

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**ENERGETICKÁ NÁROČNOST
RODINNÉHO DOMU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PETR KOHOUT

5 – TZSI – 2024



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kohout** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **508913**
 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 rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Energy Performance of a Family House

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte rešerši energetické náročnosti rodinného domu z pohledu optimalizace nákladů na vytápění, větrání a přípravu teplé vody. Vypracujte různé způsoby tepelně-technického návrhu stavebního řešení objektu s ohledem na optimalizaci investic. V řešení jednotlivých energetických systémů zpracujte možnosti využití alternativních systémů zdrojů energie jako jsou např. tepelné čerpadlo, termické a fotovoltaické solární panely, biomasa. Proveďte základní ekonomickou analýzu navržených variant.

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 – Část 1: Výpočtové postupy. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [4] ČSN EN 12831-1. Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. 2. vyd. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [5] ČSN EN 12831-3. Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.

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: **08.04.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **06.06.2024**

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)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Energetická náročnost rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 05.06. 2024

Petr Kohout

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá studií energetické náročnosti dvou rodinných domů. Pro dva domy byla navržena základní konstrukce a spočítána potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody dle normy ČSN EN ISO 13 790. Dále byly navrženy 4 varianty pro zlepšení energetické náročnosti a následně vyhodnocena jejich návratnost. Pro variantu zvolenou jako nejvýhodnější byly navrženy různé zdroje tepla, které byly případně kombinovány s alternativními zdroji energie a následně vyhodnocena jejich ekonomická návratnost

Summary

This bachelor's thesis deals with the study of the energy efficiency of two family houses.

For two houses, a basic structure was designed and the need for heat for heating and hot water preparation was calculated according to the ČSN EN ISO 13 790 standard. Furthermore, 4 variants of improving energy efficiency were proposed and their return was subsequently evaluated. For the variant chosen as the most advantageous, various heat sources were proposed, which were possibly combined with alternative energy sources and their economic return was evaluated.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za jeho pomoc a rady, které mi poskytl během práce na této bakalářské práci.

Obsah

Prohlášení.....	3
Souhrn.....	4
Summary.....	4
Poděkování.....	5
Seznam použitého značení.....	8
1 Úvod.....	11
2 Projekty RD	12
2.1 Castor.....	12
2.2 Dakota 4.....	13
3 Skladba konstrukcí.....	14
3.1 Součinitel prostupu tepla	14
3.2 Stěny	15
3.2.1 Obvodové stěny	15
3.2.2 Vnitřní stěny	16
3.3 Horizontální konstrukce.....	16
3.3.1 Podlaha přilehlá k zemině.....	16
3.3.2 Podlaha nad vytápěným prostorem a strop	18
3.3.3 Střecha	18
3.4 Okna a dveře	19
4 Tepelné ztráty objektu.....	20
4.1 Tepelná ztráta prostupem	20
4.2 Tepelná ztráta větráním.....	21
5 Tepelné zisky	24
5.1 Vnitřní tepelné zisky	24
5.2 Vnější tepelné zisky	24
6 Potřeba tepla	29

6.1	Potřeba tepla na vytápění	29
6.2	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	31
6.3	Celková potřeba tepla	32
7	Zlepšení tepelně izolačních vlastností budov	33
7.1	Varianty	33
7.2	Návratnost investice – Castor	34
7.3	Návratnost investice – Dakota 4	36
7.4	Vyhodnocení návratnosti.....	36
8	Návrh zdroje tepla.....	38
8.1	Plynový kondenzační kotel.....	38
8.2	Tepelné čerpadlo	39
8.3	Kotel na dřevěné pelety	42
8.4	Spotřeba elektřiny	43
8.5	Solární ohřev	44
8.6	Fotovoltaické panely	45
9	Ekonomické vyhodnocení.....	47
9.1	Vývoj cen energií.....	47
9.2	Plynový kondenzační kotel a solární ohřev	48
9.3	Peletový kotel a solární ohřev.....	49
9.4	Tepelné čerpadlo a fotovoltaika	50
9.5	Celkové vyhodnocení	51
9.6	Vliv dotací.....	52
10	Závěr	53
11	Citovaná literatura.....	54
12	Seznam Obrázků	58
13	Přílohy.....	60

Seznam použitého značení

Značka	Rozměr	Veličina
A_W	[m ²]	Pohledová plocha průsvitných částí
A_c	[m ²]	Pohledová plocha neprůhledných konstrukcí
$A_{env,build}$	[m ²]	Plocha obálky budovy
$A_{env,i}$	[m ²]	Obálka místnosti ve styku s venkovním prostředím
$A_{env,z}$	[m ²]	Obálka RD ve styku s venkovním prostředím
A_{sol}	[-]	Účinná solární sběrná plocha
B'	[m]	charakteristický parametr
F_f	[-]	Podíl plochy rámu
$F_{r,i}$	[-]	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou
$F_{sh,gl}$	[-]	Korekční činitel stínění
F_{sh}	[-]	Korekční součinitel stínění
F_w	[-]	Korekce pro nerozptyl
$H_{T,ae}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory
$H_{T,ia}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních místností
$H_{T,ie}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí
$H_{T,ig}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy

$O_{podlahy}$	[m]	Obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části
$Q_{H,ht}$	[kWh]	Celková potřeba tepla
$Q_{H,gn}$	[kWh]	Celkové tepelné zisky
$\dot{Q}_{v,sup}$	[W]	Tepelná ztráta nuceným větráním
$\dot{Q}_{v,transfer}$	[W]	Tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousedních místností
$\dot{Q}_{v,env}$	[W]	Tepelná ztráta větráním obálkou budovy
U	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla
U_c	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla neprůhledných částí
V	[m ³ /den]	Objem vody na osobu
$\dot{V}_{env,50}$	[m ³ /s]	Průtok vzduchu obálkou budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa
$\dot{V}_{v,leak}$	[m ³ /s]	Průtok venkovního vzduchu obálkou budovy
$\dot{V}_{v,sup}$	[m ³ /s]	Průtok nuceně přiváděného vzduchu
$\dot{V}_{v,leak,i}$	[m ³ /s]	Průtok vzduchu netěsnostmi do zóny
V_{build}	[m ³]	Vnitřní objem vzduchu budovy
a_0	[Kč]	Původní cena
c_p	[J/kg.K]	Měrná tepelná kapacita vzduchu
d_t	[W/m ² .K]	celková ekvivalentní tloušťka podlahy
$f_{dir,z}$	[-]	Činitel orientace zóny
g_n	[-]	Celková propustnost průhlednými prvky
h_r	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně
l_{50}	[h ⁻¹]	Intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa

l_{sol}	[W]	Celkové solární záření
s_n	[W/m ² .K]	Tloušťka n-té vrstvy stěny
t_1	[°C]	Teplota teplé vody
t_2	[°C]	Teplota studené vody
$t_{e,0}$	[°C]	Teplota venkovního vzduchu
$t_{exh,z}$	[°C]	Teplota odváděného vzduchu
t_{int}	[°C]	Výpočtová teplota vnitřního vzduchu
t_{rec}	[°C]	Teplota vzduchu za výměníkem
$\Delta t_{e,r}$	[K]	Průměrný rozdíl mezi teplotou oblohy a vzduchu
a	[Kč]	Cena po n letech
c	[kg/m ³]	Měrná tepelná kapacita vody
f	[W]	Přítomnost osob
n	[-]	Počet let
x	[%]	Procentuální meziroční nárůst ceny
z	[-]	Poměrné ztráty
$\alpha_{s,c}$	[-]	Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků
η_{rec}	[-]	Účinnost zpětného získávání tepla (ZZT)
λ_n	[W/m ² .K]	Součinitel tepelné vodivosti n-té stěny
ρ	[kg/m ³]	Hustota

1 Úvod

Tato bakalářská práce na téma vytápění rodinného domu pojednává o energetické náročnosti rodinného domu z hlediska vytápění a větrání. Stále zpřísňující se normy ohledně energetické náročnosti budov a zároveň růst cen energií v dnešní době stále zvyšuje tlak na snižování energetické náročnosti budov.

V rámci bakalářské práce jsou zpracovány projekty dvou rodinných domů podobné velikosti. U těchto projektů byla navržena skladba konstrukcí tak, aby její tepelně izolační vlastnosti byly v souladu s normou ČSN 73 0540. Následně byly vypočteny tepelné ztráty těchto projektů a z nich vypočtena roční potřeba tepla.

Dále se práce zabývá návrhy několika variant na snížení energetické náročnosti s ohledem na nutné investice do těchto zlepšení. Pro variantu vybranou jako nejvýhodnější byly navrženy různé zdroje tepla a jejich případné doplnění alternativními zdroji energie. Na základě pořizovacích nákladů a provozních nákladů bylo určeno, který zdroj tepla je nejvýhodnější.

2 Projekty RD

Pro účely bakalářské práce byly vybrány projekty dvou katalogových domů od projekční kanceláře Gservis. Oba projekty jsou umístěny na shodném místě v Praze, a tedy venkovní výpočtová teplota byla zvolena $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota v koupelnách byla zvolena $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, v ostatních vytápěných místnostech $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. [1]

2.1 Castor

První projekt má název Castor. Jedná se o dvoupatrový dům se sedlovou střechou, druhé patro není plnohodnotné, jelikož se jedná o obydlené podkroví. Dispozice projektu je 5+1 o rozloze obytné plochy 160 m^2 . [2]



Obr. 1 Ilustrační foto projekt Castor [2]

2.2 Dakota 4

Druhý projekt jménem Dakota 4 je dvoupatrový dům moderního stylu s rovnou střechou. Dispozice projektu je 4+1. Rozloha obytné plochy je 155 m². Dům je rozdělen na dva bloky, na hlavní obytný jednopodlažní s kuchyňským koutem a dvoupodlažní s ložnicovou částí a celkovým technickým zázemím budovy. [2]



Obr. 2 Ilustrační foto projektu Dakota 4 [2]

3 Skladba konstrukcí

Skladba konstrukcí byla navržena podle požadavků normy ČSN 73 0540.

3.1 Součinitel prostupu tepla

Jedním z nejdůležitějších parametrů konstrukcí je součinitel prostupu tepla U . Největší vliv na tepelně izolační vlastnosti má zdivo a případná izolace. Vliv ostatních vrstev (například omítka) je velmi malý, a tudíž je lze při výpočtu zanedbat. Výpočet byl proveden podle normy ČSN EN ISO 6946. [3] [4]

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

Kde:

U	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla
R_{si}	[W/m ² .K]	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně stěny
R_n	[W/m ² .K]	Tepelných odpor n-té vrstvy stěny
R_{se}	[W/m ² .K]	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně
s_n	[W/m ² .K]	Tloušťka n-té vrstvy stěny
λ_n	[W/m ² .K]	Součinitel tepelné vodivosti n-té stěny

Tab. 1 Hodnoty tepelného odporu přestupu tepla

Tepelný odpor přestupu tepla	Nahoru [W/m ² .K]	Vodorovně [W/m ² .K]	Dolů [W/m ² .K]
R_{si}	0.1	0.13	0.17
R_{se}	0.04	0.04	0.04

3.2 Stěny

Stěny se rozdělují podle jejich účelu na stěny obvodové, vnitřní nosné a vnitřní nenosné. Vnitřní stěny není nutné izolovat, jelikož nemají kontakt s venkovním prostředím.

3.2.1 Obvodové stěny

Jako zdivo byly v obvodových stěnách použity cihly Porotherm 30 TS Profi. Tyto cihly nabízí skvělé tepelně izolační vlastnosti, a tedy i bez další izolace stěna splňuje požadavky normy. Dále se stěna skládá z vnitřní a vnější omítky nanesené na zmíněné zdivo.

Tab. 2 Skladba obvodové stěny

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]
Vnější omítka	15	0,8
Porotherm 30 TS Profi [5]	300	0,062
Vnitřní omítka	10	0,8

3.2.2 Vnitřní stěny

Tab. 3 Skladba vnitřní nosné stěny

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]
Vnější omítka	10	0,8
HELUZ 20 [6]	200	0,25
Vnitřní omítka	10	0,8

Tab. 4 Skladba vnitřní nenosné stěny

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]
Vnější omítka	10	0,8
HELUZ 11,5 broušená	115	0,22
Vnitřní omítka	10	0,8

3.3 Horizontální konstrukce

Strop mezi vytápěnými prostory je z horizontálních konstrukcí jediným, který není potřeba izolovat. Ostatní konstrukce jsou v kontaktu s venkovním prostředím, a tudíž je nutné je izolovat.

3.3.1 Podlaha přilehlá k zemině

Výpočet součinitele prostupu tepla byl vypočten podle normy ČSN EN ISO 13 370.

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0,5 \cdot O_{podlahy}} \quad (2)$$

Kde

B' [m] charakteristický parametr

$S_{podlahy}$ [m²] Plocha podlahy

$O_{podlahy}$ [m] Obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (3)$$

$$d_t < B' \Rightarrow U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad (4)$$

$$d_t \geq B' \Rightarrow U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad (5)$$

Kde

d_t [W/m².K] celková ekvivalentní tloušťka podlahy

R_{si} [W/m².K] tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně

R_f [W/m².K] Tepelný odpor všech vrstev podlahy

R_{se} [W/m².K] Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně

Jelikož charakteristický parametr B' je pro každou místnost jiný, je potřeba součinitel prostupu tepla podlahou spočítat pro každou místnost zvlášť. λ_{zeminy} byl dle normy ČSN EN 13 370 stanoven pro písky a šterky na hodnotu 2 W/m.K. [3]

Tab. 5 Skladba podlahy

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]
Železobeton	125	1,43
Asfaltový nátěr	3	0,2
Polystyren	130	0,04
PVC	3	0,16

3.3.2 Podlaha nad vytápěným prostorem a strop

Podlahu nad vytápěným prostorem není třeba izolovat, jelikož rozdíl teplot je malý, tudíž téměř nedochází k prostupu tepla. Pro místnosti v nižším patře tato konstrukce představuje strop.

Tab. 6 Skladba podlahy nad vytápěným prostorem

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]
PVC	3	0,16
Železobeton	125	1,43
Vnitřní omítka	10	0,8

3.3.3 Střecha

Skladba střechy jednotlivých projektů se liší, neboť projekt Castor má střechu sedlového typu a projekt Dakota 4 má střechu rovnou.

Tab. 7 Skladba rovné střechy

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]
Železobeton	125	1,43
Vnitřní omítka	10	0,8
Polystyren	250	0,04
Asfaltové pásy	4,5	0,2

Tab. 8 Skladba sedlové střechy

Materiál	Tloušťka [mm]	Součinitel tepelné vodivosti [W/m.K]
Keramické tašky	10	1
Minerální vata	240	0,039
Sádrokarton	2x12,5	0,22

3.4 Okna a dveře

U obou projektů byla použita stejná okna od výrobce Vekra, model natura 68. Výplň těchto oken je izolační dvojsklo se součinitelem prostupu tepla $U_g = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Celkový součinitel prostupu okna je $U_w = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Oba projekty mají HS – portál Vekra HS Portal EVO se součinitelem prostupu tepla $U_w = 0,81 \text{ W/m}^2\text{K}$. U projektu Dakota 4 jsou použity 2 světlíky Velux 66. Projekt Castor má výklopná střešní okna Velux GPL 67. [7] [8]

Vstupní dveře jsou u obou domů Vekra komfort Evo VD se součinitelem prostupu tepla $U_d = 0,93 \text{ W/m}^2\text{K}$. [7]



Obr. 3 Vekra natura 68 [7]

4 Tepelné ztráty objektu

Celková tepelná ztráta objektu se skládá z tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. [3] Platí tedy:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} - \Phi_{gain,i} \quad (6)$$

Kde

$\Phi_{HL,i}$	[W]	Celková tepelná ztráta
$\Phi_{T,i}$	[W]	Návrhová tepelná ztráta prostupem
$\Phi_{V,i}$	[W]	Návrhová tepelná ztráta větráním
$\Phi_{gain,i}$	[W]	Trvalé tepelné zisky

Trvalé tepelné zisky jsou například od potrubí otopné soustavy. V moderních budovách je potrubí většinou zakryto, a proto byly trvalé tepelné zisky při výpočtu považovány za nulové.

4.1 Tepelná ztráta prostupem

Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem byl proveden podle normy ČSN EN 12 831-1 [3].

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,ae} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (7)$$

Kde

$\Phi_{T,i}$	[W]	Návrhová tepelná ztráta
$H_{T,ie}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí

$H_{T,ia}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních místností
$H_{T,ae}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory
$H_{T,ig}$	[W/K]	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy
$\theta_{int,i}$	[°C]	Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru
θ_e	[°C]	Venkovní výpočtová teplota

4.2 Tepelná ztráta větráním

Celková tepelná ztráta větráním je dána jako součet tepelné ztráty od nuceného větrání, tepelné ztráty větráním obálkou budovy a tepelnou ztrátou převodem vzduchu z místností s nižší teplotou. [9]

$$\dot{Q}_{V,i} = \dot{Q}_{V,sup} + \dot{Q}_{v,env} + \dot{Q}_{v,transfer} \quad (8)$$

Kde

$\dot{Q}_{V,sup}$	[W]	Tepelná ztráta nuceným větráním
$\dot{Q}_{v,env}$	[W]	Tepelná ztráta větráním obálkou budovy
$\dot{Q}_{v,transfer}$	[W]	Tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousedních místností

$$\dot{Q}_{v,transfer} = \dot{V}_{v,sup} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{int} - t_{rec}) \quad (9)$$

Kde

$\dot{V}_{v,sup}$	[m ³ /s]	Průtok nuceně přiváděného vzduchu
-------------------	---------------------	-----------------------------------

t_{int}	[°C]	Výpočtová teplota vnitřního vzduchu
t_{rec}	[°C]	Teplota vzduchu za výměníkem
ρ	[kg/m ³]	Hustota vzduchu
c_p	[J/kg.K]	Měrná tepelná kapacita vzduchu

$$t_{rec,z} = t_{e,0} + \eta_{rec} \cdot (t_{exh,z} - t_{e,0}) \quad (10)$$

Kde

$t_{exh,z}$	[°C]	Teplota odváděného vzduchu
$t_{e,0}$	[°C]	Teplota venkovního vzduchu
η_{rec}	[-]	Účinnost zpětného získávání tepla (ZZT)

V základní variantě projektu je počítáno s přirozeným větráním, ale v dalších variantách se počítá s nuceným větráním s rekuperací viz kapitola 7. Proto byla navrženo rovnotlaké větrání obou projektů. Ztráta přirozeným větráním byla počítána podle stejných vztahů s efektivitou zzt 0 %. [9]

$$\dot{Q}_{v,env} = f_{dir,z} \cdot \dot{V}_{v,leak} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{int} - t_e) \quad (11)$$

Kde

$\dot{V}_{v,leak}$	[m ³ /s]	Průtok venkovního vzduchu obálkou budovy
$f_{dir,z}$	[-]	Činitel orientace zóny

Tepelná ztráta větráním obálkou je způsobena netěsnostmi obálky budovy. Činitel orientace byl volen podle normy 2. [9]

$$\dot{V}_{v,leak,i} = \dot{V}_{v,leak,z} \cdot \frac{A_{env,i}}{A_{env,z}} \quad (12)$$

Kde

$\dot{V}_{v,leak,i}$	[m ³ /s]	Průtok vzduchu netěsnostmi do zóny
$A_{env,z}$	[m ²]	Obálka RD ve styku s venkovním prostředím
$A_{env,i}$	[m ²]	Obálka místnosti ve styku s venkovním prostředím

$$\dot{V}_{v,leak,z} = \dot{V}_{env,50} \cdot A_{env,z} \cdot f_{qv,z} \quad (13)$$

Kde

$\dot{V}_{v,leak,z}$	[m ³ /s]	Průtok venkovního vzduchu infiltrací
$\dot{V}_{env,50}$	[m ³ /s]	Průtok vzduchu obálkou budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa
$f_{qv,z}$	[-]	Součinitel objemového průtoku

Součinitel objemového průtoku byl zvolen pro běžné stínění - 0,05.

$$\dot{V}_{env,50} = \frac{l_{50} V_{build}}{A_{env,build}} \quad (14)$$

Kde

$\dot{V}_{env,50}$	[m ³ /s]	Průtok vzduchu obálkou budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa
l_{50}	[h ⁻¹]	Intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa
V_{build}	[m ³]	Vnitřní objem vzduchu budovy
$A_{env,build}$	[m ²]	Plocha obálky budovy

Na základě konzultace nebyla volena intenzita dle normy ČSN EN 12831-1, ale byla volena na základě naměřených hodnot 1,34.

5 Tepelné zisky

Teplem, které vzniká lidskou činností a dopadem slunečních paprsků lze zčásti kompenzovat tepelné ztráty. Celkové tepelné zisky jsou dány součtem tepelných zisků vnějších a vnitřních. Výpočet tepelných zisků byl vypočten podle normy ČSN EN ISO 13 790. [10]

5.1 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky vznikají hlavně lidskou činností v budově, a tedy jejich hodnota závisí na počtu osob v budově. V obou projektech jsou 4 osoby a přítomnost osob je 70 % dní v roce. [10]

$$\Phi_{zisk,vnitř} = \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p} \quad (15)$$

Kde

$\Phi_{zisk,vnitř}$ [W]	Celkové vnitřní tepelné zisky
$\Phi_{s,o}$ [W]	Tepelné zisky od spotřebičů
f [W]	Přítomnost osob
$\Phi_{s,p}$ [W]	Tepelný zisk bez ohledu na přítomnost osob

5.2 Vnější tepelné zisky

Vnější tepelné zisky jsou způsobeny dopadem solárního záření. Jejich hodnota závisí na orientaci dané stěny a na tom, zda je konstrukce průhledná či neprůhledná. Tepelný zisk pochází především od průhledných konstrukcí. Na jižní stěnu dopadá nejvíce záření, a

tudíž by dům měl být orientovaný stěnou s největší plochou oken na jih. Naopak na severní stěnu dopadá záření nejméně a zisk od této stěny je minimální. [10]

$$\Phi_{sol} = F_{sh} \cdot (\sum A_{sol}) \cdot l_{sol} - F_{r,i} \cdot \Phi_{r,i} \quad (16)$$

Kde

Φ_{sol}	[W]	Celkové vnější tepelné zisky od průhledných konstrukcí
F_{sh}	[-]	Korekční součinitel stínění
A_{sol}	[-]	Účinná solární sběrná plocha
l_{sol}	[W]	Celkové solární záření
$F_{r,i}$	[-]	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou
$\Phi_{r,i}$	[W]	Sálání vůči obloze

Pro správné určení vnějších tepelných zisků je potřeba znát hodnoty celkového solárního záření za každý měsíc. [10]

Tab. 9 Celkové solární záření za měsíc

Měsíc	Počet dnů	Střední teplota	Celkové solární záření za měsíc									
	n	t _{ep}	I _{sol,j} [kWh/m ²]									
	[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	

Výpočet účinné solární sběrné plochy průhledných konstrukcí.

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_n \cdot F_w \cdot (1 - F_f) \cdot A_w \quad (17)$$

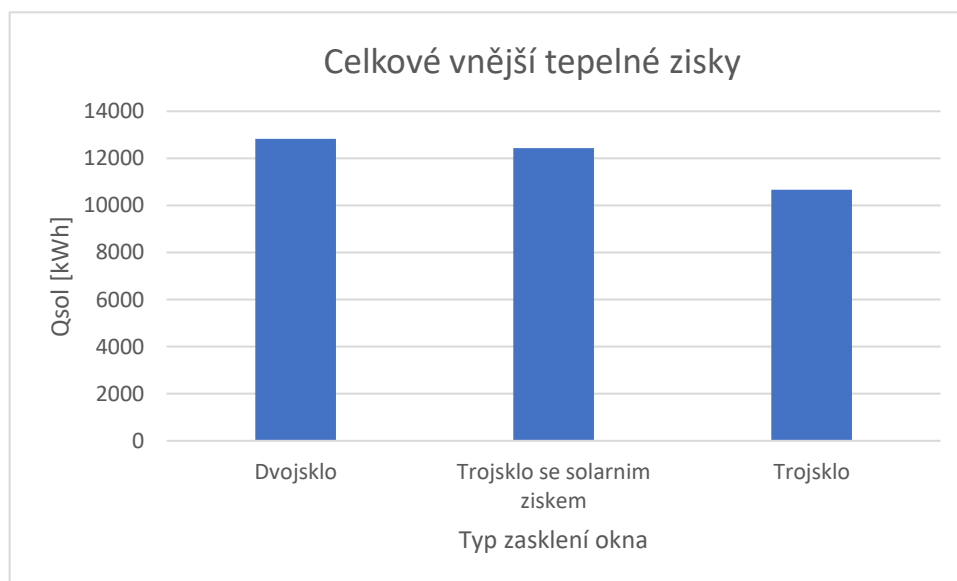
Kde

A_{sol} [-] Účinná solární sběrná plocha

$F_{sh,gl}$ [-] Korekční činitel stínění

g_n	[-]	Celková propustnost průhlednými prvky
F_w	[-]	Korekce pro nerozptyl
F_f	[-]	Podíl plochy rámu
A_w	[m ²]	Pohledová plocha průsvitných částí

Hodnota celkové propustnosti zasklení, často nazývaná jako solární faktor, je zásadní vlastnost zasklení z hlediska jejich solárních zisků. Obecně lze říci, že okna zasklená dvojskly propustí více záření, a tudíž jsou solární zisky větší. Poslední dobou se na trhu objevují izolační okna s trojskly s vyššími solárními zisky, které nabízí lepší tepelně izolační vlastnosti, ale zachovávají si podobnou propustnost záření jako okna s dvojskly.



Obr. 4 Porovnání typů zasklení

Korekční činitel stínění byl zvolen 0,7 u projektu Castor není uvažováno vyšší stínění vlivem zastřešením pergoly, jelikož je předpoklad, že zastřešení bude vytaženo jen mimo otopné období. Podíl plochy rámu byl pro všechna okna uvažován 30 %. Korekce pro nerozptyl zasklení je normou dána 0,9. [3]

Výpočet účinné solární sběrné plochy neprůsvitných částí:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad (18)$$

Kde

A_{sol}	[-]	Účinná solární sběrná plocha
$\alpha_{s,c}$	[-]	Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků
R_{se}	[m ² /W.K]	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu
U_c	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla neprůhledných částí
A_c	[m ²]	Pohledová plocha neprůhledných konstrukcí

Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků byla volena 0,6.

Výpočet sálání vůči obloze

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad (19)$$

Kde

R_{se}	[m ² /W.K]	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu
U_c	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla neprůhledných částí
A_c	[m ²]	Pohledová plocha neprůhledných konstrukcí
h_r	[W/m ² .K]	Součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně
$\Delta t_{e,r}$	[K]	Průměrný rozdíl mezi teplotou oblohy a vzduchu

Pro mírné podnebí se volí $\Delta t_{e,r}$ 11 K, pro průměrnou teplotu 10 °C je h_r rovno 5 W/m².K.

6 Potřeba tepla

Celková potřeba tepla je dána jako součet potřeby tepla na kompenzování tepelných ztrát a tepla potřebného na přípravu teplé vody. [10]

6.1 Potřeba tepla na vytápění

Potřebu tepla na vytápění z části kompenzují tepelné zisky viz kapitola 5. Dále je potřeba zohlednit využitelnost těchto tepelných zisků. Tu ovlivňuje časová τ , která závisí na vnitřní tepelné kapacitě budovy. Ta je daná typem zdiva budovy. Pro oba projekty bylo zvolen těžký typ budovy. [10]

Tab. 10 Tepelná kapacita budovy

Třída budovy	C_m [kJ/K]
Velmi lehká	14216000. Plocha vytápěné zóny
Lehká	19547000. Plocha vytápěné zóny
Střední	29320500. Plocha vytápěné zóny
Těžká	46202000. Plocha vytápěné zóny
Velmi těžká	65749000. Plocha vytápěné zóny

Tab. 11 Tabulka konstant

Vnitřní tepelná kapacita budovy	Časová konstanta budovy	Referenční časová konstanta	Bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budovy	
$C_m[\text{J/K}]$	$\tau [\text{h}]$	$\tau_{H,0}[\text{h}]$	$a_{h,o} [-]$	$a_h[-]$
Viz tab	$\tau = \frac{C_m}{3600(H_T + H_V)}$	15	1	$a_h = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}$

Výpočet bilančního poměru pro režim vytápění

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (20)$$

Kde

$Q_{H,gn}$ [kWh] Celkové tepelné zisky

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

Výpočet využitelnosti tepelných zisků

Pro $\gamma_H > 0$ a $\gamma_H \neq 0$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad (21)$$

Pro $\gamma_H > 0$ a $\gamma_H \neq 0$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \quad (22)$$

Pro $\gamma_H > 0$ a $\gamma_H \neq 0$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad (23)$$

6.2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

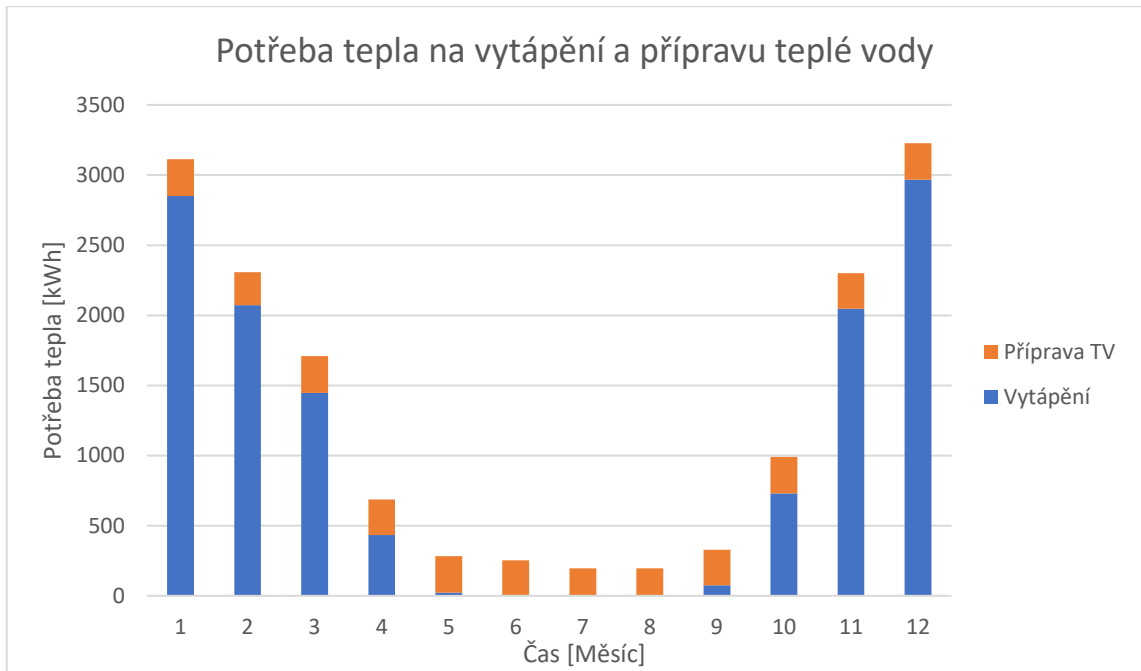
Potřeba teplé vody byl spočítána dle vztahu:

$$\dot{Q} = (1 + z) \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2) \quad (24)$$

Kde

z	[-]	Poměrné ztráty
V	[m ³ /den]	Objem vody na osobu
ρ	[W/m ² .K]	Hustota vody
c	[kg/m ³]	Měrná tepelná kapacita vody
t_1	[°C]	Teplota teplé vody
t_2	[°C]	Teplota studené vody

V období letních prázdnin je potřeba teplé vody snížena o 30 %. V obou domech je počítáno se stejným počtem osob, tudíž potřeba tepla na přípravu teplé vody je pro oba domy identická. [10]



Obr. 5 Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody

6.3 Celková potřeba tepla na vytápění

Tab. 12 Celková potřeba tepla na vytápění základních variant

Projekt	Potřeba tepla na vytápění za rok [kWh/rok]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² rok]
Dakota 4	12 848	75,2
Castor	12 644	76,8

7 Zlepšení tepelně izolačních vlastností budov

K základním variantám obou projektů byly navrženy typově stejné možnosti zlepšení jejich tepelně izolačních vlastností, a to včetně nákladů na jejich realizaci.

Cílem zlepšení bylo dosažení statu nízkoenergetického domu. Snížením energetické náročnosti budovy pod 50 kWh/m² zároveň bude dosaženo snížení nákladů na vytápění a přípravu teplé vody.

Následně byla propočítána jejich návratnost vzhledem k cenám energií a vybrána varianta s nejlepším poměrem investice a návratnosti. Při výpočtu bylo počítáno s meziročním růstem energií 5 % a třemi různými variantami cen tepla. Náklady na vytápění byly počítány podle vzorce [11]:

$$a = a_0 \cdot \left(1 + \frac{x}{100}\right)^n \quad (25)$$

Kde:

a	[Kč]	Cena po n letech
a_0	[Kč]	Původní cena
n	[-]	Počet let
x	[%]	Procentuální meziroční nárůst ceny

7.1 Varianty

Varianta 1 – Do domu byl instalován systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Byla použita větrací jednotka Rennovent sky 300 Plus. Tato jednotka nabízí velmi dobrou účinnost rekuperace a to 85 %. Dále byly k nutné investici připočítány náklady na práci a materiál ve výši 50 000 Kč. Celková cena i s prací je 128 436 Kč. [12]

Varianta 2 – této variantě byly zlepšeny hodnoty součinitele prostupu tepla pomocí přidání 250 mm izolace zdí a zvětšením izolace podlahy o 90 mm, jelikož ve variantě 0 dům neměl žádnou izolaci obvodových stěn, byly zde přičteny náklady na práci ve výši

30 % ceny materiálu. V podlaze bylo počítáno s izolací i v základní variantě, tudíž se navýšily jen náklady na materiál. [13]

Varianta 3 – Kromě zlepšení izolace bylo původní zasklení okna s izolačním dvojsklem nahrazeno izolačním trojsklem se zvýšeným solárním faktorem Akuterm AKUTOP ECLAZ 48/0.5 Ar. Součinitel prostupu tepla $U_w = 0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, tedy nabízí výrazně lepší tepelnou izolaci a solární tepelné zisky se sníží jen nepatrně díky, jelikož solární faktor skla je 0,6. Dle informací výrobce náklady na tyto okna jsou vyšší o 1500 Kč/m². [7] [14]

Varianta 4 – Pro maximalizaci solárních zisků byly přidáno do projektů více oken pro dům Castor byly přidány 4 střešní okna Velux 67 za 30 000 Kč/kus, k ceně oken byla připočítána cena práce 30 % ceny oken. Celková investice oproti variantě 3 je 156 000 Kč. Pro dům Dakota 4 byly přidány světlíky o ploše 22 m², celková cena investice je 302 900 Kč. [15] [8]

Tab. 13 Srovnání jednotlivých variant

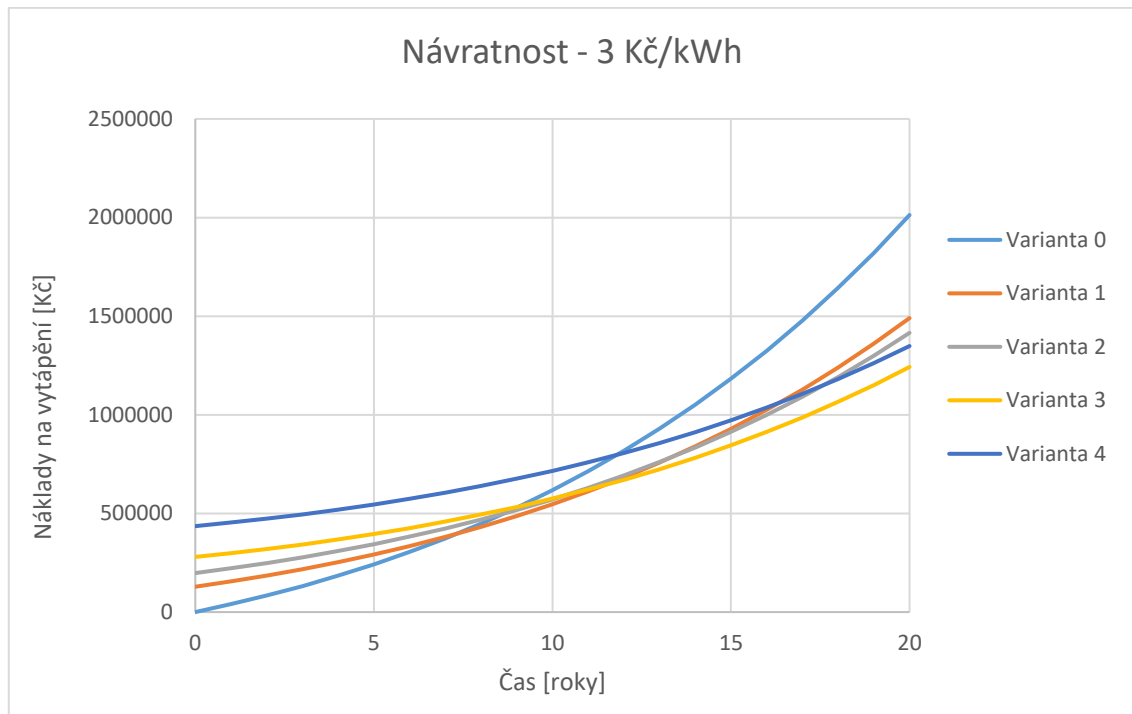
Varianta	Energetická náročnost Dakota 4 [kWh/m ² rok]	Energetická náročnost Castor [kWh/m ² rok]
0	75,2	76,8
1	57	49,4
2	43,4	46,5
3	34,7	34
4	30,5	33

7.2 Návratnost investice – Castor

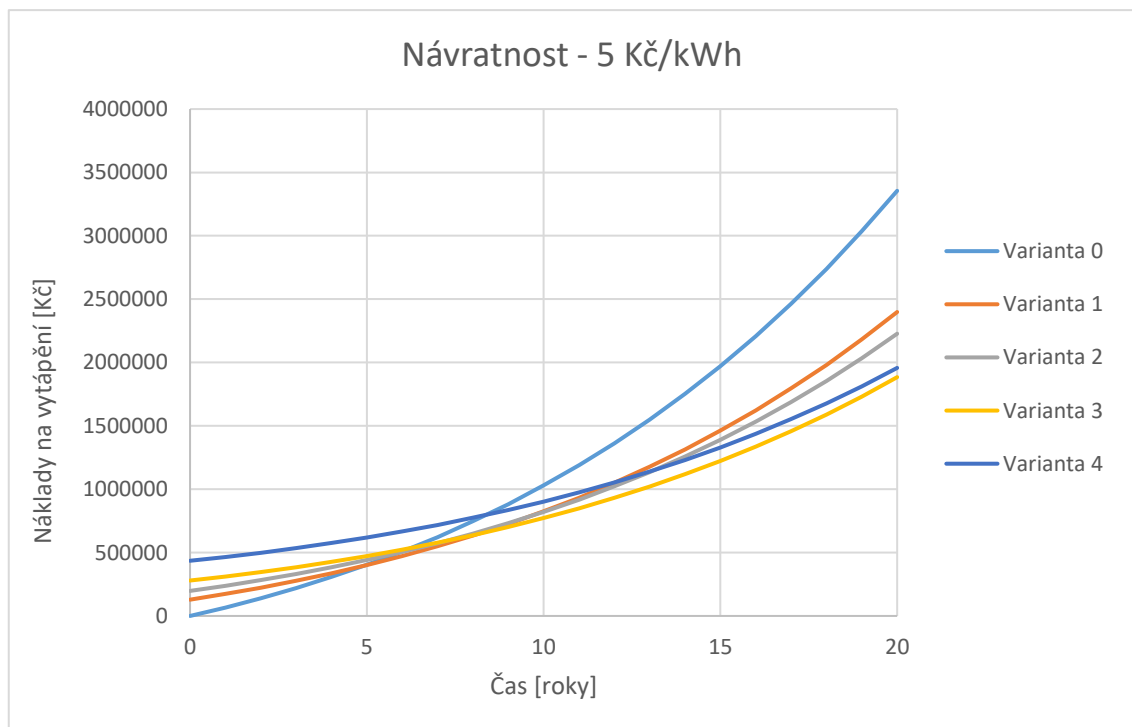
Byla propočítaná návratnost investic pro několik variant cen za energii. Při ceně 3 Kč/kWh se v rozsahu v období do 20 let jeví nejlépe varianta 3, která se oproti všem ostatním variantám navrátí za 12 let, přičemž varianta 4 se oproti variantě 3 za 20 let nenavrátí.

Při zvýšení ceny na 5 Kč/kWh se varianta navrátí již po 9 letech. Varianta 4 se stále do 20 let nevrátí.

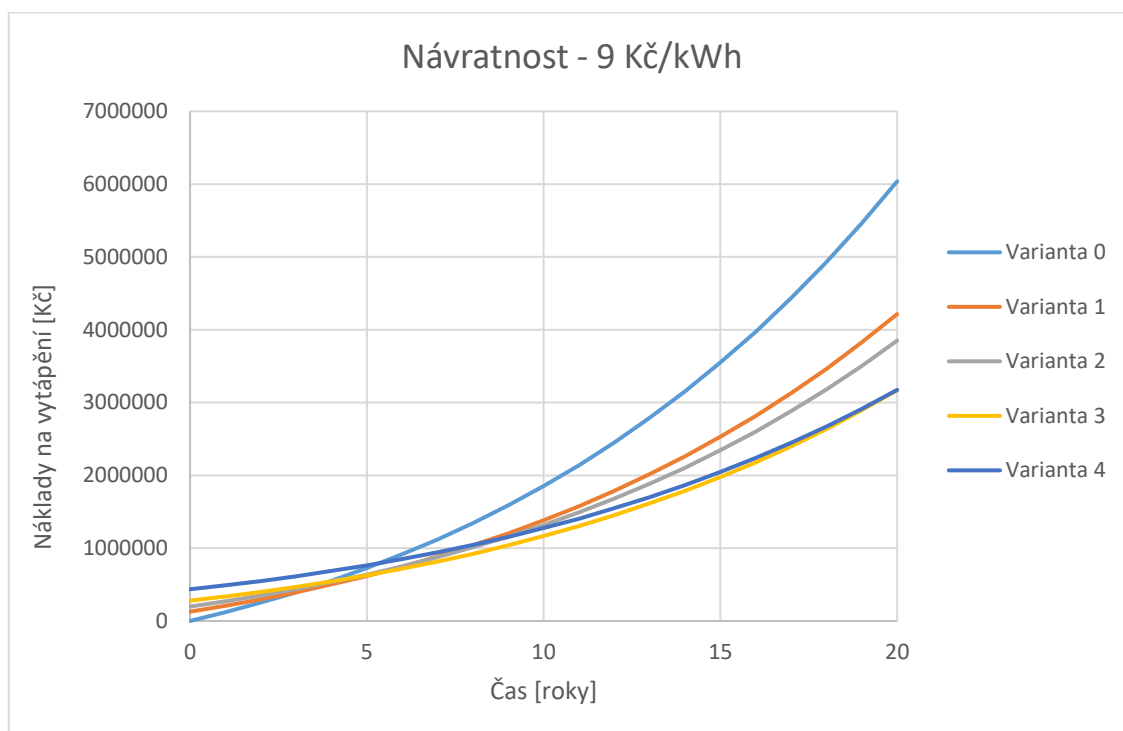
Pokud by se cena zvedla na 9 Kč/kWh, tak se již varianta 4 vyplatí, ale investice se navrátí, až za 20 let, což vzhledem k životnosti některých částí budovy není až tak atraktivní. Z této analýzy tedy vyplývá, že pro dům Castor je nejvhodnější varianta 3.



Obr. 6 Graf reálné návratnosti při ceně 3 Kč/kWh – Castor



Obr. 7 Graf reálné návratnosti při ceně 5 Kč/kWh – Castor



Obr. 8 Graf reálné návratnosti při ceně 8 Kč/kWh – Castor

7.3 Návratnost investice – Dakota 4

Byla propočítaná návratnost investic pro několik variant cen za energii. Při nejnižší počítané ceně energie tedy 3 Kč/kWh je po 11 letech nejvýhodnější varianta 3, investice do varianty 4 se při této ceně do dvaceti let nevrátí.

Po zvýšení ceny na 5 Kč/kWh je stále nejvýhodnější varianta 3, která variantu 2 překoná za 8 let. Varianta 4 by se stále do dvaceti let nevrátila.

Při nejvyšší počítané ceně, tedy 9 Kč/kWh je za 20 let už nejvýhodnější varianta 4, ale výhodnější oproti variantě 3 se stane až 18 letech, tudíž stejně jako u druhého projektu se i při této vysoké ceně více vyplatí varianta 3. Jelikož grafy jsou velmi podobné jako grafy projektu Castor v kapitole 7.2, jsou uvedené v příloze 1.

7.4 Vyhodnocení návratnosti

Z ekonomické analýzy vyplývá, že pro oba objekty se jako nejvýhodnější jeví varianta číslo 3, tedy varianta s nuceným větráním a rekuperací, lepší izolací a lepšími okny.

Varianta 4 u obou objektů má sice nejlepší energetické parametry, ale nutná investice je vzhledem k zisku příliš vysoká. Z grafů také lze pozorovat, že čím je vyšší je cena tepla, tím rychleji se investice vrátí.

8 Návrh zdroje tepla

Pro variantu 3 obou projektů rodinných domů byly navrženy různé zdroje tepla a jejich kombinace s alternativními zdroji energie. Následně byla vyhodnocena jejich návratnost. Jelikož oba projekty mají podobnou tepelnou ztrátu, jsou vždy zdroje tepla pro oba projekty stejné.

8.1 Plynový kondenzační kotel

Jednou z možností, jak vytápět a připravovat teplou vodu je plynový kondenzační kotel. Oproti normálnímu plynovému kotli nabízí vyšší účinnost, jelikož dokáže využít dodatečné teplo získané kondenzací spalin v komíně. Zde konkrétně byl použit Protherm PANTHER CONDENS FlameFit 15 KKO-CS/1.



Obr. 9 Plynový kondenzační kotel Protherm PANTHER CONDENS

Výrobce uvádí normovaný stupeň využití až 108,5 %, ten je však stanoven vzhledem ke spalnému teplu, po přepočtení bylo dále uvažováno s energetickou účinností 97 %. Nebyl uvažován průtokový ohřev vody z důvodu případné kombinace se solárním ohřevem vody. Jako akumulční nádrž na teplou vodu je použit zásobník Regulus R0BC 300. Do

pořizovacích nákladů je dále potřeba započítat komín a plynovou přípojku. Celková pořizovací cena této varianty je 100 591 Kč. Dále je potřeba počítat s cenou každoroční revize kotle a komínu. Cena dodávaného plynu je 2,87 Kč/kWh + 330 Kč za měsíční distribuční poplatek v tarifu standard od firmy Innogy. [16] [17] [18] [19] [20]

Tab. 14 Roční cena plynového kondenzačního kotle

Projekt	Provozní náklady na VYT a přípravu TV [Kč/rok]
Castor	32 590
Dakota 4	32 287

8.2 Tepelné čerpadlo

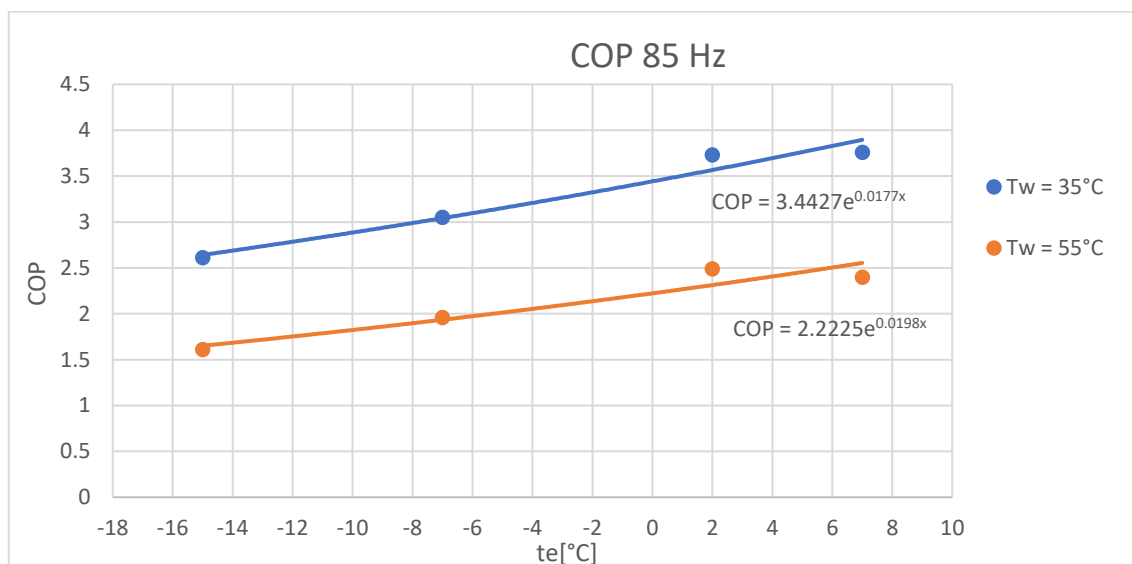
Další možností zdroje tepla je tepelné čerpadlo, konkrétně tepelné čerpadlo vzduch-voda Regulus RTC 6i.



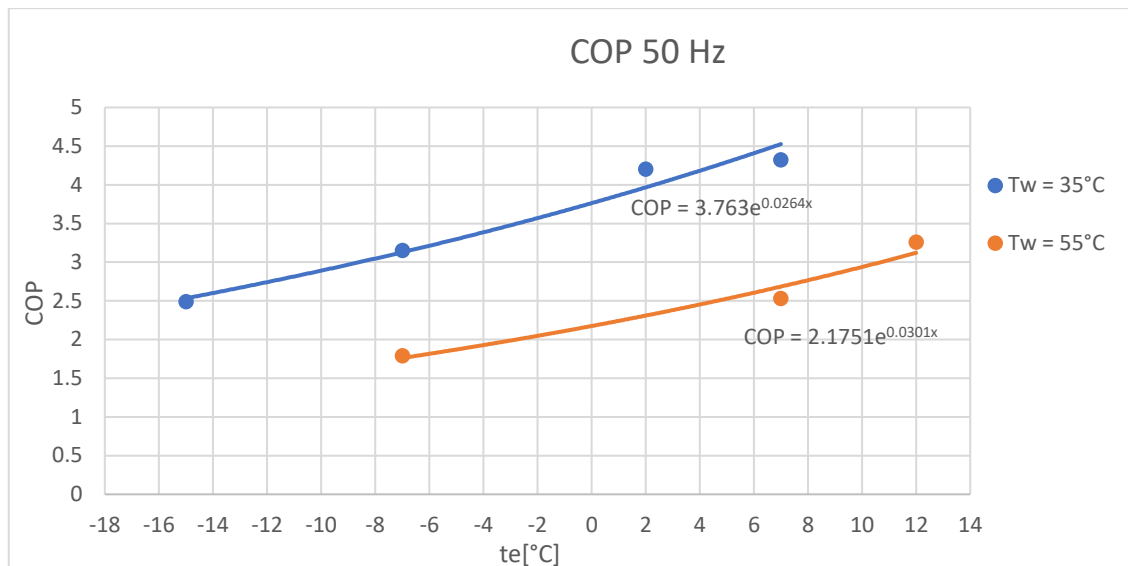
Obr. 10 Tepelné čerpadlo Regulus RTC 6i

Tepelná čerpadla jsou stále častěji využívána jako způsob vytápění, přípravy teplé vody či chlazení budov. Zásadním faktorem pro stanovení provozu a případné ekonomické

stránky je stanovení tzv. topného faktoru. Ten závisí na teplotě vstupního média a teplotě výstupní vody. V tomto případě je vstupní medium venkovní vzduch, a tedy jeho teplota je v průběhu roku velmi proměnlivá. Klesne-li venkovní teplota příliš, tepelné čerpadlo již nepracuje efektivně a je potřeba použít bivalentní zdroj. Teplota výstupní vody pro vytápění je 30 °C a teplota teplé vody je uvažována 55 °C. Výrobce uvádí konkrétní hodnoty topného faktoru pro několik teplot a zatížení. Jsou uvažovány dvě provozní frekvence ventilátoru - 85 Hz při venkovních teplotách nižších než 5 °C a 50 Hz při vyšších, jelikož u krajních provozních frekvencí není předpoklad dlouhodobého provozu. Těmito body byly proloženy exponenciální funkce a vytvořeny předpisy těchto funkcí. Na základě těchto funkcí byla vypočítána potřebná energie na vytápění a přípravu teplé vody. [21]



Obr. 11 Závislost COP na venkovní teplotě při frekvenci ventilátoru 85 Hz



Obr. 12 Závislost COP na venkovní teplotě při frekvenci ventilátoru 50 Hz

Sezonní topný faktor pro vytápění byl vypočten pro měsíční intervaly. S ohledem na průměrné venkovní teploty během roku a požadavek na nízkoteplotní systém vytápění není pro potřeby vytápění uvažováno s bivalentním zdrojem tepla, ale provoz tepelného čerpadla je uvažován jako monovalentní.

Potřeba tepla pro přípravu teplé vody byla spočítaná zvlášť pro každý den. Jako data o teplotách byl použit průměr teplot vytvořený z dat meteorologické stanice Doksany z období 1961–2023. [22]

Tepelné čerpadlo je dále potřeba doplnit akumulací nádrží pro otopnou soustavu a teplou vodu. Jako akumulací nádrž pro otopnou soustavu je použita nádrž Dražice NAD 100. Nádrž pro teplou vodu je shodná s nádrží použitou u varianty s plynovým kotlem. Cena elektřiny je 4,22 Kč/kWh v tarifu standard D56d firmy Innogy. Na samostatné tepelné čerpadlo vzduch-voda lze čerpat dotaci 80 000 Kč. Celkové pořizovací náklady této varianty jsou 189 800 Kč. [16] [23] [24] [20]

Tab. 15 Roční cena provozu tepelného čerpadla

Projekt	Provozní náklady na VYT a přípravu TV [Kč/rok]
Castor	18 636
Dakota 4	18 387

8.3 Kotel na dřevěné pelety

Poslední variantou zdroje tepla je kotel na dřevěné pelety. Dřevěné pelety díky jejich normalizované velikosti nabízí větší možnost automatizace oproti klasickému štípanému dřevu. Byl použit kotel Czechtherm TERA COMBI PELET s výkonem 10 kW a účinností 85 %. [25]



Obr. 13 Peletový kotel Czechtherm TERA COMBI PELET

Stejně jako k tepelnému čerpadlu je potřeba instalovat stejné akumulční nádrže pro topnou soustavu a teplou vodu. Jako dodavatel pelet byla vybrána firma Optimtop. Tato firma nabízí pelety s výhřevností 4,6 kWh/Kg za cenu 12,37 Kč/Kg. Zároveň tato firma nabízí dopravu zdarma. Kotel má sám o sobě malý zásobník na pelety, tudíž aby mohl

kotel fungovat autonomně, je potřeba ještě pořídit zásobník na pelety. Stejně jako u plynového kotle je potřeba počítat s každoroční revizí v ceně 2 000 Kč. Oproti předchozím řešením toto řešení zabere více prostoru v technické místnosti a je nutné tedy zvážit i celkovou dispozici a možnost umístění jednotlivých komponent. [25] [26]

Tab. 16 Roční cena provozu peletového kotle

Projekt	Provozní náklady na VYT a přípravu TV [Kč/rok]
Castor	30 819
Dakota 4	30 496

8.4 Spotřeba elektřiny

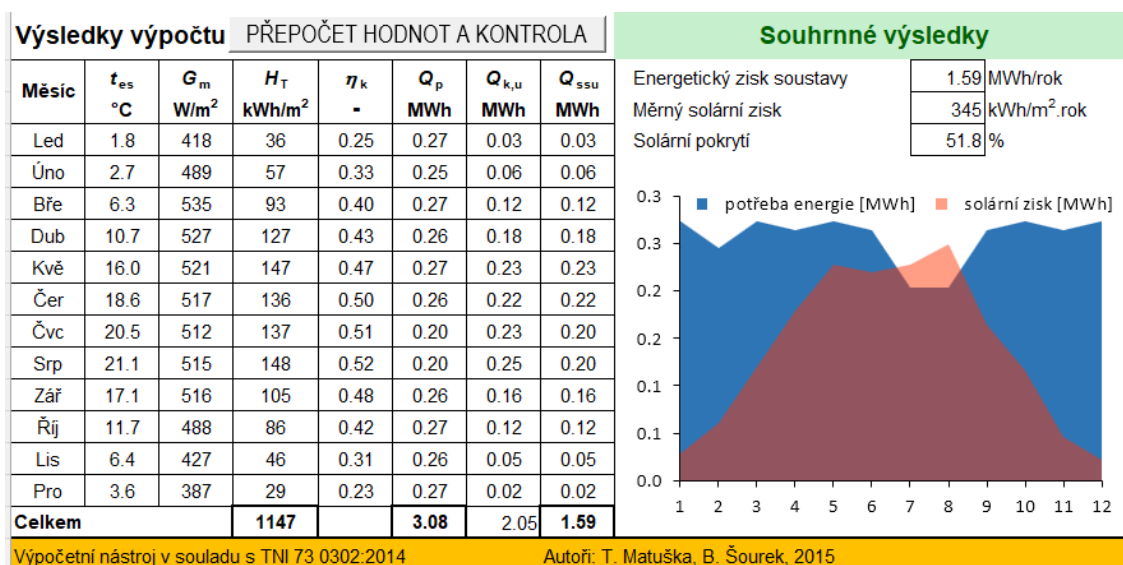
Jelikož tarif určený pro domy s tepelným čerpadlem má výhodnější cenu elektřiny, než standartní tarif je potřeba do celkové spotřeby připočítat i elektřinu spotřebovanou ostatními spotřebiči. Pro oba domy byla navržena stejná modelová spotřeba elektřiny. Příkon čerpadla otopné soustavy byl uvažován 8 W. Příkon ventilátorů jednotky nuceného větrání byl určen z katalogu výrobce pro průtok stálého větrání. Cena elektřiny v tarifu Innogy standard d02d pro 25 A jistič je 7,8 Kč/kWh. [20] [12] [27]

Tab. 17 Modelová spotřeba elektřiny

Modelová spotřeba elektřiny	
Spotřebič	Spotřeba [kWh/rok]
Osvětlení a elektrospotřebiče	2673
Vaření	730
Nucené větrání	149,76
Otopná soustava	42,24
Celkem	3595

8.5 Solární ohřev

Jedním typem alternativní zdroje energie mohou být solární kolektory, které využívají sluneční záření pro přípravu teplé vody. Oproti fotovoltaickým panelům je tento systém jednodušší, tudíž i pořizovací náklady jsou nižší. Jako solární kolektory byly použity 2 ploché kolektory KPG1H od firmy Regulus. Cena těchto dvou kolektorů je 33 200 Kč, dále je nutné pořídit čerpadlovou skupinu pro propojení kolektorů se zásobníkem za 13 300 Kč, nakonec ještě byla připočítána cena montáže 6 000 Kč. [16]



Obr. 14 Bilance solárního kolektoru

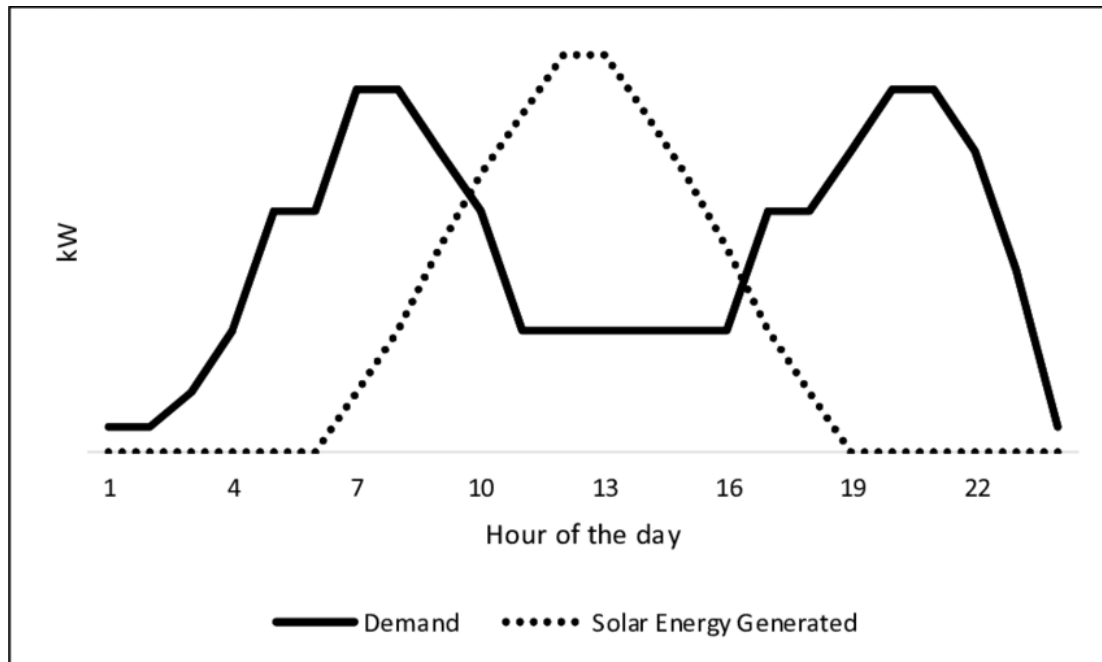
Výpočet byl proveden pomocí nástroje BalanceSS od doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D. Výpočtem bylo zjištěno, že za rok tyto kolektory pokryjí 51,8 % potřeby tepla na přípravu teplé vody. Konkrétní výpočet je dostupný v elektronické příloze.



Obr. 15 Solární kolektor Regulus [16]

8.6 Fotovoltaické panely

Dalším typem alternativního zdroje energie jsou fotovoltaické panely. U fotovoltaických elektráren je problém s využitelností vyrobené energie, jelikož křivka výroby elektrické energie nekopíruje křivku poptávky energie. Tento problém lze z části kompenzovat instalací akumulátoru. Ovšem výroba a poptávka se neshodují i v průběhu roku – v létě panely vyrobí nejvíce, zatímco největší poptávka je v zimě.



Obr. 16 Průběh typické hodinové výroby a poptávky elektřiny [28]

Byla zvolena sestava od firmy Regulus, která obsahuje fotovoltaické panely s výkonem 7,2 kWp a akumulátor o kapacitě 9 kWh. Dle kalkulačky PVGIS fotovoltaická elektrárna s tímto výkonem vyrobí za rok 7 816 kWh. Vzhledem k výše zmíněným problémům s využitelností, bylo počítáno v jedné variantě se 40 % využitím vyrobené energie a v druhé variantě s 50 % využitím. [29] [16]

Dále tato sada obsahuje veškeré příslušenství pro montáž a provoz. Cena této sestavy je 329 000 Kč. K pořizovací ceně byla připočtena cena práce jako ve výši 25 % pořizovací ceny. Celkové náklady včetně montáže tedy jsou 411 250 Kč. Toto řešení má oproti solárnímu ohřevu velmi vysoké pořizovací náklady. [16]

9 Ekonomické vyhodnocení

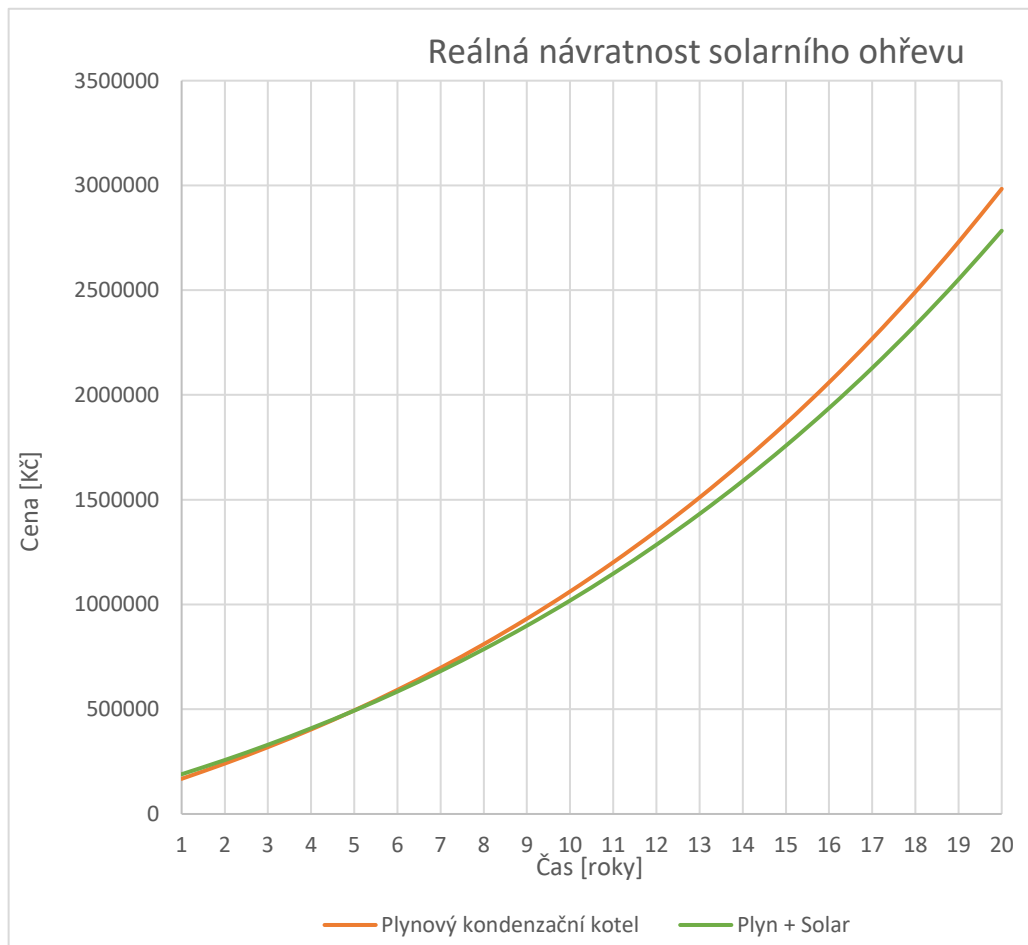
Byly navrženy různé kombinace zdrojů tepla a alternativních zdrojů energie, následně byla propočítána jejich návratnost v rozmezí dvacet let. Propočty byl provedeny pro oba projekty, ale jelikož jejich výsledky jsou velmi podobné jsou níže uvedeny jen pro projekt Castor.

9.1 Vývoj cen energií

V roce 2022 ceny se ceny plynu i elektřiny skokově zvedly. V aktuální době se zdá být cena energií celkem stabilizována, ale lze předpokládat růst ceny s rostoucím nátlakem na větší používání obnovitelných zdrojů. Celkově se ale v tomto období da těžko odhadnout, jak se cena energií bude vyvíjet v dalších dvaceti letech, proto bylo při výpočtu počítáno s 5 % meziročním zdražením elektřiny i plynu. [30]

9.2 Plynový kondenzační kotel a solární ohřev

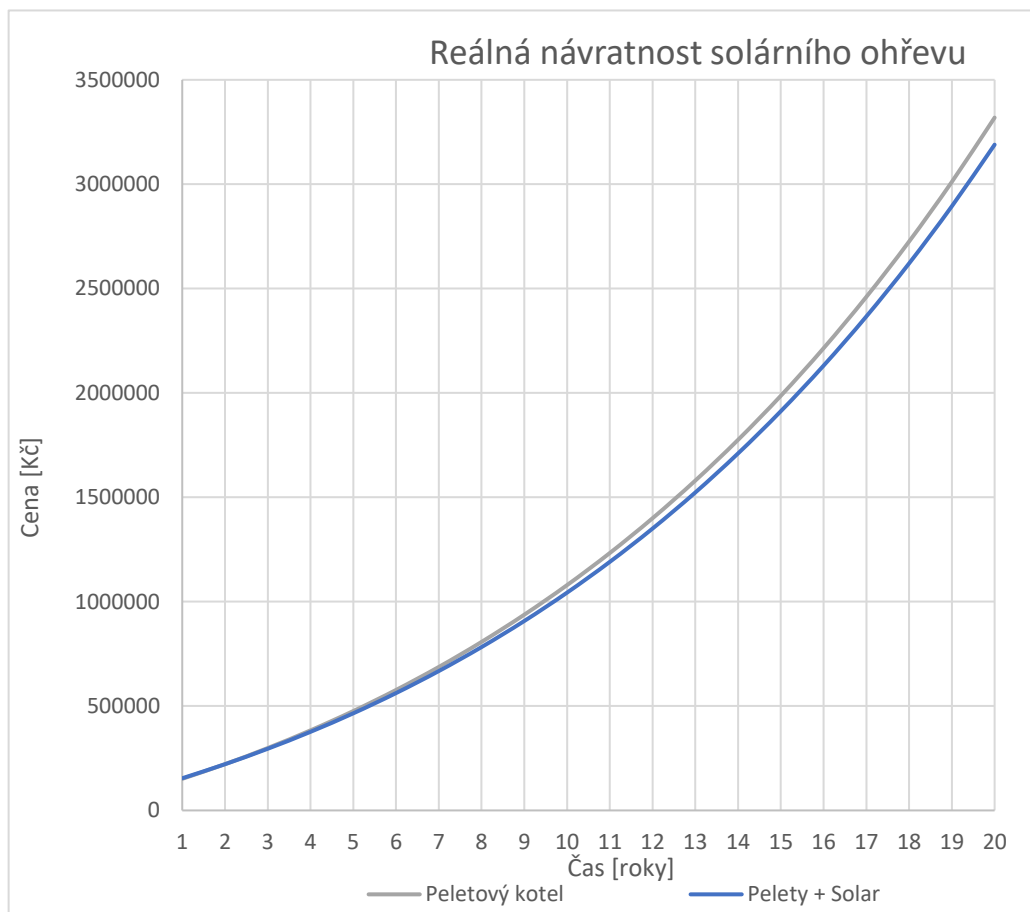
První variantou je plynový kondenzační kotel se solárním ohřevem teplé vody. Jelikož v momentální situaci nejsou plynové kotle podporovány jako udržitelné, není možné na ně čerpat dotaci. Na solární kolektory je možné získat dotaci ve výši 50 % pořizovací ceny. S dotací celkové náklady této varianty jsou 126 841 Kč. Včetně elektřiny 1. rok provozu stojí 60 427 Kč. Z grafu je patrné, že návratnost varianty solárních kolektorů je přibližně 5 let. [24]



Obr. 17 Návratnost solárního ohřevu vody pro plynový kondenzační kotel

9.3 Peletový kotel a solární ohřev

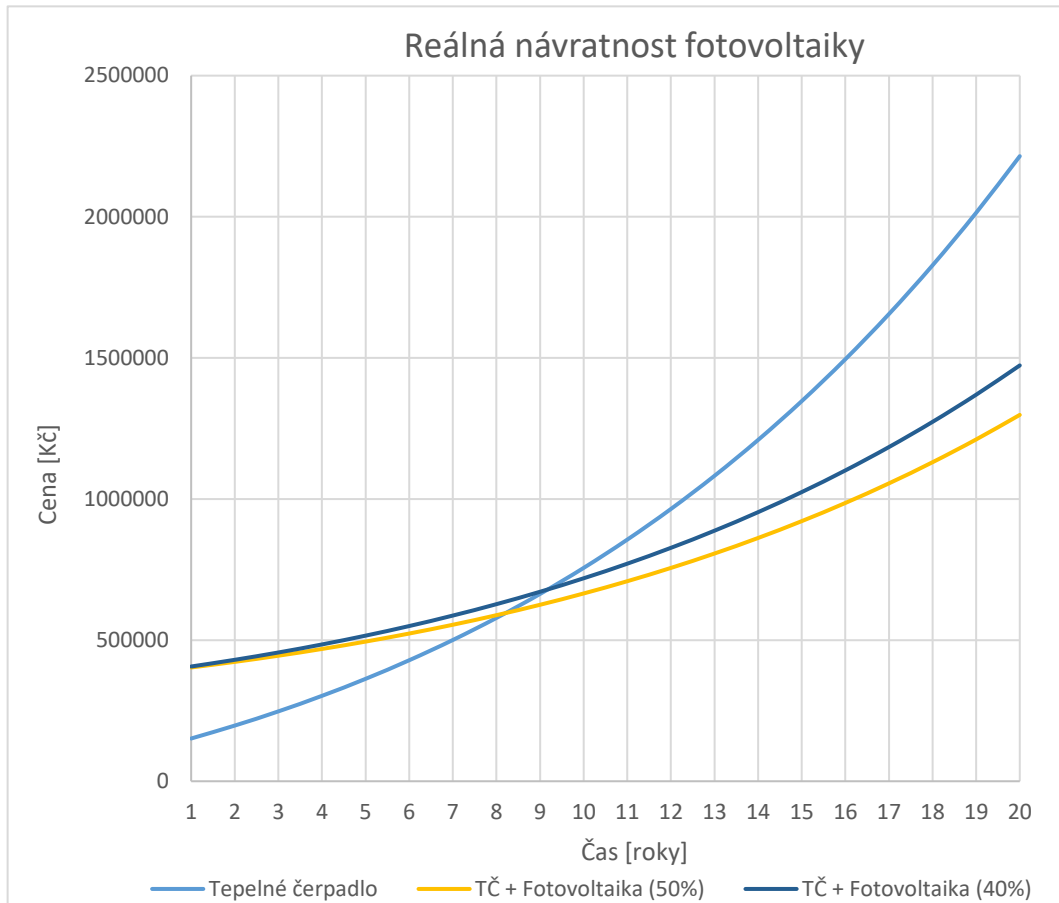
Druhou variantou je kombinace kotle na dřevěné pelety a solárního ohřevu. Zde lze získat dotaci i na primární zdroj tepla, a to konkrétně 80 000 Kč. Stejně jako v předchozím případě na solární kolektory lze získat dotaci 50 % pořizovací ceny. S dotací jsou celkové náklady této varianty 107 346 Kč. První rok provozu včetně elektřiny vychází na 58 350 Kč. S peletovým kotlem se solární ohřev vrátí již po třech letech. [24]



Obr. 18 Návratnost solárního ohřevu vody pro peletový kotel

9.4 Tepelné čerpadlo a fotovoltaika

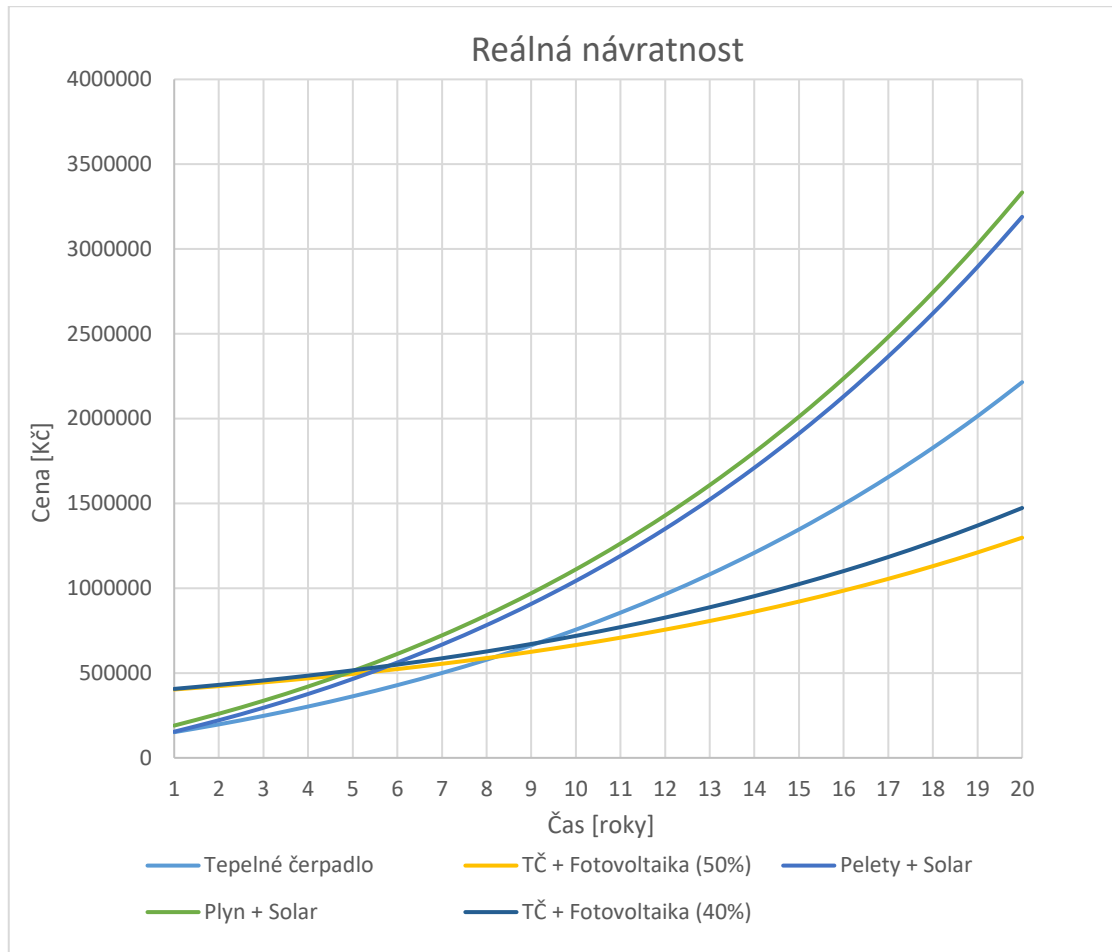
Třetí variantou je tepelné čerpadlo s fotovoltaikou. Při kombinaci tepelného čerpadla s fotovoltaikou lze získat dotaci ve výši 216 000 Kč. S dotací jsou pořizovací náklady této varianty 385 050 Kč. Cena celkové elektřiny za první rok je 17 205 Kč. Z grafu je patrné, že i při nižším využití produkce je návratnost FVE lehce přes 9 let. Pokud by se podařilo dosáhnout vyššího využití lze návratnost zkrátit přibližně o rok. [24]



Obr. 19 Návratnost fotovoltaiky pro tepelné čerpadlo

9.5 Celkové vyhodnocení

Ve variantách pro plynový a peletový kotel je nejvýhodnější kombinace se solárním ohřevem, v celkovém srovnání je proto zobrazena jen varianta se solárním ohřevem.

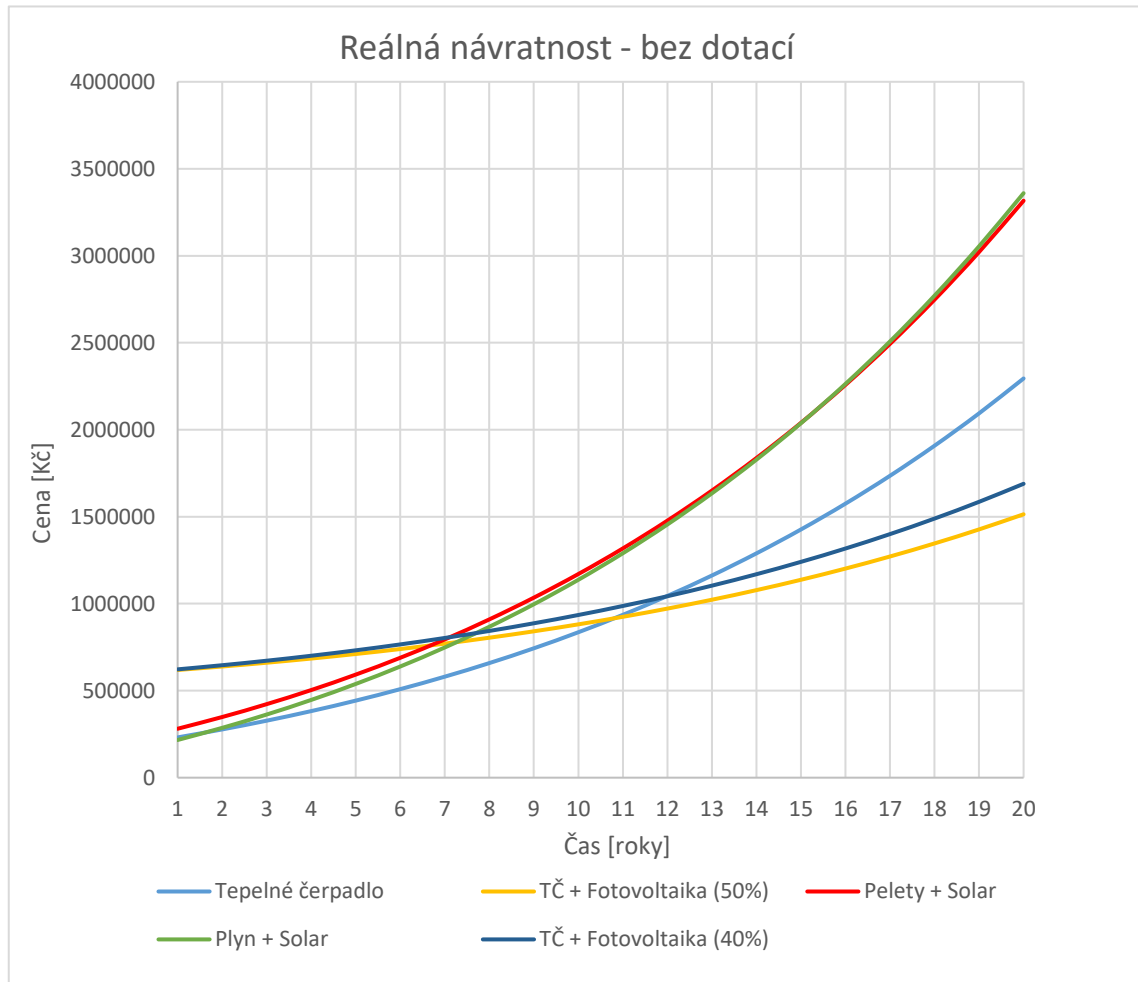


Obr. 20 Celková návratnost jednotlivých variant

Z celkového porovnání jednotlivých variant je patrné, že v rozmezí dvaceti let jsou nejvýhodnější varianty s tepelným čerpadlem. Varianta se samotným tepelným čerpadlem se díky vysoké dotaci vyplatí již od začátku, jeho kombinace se solárními panely se i s nižším využitím vrátí do deseti let. Naopak varianta s plynovým kondenzačním kotlem se vyplatí ze všech variant nejméně, jelikož vlivem dotací na ostatní zdroje tepla je potlačena její největší přednost, kterou je nízká pořizovací cena.

9.6 Vliv dotací

Výše jednotlivých dotací je ovlivněna aktuální politickou situací zejména Evropské unie. Z těchto důvodů bylo provedeno znovu výsledné srovnání jednotlivých variant bez dotací.



Obr. 21 Celková návratnost jednotlivých variant bez dotací

Obecně lze říct, že absence dotací prodloužila jednotlivé návratnosti, avšak po dvaceti letech je výhodnost jednotlivých variant stejná jako s dotacemi. Největší vliv mají dotace v oblasti fotovoltaiky a tepelného čerpadla, kde se bez dotací prodloužila návratnost nejvíce. Odstranění dotací tak zlepšilo celkové ekonomické hledisko varianty s plynovým kondenzačním kotlem.

10 Závěr

Nejprve byly vybrány 2 projekty rodinných domů. Pro tyto projekty byla následně navržena skladba konstrukcí tak, aby jednotlivé konstrukce splňovali požadavky dané normou ČSN 73 0540. Dále byly spočítány dle normy ČSN EN 12 831-1 tepelné ztráty prostupem a větráním těchto objektů. Poté byly spočítány vnitřní tepelné zisky a vnější tepelné zisky. Z těchto hodnot byla následně spočítána celková energetická náročnost těchto projektů. Pro snížení celkové energetické náročnosti byly navrženy pro oba projekty shodné varianty zlepšení tepelněizolačních vlastností.

Následně byla v horizontu dvaceti let vyhodnocena návratnost těchto zlepšení s ohledem na různé ceny za teplo. U obou projektů vyšlo, že nejvýhodnější je třetí varianta, tedy varianta, která obsahuje nucené větrání a zlepšenou izolaci obálky včetně oken. Ekonomická analýza ukázala, že investice do většího zasklení pro zvýšení solárních zisků sice zlepšuje energetickou náročnost budovy, ale investice je velmi vysoká a navrátila by se pouze při extrémních cenách za teplo.

Pro tuto zvolenou variantu byly následně navrženy tři zdroje tepla. Konkrétně plynový kondenzační kotel, kotel na dřevěné pelety a tepelné čerpadlo. K těmto zdrojům byly navrženy fotovoltaické panely a panely pro solární ohřev vody jako alternativní zdroje energie. Pro fotovoltaické panely byla vypočítána jejich roční výroba. Při výpočtu návratnosti bylo počítáno s dvěma variantami využití výroby FVE – 40 % a 50 % produkce.

Z ekonomické analýzy vyplývá, že v období dvaceti let je nejvýhodnější tepelné čerpadlo v kombinaci s fotovoltaickými panely i s nižším využitím jejich produkce. Jelikož pořizovací náklady jednotlivých zdrojů počítají s dotacemi, byl udělán i výpočet pro případ bez dotací. Výsledky tohoto srovnání jsou podobné, avšak jednotlivé návratnosti alternativních zdrojů energie se prodlouží.

11 Citovaná literatura

- [1] „Venkovní výpočtové teploty dle lokalit,“ [Online]. Available: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>. [Přístup získán 14 5 2024].
- [2] „GSERVIS,“ [Online]. Available: <https://www.gservis.cz/projekty-rodinnych-domu/>. [Přístup získán 11 2023].
- [3] R. VAVŘIČKA, „Výpočet tepelných ztrát,“ Ústav techniky prostředí, [Online]. Available: https://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapani/001_Tepelne_ztraty.pdf. [Přístup získán 10 5 2024].
- [4] ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] Wienerberger, „Porotherm 30 TS Profi,“ [Online]. Available: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_30_TS_Profi.pdf. [Přístup získán 10 5 2024].
- [6] „HELUZ 20,“ Heluz, [Online]. Available: <https://www.heluz.cz/cs/vyrobek/heluz-20-1>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [7] „Vekra katalog okna a dveře,“ Vekra, [Online]. Available: https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2020/05/Vekra_katalog_Okna_dvere_2019-2020_v3_324x210_mail.pdf. [Přístup získán 10 5 2024].
- [8] „Velux tehnický list - střešní okna,“ Velux, [Online]. Available: https://contenthub.velux.com/api/public/content/34846-b9a31-cf416_downloadOriginal?v=07f04ba7&_ga=2.137937072.1849240734.1701437132-317005922.1701437131&_gac=1.187272794.1701437154.CjwKCAiApaarBhB

- 7EiwAYiMwqiWHbRpSIDpGVrhjkm2mOgOYKsZw1xYw_77-hl874rn4u2gdKx. [Přístup získán 10 5 2024].
- [9] V. ZMRHAL, „2. Tepelná ztráta větráním podle ČSN EN 12831-1,“ Ústav techniky prostředí, [Online]. Available: https://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Oborovy_projekt_1/Oborovy%20projekt%20I_VZT_2.pdf. [Přístup získán 10 5 2024].
- [10] R. VAVŘIČKA, „Výpočet potřeby tepla a paliva,“ Ústav techniky prostředí, [Online]. Available: https://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf. [Přístup získán 10 5 2024].
- [11] „EkoWATT,“ [Online]. Available: <https://old.ekowatt.cz/cz/informace/zasady-vystavby-nizkoenergetickych-domu>. [Přístup získán 20 4 2024].
- [12] „Technický list Renovent Sky,“ Renovent Sky, [Online]. Available: https://www.rosain.cz/dokumenty/Technicky-list-Renovent-Sky-150_300.pdf. [Přístup získán 13 3 2024].
- [13] „Stavební Polystyren,“ [Online]. Available: <https://eshop.zofi.cz/dcd-ideal-eps-neo-70-sedy-fasadni-polystyren/10mm-1000-x-500-mm-2/doprava>. [Přístup získán 13 3 2024].
- [14] „Technický list zasklení,“ Akuterm, [Online]. Available: <https://akuterm.cz/technicke-listy/CE%20CHARAKTERISTIKY.htm>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [15] „Katalog Velux řešení pro ploché střechy,“ Velux, [Online]. Available: <https://velcdn.azureedge.net/-/media/marketing/cz/katalogy/pdf/velux-cz-reseni-pro-ploche-strechy-2023.pdf>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [16] „Produkty Regulus,“ Regulus, [Online]. Available: <https://www.regulus.cz>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [17] „Závěsný plynový kondenzační kotel Panther Condens FlameFit,“ Protherm, [Online]. Available: <https://www.protherm.cz/files/downloads/projekcni->

- podklady/pp-1-7-panther-condens-a-tiger-condens-flamefit-09032023-2605642.pdf. [Přístup získán 10 5 2024].
- [18] K. levně, „Komin koncentrický,“ [Online]. Available: <https://www.komin-levne.cz/Komin-koncentricky-60-100-mm-vyska-6m-d1322.htm>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [19] „Revize plynového kotle,“ Servis a prodej plynových kotlů, [Online]. Available: <http://www.servisplynovychkotlu.eu/cenik-sluzeb.php>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [20] „Ceníky plynu a elektřiny,“ Innogy, [Online]. Available: <https://www.innogy.cz/ceniky/>.
- [21] „Technický list tepelné čerpadlo vzduch/voda RTC 6i,“ Regulus, [Online]. Available: <https://www.regulus.cz/cz/tepelne-cerpadlo-rtc-6i-svt-24531>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [22] CHMI, „CHMI Denní data dle zákona 123/1998 Sb.,“ [Online]. Available: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>. [Přístup získán 3 25 2024].
- [23] akoupelnyatopeni.cz, „Akumulační nádrž NAD 100,“ [Online]. Available: <https://www.akoupelnyatopeni.cz/topeni-a-ohrev-vody/drazice-akumulacni-nadrz-nad-100-v1-110880302>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [24] SFŽP ČR, „Nová zelená úsporám,“ [Online]. Available: <https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/standard/>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [25] „TERA COMBI PELET,“ CzechTherm, [Online]. Available: <https://www.czechtherm.cz/czechtherm-tera-combi-pelet-automaticky-kotel-na-pelety-15kw#detail-anchor-description>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [26] „Cena pelet,“ Optimtop, [Online]. Available: <https://www.optimtop.cz/pelety/>. [Přístup získán 10 5 2024].

- [27] „Odhad spotřeby elektřiny,“ Dodavatele elektřiny, [Online]. Available: <https://dodavatelektřiny.cz/uzitecne-informace/jak-odhadnout-spotrebu-ektřiny>. [Přístup získán 10 5 2024].
- [28] J. Ortiz-Ulloa, „Example of solar energy generation and energy demand,“ [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-solar-energy-generation-and-energy-demand-during-24-hours_fig4_323202976. [Přístup získán 12 5 2024].
- [29] „PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM,“ [Online]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html. [Přístup získán 10 5 2024].
- [30] „Ceny energií,“ Kurzy.cz, [Online]. Available: <https://www.kurzy.cz/>. [Přístup získán 16 5 2023].

12 Seznam obrázků

Obr. 1 Ilustrační foto projekt Castor [2]	12
Obr. 2 Ilustrační foto projektu Dakota 4 [2]	13
Obr. 3 Vekra natura 68 [7].....	19
Obr. 4 Porovnání typů zasklení.....	27
Obr. 5 Potřeba tepla na vytápění a přípravu teplé vody.....	32
Obr. 6 Graf reálné návratnosti při ceně 3 Kč/kWh – Castor.....	35
Obr. 7 Graf reálné návratnosti při ceně 5 Kč/kWh – Castor.....	35
Obr. 8 Graf reálné návratnosti při ceně 8 Kč/kWh – Castor.....	36
Obr. 9 Plynový kondenzační kotel Protherm PANTHER CONDENS	38
Obr. 10 Tepelné čerpadlo Regulus RTC 6i	39
Obr. 11 Závislost COP na venkovní teplotě při frekvenci ventilátoru 85 Hz	40
Obr. 12 Závislost COP na venkovní teplotě při frekvenci ventilátoru 50 Hz	41
Obr. 13 Peletový kotel Czechterm TERA COMBI PELET	42
Obr. 14 Bilance solárního kolektoru	44
Obr. 15 Solární kolektor Regulus [16].....	45
Obr. 16 Průběh typické hodinové výroby a poptávky elektřiny [28].....	46
Obr. 17 Návratnost solárního ohřevu vody pro plynový kondenzační kotel	48
Obr. 18 Návratnost solárního ohřevu vody pro peletový kotel.....	49
Obr. 19 Návratnost fotovoltaiky pro tepelné čerpadlo.....	50
Obr. 20 Celková návratnost jednotlivých variant	51
Obr. 21 Celková návratnost jednotlivých variant bez dotací	52

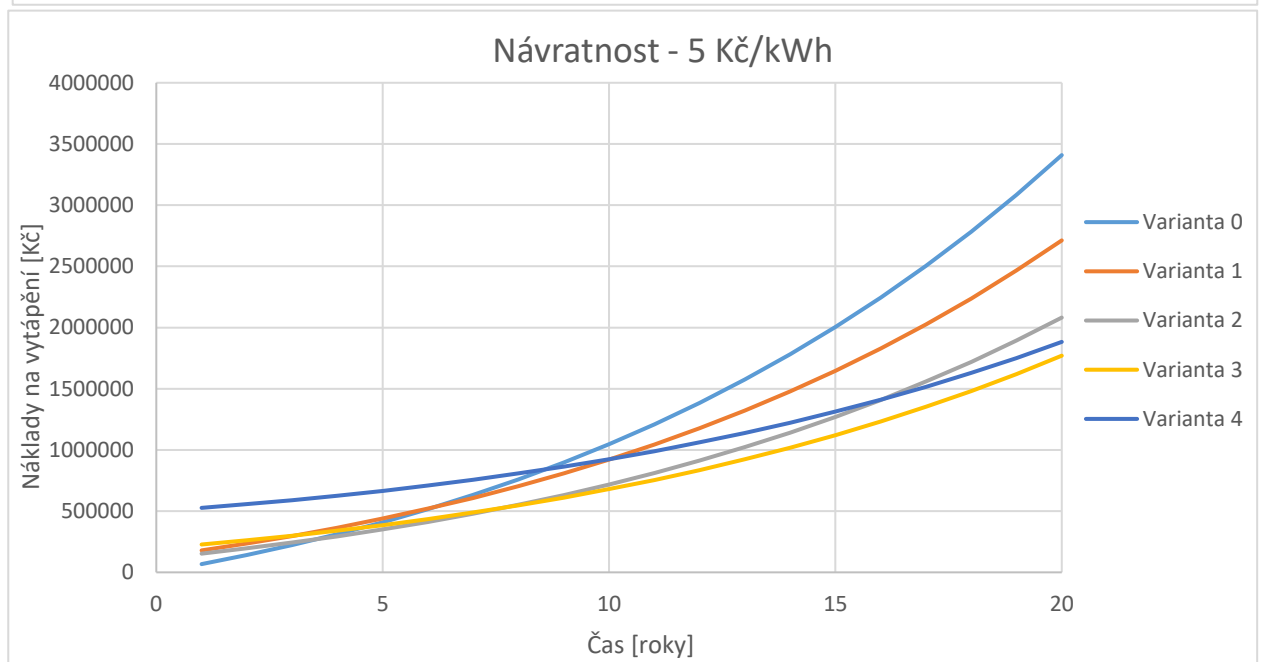
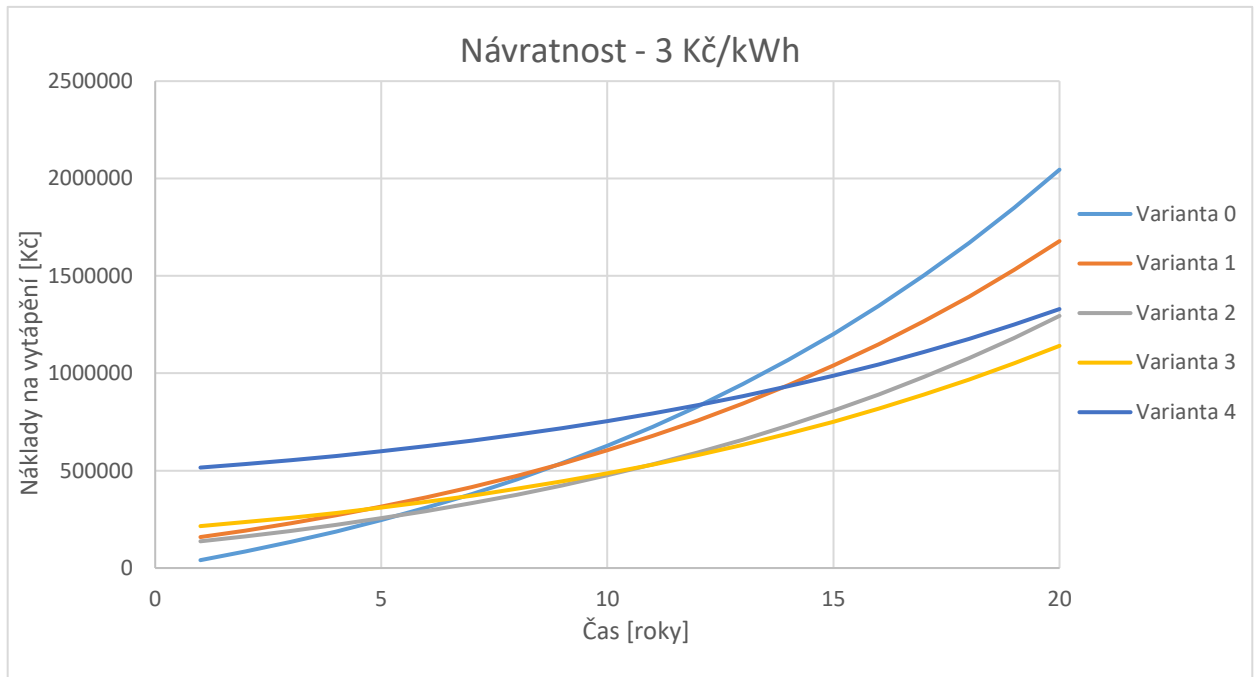
13 Seznam tabulek

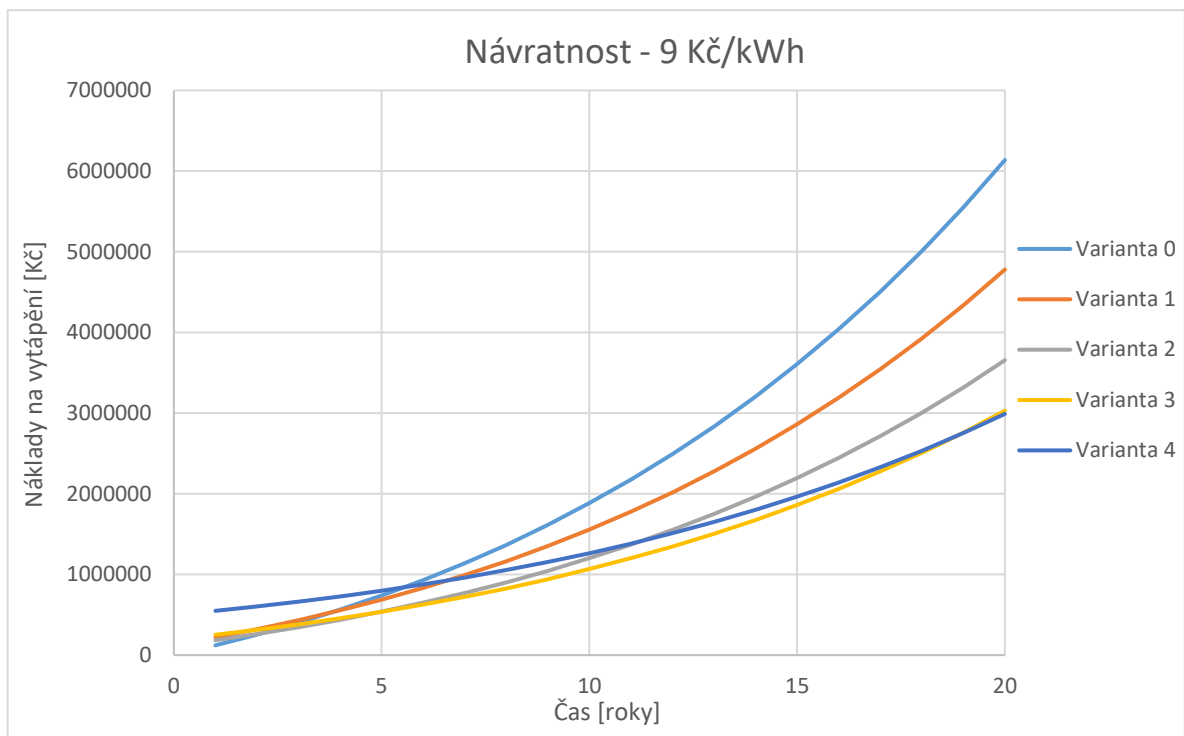
Tab. 1 Hodnoty tepelného odporu přestupu tepla	15
Tab. 2 Skladba obvodové stěny	15
Tab. 3 Skladba vnitřní nosné stěny	16
Tab. 4 Skladba vnitřní nenosné stěny	16
Tab. 5 Skladba podlahy.....	18
Tab. 6 Skladba podlahy nad vytápěným prostorem	18
Tab. 7 Skladba rovné střechy	18
Tab. 8 Skladba sedlové střechy	19

Tab. 9 Celkové solární záření za měsíc.....	26
Tab. 10 Tepelná kapacita budovy.....	29
Tab. 11 Tabulka konstant	30
Tab. 12 Celková potřeba tepla na vytápění základních variant	32
Tab. 13 Srovnání jednotlivých variant	34
Tab. 14 Roční cena plynového kondenzačního kotle.....	39
Tab. 15 Roční cena provozu tepelného čerpadla	42
Tab. 16 Roční cena provozu peletového kotle	43
Tab. 17 Modelová spotřeba elektřiny.....	43

14 Přílohy

Příloha 1 – Tabulky návratností projektu Dakota 4








Příloha 2 – Tabulka cen elektřiny

OBCHODNÍ SAZBA		STANDARD	AKU 8	E MOBILITA	AKU 16	PŘÍMOTOP	TEPELNÉ ČERPADLO	EL. TOPENÍ	VÍKEND
1. Cena za dodávku sílové elektřiny									
stálý měsíční plat	Kč/měsíc	117,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00	105,00
cena sílové elektřiny ve vysokém tarifu	Kč/MWh	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00
cena sílové elektřiny v nízkém tarifu	Kč/MWh	—	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00	4 224,00
DISTRIBUČNÍ SAZBA		D01d	D02d	D25d	D26d	D27d	D35d	D45d	D56d
									D57d
									D61d
2. Cena za distribuci elektřiny									
měsíční plat za rezervovaný příkon dle jmenovité proudové hodnoty hlavního jističe před elektroměrem									
jistič do 3x10 A do 3x125 A včetně	Kč/měsíc	36,00	79,00	116,00	137,00	156,00	156,00	156,00	156,00
jistič nad 3x10 A do 3x16 A včetně	Kč/měsíc	58,00	126,00	186,00	219,00	250,00	250,00	250,00	250,00
jistič nad 3x16 A do 3x20 A včetně	Kč/měsíc	73,00	164,00	232,00	274,00	313,00	313,00	313,00	313,00
jistič nad 3x20 A do 3x25 A včetně	Kč/měsíc	91,00	197,00	290,00	342,00	391,00	391,00	391,00	391,00
jistič nad 3x25 A do 3x32 A včetně	Kč/měsíc	116,00	262,00	372,00	438,00	500,00	500,00	500,00	500,00
jistič nad 3x32 A do 3x40 A včetně	Kč/měsíc	145,00	328,00	464,00	547,00	625,00	625,00	643,00	643,00
jistič nad 3x40 A do 3x50 A včetně	Kč/měsíc	182,00	410,00	581,00	684,00	782,00	782,00	782,00	965,00
jistič nad 3x50 A do 3x63 A včetně	Kč/měsíc	229,00	516,00	731,00	862,00	985,00	985,00	1 417,00	1 417,00
jistič nad 3x63 A do 3x80 A včetně	Kč/měsíc	—	—	—	—	—	—	2 347,00	—
jistič nad 3x80 A do 3x100 A včetně	Kč/měsíc	—	—	—	—	—	—	4 331,00	—
jistič nad 3x100 A do 3x125 A včetně	Kč/měsíc	—	—	—	—	—	—	8 175,00	—
jistič nad 3x125 A do 3x160 A včetně	Kč/měsíc	—	—	—	—	—	—	17 841,00	—
jistič nad 3x160 A za každý 1 A	Kč/A/měsíc	—	—	—	—	—	—	111,51	—
jistič nad 3x63 A za každý 1 A	Kč/A/měsíc	3,63	8,19	11,61	13,68	15,63	15,63	15,63	6,57
jistič nad 1x25 A za každý 1 A	Kč/A/měsíc	1,21	2,73	3,87	4,56	5,21	5,21	37,17	2,19
cena za distribuované množství elektřiny									
ve vysokém tarifu	Kč/MWh	2 601,70	2 155,66	2 155,17	1 138,01	2 155,17	648,62	648,62	3 001,05
v nízkém tarifu	Kč/MWh	—	438,09	438,09	438,09	438,09	438,09	438,09	438,09
3. Ceny ostatních služeb									
cena systémových služeb	Kč/MWh	—	—	—	212,82	—	—	—	—
cena „A“ na podporu el. z podporovaných zdrojů energie**	Kč/A/měsíc	—	—	—	84,70	—	—	—	—
cena „B“ na podporu el. z podporovaných zdrojů energie**	Kč/MWh	—	—	—	495,00	—	—	—	—
cena za zúčtování odchytek	Kč/měsíc	—	—	—	1,73	—	—	—	—
činnost administrace podporovaných zdrojů	Kč/měsíc	—	—	—	0,02	—	—	—	—
OTE poplatků na činnost Energetického regulačního úřadu***	Kč/měsíc	—	—	—	2,39	—	—	—	—
4. Daň z elektřiny									
sazba daně z elektřiny	Kč/MWh	—	—	—	28,30	—	—	—	—
CELKOVÁ JEDNOTKOVÁ CENA ELEKTRINY									
měsíční platby	Kč/měsíc	7 066,82	6 480,78	6 620,29	5 603,13	6 620,29	5 113,74	5 113,74	7 466,17
cena elektřiny ve vysokém tarifu	Kč/MWh	8 550,85	7 841,74	8 010,55	6 779,79	8 010,55	6 187,63	6 187,63	9 034,07
cena elektřiny v nízkém tarifu	Kč/MWh	—	—	4 903,21	4 903,21	4 903,21	4 903,21	4 903,21	4 903,21
cena „A“ na podporu el. z podporov. zdrojů energie**	Kč/měsíc	—	—	—	—	—	—	—	—
cena „B“ na podporu el. z podporov. zdrojů energie**	Kč/MWh	—	—	—	—	—	—	—	—
= počet měsíců odběru x ř. 28 + spotřeba MWh ve vysokém tarifu x ř. 29 + spotřeba MWh v nízkém tarifu x ř. 30 + nižší výsledek z výpočtu platby na podporu el. z podp. zdrojů energie získány s použitím ceny „A“ (počet měsíců odběru x ř. 31) nebo ceny „B“ (spotřeba MWh ve vysokém i nízkém tarifu x ř. 32)									

Příloha 3 – Tabulka cen plynu

I. PRODEJNÍ CENY PLYNU KONEČNÝM ZÁKAZNÍKŮM (DOMÁCNOST/MALOODBĚRATEL)															
Roční odběr v odběrném místě	ceny služby distribuční soustavy bez DPH ¹⁾				ceny za odebraný plyn a ostatní služby dodávky bez DPH				celkové konečné ceny bez DPH				celkové konečné ceny s DPH ²⁾		
	cena za distribuovaný plyn	stálý měsíční plat za kapacitu	roční cena za kapacitu	cena za odebraný plyn	stálý měsíční plat	součet cen za odebraný a distribuovaný plyn	součet stálých měsíčních platů	součet cen za kapacitu	součet cen za odebraný plyn a distribuovaný plyn	součet stálých měsíčních platů	součet cen za odebraný plyn a distribuovaný plyn	součet stálých měsíčních platů	součet cen za kapacitu	Kč/m ³	Kč/m ³
kWh/rok	Kč/kWh	Kč/měsíc	Kč/m ³	Kč/kWh	Kč/měsíc	Kč/kWh	Kč/m ³	Kč/m ³	Kč/měsíc	Kč/m ³	Kč/měsíc	Kč/m ³	Kč/m ³	Kč/měsíc	Kč/m ³
 vařím do 1 890	0,65729	96,60		2,14500	24,00	2,80229			120,60		3,39077			145,93	
 ohřívám vodu nad 1 890 do 7 560	0,35985	143,22		2,07500	39,00	2,43485			182,22		2,94617			220,49	
 topím nad 7 560 do 15 000	0,32567	163,82		2,05000	109,00	2,37567			272,82		2,87456			330,11	
nad 15 000 do 25 000	0,30037	193,59		2,05000	109,00	2,35037			302,59		2,84395			366,13	
nad 25 000 do 45 000	0,25102	293,32		2,05000	109,00	2,30102			402,32		2,78423			486,81	
nad 45 000 do 63 000	0,20510	459,98		2,05000	109,00	2,25510			568,98		2,72867			688,47	
topím nad 63 000 do 630 000 ³⁾	0,15282		170,15486	2,04000	130,00	2,19282		170,15486	130,00		2,65331	170,15486		157,30	205,88738

Příloha 4 – Tabulka větrání projektu Castor

Číslo místnosti	Název	Teplota vzduchu [°C]	Mini-mální větrání [m ³ /h]		Trvalé větrání [m ³ /h]		Nárazové větrání [m ³ /h]		Q _{v,sup,i} [W]	Q _{v,env,i} [W]	Q _{v,transf.er,i} [W]	Celkem [W]	Celkem [kW]
			Přívod vz.	Odvod vz.	Přívod vz.	Odvod vz.	Přívod vz.	Odvod vz.					
1.01	Obývací pokoj	20	30	30	50	89	89	88	204	0	293	578.5	
1.02	Koupelna	24		30	50		90	0	15	67	82		
1.03	Předsíň	20						0	26	0	26		
1.04	Technická místnost	20						0	63	0	63		
1.05	Pokoj	20	15		25	44	44	44	70	0	114	605.0	
2.01	Chodba	20						0	26	0	26		
2.02	Pokoj - 1	20	15		25	44	44	44	35	0	79		
2.03	Sklad	20						0	8	0	8		
2.04	Pokoj - 2	20	15		25	44	44	44	51	0	95		
2.05	Koupelna	24		30	50		87	0	115	67	182		
2.06	Šatna	20						0	73	0	73		
2.07	Pokoj - 3	20	15		25	44	44	44	97	0	142		
Celkem			90	90	150	266	266	265	784	135	1184		

Příloha 4 – Tabulka větrání projektu Dakota 4

Číslo místnosti	Název	Teplota vzduchu [°C]	Minimální větrání [m ³ /h]		Trvalé větrání [m ³ /h]		Nárazové větrání [m ³ /h]		Q _{v,sup,i} [W]	Q _{v,envl} [W]	Q _{v,transf,i} [W]	Celkem [W]	Celkem [kW]
			Přívod vz.	Odvod vz.	Přívod vz.	Odvod vz.	Přívod vz.	Odvod vz.					
1.01	Obývací pokoj	20	30	30	50	50	88	88	88	240	0	328	638
1.02	Spíž	20							0	15	0	15	
1.03	Chodba	20							0	63	0	63	
1.04	Koupelna	24		17		29		51	0	31	39	70	
1.05	Pokoj	20	15		25		44		44	50	0	94	
1.06	WC	20		10		17		30	0	4	0	4	
1.07	Šatna	20							0	22	0	22	
1.08	Technická místnost	20							0	42	0	42	
2.01	Chodba	20							0	79	0	79	483
2.02	Pokoj - 1	20	15		25		44		44	97	0	141	
2.03	Koupelna	24		17		29		51	0	66	39	105	
2.04	Pokoj - 2	20	15		25		44		44	113	0	157	
Celkem			75	75	125	125	219	219	221	822	78	1121	

Příloha 5 – DVD obsahující:

Výkresy jednotlivých projektů

Výpočetní excel výsledné varianty projektu Castor

Výpočetní excel výsledné varianty projektu Dakota 4

Výpočetní excel s kalkulacemi návratností