

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**STUDIE VYTÁPĚNÍ
RODINNÉHO DOMU**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TOMÁŠ FIALA

2-TZSI-2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Fiala** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **492716**
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:

Studie vytápění rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Study of a Family House Heating

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii energetické náročnosti rodinného domu s ohledem na potřebu tepla na vytápění, přípravu teplé vody a osvětlení. Zaměřte se na dosažení nízkoenergetického či pasivního standardu budovy. Pro systém větrání využijte systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla. Navrhněte tři základní zdroje tepla - tepelné čerpadlo vzduch-voda, kondenzační plynový kotel a kotel na biomasu. Vypracujte základní schéma zapojení zdroje tepla v kombinaci se systémem přípravy teplé vody. Navrhněte alespoň jeden ze systémů místních obnovitelných zdrojů dle definice vyhlášky č. 264/2020 Sb. Na základě dosažených výsledků zpracujte základní ekonomickou analýzu jednotlivých variant s ohledem na zvolený typ zdroje tepla.

Seznam doporučené literatury:

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

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.03.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce:

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

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20.3.2023
Datum převzetí zadání

[Podpis studenta]
Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Studie vytápění 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 14. 6. 2023

Tomáš Fiala

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá výběrem zdroje tepla pro rodinný dům, u kterého je řešeno snížení energetické náročnosti pomocí zateplení a rekonstrukce střechy. V práci je zahrnuta potřeba energie na vytápění, ohřev teplé vody a osvětlení. Na základě těchto hodnot je sestaveno šest různých variant zdrojů tepla s případnou podporou systému místních obnovitelných zdrojů. V závěru jsou všechny varianty shrnuté v základní ekonomické analýze.

Summary

The bachelor's thesis deals with the selection of a heat source for a family house, where the reduction of energy usage is optimized through insulation and roof reconstruction. The thesis includes the energy requirements for heating, hot water production, and lighting. Based on these values, six different heat source options are made with possible support from a local renewable energy system. In conclusion, all variants are summarized in a basic economic analysis.

Poděkování

Tímto děkuji Ing. Romanovi Vavříčkovi, Ph.D. za aktivní komunikaci přes e-mail, trpělivost, pozitivní motivaci a dobré rady. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mi po celé mé studium poskytovala kvalitní zázemí a podporu.

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Volba stavby.....	13
2.1. Skladba konstrukce	14
2.2. Součinitel prostupu.....	14
2.3. Obvodové stěny.....	15
2.4. Vnitřní stěny.....	15
2.5. Střecha.....	15
2.6. Podlaha.....	16
2.7. Otvory	16
3. Součinitelé prostupu tepla.....	17
3.1. Součinitel prostupu tepla u podlah.....	17
3.2. Součinitel přestupu střechy	18
3.3. Součinitelé přestupu tepla svislých konstrukcí	18
4. Tepelné ztráty objektu.....	19
4.1. Tepelné ztráty větráním.....	19
4.1.1. Návrh nuceného větrání	19
4.1.2. Tepelná ztráta větráním	19
4.1.3. Tepelná ztráta nuceným větráním.....	20
4.1.4. Tepelná ztráta větráním obálkou budovy.....	21
4.1.5. Tepelná ztráta převodem vzduchu	22
4.2. Tepelné ztráty prostupem	23
4.2.1. Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí	23
4.2.2. Měrný tepelný tok prostupem do sousedních prostor.....	24
4.2.3. Měrný tepelný tok prostupem do zeminy	24
4.3. Souhrn tepelných ztrát.....	25
5. Tepelné zisky	26
5.1. Data o solárním záření	26
5.2. Vnitřní tepelné zisky	26
5.3. Vnější tepelné zisky	27
5.3.1. Průhledné prvky.....	27
5.3.2. Neprůhledné prvky	28
5.3.3. Sálání vůči obloze.....	29
6. Potřeba tepla	30
6.1. Klimatologická data	30

6.2.	Potřeba tepla na vytápění	32
6.3.	Potřeba tepla na ohřev teplé vody	34
6.4.	Celkové bilance potřeby tepla.....	35
7.	Návrh zdroje tepla.....	37
7.1.	Výkon zdroje tepla	37
7.2.	Typy zdroje tepla.....	37
7.2.1.	Tepelné čerpadlo.....	37
7.2.2.	Kondenzační plynový kotel	38
7.2.3.	Kotel na tuhá paliva	39
8.	Podpora zdroje tepla obnovitelnými zdroji energie	41
8.1.	Návrh fotovoltaické elektrárny	41
8.1.1.	Spotřeba elektřiny	41
8.1.2.	Volba výkonu fotovoltaické elektrárny	43
8.2.	Návrh solárních kolektorů	45
9.	Ekonomická analýza	46
9.1.	Ceny energií	46
9.1.1.	Cena elektřiny	46
9.1.2.	Cena plynu	46
9.1.3.	Cena dřeva a pelet.....	47
9.2.	Pořizovací ceny jednotlivých zdrojů tepla	48
9.2.1.	Tepelné čerpadlo.....	48
9.2.2.	Tepelné čerpadlo a fotovoltaická elektrárna	48
9.2.3.	Plynový kotel	48
9.2.4.	Plynový kotel se solárními kolektory	48
9.2.5.	Kotel na dřevo.....	48
9.2.6.	Kotel na dřevo se solárními kolektory	49
9.2.7.	Kotel na pelety	49
9.2.8.	Kotel na pelety se solárními kolektory	49
9.2.9.	Souhrn pořizovacích nákladů.....	49
9.3.	Náklady na údržbu	49
9.3.1.	Tepelné čerpadlo.....	49
9.3.2.	Plynový kotel	50
9.3.3.	Kotel na tuhá paliva	50
9.4.	Celkové vyhodnocení nákladů	50
	Závěr	53

Reference	54
Seznam obrázků	57
Seznam tabulek	58

Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Rozměr
$A_{env,i}$	obálka budovy ve styku s venkovním prostředím	$[m^2]$
$A_{env,z}$	obálka místnosti ve styku s venkovním prostředím	$[m^2]$
a_H	bezrozměrný časový parametr	$[m^2]$
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušované vytápění	$[-]$
$a_{H,0}$	bezrozměrný číselný parametr pro měsíční metodu	$[-]$
A_k	plocha stavební části obálky budovy	$[m^2]$
A_{pod}	podlahová plocha vytápěné zóny	$[m^2]$
A_{sol}	účinná sběrná plocha s daným úhlem sklonu	$[m^2]$
B'	charakteristický parametr	$[-]$
c	měrná tepelná kapacita vody	$[J/kg \cdot K]$
C_m	časová konstanta budovy	$[J/K]$
c_p	měrná tepelná kapacita přiváděného vzduchu	$[J/kg \cdot K]$
d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	$[m]$
f	koeficient přítomnosti osob v budově	$[W]$
$f_{dir,z}$	činitel orientace zóny	$[-]$
F_F	podíl plochy rámu	$[-]$
$f_{ia,k}$	teplotní opravný součinitel	$[m^2]$
$f_{ie,k}$	teplotní opravný součinitel	$[-]$
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	$[-]$
F_{sh}	korekce stínění na externí překážky	$[-]$
$f_{U,k}$	opravný součinitel zohledňující vliv stavebních součástí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot	$[-]$

F_w	korekce pro nerozptyl zasklení	[-]
g_{gl}	celková propustnost průsvitnými prvky	[-]
g_n	celková propustnost zasklení	[-]
H_T	měrný tepelný tok prostupem	[W/K]
H_V	měrný tepelný tok větráním celé budovy	[W/K]
$H_{v,sup}$	měrný tepelný tok přiváděného vzduchu	[kW/K]
$H_{v,tr}$	měrný tepelný tok vzduchu vniknutým obálkou	[kW/K]
$I_{sol,j}$	celkové solární záření za měsíc	[kWh/m ²]
n	intenzita výměny vzduchu	[1/h]
n_{hod}	počet hodin v měsíci	[hod]
n_{os}	počet osob	[-]
$O_{podlahy}$	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m]
$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,int}$	vnitřní tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,nd}$	potřeba tepla v daném měsíci	[kWh]
$Q_{H,t}$	potřeba tepla prostupem	[kWh]
$Q_{H,sol}$	solární tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,ve}$	potřeba tepla větráním	[kWh]
Q_{gn}	trvalé využitelné tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[kWh]
$Q_{T,igm}$	potřeba tepla prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g)	[kWh]
R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² ·K/W]
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² ·K/W]
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² ·K/W]

R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	$[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$
s_n	tloušťka n-té stavební konstrukce	$[\text{m}]$
S_{podlahy}	plocha podlahy	$[\text{m}^2]$
t_{em}	výpočtová teplota v místnosti	$[\text{°C}]$
t_i	výpočtová teplota v místnosti	$[\text{°C}]$
t_1	průměrná teplota přiváděné vody	$[\text{°C}]$
t_2	teplota teplé vody	$[\text{°C}]$
U	součinitel prostupu tepla	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
U_c	součinitel prostupu tepla neprůhledných součástí	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
U_k	součinitel prostupu tepla stavební částí	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
U_{podlahy}	součinitel prostupu tepla podlahy	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
U_w	součinitel prostupu tepla oknem	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
$V_{e,p}$	objem přiváděného vzduchu do místnosti	$[\text{m}^3/\text{h}]$
$V_{\text{env},i}$	objemový tok vzduchu procházejícího obálkou domu do místnosti (i)	$[\text{m}^3/\text{h}]$
V_i	objem místnosti (i)	$[\text{m}^3]$
$V_{\text{leak},i}$	objemový tok vzduchu netěsnostmi obálky do místnosti (i)	$[\text{m}^3/\text{h}]$
$V_{\text{leak},z}$	objemový tok vzduchu netěsnostmi obálky do budovy (z)	$[\text{m}^3/\text{h}]$
V_{TV}	potřeba teplé vody na osobu na den	$[\text{m}^3]$
w	celková tloušťka obvodových stěn	$[\text{m}]$
x	meziroční inflace	$[\%]$
z	poměrný koeficient ztrát	$[-]$
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	$[-]$
γ_H	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	$[-]$
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$

$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků	[-]
η_{rec}	účinnost rekuperační jednotky	[-]
θ_{em}	průměrná měsíční venkovní teplota (e)	[°C]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru (i)	[°C]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny	[W/m·K]
λ_{zeminy}	tepelná vodivost zeminy	[W/m·K]
ρ	hustota přiváděného vzduchu	[kg/m ³]
ρ_{vod}	hustota vody	[kg/m ³]
τ	časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta	[h]
$\Phi_{s,o}$	tepelná produkce osoby	[W]
$\Phi_{s,p}$	tepelná produkce elektrických zařízení	[W]
Φ_r	sálání vůči obloze	[W]

1. Úvod

V roce 2020 nabyla účinnosti vyhláška č.264/2020 Sb. O energetické náročnosti budov, která stanovuje hranici spotřeby primární neobnovitelné energie rodinných novostaveb na cca 75 kWh na 1 m² za rok, což je oproti původním cca 160 kWh na m² za rok veliký skok. K tomuto faktoru se následně neplánovaně v roce 2022 přidalo rapidní zvýšení cen energií. Lidé tak velkém instalují na své střechy fotovoltaické systémy, zateplují své domy a snaží se ušetřit peníze za vytápění, ohřev teplé vody a svícení. Na trhu se objevuje mnoho firem, které slibují investorům nereálné návratnosti a snaží se na této ekonomické situaci zvýšit své zisky. [1]

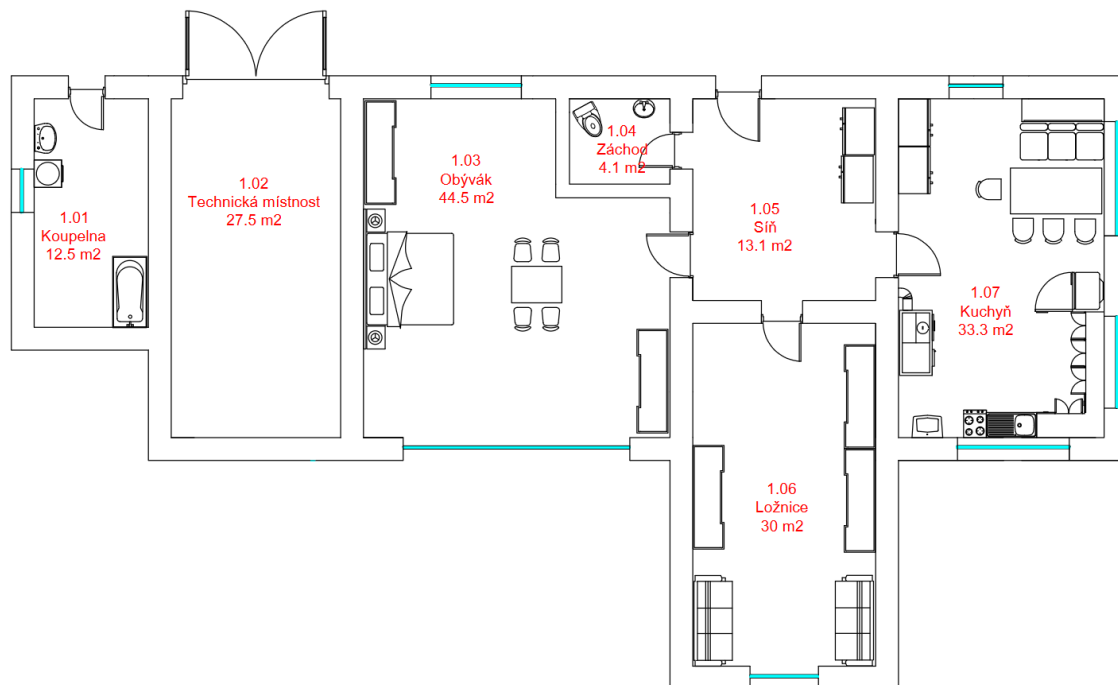
Tato bakalářská práce se zabývá reálným rodinným domem, který nesplňuje předpoklady pro moderní novostavbu. Součástí řešení této práce je u tohoto rodinného domu zateplení stěn, rekonstrukce střechy, výměna oken a dveří tak, aby splňoval požadavky energetické náročnosti dle výše uvedené vyhlášky č. 264/2020 Sb. [1]

Na základě provedených změn jsou vypočteny potřeby tepla na vytápění, ohřev teplé vody. Dále je stanovena spotřeba energií pro provoz domácnosti (svícení, vaření apod.). Z výsledných hodnot jsou vybrány čtyři zdroje tepla (tepelné čerpadlo, kondenzační plynový kotel, kotel na dřevo a kotel na pelety). V rámci úspory spotřeby energií je ke každé variantě také zvolen systém využívající solární energii ve formě fotovoltaických panelů s bateriovým úložištěm a solárních kolektorů pro ohřev vody.

V závěru práce jsou porovnány všechny varianty zdrojů energie z hlediska investičních nákladů a návratnosti investice.

2. Volba stavby

Jako výpočtovou budovu jsem zvolil rodinný dům postavený na počátku 20. století. Nachází se přibližně 17 km severně od Plzně v obci Mrtník. Dům má celkem 7 místností s celkovou podlahovou plochou 165 m².



Obr. 1 Půdorys objektu

2.1. Skladba konstrukce

Vzhledem ke stáří a stavu stavby bylo nutné předělat stávající skladbu stěn, střechy a podlahy. Použité materiály jsou uvedeny v následujících tabulkách.

2.2. Součinitel prostupu

V každé tabulce je vypočítán součinitel prostupu tepla U pomocí vzorce vycházejícího z normy ČSN EN ISO 6946 [2].

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (1)$$

Kde

U	součinitel prostupu tepla	$[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$
R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$
s_n	tloušťka n-té stavební konstrukce	$[\text{m}]$
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stavební konstrukce	$[\text{W/m} \cdot \text{K}]$

Tepelné odpory vychází z normy ČSN EN ISO 6946 [2].

Tab. 1 Tepelný odpor při přestupu tepla

Tepelný odpor při přestupu tepla $[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

2.3. Obvodové stěny

Obvodové stěny jsou zatepleny pomocí pěnového polystyrenu.

Tab. 2 Skladba obvodových stěn

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Šířka s [m]
Omítka vápenná	0,88	0,015
Vepřovice	1,3	0,5
Pěnový polystyren	0,04	0,3
Omítka perlitová	0,1	0,015
Celkem	2,32	0,83
U [W/m²K]		0,122

2.4. Vnitřní stěny

U vnitřních stěn nebylo třeba provádět žádné změny.

Tab. 3 Skladba vnitřních stěn

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Šířka s [m]
Omítka vápenná	0,88	0,015
Vepřovice	1,3	0,3
Omítka perlitová	0,88	0,015
Celkem	3,06	0,33
U [W/m²K]		1,942

2.5. Střecha

Tab. 4 Skladba střechy

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Šířka s [m]
Omítka	0,880	0,015
Železobeton	1,430	0,300
Parozábrana	0,350	0,000
Izolace	0,026	0,200
Fólie z PVC	0,160	0,002
Štěrka	0,600	0,080
U [W/m²K]		0,12

2.6. Podlaha

Tab. 5 Skladba podlahy

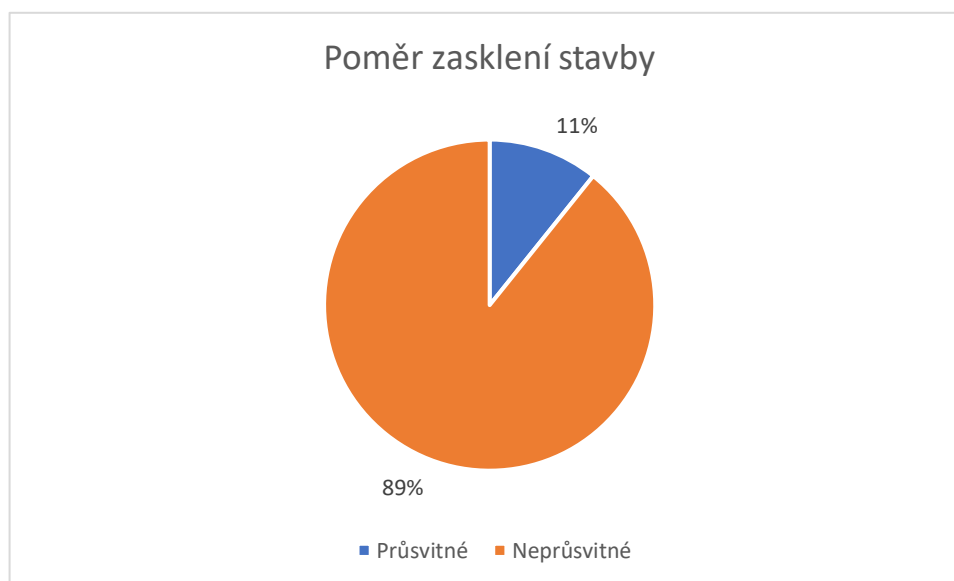
Materiál	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]	Šířka s [m]
PVC	0,140	0,004
Cementový potěr	1,160	0,300
Polyetylenová izolace	0,330	0,001
EPS deska	0,037	0,300
Polyetylenová izolace	0,330	0,001
Beton	1,300	0,500
Štěrkopísek	2,000	1,000

2.7. Otvory

U otvorů je součinitel prostupu tepla určen z technických listů výrobců. V budově byly vyměněny vchodové dveře, zvětšena a vyměněna všechna okna. Interiérové dveře a vrata do technické místnosti zůstala zachována původní.

Tab. 6 Otvory

Typ	U [W/m ² ·K]
Okna (Otherm IV84)	0,7
Vchodové dveře	0,8
Interiérové dveře	2,15
Vrata	1



Obr. 2 Poměr zasklení stavby

3. Součinitelé prostupu tepla

3.1. Součinitel prostupu tepla u podlah

U podlah je součinitel prostupu tepla stanoven pro každou místnost zvlášť pomocí vztahů dle normy ČSN ISO 13 370. [3]

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

Kde

B'	charakteristický parametr	[m]
S	plocha podlahy	[m ²]
O	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m]

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

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

$$d_t < B' \rightarrow U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (5)$$

Kde

d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně	[m ² ·K/W]
R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² ·K/W]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně	[m ² ·K/W]
λ_{zeminy}	součinitel tepelné vodivosti zeminy (pro písky a štěrky → $\lambda_{zeminy} = 2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$)	[W/m·K]
$U_{podlahy}$	součinitel prostupu tepla podlahy	[W/m ² ·K]

Tab. 7 Součinitelé prostupu tepla podlah

Místnost	Plocha S[m ²]	Obvod O[m]	Charakteristický Parametr B´[m]	Součinitel prostupu tepla U _{podlahy} [W/m ² ·K]
1.01	12,5	15	1,67	0,10
1.02	27,5	9,6	5,73	0,09
1.03	44,5	10,92	8,15	0,08
1.04	4,1	2,2	3,73	0,09
1.05	13,2	4	6,60	0,09
1.06	30	13,45	4,46	0,09
1.07	33,3	16,41	4,06	0,09

3.2. Součinitel přestupu střechy

Tab. 8 Součinitel prostupu tepla střechou

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]
Střecha	0,12

3.3. Součinitelé přestupu tepla svislých konstrukcí

Tab. 9 Součinitelé prostupu tepla svislými konstrukcemi

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/m ² ·K]
Obvodová stěna	0,122
Interiérová stěna	1,942
Okna	0,7
Vchodové dveře	0,8
Interiérové dveře	2,15
Vrata	1

4. Tepelné ztráty objektu

Abychom mohli zvolit vhodný výkon zdroje tepla, je potřeba vypočítat tepelné ztráty daného objektu. Ty lze rozdělit na dva typy – na ztráty tepla větráním a na ztráty tepla prostupem konstrukcemi. Jejich součtem získáme výslednou tepelnou ztrátu domu. Ztráty tepla prostupem ovlivňuje skladba konstrukce, vnitřní výpočtové teploty, teploty okolního vzduchu a povětrnostní podmínky.

Všechny výpočty týkající se tepelných ztrát byly vypočteny dle normy ČSN EN 12 831-1. [4]

4.1. Tepelné ztráty větráním

4.1.1. Návrh nuceného větrání

Pro budovy je navržen systém nuceného větrání pomocí rekuperační jednotky. Pro každou místnost je zvolen průtok vzduchu v závislosti na typu místnosti a jejího objemu. V technické místnosti se v případě spalovacího kotle odvádí vzduch komínem a přivádí technologickými prostupy ve vstupních dveřích této místnosti.

Tab. 10 Návrh nuceného větrání

Místnost	Objem [m ³]	Minimální větrání [m ³ /h]		Doporučené větrání [m ³ /h]		Nárazové větrání [m ³ /h]	
		Přívod	Odvod	Přívod	Odvod	Přívod	Odvod
Koupelna	31,25	-	25	-	42	-	58
Technická Místnost	68,75	-	-	-	-	-	-
Obývací pokoj	111,25	40	-	67	-	93	-
WC	10	-	15	-	25	-	35
Síň	32,75	-	10	-	17	-	23
Ložnice	75	25	-	42	-	58	-
Kuchyně	83,25	25	40	42	67	58	93
Celkem	412	90	90	150	150	210	210

4.1.2. Tepelná ztráta větráním

Celková tepelná ztráta větráním je součet tří složek – tepelná ztráta nuceným větráním, tepelná ztráta větráním obálkou budovy a tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti.

$$\phi_{V,i} = \phi_{V,sup,i} + \phi_{V,env,i} + \phi_{V,transfer,i} \quad [\text{W}] \quad (6)$$

kde

$$\Phi_{V,sup,i} \quad \text{Tepelná ztráta nuceným větráním} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{V,env,i} \quad \text{Tepelná ztráta větráním obálkou budovy} \quad [\text{W}]$$

$\Phi_{V,transfer,i}$ Tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti [W]

4.1.3. Tepelná ztráta nuceným větráním

$$\phi_{V,sup} = \dot{V}_{V,sup,i} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{int,i} - t_{rec,z}) \quad [\text{W}] \quad (7)$$

Kde

$V_{v,sup,i}$ Průtok přiváděného vzduchu (trvale) [m³/s]

$t_{int,i}$ Výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C]

$t_{rec,z}$ Teplota vzduchu za výměníkem [°C]

ρ Hustota vzduchu [kg/m³]

c_p Měrná tepelná kapacita vzduchu [J/kg·K]

Pro výpočet teploty vzduchu za výměníkem je potřeba znát teplotní faktor rekuperační jednotky. Uvažuji, že jednotka má účinnost 84 %, což odpovídá teplotnímu faktoru 0,84. Teplotu vzduchu za výměníkem získáme z následujícího vztahu (8). [5] Dále jsem vypočítal teplotu odváděného vzduchu jako vážený průměr vnitřních výpočtových teplot.

$$t_{rec,z} = t_{e,0} + \eta_{rec,z} \cdot (t_{exh,z} - t_{e,0}) \quad [^\circ\text{C}] \quad (8)$$

Kde

$t_{exh,z}$ Teplota odváděného vzduchu [°C]

$t_{e,0}$ Teplota venkovního vzduchu [°C]

$\eta_{rec,z}$ Teplotní faktor rekuperační jednotky [-]

Teplotu venkovního vzduchu je vypočtena pomocí následujícího vztahu (9). Venkovní výpočtovou teplotu jsem převzal z webových stránek TZB-info [6], kde je pro Plzeň uvedena hodnota -12 °C.

$$t_{e,0} = t_e - (3 \text{ až } 5) \quad [^\circ\text{C}] \quad (9)$$

Kde

t_e Venkovní výpočtová teplota v místě stavby [°C]

4.1.4. Tepelná ztráta větráním obálkou budovy

Ztráta větráním obálkou budovy se počítá obdobně jako ztráta nuceným větráním. Je vypočtena pomocí vztahu (10).

$$\phi_{V,env,i} = \dot{V}_{V,env,i} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{int,i} - t_e) \quad [\text{W}] \quad (10)$$

Kde

$\dot{V}_{V,env,i}$	Průtok venkovního vzduchu prostupujícího obálkou budovy místnosti	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$t_{int,i}$	Výpočtová teplota vnitřního vzduchu	$[\text{°C}]$
t_e	Venkovní výpočtová teplota v místě stavby	$[\text{°C}]$
ρ	Hustota vzduchu	$[\text{kg}/\text{m}^3]$
c_p	Měrná tepelná kapacita vzduchu	$[\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}]$

Průtok venkovního vzduchu vychází ze vztahu (11).

$$\dot{V}_{V,env,i} = f_{dir,z} \cdot \dot{V}_{V,leak,i} = 2 \cdot \dot{V}_{V,leak,i} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (11)$$

Kde

$\dot{V}_{V,leak,i}$	Průtok venkovního vzduchu infiltrací	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$f_{dir,z}$	Činitel orientace zóny	$[-]$

Průtok vzduchu netěsnostmi vychází ze vztahu (12).

$$\dot{V}_{V,leak,i} = \dot{V}_{V,leak,z} \cdot \frac{A_{env,i}}{A_{env,z}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (12)$$

Kde

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

Průtok vzduchu netěsnostmi vychází ze vztahu (13). Součinitel objemového průtoku jsem převzal z prezentace. [5]

$$\dot{V}_{V,leak,z} = \dot{V}_{env,50} \cdot A_{env,z} \cdot f_{qv,z} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (13)$$

Kde

$$\dot{V}_{env,50} \quad \text{Průtok vzduchu obálkou budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa} \quad [\text{m}^2]$$

$$f_{\phi v,z} \quad \text{Součinitel objemového průtoku (0,05)} \quad [\text{m}^2]$$

Průtok vzduchu obálkou budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa vychází ze vztahu (14). Intenzitu větrání při rozdílu tlaků 50 Pa jsem převzal z prezentace. [5]

$$\dot{V}_{env,50} = \frac{I_{50} \cdot V_{build}}{A_{env,build}} \quad [\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2] \quad (14)$$

Kde

$$I_{50} \quad \text{Intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa (0,96)} \quad [\text{h}^{-1}]$$

$$V_{build} \quad \text{Vnitřní objem vzduchu budovy} \quad [\text{m}^3]$$

$$A_{env,build} \quad \text{Plocha obálky zóny (pro RD } A_{env,build} = A_{env,z}) \quad [\text{m}^2]$$

4.1.5. Tepelná ztráta převodem vzduchu

Ztráta převodem vzduchu je vypočtena dle vztahu (15).

$$\phi_{V,transfer,i} = \dot{V}_{V,transfer,ij} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{int,i} - t_{transfer,ij}) \quad [\text{W}] \quad (15)$$

Kde

$$\dot{V}_{V,transfer,ij} \quad \text{Průtok převáděného vzduchu} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$t_{transfer,ij} \quad \text{Teplota převáděného vzduchu} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

4.2. Tepelné ztráty prostupem

Vztahy pro výpočet tepelných ztrát jsou převzaty z prezentace. [3]

Celkovou tepelnou ztrátu objektu prostupem jsem stanovil dle vztahu (16).

$$\phi_{T,i} = \left(H_{T,ie} + \sum (H_{T,ia} + H_{T,ig}) \right) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (16)$$

Kde

$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor	[W/K]
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok z vytápěného prostoru do země	[W/K]
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru	[°C]
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]

4.2.1. Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí

Měrný tepelný tok do venkovního prostředí je vypočítán pomocí vztahu (17). Opravný součinitel $f_{U,k}$ jsem převzal z prezentace. [3]

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}) \quad [\text{W/K}] \quad (17)$$

Kde

A_k	Plocha stavební části	[m ²]
U_k	Součinitel prostupu tepla stavební částí	[W/m ² ·K]
ΔU_{TB}	Přirážka na vliv tepelných vazeb (0,05)	[W/m ² ·K]
$f_{U,k}$	Opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot. (pro ČR = 1)	
$f_{ie,k}$	Teplotní opravný součinitel (1)	

4.2.2. Měrný tepelný tok prostupem do sousedních prostor

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedních vytápěných prostor je vypočítán dle vztahu (18).

$$H_{T,ia,k} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}) \quad [\text{W/K}] \quad (18)$$

Kde

A_k	Plocha stavební části	$[\text{m}^2]$
$f_{ia,k}$	Teplotní opravující součinitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu a venkovní výpočtovou teplotu	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$

Teplotní opravující součet je vypočten dle vztahu (19).

$$f_{ia,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (19)$$

Kde

$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru	$[\text{°C}]$
θ_{ia}	Teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor	$[\text{°C}]$
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	$[\text{°C}]$

4.2.3. Měrný tepelný tok prostupem do zeminy

Měrný tepelný tok prostupem tepla z vytápěného prostoru do zeminy je vypočítán dle vztahu (20). Ve výpočtu je zanedbán vliv okrajové izolace.

$$H_{T,ig,k} = \sum_{podlaha} (S_{podlaha} \cdot U_{podlaha}) \quad [\text{W/K}] \quad (20)$$

Kde

$S_{podlaha}$	Plocha podlahy	$[\text{m}^2]$
$U_{podlaha}$	Součinitel prostupu tepla podlahou	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$

4.3. Souhrn tepelných ztrát

Tab. 11 Tepelné ztráty

Typ	Ztráta větráním	Ztráta prostupem	Celkem
Měrný tepelný tok [W/K]	78	98	176
Tepelná ztráta [W]	2600	3200	5800

5. Tepelné zisky

Ke zjištění potřeby tepla je nutné v neposlední řadě zjistit, jaké má daná budova tepelné zisky. Ty, spolu s tepelnými ztrátami, tvoří základní bilanci, na základě které můžeme dále stanovit energetickou náročnost budovy. Tepelné zisky lze rozdělit na vnitřní a vnější. Všechny výpočty tepelných zisků jsou provedeny dle normy ČSN EN ISO 52016-1 [7], kterou jsem převzal z prezentace [8].

5.1. Data o solárním záření

Pro výpočty vnějších tepelných zisků budeme potřebovat konkrétní hodnoty intenzity slunečního záření. Jsou získány z tabulky z normy ČSN 73 0331-1. [9]

Tab. 12 Celkové měsíční solární záření

Měsíc	Celkové solární záření za měsíc								
	I(sol,j)								
	[kWh/m ²]								
	Sever	Západ	Východ	Jih	Horizont	SZ	JZ	SV	JV
Leden	8,2	14,1	14,1	34,2	20,8	12	44	12	37
Únor	13,4	25,5	25,5	51,1	37	20	51	20	47
Březen	25,3	46,9	46,9	74,4	72,2	37	76	36	73
Duben	36	74,2	74,2	85,7	113,8	49	86	51	92
Květen	49,1	87	87	87	148,8	73	98	79	109
Červen	51,8	90	90	75,6	146,2	73	88	91	108
Červenec	51,3	84,1	84,1	78,1	144,3	75	97	78	103
Srpen	42,4	80,4	80,4	96	136,2	63	100	64	101
Září	28,8	53,3	53,3	77,8	87,1	40	86	38	82
Říjen	18,6	38,7	38,7	74,4	56,5	25	71	21	51
Listopad	9,4	18	18	45,4	25,2	11	32	10	25
Prosinec	6	11,2	11,2	29	14,9	9	26	9	23

5.2. Vnitřní tepelné zisky

Za vnitřní tepelné zisky se považuje teplo od osob v budově, teplo z domácích spotřebičů a z osvětlení.

Na bytovou jednotku (v tomto případě rodinný dům) se předpokládá tepelný výkon osob 100 W/bytová jednotka. Tepelný výkon domácích spotřebičů a svícení se předpokládá 100 W/osoba.

Jelikož osoby nepobývají v budově 24 hodin denně, tak uvažují opravný koeficient 0,7 odpovídající 70% přítomnosti osob.

Celkové vnitřní tepelné zisky za měsíc jsou vypočteny dle vztahu (21).

$$\Phi_{zisk,vnitřní} = n_{hod} \cdot (n_{osob} \cdot \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p}) \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

Kde

n_{hod}	Počet hodin v měsíci	[h]
n_{osob}	Počet osob v domácnosti	[os]
$\Phi_{s,o}$	Tepelné zisky na osobu	[W/os]
f	Opravný součinitel zohledňující přítomnost osob v budově	[-]
$\Phi_{s,p}$	Tepelné zisky spotřebičů a osvětlení na bytovou jednotku	[W]

5.3. Vnější tepelné zisky

Za vnější tepelné zisky se považuje teplo získané ze sluneční energie. Jeho množství ovlivňuje především plocha průsvitných částí domu a jejich orientace v prostoru a vůči světovým stranám. Neprůsvitné části budovy mají na tepelné zisky také vliv, ale v porovnání s průsvitnými částmi pouze malý. Přesto jsem výpočet nezanedbal. Dalšími faktory ovlivňujícími vnější tepelné zisky jsou překážky a stínění budovy (zahrnuto v opravném součiniteli – uvažuji hodnotu 1), popřípadě i lokalita budovy (městská či vesnická zástavba, stromy apod.).

5.3.1. Průhledné prvky

Pro výpočet vnějších tepelných zisků přes průhledné prvky je použit vztah (22).

$$\Phi_{zisk,vnější} = F_{sh} \cdot \left(\sum A_{sol} \right) \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \Phi_{r,i} \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

Kde

F_{sh}	Opravný součinitel na externí překážky a stínění	[-]
A_{sol}	Solární sběrná plocha	[m ²]
I_{sol}	Intenzita slunečního záření	[kWh/m ²]
$F_{r,i}$	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou Pro horizontální prvky = 1 Pro vertikální prvky = 0,5	[-]
$\Phi_{r,i}$	Sálání vůči obloze	[kWh]

Výpočet solární sběrné plochy průsvitných částí je proveden dle vztahu (23).

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,pohledová} \quad [m^2] \quad (23)$$

Kde

$F_{sh,gl}$	Opravný součinitel na vnitřní a vnější zastínění (volím 0,7)	[-]
g_{gl}	Celková propustnost průhlednými prvky	[-]
F_f	Podíl plochy rámu (v mém případě 0,3)	[-]
$A_{w,pohledová}$	Pohledová plocha průsvitných částí	[m ²]

Celková propustnost průhlednými prvky vychází ze součinu opravného součinitele pro nerozptylové zasklení a celkové propustnosti zasklení. Je použit vztah (23).

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gn} \quad [-] \quad (24)$$

Kde

F_w	Opravný součinitel pro nerozptylové zasklení (dle normy je roven 0,9)	[-]
g_{gn}	Celková propustnost zasklení (v mém případě 0,77)	[-]

5.3.2. Neprůhledné prvky

Tepelné zisky neprůhledných stavebních prvků se počítají obdobně dle vztahu (22). Jediná změna je v solární sběrné ploše, která je vypočtena podle vzorce (25).

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \quad [m^2] \quad (25)$$

Kde

$\alpha_{s,c}$	Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků (pro zdi uvažuji 0,6 pro střechu 0,55)	[-]
R_{se}	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu	[m ² /K·W]
U_c	Součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
$A_{c,pohledová}$	Pohledová plocha neprůsvitných částí	[m ²]

5.3.3. Sálání vůči obloze

Za tepelnou ztrátu lze považovat sálání stavby vůči obloze. To je spočítáno dle vzorce (26).

$$\Phi_r = R_{s,e} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad [\text{W}] \quad (26)$$

Kde

$R_{s,e}$	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu	$[\text{m}^2/\text{K} \cdot \text{W}]$
U_c	Součinitel prostupu tepla	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
$A_{c,pohledová}$	Pohledová plocha neprůsvitných částí	$[\text{m}^2]$
h_r	Součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
$\Delta t_{e,r}$	Faktor osálání mezi stavebními prvky a oblohou (pro mírné teplotní pásmo je rovno 11 K)	$[\text{K}]$

6. Potřeba tepla

Na základě tepelných ztrát a zisků můžeme vytvořit celkovou tepelnou bilanci budovy a z ní pro jednotlivé měsíce vypočítat potřebu tepla. Ta se dělí na potřebu tepla na vytápění (pro tu již máme vhodný základ) a na potřebu tepla pro ohřev teplé vody (v této části bude popsán výpočet).

6.1. Klimatologická data

K výpočtům potřeby tepla po měsících je třeba znát konkrétní měsíční případně denní teploty. Tato data jsem získal z webu Českého hydro-meteorologického ústavu [10], který hodnoty naměřil a zaznamenal dle zákona 123/1998 Sb.

Z denních dat jsem vypočítal průměrné denní a měsíční teploty za posledních 8 let (2014 až 2022). Všechny hodnoty jsem zanesl do tabulky (Tab. 13).

Tab. 13 Průměrné denní teploty

Měsíc Den	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Průměr	-0,1	1,3	3,8	8,4	13,0	18,0	19,1	18,2	13,2	8,7	4,2	1,7
1	0,5	2,3	0,9	5,2	11,1	15,6	18,6	20,5	14,9	10,3	6,1	1,9
2	-0,4	2,8	1,8	5,8	9,9	17,2	17,8	20,2	13,9	10,8	7,0	1,1
3	0,8	1,8	1,7	6,9	10,2	18,6	18,7	20,0	14,3	10,5	5,9	0,1
4	1,2	0,5	2,4	7,2	10,4	17,6	19,6	19,9	15,7	9,4	6,0	0,8
5	0,8	-0,2	2,0	8,1	9,9	17,9	20,5	19,6	15,5	9,8	5,4	0,7
6	-1,1	0,2	1,8	7,0	11,3	17,8	20,1	18,3	15,0	9,6	5,1	1,5
7	-0,5	0,0	1,6	8,6	10,9	16,8	18,5	19,4	14,2	9,8	6,1	2,4
8	0,7	0,4	2,0	7,5	13,2	17,1	18,2	20,2	14,1	10,3	5,2	1,9
9	2,4	2,0	3,0	8,0	13,6	17,1	17,3	20,5	14,3	9,0	5,6	1,8
10	1,7	1,5	3,8	8,5	13,9	17,9	17,7	18,6	14,3	9,1	5,5	0,7
11	0,0	0,4	4,8	8,3	14,1	19,1	16,6	17,6	14,6	8,6	5,3	1,2
12	1,1	-1,5	4,1	8,8	12,9	19,8	17,2	18,2	14,9	8,3	4,9	1,9
13	1,3	-0,2	4,4	8,3	12,6	17,7	17,2	20,1	15,9	8,6	4,4	1,5
14	0,5	-0,3	3,0	7,0	11,6	17,6	17,0	19,3	15,2	9,6	4,0	2,5
15	-0,7	0,5	4,5	8,2	10,8	17,9	16,6	18,8	15,6	10,3	4,6	2,2
16	-0,7	2,0	5,2	7,9	12,1	17,6	17,9	18,2	14,8	9,6	5,3	1,9
17	-0,2	2,4	5,4	7,6	12,3	17,3	19,3	17,5	13,6	8,7	6,4	1,1
18	-0,9	2,3	3,9	7,1	13,8	18,0	20,5	18,4	11,6	9,1	4,9	1,6
19	-1,8	1,7	3,4	7,9	15,2	19,4	20,7	17,3	11,5	8,9	3,9	1,9
20	-1,2	2,7	3,8	8,6	14,0	18,5	21,1	17,2	11,1	8,6	3,1	1,1
21	-2,8	3,3	4,7	10,6	14,3	18,5	20,1	16,2	11,0	8,3	2,9	1,9
22	-2,5	3,9	3,7	10,2	15,8	17,9	20,9	15,6	10,7	7,8	3,2	3,4
23	-1,8	2,7	3,5	9,9	15,0	17,8	20,3	16,8	11,6	8,3	2,6	5,0
24	-0,5	1,3	3,4	10,5	14,2	18,4	20,6	17,2	11,1	7,6	3,8	4,6
25	-0,7	0,7	3,7	10,6	13,5	17,6	20,9	16,8	10,9	7,9	3,0	3,1
26	-0,5	0,6	4,8	8,8	14,4	19,0	20,3	17,5	11,5	8,4	2,5	1,6
27	0,2	0,0	5,7	9,5	15,3	19,0	18,7	17,0	11,5	7,9	0,7	0,0
28	1,0	0,1	6,4	9,5	14,3	19,4	19,4	17,3	10,7	6,2	0,3	0,4
29	0,9	3,3	7,1	10,1	14,0	18,3	19,6	17,5	11,4	6,9	0,6	0,3
30	0,1	-	5,9	10,7	13,9	18,5	20,4	17,1	10,5	6,6	1,1	1,2
31	0,8	-	7,0	-	14,8	-	20,0	16,3	-	6,0	-	2,0

6.2. Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění je bilancí tepelných ztrát a tepelných zisků. Abychom mohli vhodně navrhnout zdroj tepla a případné využití solárních kolektorů nebo fotovoltaické elektrárny, je nutné potřebu tepla vypočítat po měsících.

Výpočet potřeby tepla je proveden dle normy ČSN EN ISO 52016-1 [7].

Ke stanovení potřeby tepla je použit vzorec (27).

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad [\text{kWh}] \quad (27)$$

Kde

$a_{H,red}$	Redukční faktor na přerušované vytápění (pro RD = 1)	[-]
$\eta_{H,gn}$	Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
$Q_{H,ht}$	Celková potřeba tepla pro vytápění	[kWh]
$Q_{H,gn}$	Celkové tepelné zisky	[kWh]

Faktor využitelnosti se počítá rozdílně v závislosti na hodnotě bilančního poměru pro režim vytápění γ_H , který je vypočítán níže (31). Pro výpočet faktoru využitelnosti použijeme vztahy (28), (29) a (30).

Pokud $\gamma_H > 0$,

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H+1}} \quad [-] \quad (28)$$

Pokud $\gamma_H = 1$,

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad [-] \quad (29)$$

Pokud $\gamma_H < 0$,

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [-] \quad (30)$$

Kde

a_H	Bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budovy	[-]
γ_H	Bilanční poměr pro režim vytápění	[-]

Bilanční poměr pro režim vytápění je vypočítán podle vzorce (31).

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,ht}}{Q_{H,gn}} \quad [-] \quad (31)$$

Kde

$Q_{H,ht}$	Celková potřeba tepla pro vytápění	[-]
$Q_{H,gn}$	Celkové tepelné zisky	[-]

Bezrozměrný číselný parametr a_H je vypočten podle vzorce (32).

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (32)$$

Kde

$a_{H,0}$	Bezrozměrný číselný parametr závislý na časových konstantách budovy (pro měsíční metodu roven 1)	[-]
τ	Časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	Referenční časová konstanta (pro měsíční metodu rovna 1)	[h]

Časová konstanta budovy vychází ze vztahu (33).

$$\tau = \frac{C_m}{H_T + H_V} \quad [h] \quad (33)$$

Kde

C_m	Vnitřní tepelná kapacita budovy (v mém případě rovna 260 000)	[J/K]
H_T	Měrný tepelný tok prostupem tepla celé budovy	[W/K]
H_V	Měrný tepelný tok větráním celé budovy	[W/K]

Vypočtené hodnoty jsem zanesl do grafu (Obr. 3).



Obr. 3 Potřeba tepla na vytápění

6.3. Potřeba tepla na ohřev teplé vody

Potřeba tepla na ohřev teplé vody závisí na počtu osob v domácnosti (v tomto případě tři), na jejich spotřebě teplé vody (uvažuji 40 l na osobu denně) a na dalších faktorech, které jsou uvedeny ve výpočtech. V letních měsících (červenec, srpen) uvažuji sníženou spotřebu teplé vody (hodnota je snížena o 25 %).

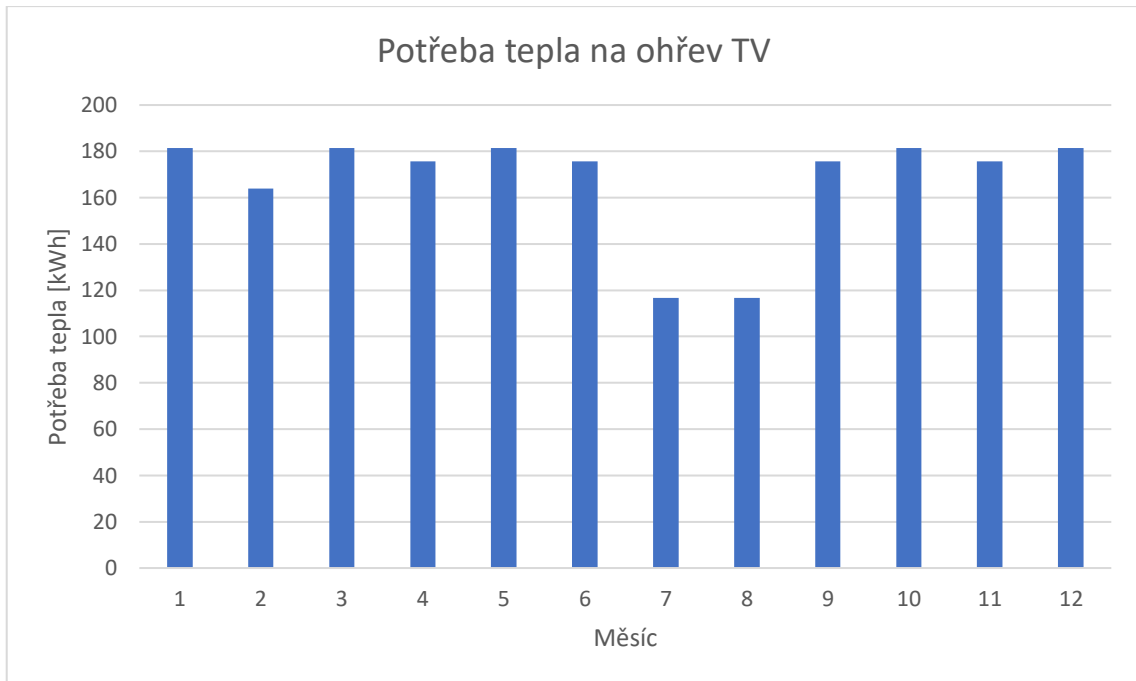
Výpočet je proveden dle vzorce (34).

$$Q_{TV,den} = \frac{n_{os} \cdot V_{2P} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1) \cdot (1 + z)}{3600000} \quad [\text{kWh/den}] \quad (34)$$

Kde

n_{os}	Počet osob v domácnosti	[os]
V_{2P}	Potřeba teplé vody na osobu na den	[m ³ /os·den]
ρ	Hustota vody (998 kg/m ³)	[kg/m ³]
c	Měrná tepelná kapacita vody (4180 J/kg·K)	[J/kg·K]
t_1	Průměrná roční teplota studené vody (10 °C)	[°C]
t_2	Teplota ohřáté vody (volím 60 °C)	[°C]
z	Poměrný koeficient (volím ztráty 20 %, což odpovídá hodnotě 0,2)	[-]

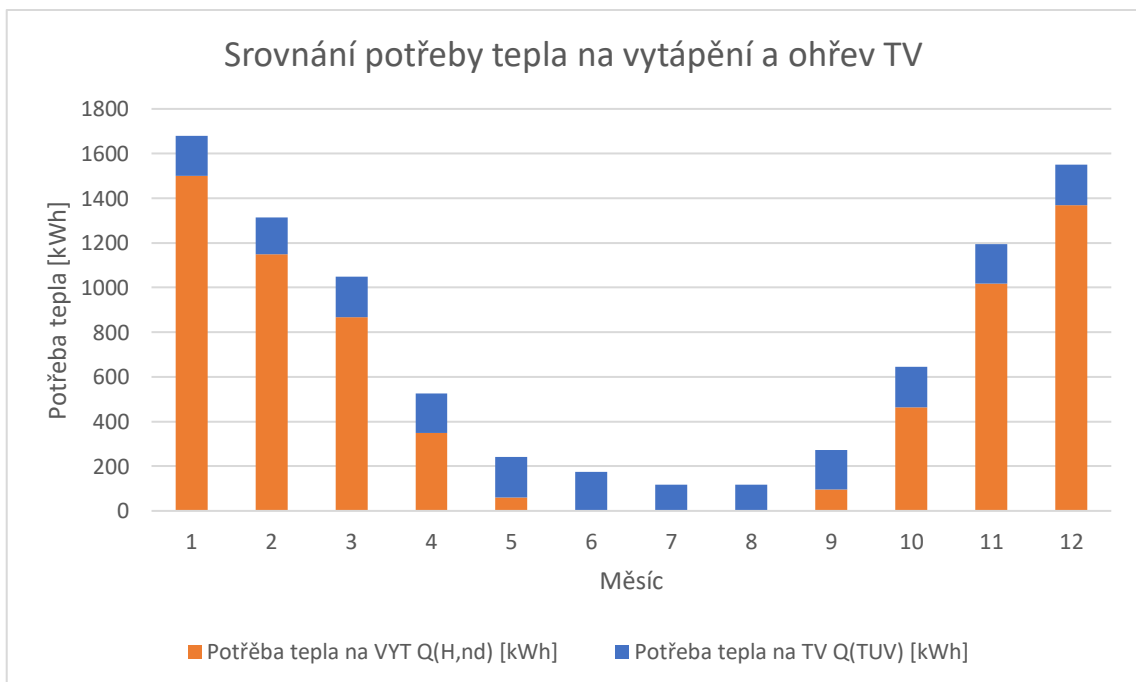
Vypočtené hodnoty jsem zanesl do grafu (Obr. 4).



Obr. 4 Potřeba tepla pro ohřev TV

6.4. Celkové bilance potřeby tepla

Pro lepší orientaci ve vypočtených hodnotách jsem vytvořil graf a tabulku s celkovou bilancí tepla.



Obr. 5 Srovnání potřeb tepla

Tab. 14 Bilance tepla

Měsíc	Sřední venkovní teplota	Potřeba tepla prostupem	Potřeba tepla větráním	Celková potřeba tepla	Vnitřní tepelné zisky	Solární tepelné zisky	Tepelné zisky celkem	Potřeba tepla na VYT	Potřeba tepla na TV
	t(ep)	Q(H,tr)	Q(H,Ve)	Q(H,ht)	Q(H,int)	Q(H,sol)	Q(H,gn)	Q(H,nd)	Q(TUV)
	[°C]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Leden	-0,1	1542	370	1912	283	130	413	1499	181
Únor	1,2	1307	314	1621	255	216	471	1150	164
Březen	3,8	1254	301	1555	283	409	692	868	181
Duben	8,4	889	214	1103	274	521	795	350	176
Květen	13,0	583	140	723	283	595	878	61	181
Červen	18,0	208	50	259	274	535	808	0,00	176
Červenec	19,1	136	33	169	283	551	834	0,00	117
Srpen	18,2	201	48	249	283	611	894	0,00	117
Září	13,2	551	132	683	274	431	705	96	176
Říjen	8,7	896	215	1111	283	380	663	465	181
Listopad	4,2	1190	286	1476	274	184	458	1019	176
Prosinec	1,7	1410	339	1749	283	97	380	1370	181
Celkem	-	10150	2450	12600	3350	4650	8000	6900	2000

7. Návrh zdroje tepla

Pro rodinný dům jsem vybral čtyři zdroje tepla – tepelné čerpadlo, plynový kondenzační kotel, zplyňovací kotel na dřevo a kombinovaný kotel s hořákem na pelety.

7.1. Výkon zdroje tepla

Ke vhodnému výběru kotle je mimo jiné důležité stanovit, jaký výkon kotle požadujeme. U příliš nízkého výkonu by v zimních měsících mohlo docházet k nedostatku tepla, naopak u předimenzovaného výkonu nastává problém s regulací kotle, neboť kotel příliš často cykluje.

Výkon se určuje z celkové tepelné ztráty celé budovy. V tomto případě 5 800 W. Ta se vypočítá dle vztahu (35).

$$Q_Z = \sum (H_{C,i} \cdot \Delta t_i) \quad [\text{W}] \quad (35)$$

Kde

$H_{C,i}$	Celkový měrný tepelný tok	[W/K]
Δt_i	Rozdíl mezi vnitřní výpočtovou a venkovní výpočtovou teplotou	[K]

7.2. Typy zdroje tepla

7.2.1. Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je využívá k provozu elektrickou energií. Vzhledem k aktuální situaci na trhu s elektrickou zůstává tepelné čerpadlo vhodným a velmi vítaným řešením vytápění a ohřevu teplé vody. [12]

Pro tento projekt jsem zvolil tepelné čerpadlo RTC 13e (Obr. 6) od firmy REGULUS. Čerpadlo umožňuje řízení otáček kompresoru, což znamená, že výkon čerpadla se mění na základě potřeby uživatele a nastavení ekvitermní křivky. Výkon tohoto čerpadla je 3,5 až 10 kW. Maximální výstupní teplota je dle výrobce 55 °C. Topný faktor čerpadla ovlivňuje teplota okolního vzduchu a teplota, na kterou požadujeme ohřát médium. Z tohoto důvodu byly od výrobce převzaty charakteristické hodnoty uvedeny v tabulce (Tab. 15). [13]



Obr. 6 Tepelné čerpadlo RTC 13e

Tab. 15 Topný faktor

Teplota vzduchu/Výstupní teplota [°C]	Topný faktor [-]		
	35	45	55
-15	2,24	1	1
-7	3,11	2,32	1,7
2	4,08	3,12	2,28
7	4,08	3,63	2,6
12	5,53	4,09	3

K tepelnému čerpadlu jsem dle doporučení výrobce vybral Sestavu HSK 350 BOX obsahující regulaci čerpadla, akumulární nádrž s přípravou teplé vody a expanzní nádrž. [14]

7.2.2. Kondenzační plynový kotel

Plynový kotel má oproti tepelnému čerpadlu výhodu například v nízké hlučnosti, jednoduchého provozu, ovládání a menší prostorové zástavby dle zvoleného typu. Jeho výkon také nezávisí na venkovní teplotě. Zároveň jsou nejlevnějším zdrojem tepla z hlediska pořizovací ceny.

Pro tuto variantu jsem vybral sestavu kondenzačního kotle se zásobníkem teplé vody Bosch Condens GC2300iW 15 P + WST 120-50 C (Obr. 7). Kotel disponuje regulací

výkonu od 2,3 kW do 16,1 kW. Zásobník teplé vody má kapacitu 120 l. Kotel má pro nízkoteplotní provoz (teplota vstupní vody 37 °C) 98,6% účinnost. [15]



Obr. 7 Kondenzační plynový kotel Bosch Condens GC 2300 iW

7.2.3. Kotel na tuhá paliva

Jako poslední zdroj tepla jsem vybral kotel na tuhá paliva, konkrétně kotel na dřevo či pelety. Tento typ kotle je nejnáročnější na provoz, a to prostorovými nároky, potřebou uskladnění paliva a jeho přípravou. Náročnost provozu lze snížit výměnou dřeva za pelety. To s sebou ovšem nese vyšší pořizovací náklady a zároveň kvůli zásobníku pelet celá soustava vyžaduje i více místa. Provoz moderních kotlů na tuhá paliva také zjednodušuje inteligentní regulace, která pomůže uživateli zvýšit efektivitu kotle. Například uživatelé informuje o nutnosti přiložit palivo, nebo dokáže snížit výkon kotle přes noc tak, aby se nemuselo zatápět denně. Kotelům také pomáhá akumulací nádrž, která v součinnosti s regulací zabrání přehřívání kotle a sníží četnost spínání hořáku na pelety.

I přes všechny nedostatky se stále jedná o poměrně oblíbený zdroj tepla, protože provozní náklady jsou nižší než například u plynových kotlů. Využívány je především v obcích, kde není zavedena distribuce plynu vzhledem k finanční náročnosti a rozlehlosti obce.

Pro svůj projekt jsem vybral kotel od firmy ATMOS DC18S s úpravou pro hořák na pelety (Obr. 8). Samotný kotel na dřevo má maximální výkon 20 kW, hořák na pelety má výkon v rozsahu 6 – 20 kW. Kotel je vybaven ekvitermní regulací Atmos ACD 03, akumulací nádrží o objemu 500 l a zásobníkem teplé vody s objemem 120 l. [16]



Obr. 8 Zplyňovací kotel Atmos DC18S s úpravou pro hořák

8. Podpora zdroje tepla obnovitelnými zdroji energie

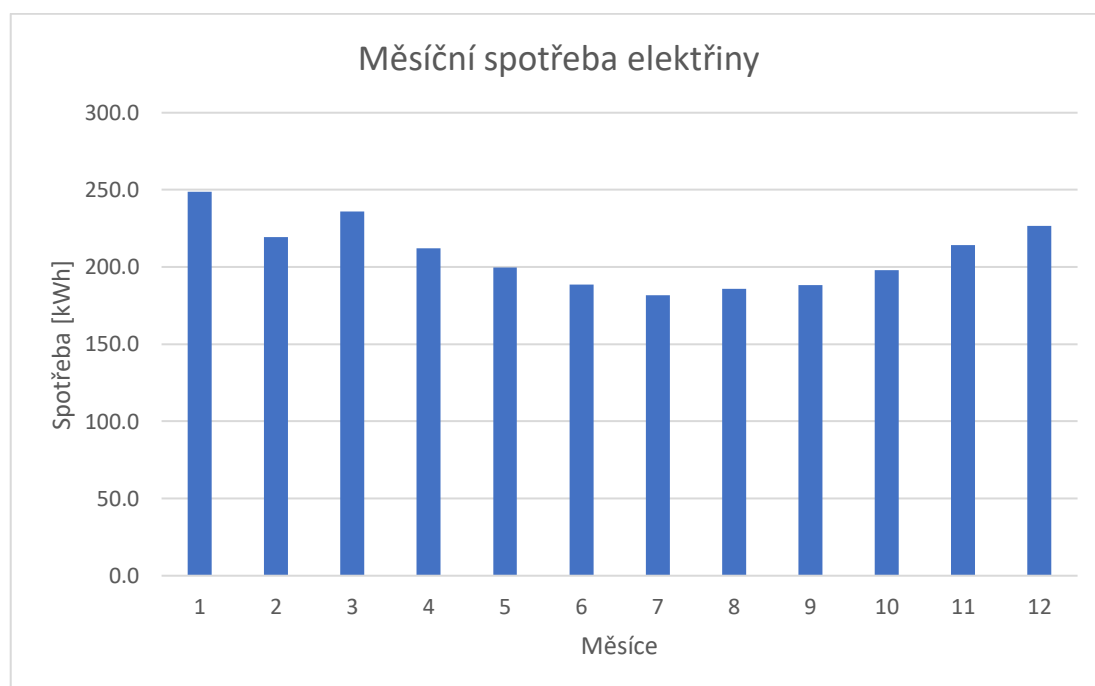
Provozní náklady na produkci tepla, ale i náklady na spotřebu elektřiny je možné snížit pomocí systémů pro využití obnovitelných zdrojů energie. Navrhuji dva typy systémů, a to fotovoltaické panely na výrobu elektrické energie a solární kolektory pro ohřev teplé vody.

Při zvažování instalace fotovoltaického systému je důležité znát spotřebu elektřiny (ideálně hodinově po celý rok), určit časy východu a západu slunce pro všechny měsíce v roce, určit stínění panelů atd.

8.1. Návrh fotovoltaické elektrárny

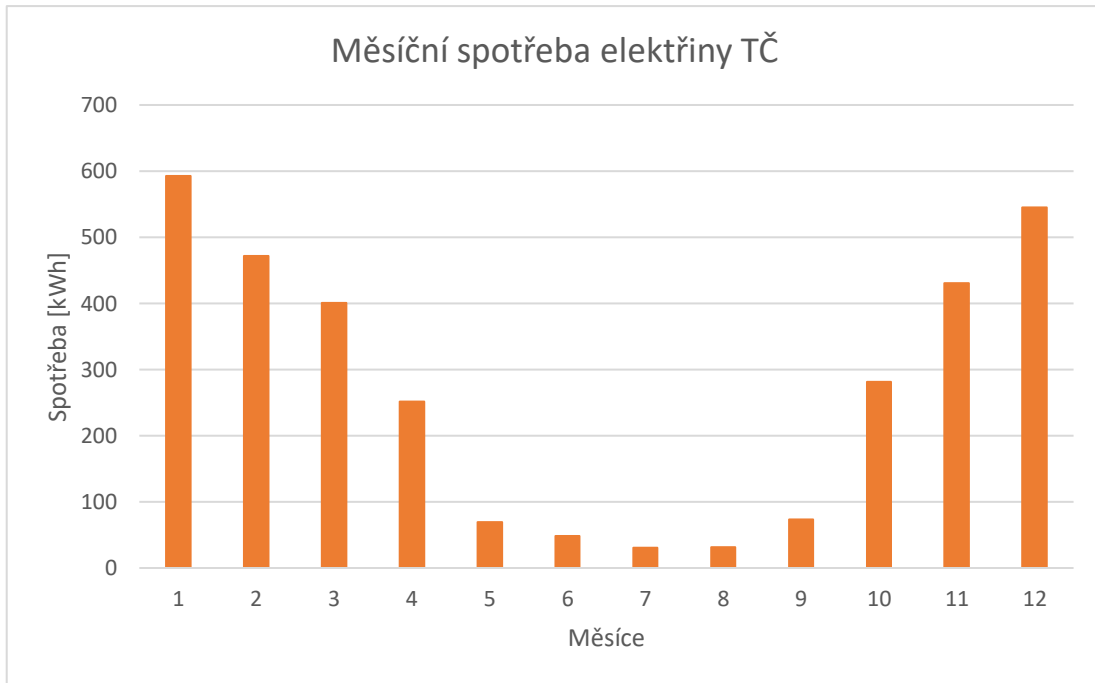
8.1.1. Spotřeba elektřiny

Spotřebu elektřiny tohoto rodinného domu jsem stanovil z podkladů Energetického regulačního úřadu a společnosti ČEZ. Měsíční průběhy předpokládané spotřeby elektrické energie jsou pak znázorněny na (Obr. 9). [17], [18]

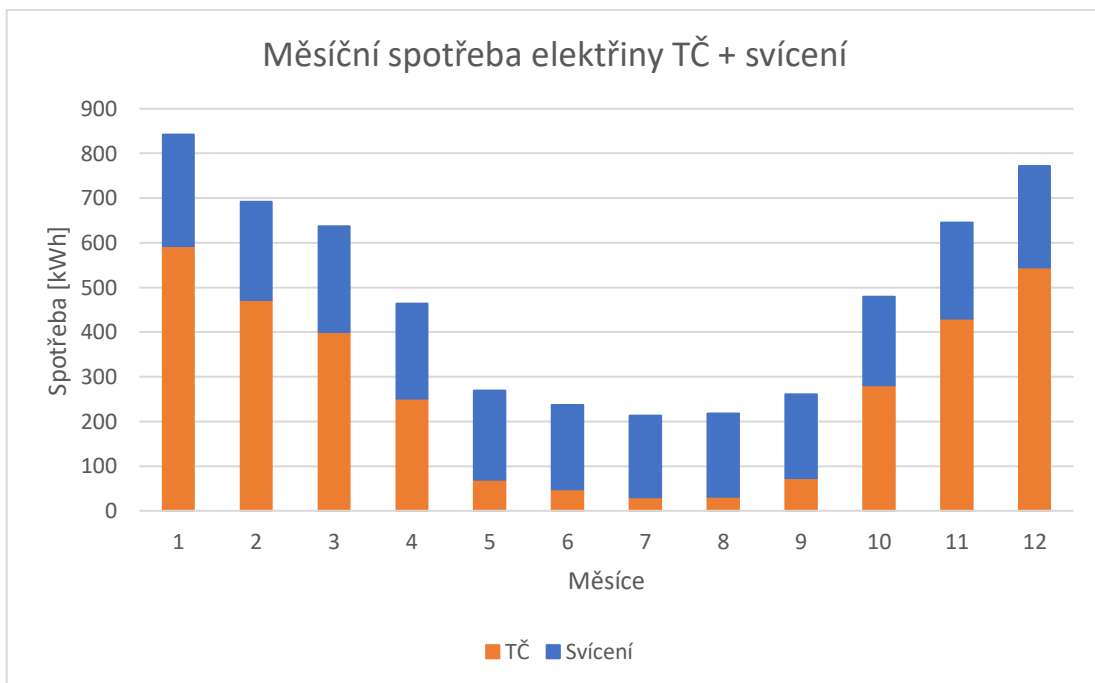


Obr. 9 Měsíční spotřeba elektřiny svícení

Fotovoltaický systém navrhuji pouze pro tepelné čerpadlo, proto jsem ke spotřebě elektřiny pro provoz domácnosti přičítel i elektrickou energii na provoz tepelného čerpadla (Obr. 10). Součet těchto dvou hodnot jsem zanesl do grafu (Obr. 11).



Obr. 10 Měsíční spotřeba elektřiny tepelného čerpadla

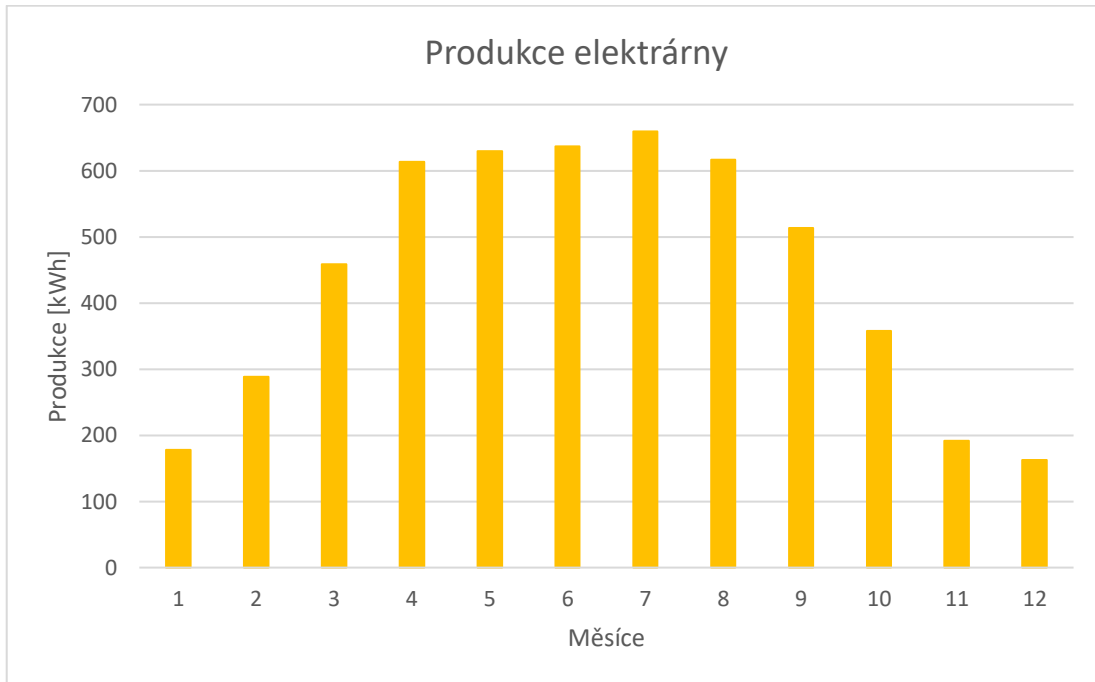


Obr. 11 Měsíční spotřeba elektřiny TČ + svícení

Celková roční potřeba elektřiny pro domácnost je 2500 kWh/a. V případě řešení s tepelným čerpadlem je pak celková roční potřeba elektrické energie 5200 kWh/a.

8.1.2. Volba výkonu fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaickou elektrárnu navrhuji tak, aby pokryla spotřebu alespoň od května do září. K volbě výkonu jsem použil webovou aplikaci PVGIS, která počítá horizont, sluneční svit, ztráty atd. V aplikaci jsem zvolil instalovaný výkon elektrárny 5kWp se sklonem 35 ° a orientací na jih. Účinnost celého systému jsem zvolil 14 %. Vypočítané měsíční produkce elektrárny jsou uvedeny v grafu (Obr. 12). [19]

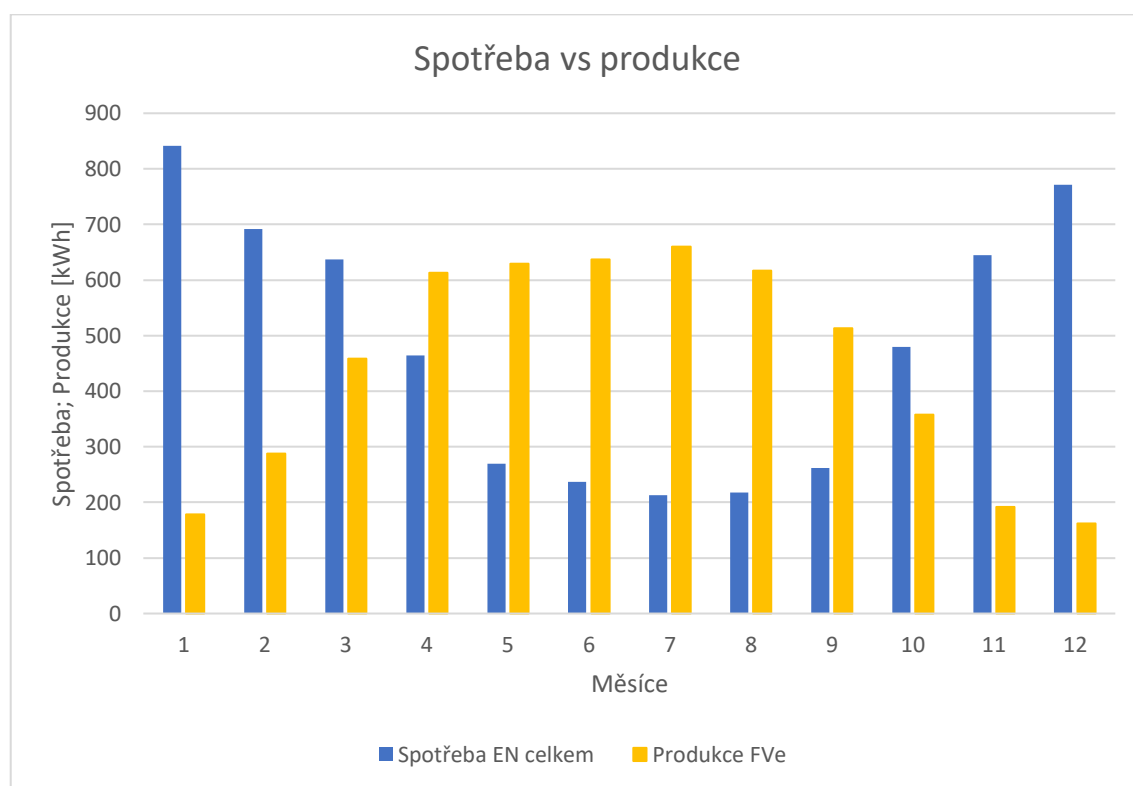


Obr. 12 Měsíční produkce elektrárny z fotovoltaické elektrárny

Na základě neformální poptávky a doporučení firmy Woltair jsem zvolil bateriové úložiště o kapacitě 10,65 kWh. Tyto hodnoty jsem zpětně zadal do aplikace k získání dat o využitelnosti elektrické energie z elektrárny. Tato data lze vyčíst z tabulky (Tab. 16). Pro lepší čitelnost jsem data opět zanesl do grafu (Obr. 13). [20]

Tab. 16 Využitelnost vyprodukované energie z fotovoltaické elektrárny

Měsíc	Spotřeba celkem	Produkce elektrárny	Využitá energie
[měsíc]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Leden	842	178,3	143,69
Únor	692	288,19	212,35
Březen	637	458,59	292,76
Duben	464	613,18	320
Květen	269	629,77	260,77
Červen	237	636,98	235,53
Červenec	213	659,78	211,89
Srpen	218	616,94	215,67
Září	261	513,56	232,38
Říjen	479	357,69	216,75
Listopad	645	191,34	138,03
Prosinec	771	162,31	122,7
Celkem	5727	5307	2602,5



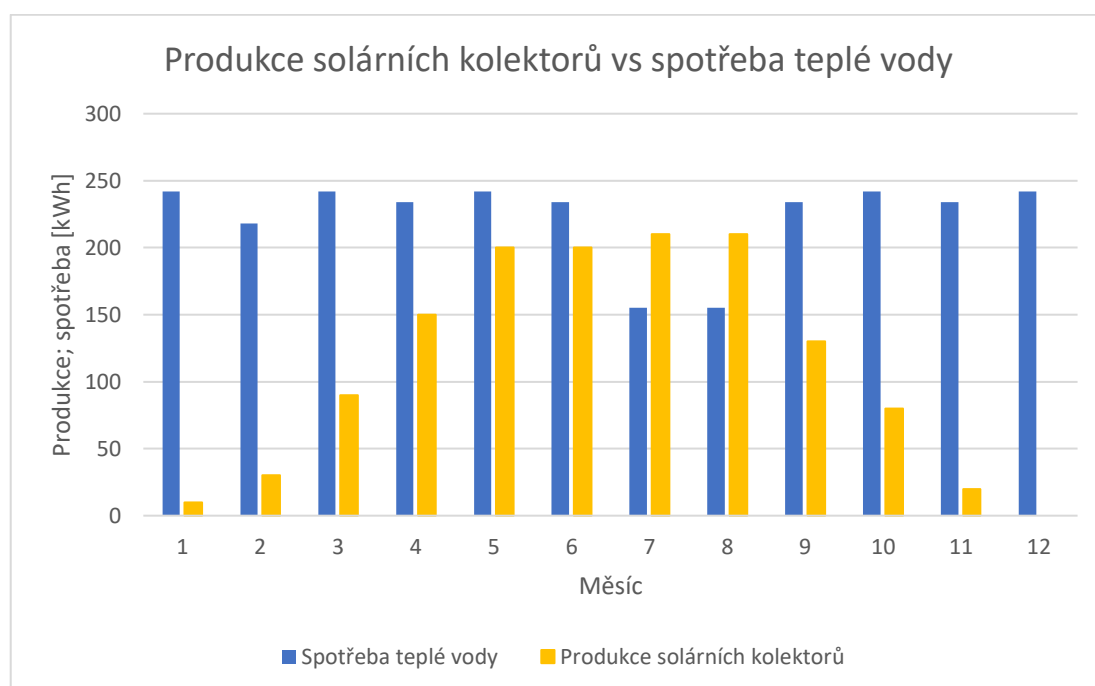
Obr. 13 Porovnání spotřeby a produkce TČ a FVe

Při této kombinaci komponentů fotovoltaické elektrárny je pokryta spotřeba elektrické energie domácnosti od dubna do září. Z tabulky (Tab. 16) lze vyčíst, že ani v letních měsících, kdy produkce elektrárny překračuje i více než dvojnásobně spotřebu, není všechna vyprodukovaná elektřina využita. To je zapříčiněno tím, že největší spotřeba

elektřiny bývá právě v noci, kdy je produkce elektrárny prakticky nulová. Veškeré přebytky elektřiny jsou odesílány zpět do sítě a elektřinu lze využít v měsících, kdy výroba FVe nepokrývá spotřebu. Celkem se ročně jedná přibližně o 2700 kWh, což by odpovídalo roční úspoře 15 500 Kč při výkupní ceně 5,75 Kč/kWh. Od této hodnoty lze poté odečíst cenu samotné elektřiny a počítat jen se stálými a distribučními poplatky.

8.2. Návrh solárních kolektorů

Pro návrh solárních kolektorů jsem využil aplikaci od doc. Ing. Tomáše Matušky, Ph.D. Výpočet je obdobný jako u fotovoltaické elektrárny. Pro tříčlennou domácnost jsem zvolil dva kolektory KPS 11 (SVT 22051) od firmy Regulus. Tato sestava dokáže pokrýt spotřebu teplé vody v měsíci červenec a srpen. Z hodnot potřeby teplé vody a produkce energie solárními kolektory jsem vytvořil graf (Obr. 14). Kolektory navrhuji využít pouze pro ohřev teplé vody a pouze pro varianty s plynovým kotlem či kotlem na tuhá paliva. [21], [22]



Obr. 14 Produkce vs spotřeba solární kolektory

9. Ekonomická analýza

Pro výběr zdroje tepla nám musí být známy pořizovací náklady jednotlivých zdrojů a také jejich provozní náklady. Z těchto dat bude poté možné sestavit tabulku či graf, ze kterého stanovíme, jaká varianta je nejdražší na pořízení, která varianta bude mít nejlevnější provozní náklady, a z průsečíků těchto křivek zjistíme návratnosti jednotlivých variant.

9.1. Ceny energií

U všech cen energií je důležité počítat s inflací. Vzhledem k aktuální situaci české ekonomiky počítám s meziroční inflací 6 %, a to u všech energií.

9.1.1. Cena elektřiny

Elektřina pohání sice jen tepelné čerpadlo, ale vzhledem k rozdílným cenám tarifů pro tepelná čerpadla a ostatní zdroje tepla je potřeba zjistit cenu všech tarifů vyskytujících se v tomto projektu. Vzhledem k neustálému vývoji cen na trhu s touto komoditou kalkulují s ceníkem od společnosti ČEZ, platný od 1. 1. 2023. Porovnávám tři různé tarify, a to tarif D02d, který je využit u kotle na plyn a kotle na tuhá paliva. S tarifem D56d počítám u tepelného čerpadla bez fotovoltaické elektrárny a na závěr kalkulují se speciálním tarifem D56d pro tepelné čerpadlo s fotovoltaickou elektrárnou.

V ceně všech tarifů je zahrnut poplatek za elektroměr, za distribuci, za jistič a všechny ostatní poplatky. U tarifu pro fotovoltaickou elektrárnu je zvlášť uvedena i samotná cena za elektřinu (5,75 Kč/kWh), se kterou je počítáno u slevy z přetoků do distribuční sítě.

Všechny ceny elektřiny jsem vložil do tabulky (Tab. 17). [12], [23]

Tab. 17 Srovnání cen elektřiny pro jednotlivé tarify

Typ	D02D	D56D	D56DSOL
Elektřina včetně daně a poplatků [Kč/kWh]	8.171	6.598	6.295
Roční poplatky [Kč/rok]	4783	9488	9851

9.1.2. Cena plynu

V době, kdy se Česká republika snaží odpoutat od závislosti na ruském zemním plynu, vzniká otázka, jaká bude situace v případě jeho nedostatku? Vývoj situace nám ukazuje, že Česká republika, respektive distributoři jsou schopni zabezpečit dodávky zemního plynu, případně jeho alternativy (břidlicový plyn) od jiných spolehlivých dodavatelů. Podobně jako u elektrické energie, tak i u zemního plynu se současná situace promítla do aktuálních cen. Cenu plynu jsem zjistil na stránkách společnosti ČEZ. [24]

Tab. 18 Cena plynu

Typ	V předpokládané spotřebě od 7,56 do 15 MWh/a
Plyn včetně daně a poplatků [Kč/kWh]	3,304
Roční poplatky [Kč/rok]	3511

9.1.3. Cena dřeva a pelet

Dřevo a pelety jsou ze tří variant tohoto projektu jednoznačně tím nejlevnějším zdrojem energie. Stanovení ceny dřeva je komplikovanější v případě samotěby nebo nákupu celých klád. Proto při výpočtu vycházím z předpokladu, že uživatel si bude kupovat již našťípané a vysušené dříví. Dle vzorce (36) jsem vypočítal, že domácnost bude potřebovat každý rok cca 9,5 prms suchého šťípaného dříví. To dle informací z webové stránky SrovnejDřevo.cz odpovídá v roce 2023 a dané lokalitě ceně 1 739 Kč/prms včetně dopravy. Cena za kWh u smrkového suchého dřeva tedy vychází na 1,5 Kč /kWh. [25]

$$V_{\text{dřevo}} = \frac{Q_{H,nd}}{H_{U,\text{dřevo}} \cdot \rho \cdot k \cdot n_k \cdot n_o \cdot n_r} \quad [\text{prms}] \quad (36)$$

Kde

$Q_{H,nd}$	Celková potřeba tepla, viz vzorec (27)	[kWh]
$H_{U,\text{dřevo}}$	Výhřevnost dřeva (pro vysušené smrkové dřevo = 4,02 kWh/kg)	[kWh/kg]
ρ	Hustota dřeva (Pro vysušené smrkové dřevo = 460 kg/m ³)	[kg/m ³]
k	Koeficient pro přepočet m ³ na prms (je roven 0,64)	[-]
n_k	Účinnost kotle (v mém případě rovna 0,9)	[-]
n_o	Přirážka na obsluhu kotle (volím 0,9)	[-]
n_r	Účinnost rozvodů (v mém případě rovno 0,98)	[-]

U pelet je výpočet podstatně jednodušší. Ze vztahu (37) jsem určil, že bude každý rok potřeba zakoupit cca 2400 kg pelet. Společnost Ekopaliva Zdeněk Kulda nabízí sypané pelety v tomto množství za cenu 8,2 Kč/Kg + doprava 1800 Kč. To odpovídá ceně 1,7 Kč/kWh + doprava.

$$m_{\text{pelety}} = \frac{Q_{H,nd}}{H_{U,\text{pelety}} \cdot n_k \cdot n_o \cdot n_r} \quad [\text{kg}] \quad (37)$$

Kde

$Q_{H,nd}$	Celková potřeba tepla, viz vzorec (27)	[kWh]
$H_{U,\text{pelety}}$	Výhřevnost pelet (dle webu ekopelety je rovna 4,81 kWh/kg)	[kWh/kg]
n_k	Účinnost kotle (v mém případě rovna 0,9)	[-]

n_o	Přirážka na obsluhu kotle (volím 0,9)	[-]
n_r	Účinnost rozvodů (v mém případě rovno 0,98)	[-]

9.2. Pořizovací ceny jednotlivých zdrojů tepla

9.2.1. Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo se skládá ze samotného čerpadla, sestavy pro něj (v té je zahrnuta akumulční nádrž s nádrží na teplou vodu), řídicí jednotky, expanzní nádrže a rozvodů, které neuvažuji, protože jsou pro všechny zdroje tepla stejné. Na tepelné čerpadlo lze dle webu Nová zelená úsporám získat dotaci až ve výši 100 000 Kč, a to za předpokladu, že se vyměňuje starý neekologický kotel, což v tomto případě představuje čtyři pokojová kamna a jeden elektrický přímotop. Cena samotného čerpadla je 152 339 Kč, cena sestavy je 145 079. Cena montáže společně s potřebným materiálem na propojení čerpadla je uvažována 100 000 Kč.

Výsledná pořizovací cena tepelného čerpadla s dotací je 297 418 Kč. [13], [14], [26]

9.2.2. Tepelné čerpadlo a fotovoltaická elektrárna

Pro fotovoltaickou elektrárnu jsem nechal sestavit nabídku z webu Woltair. Na základě mých požadavků mi byla vytvořena nabídka na 10 panelů o celkovém výkonu 5 kWp, s bateriovým úložištěm o kapacitě 10,65 kWh. Celkovou cenu fotovoltaického systému uvádí web jako 401 164 Kč.

Na tuto instalaci lze uvažovat dotaci o výši 174 419 Kč.

Celkové náklady na tepelné čerpadlo s fotovoltaickou elektrárnou jsou 524 418 Kč. [20]

9.2.3. Plynový kotel

Sestava plynového kotle se skládá z kotle, nádrže na teplou vodu, regulační jednotky a propojení. Kotel pořizuji v sestavě z webu Topení Levně za 43 908 Kč. Cenu regulační jednotky a propojení uvažuji 25 000 Kč (orientační cena z webu Kotel na klíč).

Dotace na plynový kotel byla zrušena, tudíž s ní nelze kalkulovat.

Výsledná pořizovací cena plynového kotle je 68 908 Kč. [26], [27], [28]

9.2.4. Plynový kotel se solárními kolektory

Solární kolektory jsem vybíral od firmy Regulus. Na žádost mi byla vytvořena orientační individuální nabídka, která se skládá ze dvou kolektorů KPS11, jejich propojení, expanzní nádoby, solární kapaliny, třicestného ventilu, ventilu TVMix a montáže systému.

Cena materiálu včetně kolektorů je 76 230 Kč, cena montáže je pak 18 150 Kč.

Dotace na solární kolektory může dosáhnout až 50 000 Kč.

Výsledná cena plynového kotle s kolektory je 113 288 Kč.

9.2.5. Kotel na dřevo

Kotel na dřevo je poněkud složitější a v ceně je zahrnut kotel, regulační sada, akumulční nádrž, bojler a montáž kotle se zapojením. Kotel stojí 71 400 Kč, regulační sada 20 100 Kč, akumulční nádrž s bojlerem 42 500 Kč a montáž s materiály 58 900 Kč.

Dotace na kotel na dřevo může dosáhnout až 80 000 Kč.

Výsledná cena kotle na dřevo s dotací je 112 900 Kč. [26], [29]

9.2.6. Kotel na dřevo se solárními kolektory

Jelikož je cena solárních kolektorů stejná jako u plynového kotle, je výsledná cena pouze součtem ceny kolektorů a kotle na dřevo, a to 157 280 Kč

9.2.7. Kotel na pelety

Kotel na pelety se skládá ze stejných komponent jako kotel na dřevo s tím rozdílem, že k sestavě přibude hořák na pelety, sada pro zabudování hořáku, šnekový dopravník a nádrž na pelety.

Dotace na tento kotel může dosáhnout až 100 000 Kč.

Výsledná cena kotle na pelety je tedy i s využitím dotace 150 400 Kč. [29]

9.2.8. Kotel na pelety se solárními kolektory

Pro kombinaci pelet a solárních kolektorů platí to samé jako u kotle na dřevo. Výsledná cena je 194 780 Kč.

9.2.9. Souhrn pořizovacích nákladů

V tabulce (Tab. 19) jsou shrnuty všechny typy a kombinace kotlů a jejich pořizovacích náklady.

Tab. 19 Pořizovací náklady jednotlivých zdrojů tepla

Typ zdroje tepla	Cena včetně DPH
Tepelné čerpadlo	297 418 Kč
Tepelné čerpadlo + FVe	524 418 Kč
Plynový kotel	68 908 Kč
Plynový kotel + Solární kolektory	113 288 Kč
Kotel na dřevo	112 900 Kč
Kotel na dřevo + Solární kolektory	150 400 Kč
Kotel na pelety	157 280 Kč
Kotel na pelety + Solární kolektory	194 780 Kč

9.3. Náklady na údržbu

Jedná se o výdaje na revizi kotle nebo povinnou údržbu spalinové cesty formou certifikovaného kominíka. Tyto náklady jsou pouze orientační a vztahuje se na ně i inflace. Pro fotovoltaický systém a solární kolektory uvažují kompletní bezúdržbovost. Náklady na opravy po zásahu nepříznivých povětrnostních vlivů nejsou zvažovány.

9.3.1. Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadla jsou sice často nazývána jako bezúdržbová, z hlediska správné funkčnosti a spolehlivosti systému však budu předpokládat, že uživatel alespoň jednou za tři roky nechá provést revizi a servis. Cena takové revize se pohybuje okolo 1800 Kč. [30]

9.3.2. Plynový kotel

Revizi plynového je doporučeno provádět jednou ročně. Uvažuji však, že uživatel není tak zodpovědný a revize bude probíhat jednou za tři roky. Cena takovéto kontroly se pohybuje okolo 2 000 Kč. [31]

9.3.3. Kotel na tuhá paliva

U kotlů na tuhá paliva by se revize komínu a případně i samotného zařízení neměla zanedbávat a je přímo povinná. Budu proto uvažovat, že kominík bude objednan každý rok. Cenu práce kominíka uvažuji 1 000 Kč.

9.4. Celkové vyhodnocení nákladů

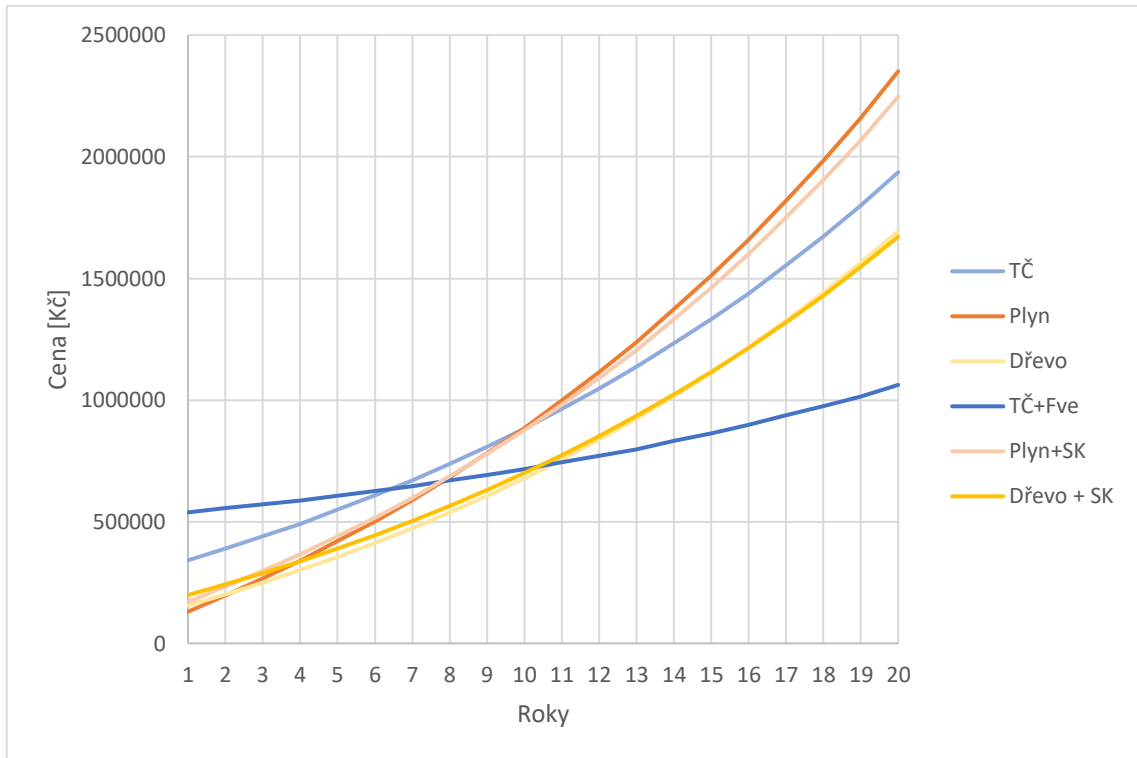
Výsledkem celé této studie má být zhodnocení pořizovacích a provozních nákladů jednotlivých zdrojů tepla. Všechny tyto hodnoty jsou shrnuty v tabulce (Tab. 20). Ta je rozdělena podle typů zdrojů vytápění a po dobu 20 let je pro každý rok napsaná celková cena v Kč (součet cen energií, pořizovací ceny a provozních nákladů).

Zeleně zvýrazněná políčka značí, že v daném roce vychází z ekonomického hlediska nejlépe daný typ zdroje tepla.

Tab. 20 Srovnání celkových nákladů jednotlivých zdrojů tepla meziročně

rok	TČ	TČ + Fve	Plyn	Plyn + SK	Dřevo	Dřevo + SK	Pelety	Pelety + SK
1	341326	538390	130159	170508	155897	198447	197436	239742
2	389777	555109	197418	233494	201475	242085	247293	287401
3	439112	570808	266240	297787	249787	288341	300143	338639
4	491408	587449	339191	365938	300997	337372	356163	393741
5	549113	607362	419297	440955	355281	389345	415544	453019
6	607873	626060	501266	517529	412821	444436	478489	516811
7	670157	645880	588152	598698	473814	502833	545210	585482
8	738886	669595	683560	688044	538466	564734	615934	659432
9	808869	691865	781185	779245	606997	630348	690902	739091
10	883051	715471	884668	875918	679641	699900	770368	824930
11	964907	743717	998300	982331	756643	773624	854601	917461
12	1048258	770240	1114574	1090953	838265	851773	943889	1017238
13	1136610	798355	1237824	1206092	924784	934610	1038534	1124866
14	1234103	831996	1373161	1332832	1016494	1022417	1138858	1241002
15	1333375	863586	1511645	1462202	1113707	1115492	1245201	1366362
16	1438604	897072	1658437	1599335	1216753	1214153	1357925	1501724
17	1554719	937139	1819627	1750284	1325982	1318732	1477412	1647938
18	1672954	974763	1984563	1904366	1441764	1429587	1604068	1805927
19	1798283	1014645	2159395	2067693	1564494	1547093	1738324	1976697
20	1936578	1062365	2351374	2247476	1694587	1671649	1880635	2161347

Tyto hodnoty jsem také vynesl do grafu (Obr. 15). Pro lepší čitelnost do něj nezahrnuji kotel na pelety, protože se jedná pouze o dražší alternativu kotle na dřevo.



Obr. 15 Srovnání celkových nákladů jednotlivých zdrojů tepla meziročně

Závěr

Pro rodinný dům, který obývají tři osoby, bylo navrženo základní zateplení a systém nuceného větrání. Po optimalizaci tepelných ztrát se energetická náročnost budovy na vytápění dostala na hodnotu 41,65 kWh/m²·a.

Na základě vypočtených tepelných ztrát objektu, které při výpočtové vnější teplotě -12 °C činí celkem 5800 W, byla vypočtena celková roční potřeba tepla na vytápění 6 900 kWh/a. Potřeba tepla pro ohřev teplé vody je 2000 kWh/a.

Zjištěné ceny energií jsou orientační a v budoucích letech se mohou vzhledem k současné ekonomické situaci v České republice i Evropské unii výrazně měnit. Ve výpočtech jsem byl poměrně optimistický a zvolil jsem meziroční růst inflace 6 %, ačkoliv v roce 2022 dosahovala hodnot přes 15 %. Věřím, že se v následujících letech inflace zmírní. Všechny ceny energií jsou platné k 1. 6. 2023.

Výsledkem této studie je srovnání nákladů a návratností osmi různých kombinací zdrojů tepla. Z výsledků je patrné, že z hlediska pořizovací ceny (68 908 Kč) je nejvýhodnějším řešením kondenzační plynový kotel. Po třech letech provozu ho ovšem z hlediska provozních nákladů překoná kotel na dřevo, který má přes svoji nižší účinnost výrazně nižší provozní náklady (cca 1,89 Kč/kWh oproti 3,66 Kč/kWh). Jako nejlepší volba vychází kombinace tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou, jejíž návratnost je 11 let. Tato kombinace má sice nejvyšší pořizovací náklady (524 418 Kč), ale provozní náklady jsou výrazně nižší v porovnání s ostatními zdroji.

Při výběru zdroje tepla je mimo ekonomickou analýzu také důležité zvážit spoustu dalších faktorů. Například tepelné čerpadlo produkuje nepříjemný hluk a v hustě zastavěných oblastech by to mohl být problém. Pro instalaci fotovoltaických panelů je nutné mít povolení k „pouštění“ přetoků zpět do distribuční sítě. Návratnost panelů také silně ovlivňuje cena elektřiny. Kotel na dřevo zase vyžaduje hodně práce se uložením dřeva a obsluhou. Také je velmi náročný na prostor. Problém s nedostatkem místa může vyřešit plynový kotel, který se vejde i do malé místnosti.

Obecně lze o tomto projektu konstatovat, že ať se pořídí jakýkoliv zdroj tepla, vždy se vyplatí k němu pořídít i systém pro využití obnovitelných zdrojů energie.

Reference

- [1] ČESKO, „Vyhláška č. 264/2020 Sb., Vyhláška o energetické náročnosti budov,“ 1 9 2020. [Online]. Available: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-264>.
- [2] ČSN EN ISO 6946: *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda*, © Český normalizační institut, 2008.
- [3] R. VAVŘIČKA, „Výpočet tepelných ztrát,“ 2019. [Online]. Available: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty_New_2019.pdf.
- [4] ČSN EN 12831-1: *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu*, © Český normalizační institut, 2018.
- [5] V. ZMRHAL, „Tepelná ztráta větráním podle ČSN EN 12831-1,“ [Online]. Available: http://www.users.fs.cvut.cz/~zmrhavl/Oborovy_projekt_1/Oborovy%20projekt%20I_V_ZT_2.pdf. [Přístup získán 20 2 2023].
- [6] TZBinfo, „Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit,“ [Online]. Available: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>. [Přístup získán 31 5 2023].
- [7] 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*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [8] R. VAVŘIČKA, „Výpočet potřeby tepla a paliva,“ 2017. [Online]. Available: http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf.
- [9] ČSN 73 0331-1 - *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (2018).
- [10] CHMI, „Český hydrometeorologický ústav,“ 14 2 2023. [Online]. Available: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>. [Přístup získán 30 5 2023].
- [11] ČSN EN ISO 13 790 - *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví 2009.
- [12] ČEZ, „Ceník elektřiny pro domácnosti, Elektřina bez závazku,“ 2023. [Online]. Available: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektřina-2023/moo/moo_ee_bez_zavazku_cez_01_01_23.pdf.
- [13] „REGULUS s.r.o.; Tepelné čerpadlo RTC 13e (SVT 32256),“ 2023. [Online]. Available: <https://www.regulus.cz/cz/tepelne-cerpadlo-rtc-13e-svt-32256>.
- [14] „REGULUS s.r.o.; Akční nabídka Sestava HSK 350 BOX,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.regulus.cz/cz/akcni-nabidka-sestava-hsk-350-box>.

- [15] „Bosch Temotechnika s.r.o.; Nástěnný kondenzační kotel Vondens 2300i W,“ 2018. [Online]. Available: https://www.junkersplus.cz/fotky13986/fotov/_ps_638GC2300iW_navod.pdf.
- [16] „ATMOS; Zplyňovací kotle s úpravou pro hořák na pelety,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.atmos.eu/produkt/zplynovaci-kotle-s-upravou-pro-horak-na-pelety/>.
- [17] „Energetický regulační úřad, Oddělení statistiky a sledování kvality; Měsíční spotřeba elektřiny 2022,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.eru.cz/mesicni-spotreba-elektriny-2022>.
- [18] „ČEZ; Jaká je průměrná spotřeba elektřiny u rodinného domu?,“ 2022. [Online]. Available: <https://www.cez.cz/cs/clanky/elektrina/jaka-je-prumerna-spotreba-elektriny-u-rodinneho-domu-174046>.
- [19] „European Commission, Directorate-General for Communication; PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM,“ 2023. [Online]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/.
- [20] „Woltair s.r.o.; Nabídka fotovoltaické elektrárny na základě Vašich údajů,“ 2023. [Online]. Available: https://www.woltair.cz/fotovoltaika/nabidka?leadUId=12a8895a-b65c-4f3b-8537-94776c79114c&utm_source=lead&utm_medium=email&utm_campaign=cenova-nabidka&tab=0.
- [21] „Matuška, T., Šourek, B.: Revize TNI 73 0302 pro zjednodušené hodnocení solárních tepelných soustav, Větrání, vytápění, instalace č. 4, 2014. STP 2014,“ 2023. [Online]. Available: http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=158.
- [22] „Regulus s.r.o.; Sluneční kolektor KPS 11 - SVT 22051,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-kps11-svt-22051>.
- [23] „ČEZ; Ceník elektřiny pro domácnosti 2023, Elektřina pro soláry,“ [Online]. Available: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2023/moo/moo_ee_pro_solar_16.4.2023_cez.pdf.
- [24] „ČEZ; Ceník plynu, Plyn bez závazku,“ 2023. [Online]. Available: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/plyn-2023/plyn_bez_zavazku_gasnet_01_01_23.pdf.
- [25] „SrovnejDřevo; Cena palivového dřeva: Třemošná,“ 2023. [Online]. Available: <https://srovnejdrevo.cz/cena-palivove-drevo-tremosna/>.
- [26] „Nová Zelená Úsporám; Dotační kalkulačka pro rodinné domy,“ 2023. [Online]. Available: <https://novazelenausporam.cz/dotacni-kalkulacka>.
- [27] „Kotel na klíč; Montáž kotlů,“ 2023. [Online]. Available: https://www.kotelnaklic.cz/montaz_kotlu/#K1.
- [28] „Topení levně; Bosch Condens GC2300iW 15 P + WST 120-50 C Sestava kotlová,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.topenilevne.cz/bosch-condens-gc2300iw-15-p->

wst-120-5o-c-sestava-kotlova-
p89982/?gclid=Cj0KCQiA4uCcBhDdARIsAH5jyUmE3ip_kDd_kgb-
En1XCNGgpHb57Iv0r7Fo-t3D8oopFaJ1lkcpHBoaAsi2EALw_wcB#gallery.

- [29] „ATMOS; Ceníky pro Českou republiku,“ 2023. [Online]. Available: <https://www.atmos.eu/cenik/>.
- [30] „Richard Hladík; Evolty.cz, Údržba a servis tepelného čerpadla,“ 2023. [Online]. Available: <https://evolty.cz/tc/udrzba-a-servis-tepelneho-čerpadla/>.
- [31] „VIESSMANN; Odborné prohlídky a revize plynových kotlů,“ [Online]. Available: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/vytapeni-plynem/revize-plynovych-kotlu.html>.

Seznam obrázků

Obr. 1 Půdorys objektu.....	13
Obr. 2 Poměr zasklení stavby	16
Obr. 3 Potřeba tepla na vytápění	34
Obr. 4 Potřeba tepla pro ohřev TV	35
Obr. 5 Srovnání potřeb tepla	35
Obr. 6 Tepelné čerpadlo RTC 13e	38
Obr. 7 Kondenzační plynový kotel Bosch Condens GC 2300 iW	39
Obr. 8 Zplyňovací kotel Atmos DC18S s úpravou pro hořák	40
Obr. 9 Měsíční spotřeba elektřiny svícení	41
Obr. 10 Měsíční spotřeba elektřiny tepelného čerpadla	42
Obr. 11 Měsíční spotřeba elektřiny TČ + svícení	42
Obr. 12 Měsíční produkce elektřiny z fotovoltaické elektrárny	43
Obr. 13 Porovnání spotřeby a produkce TČ a FVe	44
Obr. 14 Produkce vs spotřeba solární kolektory	45
Obr. 15 Srovnání celkových nákladů jednotlivých zdrojů tepla meziročně	52

Seznam tabulek

Tab. 1 Tepelný odpor při přestupu tepla	14
Tab. 2 Skladba obvodových stěn	15
Tab. 3 Skladba vnitřních stěn	15
Tab. 4 Skladba střechy	15
Tab. 5 Skladba podlahy	16
Tab. 6 Otvory	16
Tab. 7 Součinitelé prostupu tepla podlah.....	18
Tab. 8 Součinitel prostupu tepla střechou.....	18
Tab. 9 Součinitelé prostupu tepla svislými konstrukcemi.....	18
Tab. 10 Návrh nuceného větrání.....	19
Tab. 11 Tepelné ztráty	25
Tab. 12 Celkové měsíční solární záření.....	26
Tab. 13 Průměrné denní teploty.....	31
Tab. 14 Bilance tepla.....	36
Tab. 15 Topný faktor	38
Tab. 16 Využitelnost vyprodukované energie z fotovoltaické elektrárny.....	44
Tab. 17 Srovnání cen elektřiny pro jednotlivé tarify	46
Tab. 18 Cena plynu	46
Tab. 19 Pořizovací náklady jednotlivých zdrojů tepla.....	49
Tab. 20 Srovnání celkových nákladů jednotlivých zdrojů tepla meziročně	51