitel prostupu tepla - Zjednodušené metody a orientační hodnoty*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [11] ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích*. *TZB-info* [online]. 4.12.2012 [cit. 2018-04-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>

- [12] Rekuperační jednotky Venus Comfort a Venus Ready HRV nové generace. *Multi-VAC* [online]. [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/produkty/rekuperacni-jednotky-venus>
- [13] VAVŘIČKA, Roman. *02 – Výpočet potřeby tepla a paliva* [online]. 28.3.2017 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf
- [14] Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>
- [15] DIVIŠOVÁ, Michaela. Topíme plynem: Výhody a nevýhody různých způsobů plynového vytápění. *Peníze.cz* [online]. 1.9.2014 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://www.penize.cz/nakupy/290240-topime-plynem-vyhody-a-nevyhody-ruznych-zpusobu-plynoveho-vytapeni>
- [16] Ceník: Regulované platby za dopravu elektřiny. *SKUPINA ČEZ* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/elektrina/elektrina-na-2-roky/cenik.html>
- [17] Ceny paliv a energií: Přehled cen zemního plynu. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/13-prehled-cen-zemniho-plynu>
- [18] Ceny paliv a energií: Přehled cen elektrické energie. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energie/14-prehled-cen-elektricke-energie>
- [19] Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR?. *OENERGETICE.cz* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/teplarenstvi/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr/>
- [20] Vyhodnocení cen tepelné energie. *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/teplo/statistika/vyhodnoceni-cen-tepelne-energie>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Celkové provozní a investiční náklady domu č. 1 (1c a 2a)

Příloha 2 - Investiční a provozní náklady domu č. 2 var. 1c

Příloha 3 - Investiční a provozní náklady domu č. 2 var. 2a

Příloha 4 - Investiční a provozní náklady domu č. 3 var. 1c

Příloha 5 - Investiční a provozní náklady domu č. 3 var. 2a

Příloha 6 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 po 20 letech

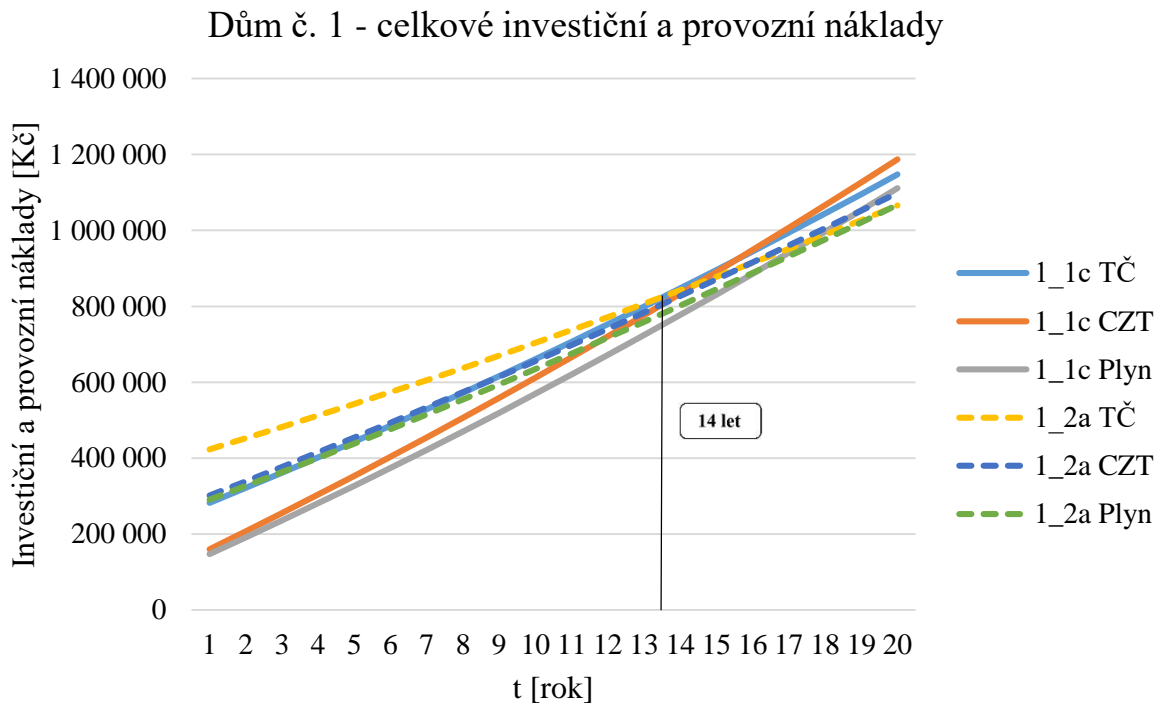
Příloha 7 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 0

Příloha 8 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 1a

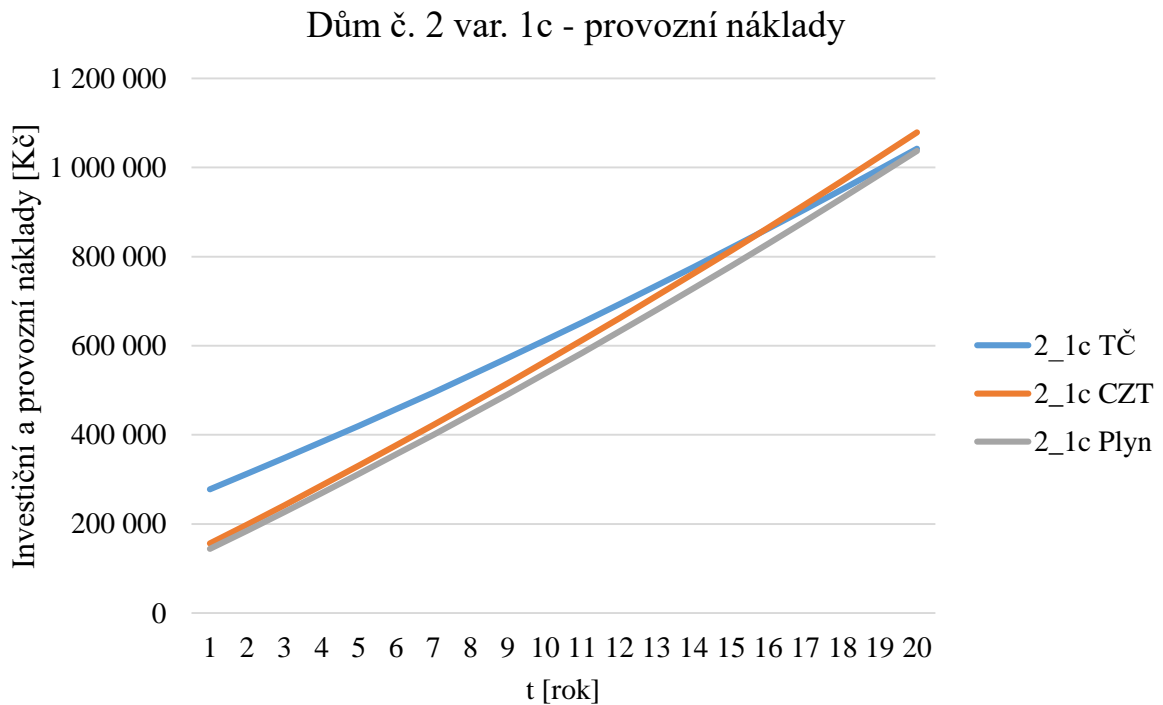
Příloha 9 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 1b

Příloha 10 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 2b

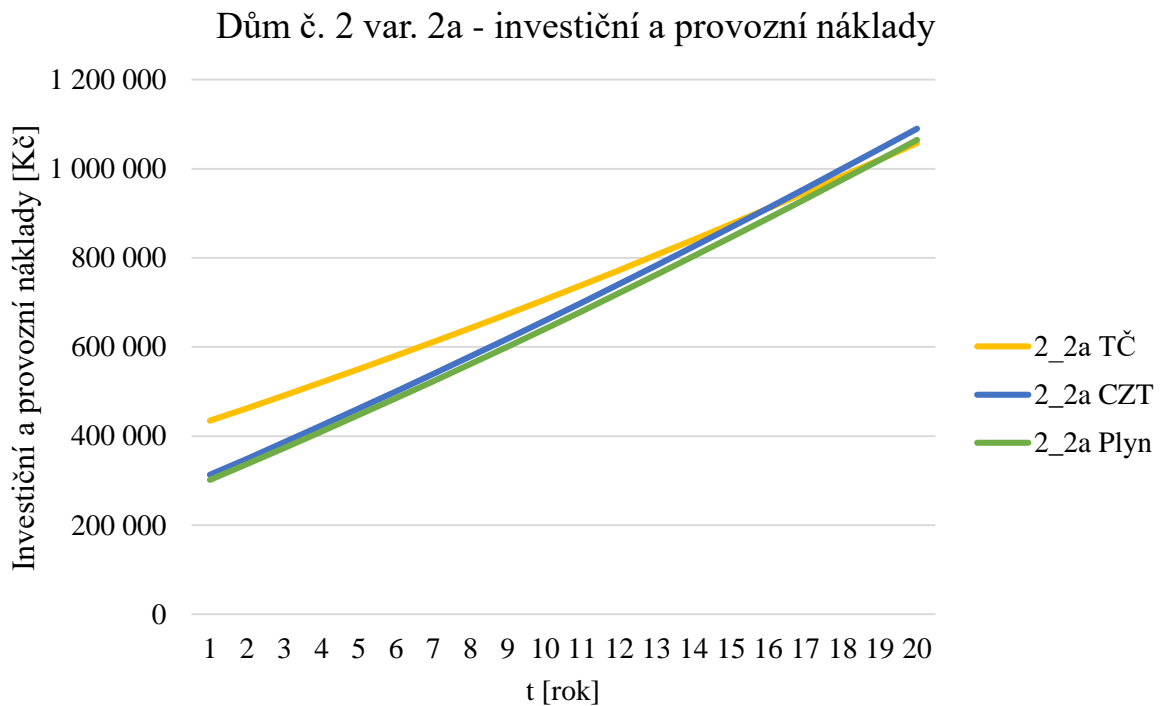
Příloha 1 – Celkové provozní a investiční náklady domu č. 1 (1c a 2a)



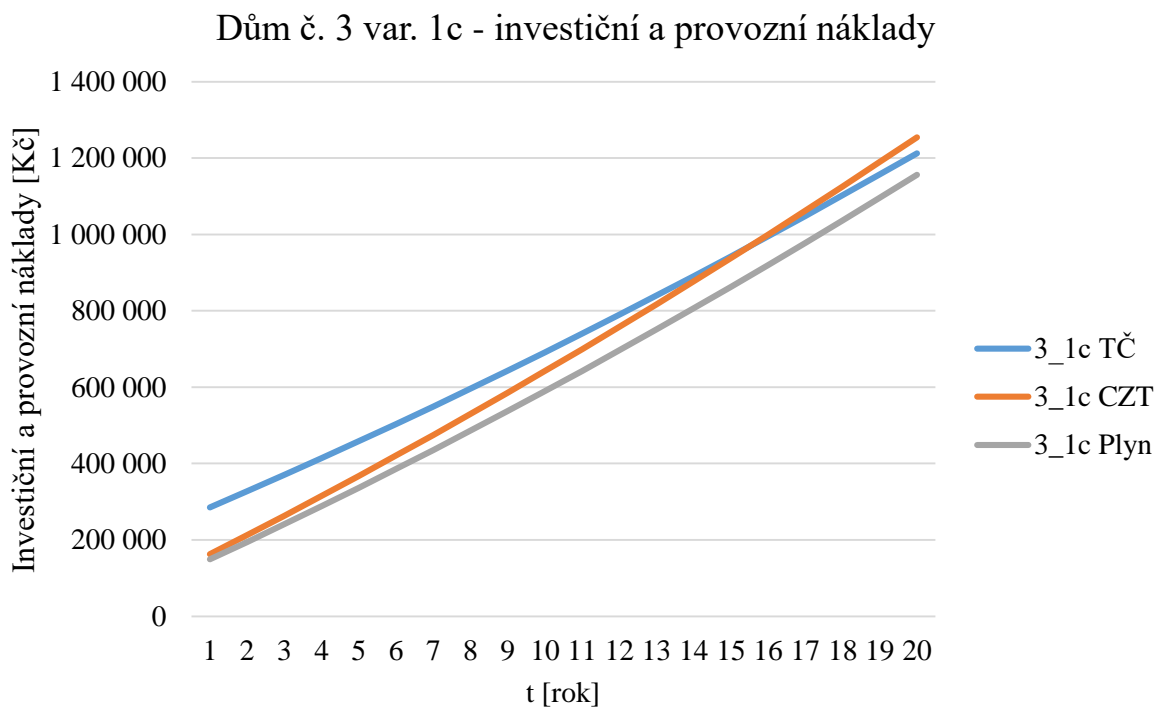
Příloha 2 - Investiční a provozní náklady domu č. 2 var. 1c



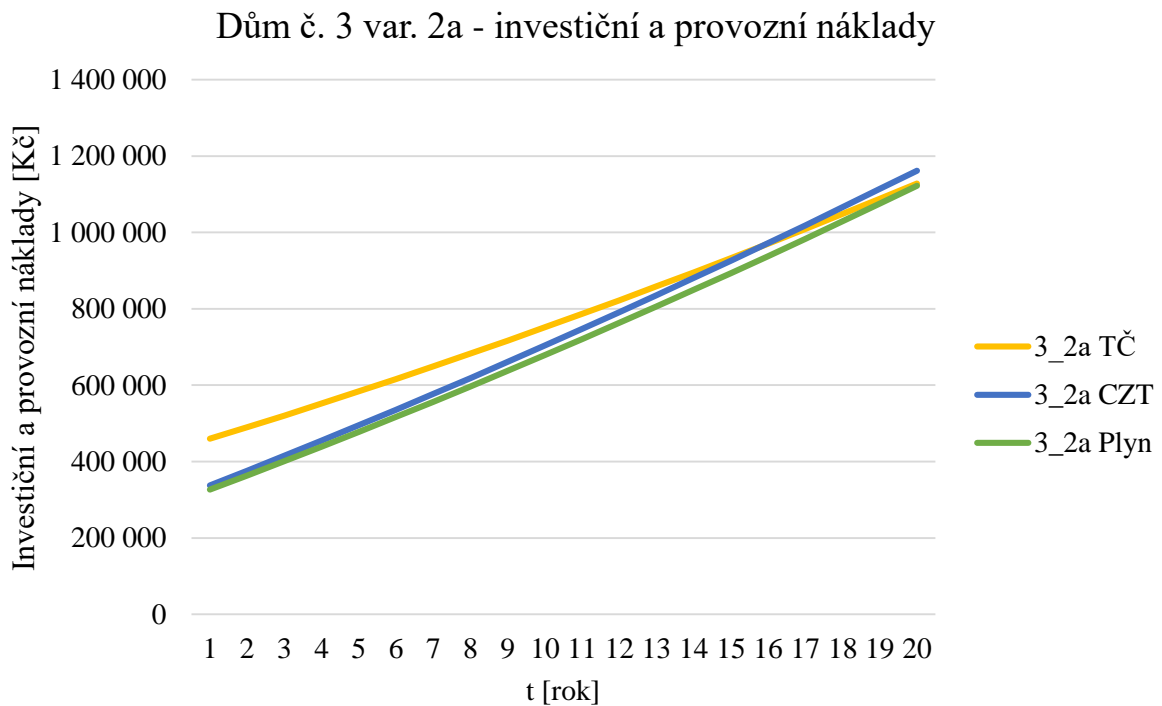
Příloha 3 - Investiční a provozní náklady domu č. 2 var. 2a



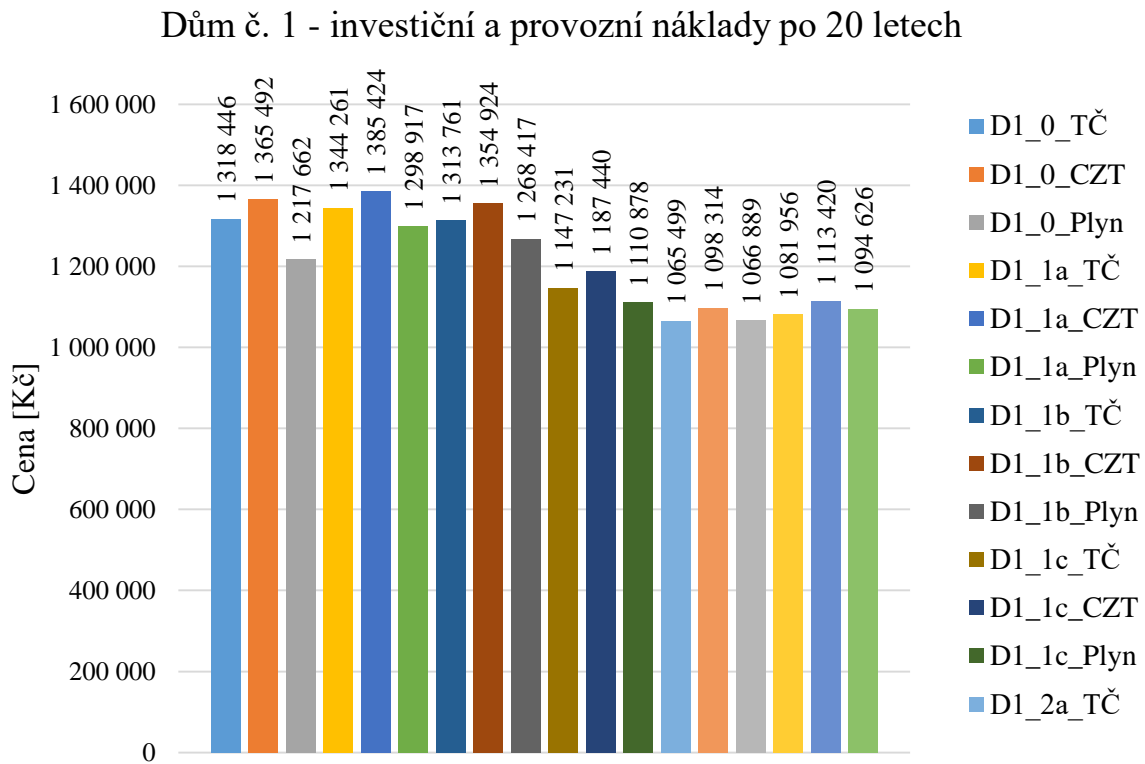
Příloha 4 - Investiční a provozní náklady domu č. 3 var. 1c



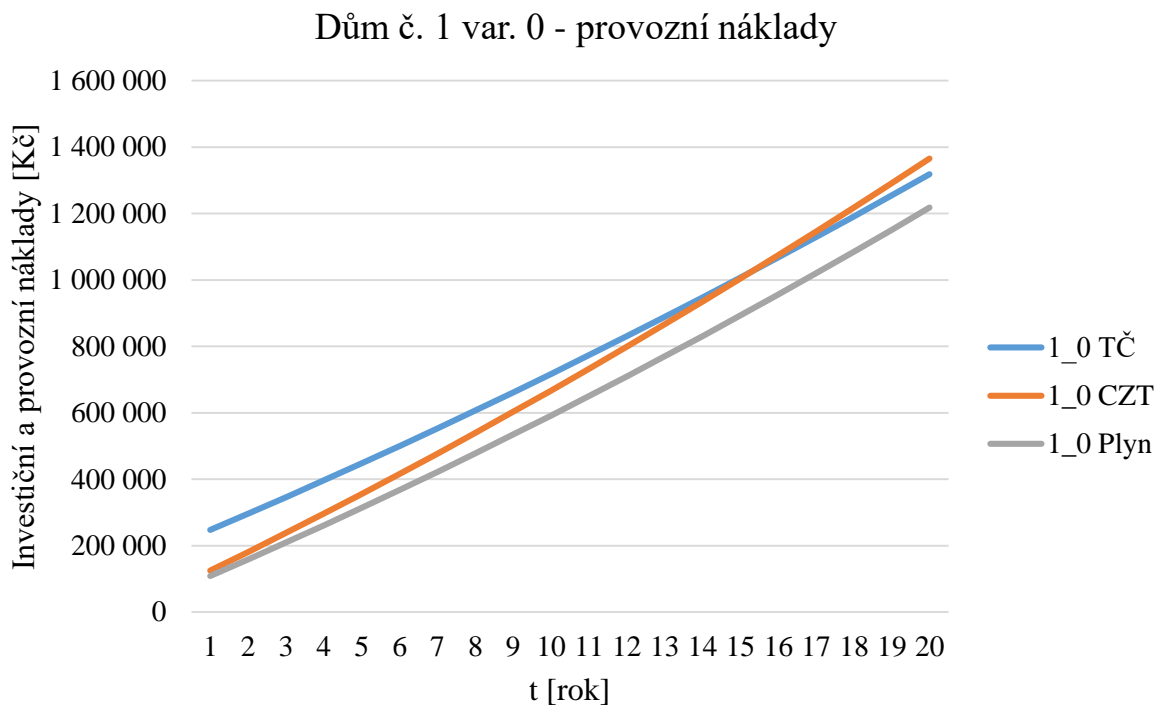
Příloha 5 - Investiční a provozní náklady domu č. 3 var. 2a



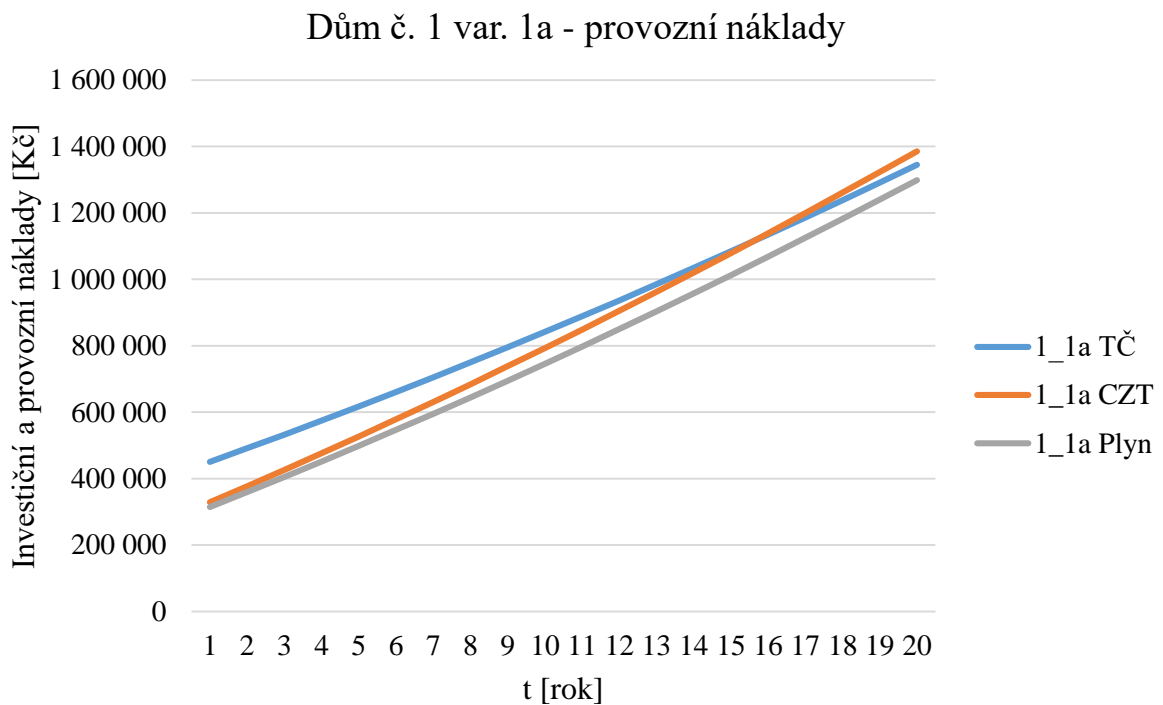
Příloha 6 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 po 20 letech



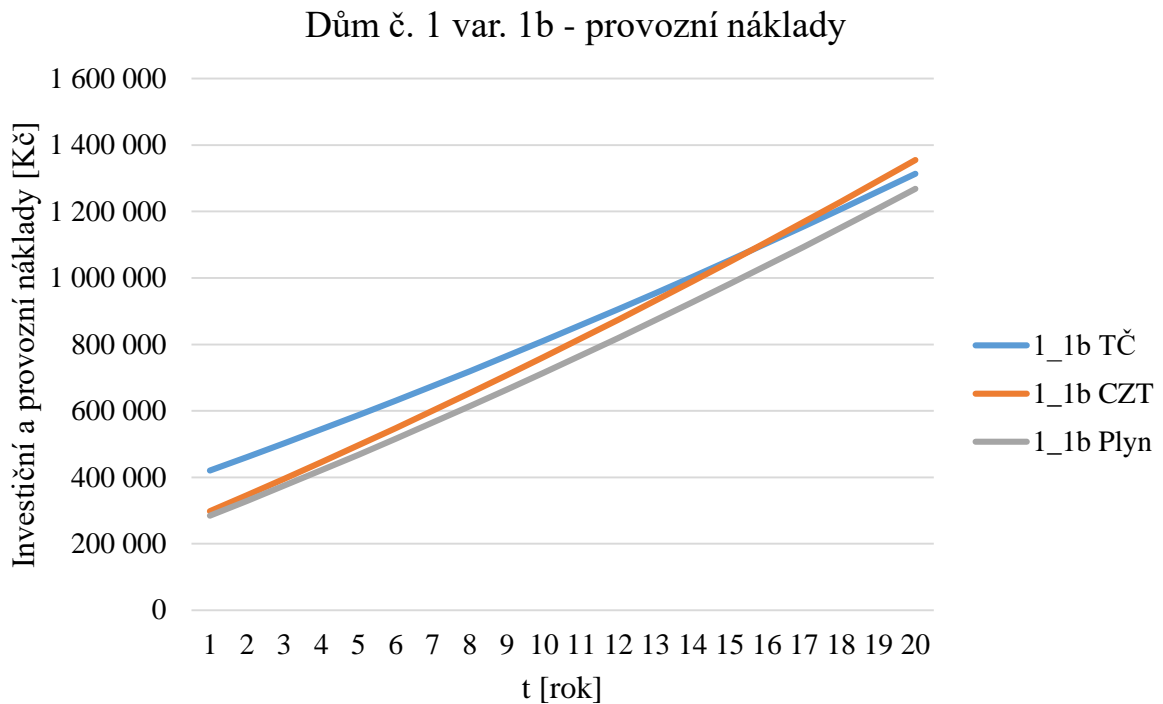
Příloha 7 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 0



Příloha 8 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 1a



Příloha 9 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 1b



Příloha 10 - Investiční a provozní náklady domu č. 1 var. 2b

