ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VOJTĚCH PROCHÁZKA 5 – BS – 2021

SOUHRN

Tato bakalářská práce se zabývá studií vytápění dvou rodinných domů. Oba domy jsou nepodsklepené, jsou situované v Pardubicích a mají splňovat alespoň nízkoenergetický standard náročnosti budovy na vytápění. První typ rodinného domu má jedno podlaží. Druhý typ rodinného domu je dvoupodlažní. Úkolem této práce je sestavit základní okrajové podmínky metody výpočtu potřeby tepla k dosažení minimálních hodnot energetické náročnosti budovy na vytápění. Stanovit energetickou náročnost na přípravu teplé vody. Navrhnout jako zdroj tepla plynový kondenzační kotel a k němu alespoň dvě varianty za použití alternativních zdrojů energie. Závěrem zpracovat ekonomickou analýzu alternativních zdrojů energie v porovnání s plynovým kondenzačním kotlem.

SUMMARY

This thesis deals with the study of heating of two family houses. Both houses have no basement, are located in Pardubice and have to meet at least the low energy standard of the building for heating. The first type of family house has one floor. The second type of family house has two floors. The assignment of this work is to compile the basic boundary conditions of the method of calculating the heat demand to achieve the minimum values of energy performance of the building for heating. Determine the energy intensity of domestic hot water preparation. Design a gas condensing boiler and at least two variants of it as a heat source using alternative energy sources. Finally, to process an economic analysis of alternative energy sources in comparison with a gas condensing boiler.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Vytápění rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavřičky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené v seznamu použité literatury na konci této bakalářské práce.

V Praze dne 02.07.2021 Vojtěch Procházka

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Vavřičkovi, Ph.D. za veškeré odborné konzultace a vedení při zpracování této práce.

OBSAH

ÚVOD 9
1 CHARAKTERISTIKA BUDOV 10
1.1 Obecná charakteristika 10
1.2 Charakteristika konstrukcí 12
1.3 Charakteristika výplní otvorů 13
2 TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY 14
2.1 Okrajové podmínky výpočtu 14
2.2 Tepelné ztráty prostupem 15
2.3 Tepelné ztráty větráním 16
3 TEPELNÉ ZISKY BUDOVY 17
3.1 Okrajové podmínky výpočtu 17
3.2 Vnitřní tepelné zisky 17
3.3 Vnější tepelné zisky 17
4 POTŘEBA TEPLA 19
4.1 Využitelnost tepelných zisků 19
4.2 Potřeba tepla na vytápění 20
4.3 Potřeba tepla na přípravu teplé vody 21
5 NÁVRH ZDROJE TEPLA 22
5.1 Návrh plynového kondenzačního kotle 22
5.2 Návrh tepelného čerpadla vzduch / voda 23
6 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY 25
6.1 Stanovení elektrického příkonu 25
6.2 Výpočet minimálního výkonu elektrárny 26
6.3 Návrh elektrárny 26
7 EKONOMICKÁ ANALÝZA 28
7.1 Investiční náklady 28
7.2 Provozní náklady 28
7.3 Návratnost investice 30
ZÁVĚR 33
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 34
PŘÍLOHY 36

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Veličina	Jednotka
U	součinitel prostupu tepla stavební konstrukce	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$U_{pas,20}$	doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
ΔU_{TB}	Přirážku pro novostavbu s optimalizovanými tepelnými vazbami	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
λ_{zeminy}	tepelná vodivost přilehlé zeminy	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
h_r	součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně	$[W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_f	tepelný odpor podlahy	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$
P_i	Instalovaný příkon	[kW]
Q_Z	celková tepelná ztráta	[kW]
P_S	Soudobý příkon	[kW]
$E_{sp,měs}$	měsíční spotřeba elektrické energie	[kW]
$\Phi_{z,v}$	Vnitřní tepelné zisky	[kWh]
$\Phi_{r,i}$	sálání vůči obloze	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	[kWh]
Q_{TV}	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
Φ_{sol}	Vnější solární tepelné zisky	[kWh]
$H_{C,i}$	měrný tepelný tok celkový	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do Venkovního prostředí	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ia,k}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do nebo přes, nevytápěné prostory	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{T,ig,k}$	Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	$[W \cdot K^{-1}]$
$H_{V,i}$	Měrný tepelný tok větráním z vytápěného prostoru	$[W \cdot K^{-1}]$
$\Phi_{s,p}$	tepelné zisky na bytovou jednotku	$[W \cdot byt.j.^{-1}]$

$\Phi_{s,o}$	tepelné zisky na osobu	[W·os^{-1}]
P_{FV}	minimální instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny	[kWp]
I_{sol}	intenzita solárního záření	[kWh·m^{-2}]
S	plocha podlahy	[m^2]
A_k	plocha stavební části	[m^2]
A_{sol}	Solární sběrná plocha	[m^2]
$A_{w,pohledová}$	pohledová plocha průhledné stavební konstrukce	[m^2]
$A_{c,pohledová}$	pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce	[m^2]
V_i	vnitřní objem vytápěného prostoru	[m^2]
s_n	tloušťka stěny n-té stavební konstrukce	[m]
B´	charakteristický parametr	[m]
O	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m]
d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
w	celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy	[m]
t_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
t_i	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_k	výpočtová teplota podkroví	[°C]
t_g	výpočtová teplota zeminy pod základovou deskou	[°C]
t_1	teplota studené vody	[°C]
t_2	teplota teplé vody	[°C]
Δt_i	rozdíl mezi vnitřní výpočtovou a venkovní výpočtovou teplotou	[°C]
$\Delta t_{e,r}$	faktor osálání mezi stavebním prvkem a oblohou	[K]
I	intenzita výměny vzduchu v místnosti	[h^{-1}]
n_{min}	minimální intenzita větrání	[h^{-1}],
ρ	hustota vody	[kg·m^{-3}]
ρ_v	hustota vzduchu	[kg·m^{-3}]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J·kg^{-1}·K^{-1}]
c_v	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J·kg^{-1}·K^{-1}]
n_{osob}	počet členů domácnosti	[os.]
V_{2p}	celková potřeba teplé vody	[m^3·den^{-1}]
n_{hod}	počet hodin v měsíci	[hod.]
$T_{s,svit}$	průměrná měsíční doba slunečního svitu	[hod.]
$F_{sh,gl}$	Korekční činitel stínění	[-]

g_{gl}	Celková propustnost průhlednými prvky	[-]
F_f	Podíl plochy rámu	[-]
$\alpha_{s,c}$	Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	[-]
γ_H	bilanční poměr pro režim vytápění	[-]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
a_H	bezrozměrný parametr, závislý na časové konstantě budovy	[-]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušované vytápění, pro RD = 1	[-]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
β	Soudobost	[-]
COP	topný faktor tepelného čerpadla	[-]
F_r	faktor osálání mezi stavebním prvkem a oblohou	[-]
F_{sh}	Korekce stínění na externí překážky	[-]
f	korekční činitel zohledňující přítomnost osob v objektu	[-]
η_{ZZT}	Účinnost zpětného získávání tepla	[-]
$f_{i,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{ig,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{GW,k}$	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot, pro ČR = 1,	[-]
LT	Světelný činitel prostupu oken	[-]

ÚVOD

Úkolem této bakalářské práce je najít vhodnou variantu systému dodávky energie pro dva odlišné rodinné domy. Zadání stanovuje jako první zdroj dodávky energie plynový kondenzační kotel. K prvnímu zdroji mám zvolit alespoň dva další alternativní zdroje energie a provést ekonomickou analýzu po dobu jejich životnosti. Jako jeden z hlavních zástupců alternativních zdrojů energie pro rodinné domy považuji tepelné čerpadlo, které využívá skryté teplo ze svého okolí a přenáší ho do vnitřního prostředí skrz teplonosnou látku. Jako další zástupce alternativních zdrojů energie považuji solární systémy, které získávají energii ze slunečního záření a proto bych chtěl tyto zdroje ve své práci využít jako alternativu k standardnímu zdroji na fosilní paliva.

Podle výsledků statistického zjišťování Ministerstva průmyslu a obchodu se zvedá oblíbenost tepelných čerpadel jako zdroje dodávky energie pro rodinné domy. Odhad tohoto šetření ročních dodávek tepelných čerpadel na český trh za rok 2010 byl 5 959 kusů tepelných čerpadel, z toho 4 199 kusů bylo typu vzduch-voda. V roce 2020 byl celkový odhad dodávky 24 124 kusů, z toho 22 615 kusů čerpadel typu vzduch-voda. (1)

Ačkoliv zájem o alternativní zdroje energie roste, plynové kotle si stále udržují prvenství. Za rok 2020 bylo dodáno 85 607 plynových kotlů do ČR. (2)

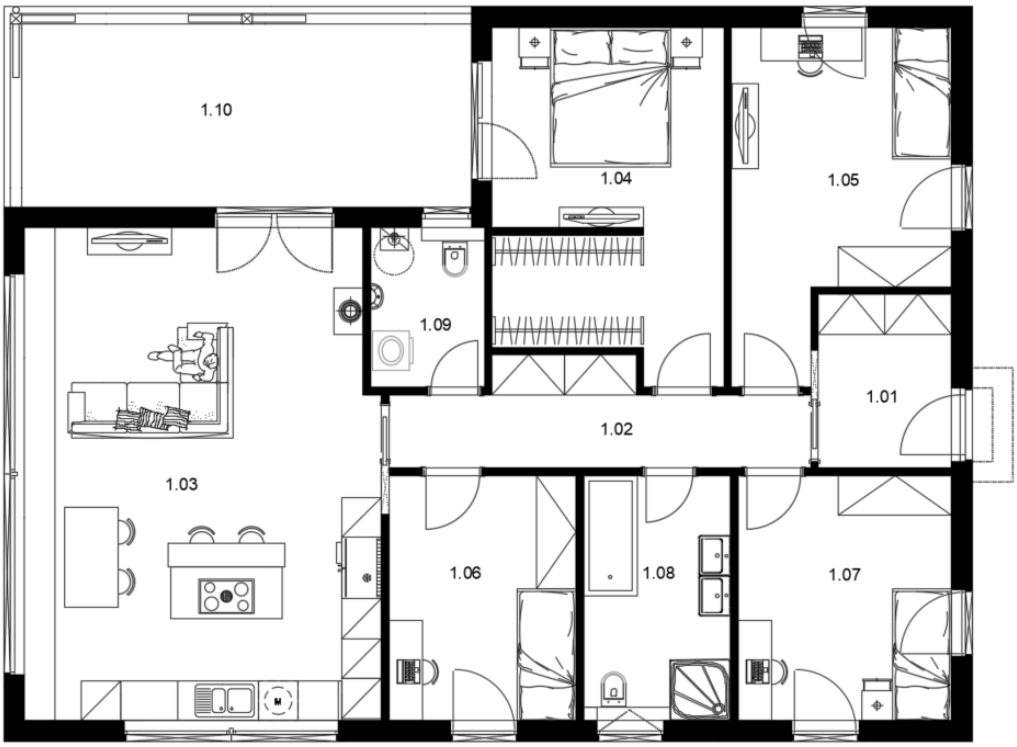
Využívání alternativních zdrojů energie tedy přibývá a pro mě jako pro projektanta TZB je důležité vědět kdy se dají tyto zdroje smysluplně použít a kdy je lepší držet se klasických zdrojů dodávky energie.

1 CHARAKTERISTIKA BUDOV

Obě budovy vybrané k projektu vytápění jsou umístěny v katastrálním území Pardubice. Oba objekty mají přístup k veřejným rozvodům plynovodu a elektrického vedení. Sdílejí stejnou skladbu konstrukcí a počet obyvatel.

1.1 Obecná charakteristika

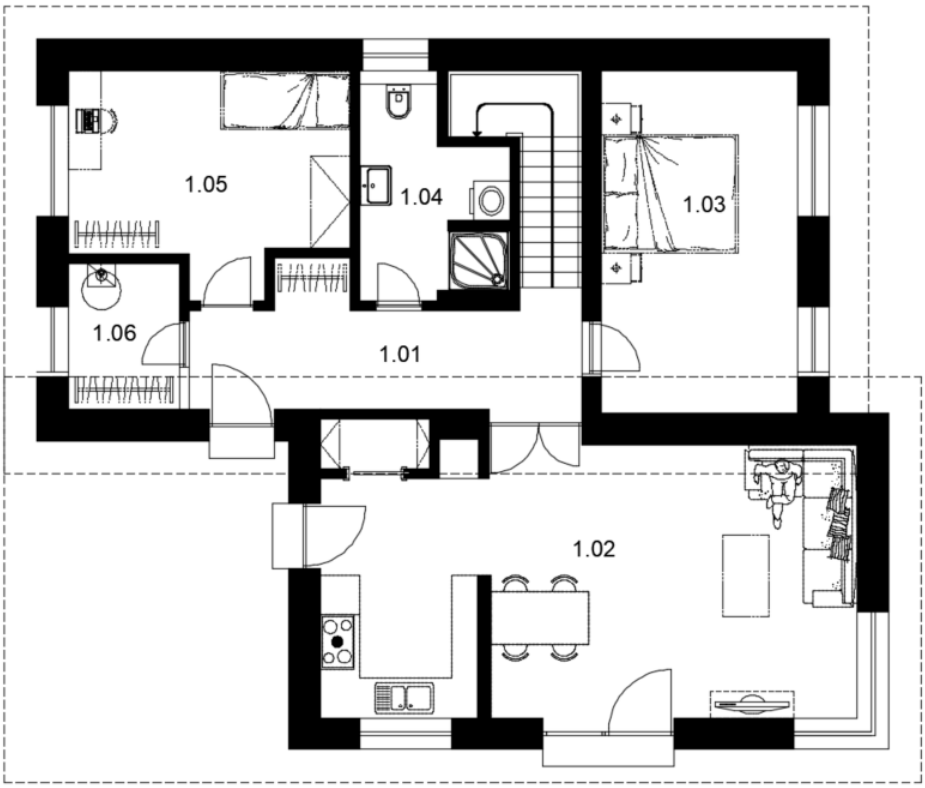
Rodinný dům - typ 1 je jednopodlažní stavba, která bude využívána pětičlennou rodinou. Využitelná plocha objektu je 119,5 m^2. Rodinný dům obsahuje jednu ložnici, tři pokoje, obývací místnost společně s kuchyňským koutem, koupelnu a technickou místnost se záchodovou mísou. Pokoje a koupelna jsou proskleny klasickými okny. Obývací pokoj je prosluněn kombinací francouzského okna a dvou klasických oken. Objekt je nepodsklepen, střecha je sedlového typu se sklonem > 30 °. Pod střechou se nachází neobytný půdní prostor. Dům je situován hlavním vchodem na východ



Obrázek 1 – RD-typ 1: Půdorys 1.NP

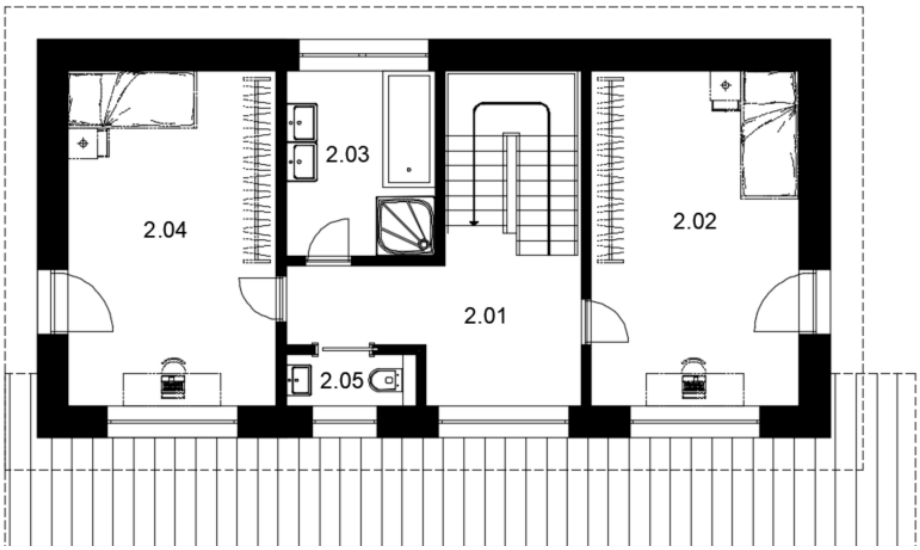
Rodinný dům - typ 2 je dvoupodlažní rodinný dům s užitnou plochou 138,7 m^2. V prvním patře je situována ložnice, koupelna, pokoj, technická místnost a obývací místnost s kuchyní. První podlaží má užitnou plochu 83,6 m^2. Pokoje a koupelna jsou proskleny klasickými okny. Obývací pokoj je prosluněn kombinací francouzského okna

a dvou klasických oken. Objekt je nepodsklepen, částečně zastřešen pultovou střechou se sklonem 12°. Dům je situován hlavním vchodem na jih.



Obrázek 2 RD - typ 2: Půdorys 1.NP

Druhé nadzemní podlaží má užitnou plochu 58m^2. V patře jsou dva pokoje, koupelna a WC. Kromě dvou pokojů, kde je k proslunění použitá kombinace balkonových dveří a klasických oken, jsou všude klasická okna. Zastřešení je stejnou pultovou střechou se sklonem 12° jako tomu bylo u 1.NP.



Obrázek 3 RD - typ 2: Půdorys 2.NP

1.2 Charakteristika konstrukcí

Pro oba typy rodinných domů jsem volil skladbu konstrukcí stejně. Skladbu jsem volil tak, aby měly vyhovovala normovým doporučeným hodnotám součinitele prostupu tepla $U_{pas,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] pro pasivní budovy dle ČSN 73 0540-2:2011. (3)

Výpočet součinitele prostupu tepla neprůsvitných stavebních konstrukcí je podle ČSN EN ISO 6946. (4)

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum R_n + R_{se}}, \qquad [1]$$

Kde

U – součinitel prostupu tepla stavební konstrukce [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

R_{si} – vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla (internal) [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],

R_{se} – vnější tepelný odpor při přestupu tepla (external) [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],

R_n – tepelný odpor n-té stavební konstrukce [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],

sn – tloušťka stěny n-té stavební konstrukce [m],

λn – součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],

Pro výpočet skutečného součinitele prostupu tepla pro konstrukce přilehlé k zemině je nutné přistupovat individuálně po řešených místnostech. Výpočet byl stanoven dle normy ČSN EN ISO 13 370. (5)

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0{,}5 \times O_{podlahy}}, \qquad [2]$$

Kde

B´ – charakteristický parametr [m],

S – plocha podlahy [m^2],

O – obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí [m],

Následně se vypočítá celková ekvivalentní tloušťka podlahy z rovnice č. 3, podle které se buď vybere rovnice č.4, nebo rovnice č. 5, podle které se určí skutečné $U_{podlahy}$.

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

Kde

d_t – celková ekvivalentní tloušťka podlahy [m],

w – celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy [m],

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (viz. tabulka ČSN EN ISO 6946 – R_{si} = 0,17 – tepelný tok dolů) [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$], (4)

R_f – tepelný odpor podlahy (tj. všech celoplošných tepelně-izolačních vrstev, včetně nášlapné vrstvy) [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$],

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně (viz. tabulka ČSN EN ISO 6946 - R_{se} = 0,04 – tepelný tok dolů) [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$], (4)

λ_{zeminy} se vybírá dle tabulky ze stejné normy:

Tabulka 1 Tepelná vodivost přilehlé zeminy (5)

Kategorie	Popis	Tepelná vodivost λ_{zeminy} [$W.m^{-2}.K^{-1}$]
1	Hlíny a jíly	1,5
2	Písky a štěrky	2
3	Stejnorodá skála	3,5

Pro $d_t < B'$:

$$U_{podlahy} = \frac{2 \times \lambda_{zeminy}}{\pi \times B' + d_t} \times \ln\left(\frac{\pi \times B'}{d_t} + 1\right), \quad [4]$$

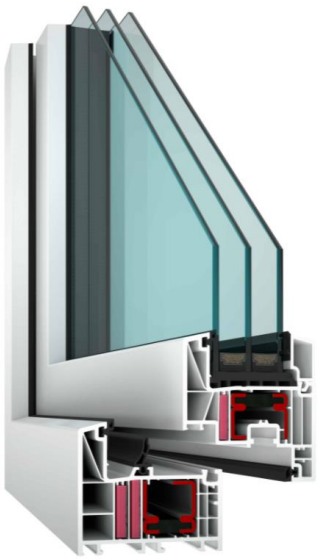
Pro $d_t > B'$:

$$U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0{,}457 \times B' + d_t}, \quad [5]$$

Rozdíl mezi výpočtem dle ČSN EN ISO 6946 a ČSN EN ISO 13 370 byl 0,01 až 0,02 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Vypočtené hodnoty a rozepsané skladby neprůhledných konstrukcí jsou součástí přílohy č.1 (4; 5)

1.3 Charakteristika výplní otvorů

Pro výplň okenních otvorů jsem zvolil plastová okna s trojitým zasklením VEKRA Komfort EVO. Tyto okna jsem zvolil pro jejich dobré tepelně technické vlastnosti. Okna mají součinitel prostupu tepla U = 0,71 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Světelný činitel prostupu oken LT = 0,74. (6)



Obrázek 4 okno VEKRA Premium EVO

Vchodové dveře jsem volil ze stejné výrobní řady. Dveře VEKRA Komfort EVO mají součinitel prostupu tepla U = 0,93 $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Světelný činitel prostupu oken LT = 0,74. (7)

2 TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY

Tepelná ztráta je množství tepelné energie předané z vnitřního prostředí do okolí. Výpočet dle ČSN EN 12 831-1 zahrnuje podrobný i zjednodušený výpočet tepelných ztrát budovy. Tuto normu je možné použít ve standardních případech, kdy výška místnosti nepřekročí 5 m. Celková tepelná ztráta se skládá z tepelné ztráty prostupem konstrukcí a tepelné ztráty větráním vytápěného prostoru. (8)

2.1 Okrajové podmínky výpočtu

Při výpočtu se počítá s venkovní výpočtovou teplotou, kterou lze najít v tabulce venkovních výpočtových teplot České republiky dle ČSN 38 3350. Pro lokalitu Pardubice je tato venkovní výpočtová teplota t_e = -12 °C. S touto teplotou se počítá jako s extrémními podmínkami, které nastanou párkrát do roka. Pro vytápěné místnosti se musí stanovit vnitřní výpočtová teplota. Pobytové místnosti budou vytápěny na t_i = 20 °C. Koupelny budou vytápěny na t_i = 24 °C a technické místnosti na t_i = 15 °C. Teplota zeminy pod základovou deskou se uvažuje t_g = 5 °C. Teplota v nevytápěném podkroví byla odhadnuta na t_k = -6 °C. (9)

2.2 Tepelné ztráty prostupem

Skládá se z měrných tepelných toků přímo do venkovního prostředí, viz rovnice č. 6, do sousedních vytápěných prostor s nižší vnitřní výpočtovou teplotu, viz rovnice č. 7, do sousedních nevytápěných prostor, viz rovnice č. 7, a do zeminy, viz rovnice č. 8. Měrný tepelný tok udává kolik tepla předá vytápěný prostor chladnějšímu prostředí při rozdílu teplot 1 K. Při výpočtu měrných tepelných toků přímo do venkovního prostředí se pro zjednodušení uvažuje s přirážkou na vliv tepelných vazeb. Tato přirážka má nahradit přesný a složitý výpočet tepelných ztrát tepelnými mosty. Přirážku pro novostavbu s optimalizovanými tepelnými vazbami uvažujeme $\Delta U_{TB} = 0{,}05$ W·m^{-2}·K^{-1}. (8)

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}], \qquad [6]$$

Kde

$H_{T,ie}$ – měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí (e) [W·K^{-1}],

A_k – plocha stavební části [m^2],

U_k – součinitel prostupu tepla stavební části [W·m^{-2}·K^{-1}],

$f_{U,k}$ – opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot, pro ČR = 1,

$f_{ie,k}$ – teplotní opravný činitel = 1,

ΔU_{TB} – přirážka na vliv tepelných vazeb [W·m^{-2}·K^{-1}],

$$H_{T,ia,k} = \sum_k [A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}], \qquad [7]$$

Kde

$H_{T,ia,k}$ – Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do nebo přes, nevytápěné prostory (u) pro každou konstrukci s příslušně upraveným $f_{ia,k}$ [W·K^{-1}],

A_k – plocha stavební části [m^2],

U_k – součinitel prostupu tepla stavební části [W·m^{-2}·K^{-1}],

$f_{ia,k}$ – teplotní opravný činitel [-],

$$H_{T,g} = \sum_k [A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}], \quad [8]$$

Kde

$H_{T,ig,k}$ – Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) [$W \cdot K^{-1}$],

A_k – plocha stavební části (k), která je v přímém kontaktu se zeminou [m^2],

$U_{equiv,k}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$f_{ig,k}$ – teplotní opravný činitel [-],

$f_{GW,k}$ – opravný činitel zohledňující vliv spodní vody [-],

$f_{GW,k} = 1$, pokud je hladina spodní vody více než 1 m pod úrovní základové desky.

$f_{GW,k} = 1{,}15$, pokud je vzdálenost mezi hladinou spodní vody a základovou deskou ≤ 1 m.

2.3 Tepelné ztráty větráním

Tepelná ztráta větráním především závisí na intenzitě větrání vytápěné místnosti a na rozdílu teploty přiváděného vzduchu a vnitřní výpočtové teploty. Pokud bude dům větraný vzduchotechnickým zařízením se zpětným získáváním tepla a dohřevem, tepelné ztráty větráním se zcela eliminují. Pro výpočet měrných tepelných toků větráním z vytápěného prostoru jsem uvažoval s minimální intenzitou výměny vzduchu dle ČSN EN 12 831-1.Pro trvale obytné místnosti, kuchyně, koupelny a toalety $I = 0{,}5\ h^{-1}$. Pro pomocné místnosti a vnitřní místnosti bez oken $I = 0\ h^{-1}$. Účinnost zpětného získávání tepla $\eta_{ZZT} = 70$ %. (8)

$$H_{V,i} = V_i \cdot n_{min} \cdot \rho_v \cdot c_v \cdot (1 - \eta_{ZZT}), \quad [9]$$

Kde

$H_{V,i}$ – Měrný tepelný tok větráním z vytápěného prostoru (i) [$W \cdot K^{-1}$],

V_i – vnitřní objem vytápěného prostoru [m^2],

n_{min} – minimální intenzita větrání [h^{-1}],

ρ_v – hustota vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$],

c_v – měrná tepelná kapacita vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],

η_{ZZT} – Účinnost zpětného získávání tepla [-]

3 TEPELNÉ ZISKY BUDOVY

Tepelné zisky jsou nedílnou součástí tepelné bilance budovy. Spolu s tepelnými ztrátami představují kolik tepla je nutné přivést, nebo odebrat pro zachování tepelné pohody v obývaných místnostech. Do této bilance se započítávají pouze trvalé tepelné zisky, které se dělí na vnitřní a vnější (solární). Výpočet byl stanoven dle norem ČSN EN ISO 13 790, TNI 73 0329. (10; 11)

3.1 Okrajové podmínky výpočtu

Tepelné zisky pro návrh potřeby tepla se narozdíl od výpočtu pro návrh chladícího zařízení počítají pro celý rok s měsíčními intervaly. Jako okrajová podmínka zde neslouží teplota, ale pro solární zisky mnohem důležitější solární záření. Tabulku hodnot celkového solárního záření jsem převzal z TNI 73 0329:2010. (11)

3.2 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky běžně vznikají od lidí, osvětlení a domácích spotřebičů. Výpočet byl proveden podle vztahu, který je uveden v rovnici č. 10. Pro výpočet jsem uvažoval se 70% přítomností osob přes den. Vnitřní tepelné zisky od domácích spotřebičů a od osvětlení jsem uvažoval 100 $W \cdot os^{-1}$. Tepelný výkon na bytovou jednotku jsem uvažoval 100 $W \cdot byt.j.^{-1}$.

$$\Phi_{zisk,vnitřní} = n_{hod} \cdot \left(n_{osob} \cdot \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p} \right), \qquad [10]$$

Kde

$\Phi_{z,v}$ – Vnitřní tepelné zisky [kWh],

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h],

n_{osob} – počet členů domácnosti [os],

$\Phi_{s,o}$ – tepelné zisky na osobu [$W \cdot os^{-1}$],

f – korekční činitel zohledňující přítomnost osob v objektu [-],

$\Phi_{s,p}$ – tepelné zisky na bytovou jednotku [W].

3.3 Vnější tepelné zisky

Množství solárních zisků závisí především na průhledných konstrukcích a jejich solární sběrné ploše. Neprůhledné prvky mají téměř nepatrný vliv vzhledem k celkovým tepelným bilancím objektu. Solární zisky jsou dále ovlivněny korekčními činiteli pro

stínění a na externí překážky. Pro tyto rodinné domy se rovnají 1. Vztah je uveden v následující rovnici.

$$\Phi_{sol} = F_{sh} \cdot (\sum A_{sol}) \cdot I_{sol} - F_r \cdot \Phi_{r,i}, \quad [11]$$

Kde

Φ_{sol} – Vnější solární tepelné zisky [kWh],

F_{sh} – Korekce stínění na externí překážky [-],

A_{sol} – Solární sběrná plocha [m^2],

I_{sol} – intenzita solárního záření [$kWh \cdot m^{-2}$],

F_r – faktor osálání mezi stavebním prvkem a oblohou [-],
pro vertikální prvky F_r =0,5
pro horizontální prvky F_r = 1

$\Phi_{r,i}$ – sálání vůči obloze [kWh],

Sálání vůči obloze je jedním z efektivních způsobů pasivního chlazení budovy. Teplo akumulované slunečním zářením do obálky budovy přemění konstrukce na tepelné zářiče, které vyzařují teplo do oblohy.

$$\Phi_{r,i} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad [12]$$

Kde

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K^{-1} \cdot W^{-1}$],

U_c – součinitel prostupu tepla neprůhledné stavební konstrukce [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$A_{c,pohledová}$ – pohledová plocha neprůhledné stavební konstrukce [m^2],

h_r – součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],

$\Delta t_{e,r}$ – faktor osálání mezi stavebním prvkem a oblohou [K].

Solární sběrná plocha se počítá pro průhledné prvky podle rovnice č. 13 a pro neprůhledné prvky podle rovnice č. 14. Solární sběrná plocha je rovna pohledové ploše upravené činiteli, propustností a pohltivostí.

Průhledný prvek:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,pohledová} \quad [13]$$

Kde

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

g_{gl} – Celková propustnost průhlednými prvky [-],

F_f – Podíl plochy rámu [-],

$A_{w,pohledová}$ – pohledová plocha průhledné stavební konstrukce [m^2],

Neprůhledný prvek:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,pohledová} \quad [14]$$

Kde

$\alpha_{s,c}$ – Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků [-],

R_{se} – tepelný odpor přestupu na vnější straně [$m^2 \cdot K^{-1} \cdot W^{-1}$],

U_c – Součinitel prostupu tepla neprůhledných částí [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

4 POTŘEBA TEPLA

Tato kapitola dává dohromady předešlé kapitoly a vytvoří celkovou potřebu tepla pro rodinný dům. První část je stanovení potřeby tepla pro vytápění za pomocí stanovených tepelných ztrát a tepelných zisků. Druhá část je stanovení potřeby tepla pro ohřev teplé vody pro využití v domácnosti.

4.1 Využitelnost tepelných zisků

Pro stanovení faktoru využitelnosti tepelných zisků pro vytápění se nejdříve stanoví bilanční poměr pro režim vytápění podle rovnice č. 15. Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 52016-1. (12)

$$\gamma_H = \frac{\text{celkové tepelné zisky}}{\text{celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [15]$$

Kde

γ_H – bilanční poměr pro režim vytápění [-],

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

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

Když $\gamma_H > 0$, $$\eta_{H,gn} = \frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}} \quad [17]$$

Když $\gamma_H = 1$, $$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \quad [18]$$

Když $\gamma_H < 0$, $$\eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [19]$$

Kde

$\eta_{H,gn}$ – faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-],

a_H – bezrozměrný parametr, závislý na časové konstantě budovy [-],

4.2 Potřeba tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění vychází z tepelných ztrát se zohledněním na tepelné zisky. Výpočet by proveden pomocí následující rovnice dle ČSN EN ISO 52016-1. (12)

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad [20]$$

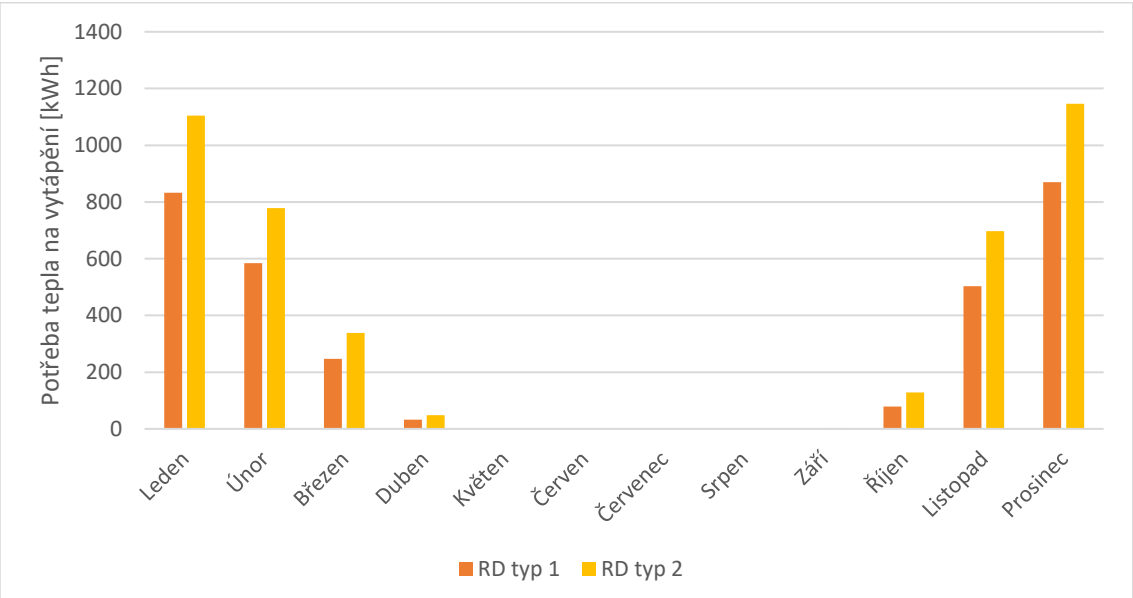
Kde

$a_{H,red}$ – redukční faktor na přerušované vytápění, pro RD = 1 [-],

$\eta_{H,gn}$ – faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-],

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

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



Obrázek 5 Roční potřeba tepla na vytápění

4.3 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba byla vypočítána pro 5 osob při spotřebě 40 $l \cdot os^{-1} \cdot den^{-1}$. Tuto hodnotu jsem převzal z ČSN EN 12831-3. Při výpočtu jsou uvažované ztráty tepla 20 %. V letních měsících je potřeba snížená o 25 % z důvodu nižšího využívání teplé vody. (13)

$$Q_{TV} = \frac{(1+z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \quad [21]$$

Kde

Q_{TV} – potřeba tepla na přípravu teplé vody [kWh],

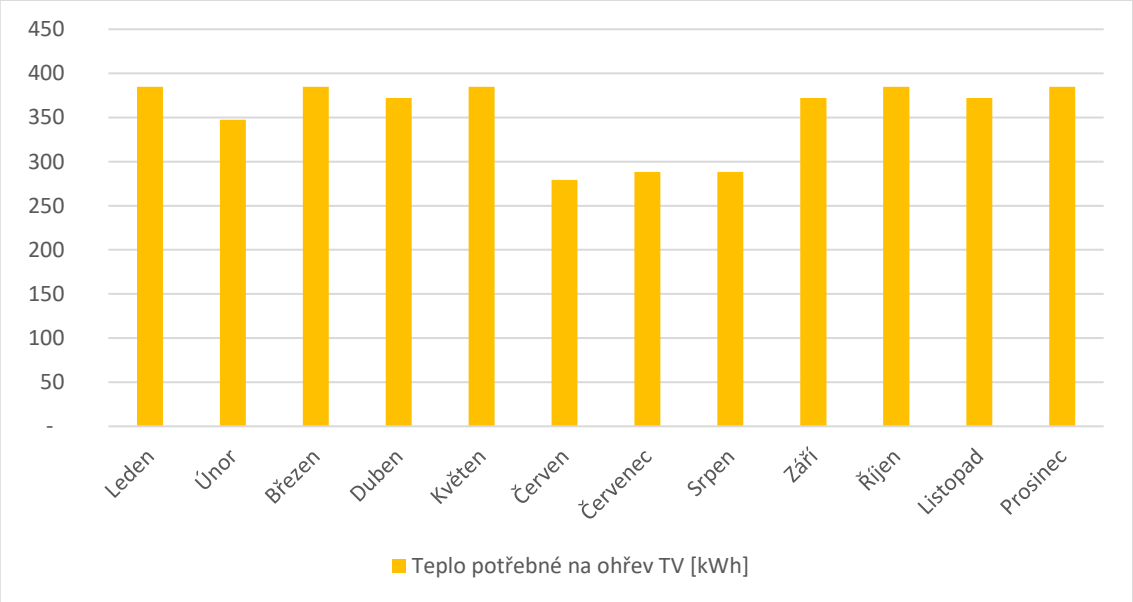
V_{2p} – celková potřeba teplé vody [$m3 \cdot den^{-1}$],

ρ – hustota vody [$kg \cdot m^{-3}$],

c – měrná tepelná kapacita vody [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],

t_1 – teplota studené vody [°C],

t_2 – teplota teplé vody [°C],



Obrázek 6 Potřeba tepla na ohřev teplé vody

5 NÁVRH ZDROJE TEPLA

Návrh se provádí na tepelnou ztrátu celého objektu za venkovní výpočtové teploty. Zdroj tepla se dále volí podle hlučnosti, kvůli umístění a podle možného zdroje energie. Tepelná ztráta pro návrh se vypočítá z následujícího vztahu.

$$Q_Z = \sum(H_{C,i} \cdot \Delta t_i) \quad [22]$$

Kde

QZ – celková tepelná ztráta [kW],

HC,i – měrný tepelný tok celkový [W·K-1],

Δti – rozdíl mezi vnitřní výpočtovou a venkovní výpočtovou teplotou [°C],

Pro ekonomickou analýzu budu porovnávat tyto čtyři systémy dodávek energie.

Systém I – plynový kondenzační kotel

Systém II – plynový kondenzační kotel + fotovoltaická elektrárna

Systém III – tepelné čerpadlo vzduch / voda

Systém IV – tepelné čerpadlo vzduch / voda + fotovoltaická elektrárna

5.1 Návrh plynového kondenzačního kotle

Podle vypočtených hodnot jsem zvolil sestavu plynového kondenzačního kotle + zásobník teplé vody Panther Condens AK120 15KKO-CS/1. Plynový kondenzační kotel má plynulou regulaci výkonu. Rozsah jmenovitého tepelného výkonu při 50/30 °C je 2,7 až 16,4 kW. Výrobce uvádí normovaný stupeň využití při kondenzačním provozu 108 %. (14)

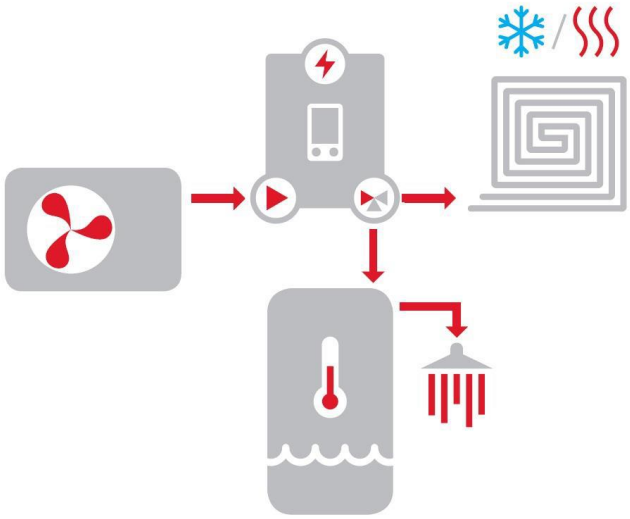
Obrázek 7 Protherm Panther Condens AK150 15KKO-CS/1

5.2 Návrh tepelného čerpadla vzduch / voda

Sestavu tepelného čerpadla jsem zvolil od firmy REGULUS spol. s r.o. Jedná se o jednofázové tepelné čerpadlo s invertorem (frekvenčním měničem, který umožňuje řízení otáček kompresoru). Výhodou invertorových tepelných čerpadel je přizpůsobení výkonu aktuálním požadavkům domu, s ohledem na vytápění, přípravu teplé vody, případně chlazení. Součástí systému je také vnitřní hydraulická jednotka RegulusBOX, která obsahuje inteligentní regulátor, elektrická topná tělesa s rozsahem 2-12 kW, oběhové čerpadlo, třícestný zónový ventil pro zásobník teplé vody, potřebné jističe a stykače.

TV ohřívá tepelné čerpadlo v zásobníku o objemu 300l. Tento zásobník je možné osadit přírubou pro montáž dalšího el. topného tělesa, do této příruby lze instalovat el. topné těleso určené pro FVE.

Celý systém řídí inteligentní regulátor, který reaguje jak na venkovní teplotu, tak na požadavky uživatele.



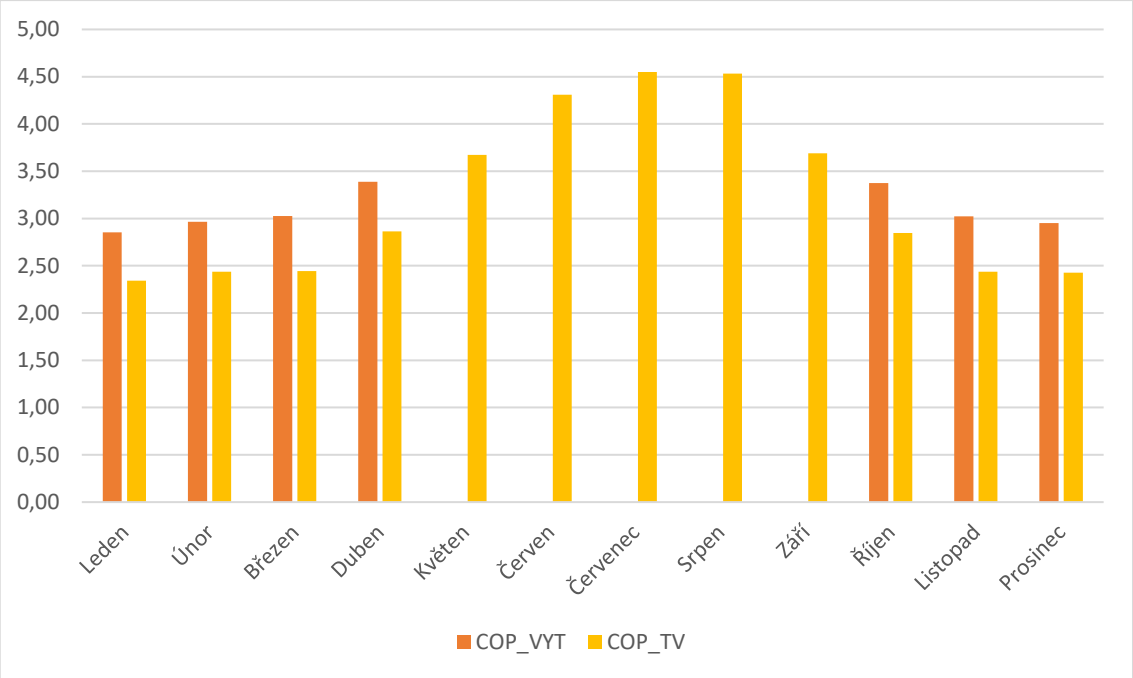
Obrázek 8 Schéma zapojení systému tepelného čerpadla

Od výrobce jsem obdržel cenovou nabídku této sestavy. Tato cenová nabídka je součástí práce jako příloha č. 5. Následující tabulka byla základem k určení topného faktoru pro vytápění (45 °C) a pro ohřev teplé vody (55 °C).

Tabulka 2 Výkonové parametry tepelného čerpadla (15)

	Výkon		Příkon		COP	
$t_{v1} \setminus t_{k2}$	**45 °C**	**55 °C**	**45 °C**	**55 °C**	**45 °C**	**55 °C**
7	5,17	4,89	1,71	2,04	3,02	2,4
2	5,03	4,84	1,66	1,94	3,03	2,49
-7	3,46	3,48	1,45	1,78	2,39	1,96
-15	2,9	2,62	1,38	1,63	2,1	1,61

Za pomocí těchto naměřených hodnot jsem mohl pomocí lineární interpolace a extrapolace přibližně určit COP pro střední venkovní teplotu každého měsíce. Následně jsem z měsíčních topných faktorů vypočítal vážený roční průměr topného faktoru. COP_{VYT} = 3,08 a COP_{TV} = 3,22. Topné faktory budou pro oba typy rodinných domů stejné, jelikož používají stejné tepelné čerpadlo a jsou situovány ve stejné lokalitě a proto mají i stejné střední venkovní teploty.



Obrázek 9 Topný faktor tepelného čerpadla pro střední venkovní teplotu v měsíci

6 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY

6.1 Stanovení elektrického příkonu

Pro stanovení potřeby elektrické energie jsem si sestavil tabulku s běžnými instalovanými příkony základních domácích spotřebičů, osvětlení a zásuvek. Podrobněji, včetně soudobosti, jsou příkony vypsány v této tabulce:

Tabulka 3 Instalovaný elektrický příkon rodinného domu

Zařízení	Instalovaný příkon **P_i [kW]**	Soudobost **β [-]**	Soudobý příkon **P_S [kW]**	
Osvětlení	1,5	0,5	0,75	
Zásuvky	6	0,3	1,8	
Pračka	2,2	0,5	1,1	
Sušička	1	0,5	0,5	
Varná deska	7	0,4	2,8	
Trouba	3,5	0,4	1,4	
Myčka	2,4	0,3	0,72	
Kuchyňské spotřebiče	2	0,3	0,6	
Ostatní	5	0,5	2,5	
Rezerva	3	0,5	1,5	
Celkový instalovaný příkon			33,6	kW
Celkový soudobý příkon			13,67	kW

6.2 Výpočet minimálního výkonu elektrárny

Fotovoltaickou elektrárnu jsem navrhl tak, aby minimálně mezi měsíci duben a září pokrývala veškerou potřebu elektrické energie rodinného domu. Aby tomu tak bylo, je nutné si stanovit minimální instalovaný výkon elektrárny ze vztahu:

$$P_{FV} = \frac{E_{sp,měs}}{T_{s.svit}}, \qquad [23]$$

Kde

P_{FV} – minimální instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny [kWp],

$E_{sp,měs}$ – měsíční spotřeba elektrické energie [kW],

$T_{s,svit}$ – průměrná měsíční doba slunečního svitu [hod.],

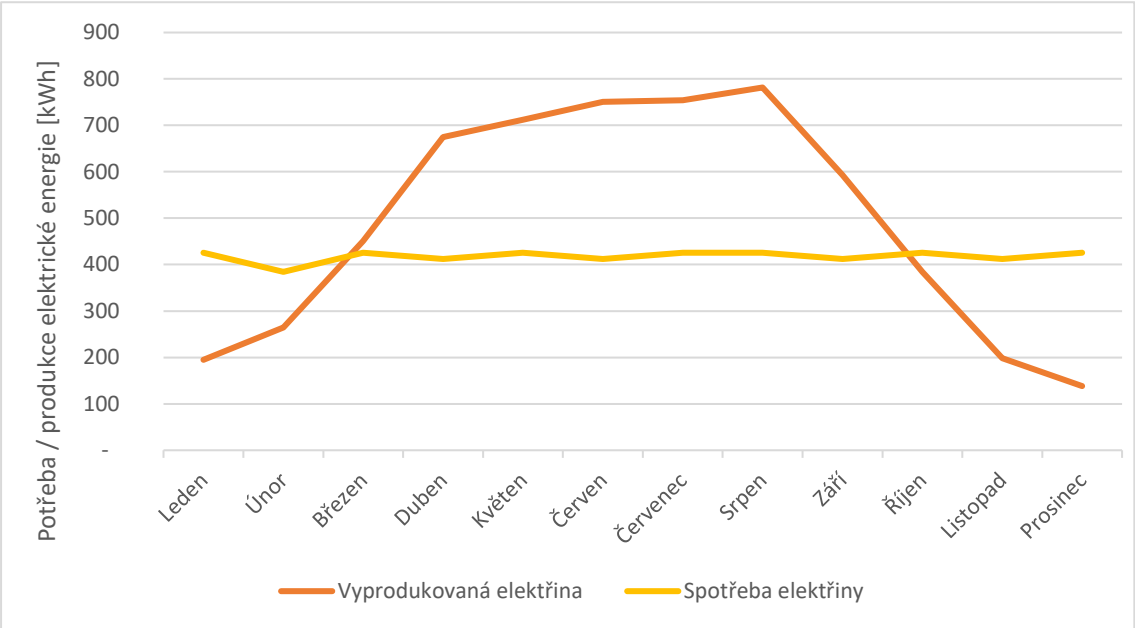
6.3 Návrh elektrárny

Pro domácí elektrárnu volím solární panely od firmy Canadian solar o nominálním maximálním výkonu P_{max} = 450 Wp. Díky kapitole o minimálním výkonu lze určit, kolik solárních panelů je potřeba složit dohromady k dosáhnutí pokrytí požadované spotřeby elektrické energie. (16)

Obrázek 10 Solární panel Canadian Solar CS3W-450MS 450 Wp

Pro systém PKK + FVE vychází minimálně 6 kusů solárních panelů, pro zvýšení efektivity a ekonomického výsledku systému bude uvažováno použití 8 kusů solárních panelů. Tyto panely mají pokrýt spotřebu energie domácích spotřebičů, osvětlení a zdroje tepla.

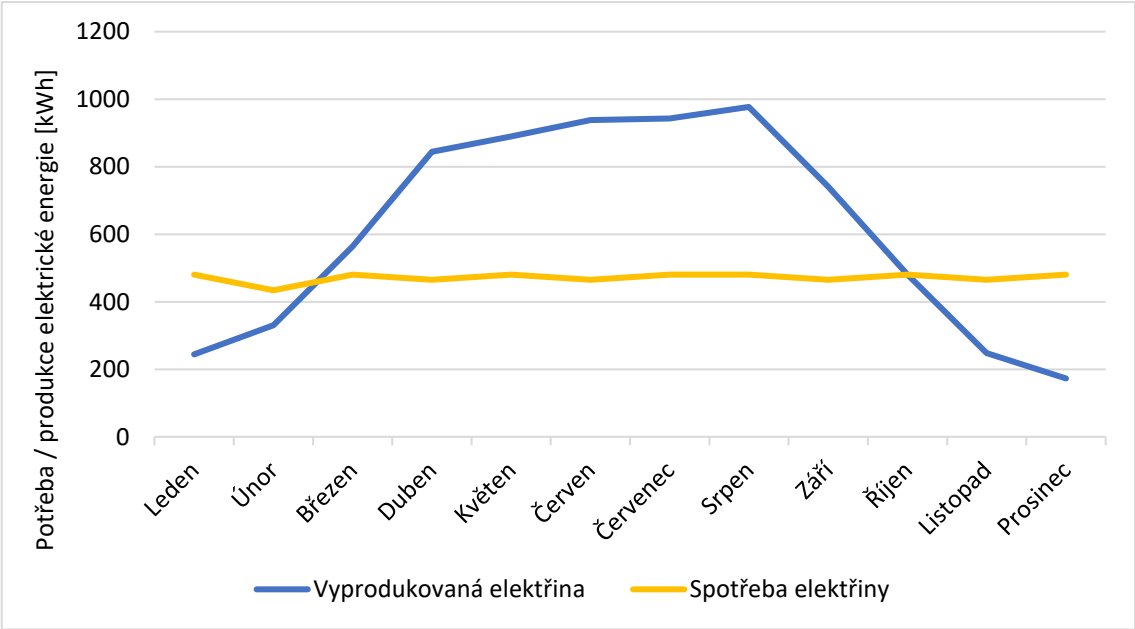
Vyprodukovaná elektrická energie	5 580 kWh
Pokrytí potřeby elektrické energie	4 000 kWh
Energie pro ohřev teplé vody	1 475 kWh
Přebytečně vyrobená energie	105 kWh



Obrázek 11 Průběh spotřeby a produkce elektrické energie pro systém II - PKK + FVE

Systém IV – TČ + FVE má vyšší spotřebu elektrické energie kvůli vyššímu příkonu zdroje tepelné energie. Pro tento systém vychází minimálně 7 solárních panelů Canadian Solar. Pro zvýšení úspory byl počet panelů zvýšen na 10 kusů

Vyprodukovaná elektrická energie	6 970 kWh
Pokrytí potřeby elektrické energie	4 640 kWh
Energie pro ohřev teplé vody	1 790 kWh
Přebytečně vyrobená energie	540 kWh



Obrázek 12 Průběh spotřeby a produkce elektrické energie pro systém TČ + FVE

7 EKONOMICKÁ ANALÝZA

Tato ekonomická analýza udává a porovnává investiční a provozní náklady zvolených čtyř typů systému dodávky energie do rodinného domu. Veškeré porovnání bude vztaženo k systému I, tedy k sestavě Panther Condens AK120 15KKO-CS/1.

7.1 Investiční náklady

Předpokládám, že by si investor na instalaci najmul montážní firmu a proto uvažuji veškeré ceny bez DPH. Montáž není zahrnuta v ceně, protože by rovnoměrně navýšila všechny čtyři systémy. Pro oba objekty vychází stejná zařízení, proto je možná napsat jednotně jejich ceny.

Pořizovací cena - PKK	54 840 Kč
Pořizovací cena systém – PKK + FVE	109 770 Kč
Pořizovací cena systém – TČ	171 227 Kč
Pořizovací cena systém TČ + FVE	238 549 Kč

Od investice fotovoltaické elektrárny byla odečtena dotace 55 000 Kč v rámci programu Ministerstva životního prostředí nová zelená úsporám, podkapitola C.3.4 FV systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem ≥ 1 700 $kWh \cdot rok^{-1}$. (17)

7.2 Provozní náklady

Provozní náklady se skládají z nákladů za energie k provozu rodinného domu, nákladů za ohřev vody pro vytápění a ohřev teplé vody pro domácnost. Energie je dodávaná distributorem ve formě elektřiny a plynu. Ceny za dodávku elektřiny a plynu jsem vyhledal na webu Kurzy.cz. Vybral jsem jednotného dodavatele Bohemia Energy pro dodávku plynu a elektrické energie.

Pro dodávku elektrické energie jsem vybral tarif Start ++ pro východočeský kraj, distribuční sazba elektřiny je pro plynový kotel D01d a pro elektrické tepelné čerpadlo D57d. Při vybraném tarifu jsou ale ceny stejné pro obě sazby a proto se nebudou rozlišovat. Pro tento tarif je cena za elektřinu 1,3 $Kč \cdot kWh^{-1}$. Tato cena tvoří pouze 40 % z celkové ceny distributora. Celková cena za dodanou elektřinu je tedy 1,3 / 0,4 = 3,25 $Kč \cdot kWh^{-1}$. (18)

Dodávku plynu jsem zvolil v tarifu Energie A++. Pro odběr mezi 1,89 a 15 MWh·rok vychází cena za plyn 0,466 Kč·kWh^{-1}. Celková cena se vypočítá analogicky k výpočtu celkové ceny dodané elektrické energie, tedy 0,466 / 0,4 = 1,165 Kč·kWh^{-1}. (19)

Provozní náklady se pro oba rodinné domy dále liší podle použitého systému dodávky energie.

Tabulka 4 Energetická potřeba systémů

Systém	PKK	PKK + FVE	TČ	TČ + FVE
Potřeba tepla na vytápění RD – typ 1 **Q_{VYT} [kWh]**	3 151	3 151	3 151	3 151
Potřeba tepla na vytápění RD – typ 2 **Q_{VYT} [kWh]**	4 247	4 247	4 247	4 247
Potřeba tepla na teplou vodu **Q_{TV} [kWh]**	4 243	2 631	4 243	2 271
Potřeba elektrické energie **Q_{EL} [kWh]**	5 011	892	4 990	645
RD – typ 1 ∑ **[kWh]**	12 405	6 675	12 384	6 067
RD – typ 2 ∑ **[kWh]**	13 501	7 770	13 480	7 163

Vzhledem ke stejnému počtu uvažovaných obyvatel a stejnému pravděpodobnému elektrickému příkonu se potřeba energií porovnávaných rodinných domů liší pouze potřebou tepla na vytápění. V následující tabulce jsou uvedeny ceny pro jednotlivé systémy a potřeby za první rok.

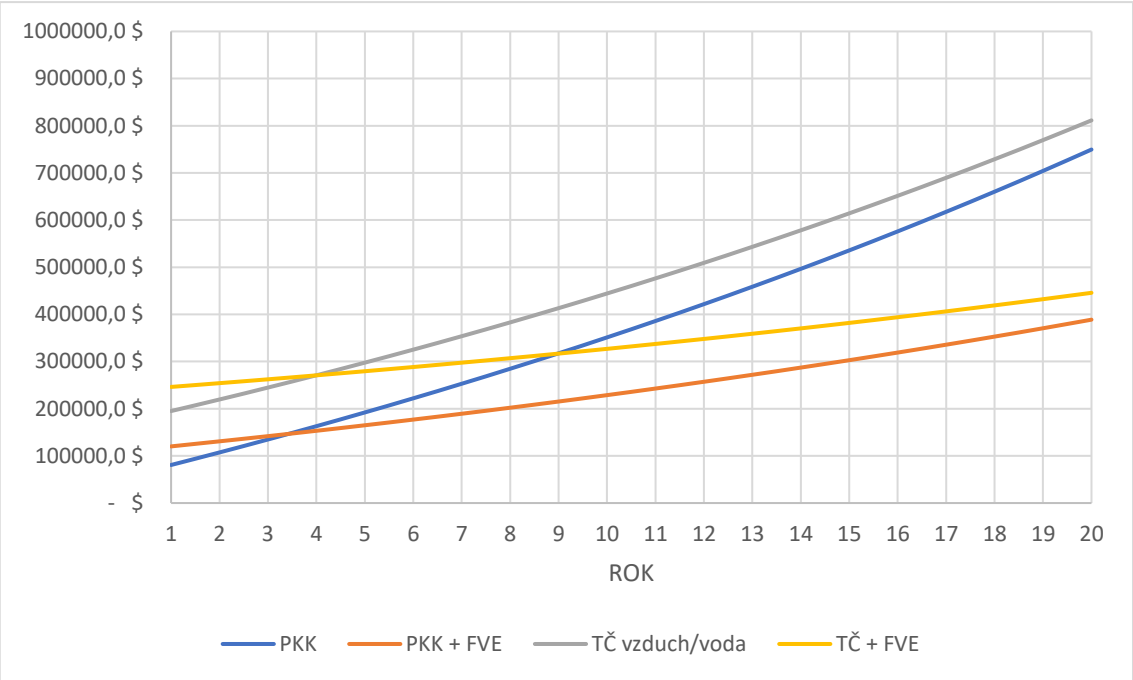
Tabulka 5 Ceny provozních nákladů systémů

Systém	PKK	PKK + FVE	TČ	TČ + FVE
Cena tepla na vytápění RD – typ 1	4 075 Kč	4 075 Kč	3 439 Kč	3 439 Kč
Cena tepla na vytápění RD – typ 2	5 492 Kč	5 492 Kč	4 634 Kč	4 634 Kč
Cena tepla na teplou vodu	5 488 Kč	3 403 Kč	5 937 Kč	3 177 Kč
Cena elektrické energie	16 272 Kč	2 898 Kč	16 204 Kč	2 096 Kč
RD – typ 1 ∑	25 835 Kč	10 376 Kč	25 579 Kč	8 712 Kč
RD – typ 2 ∑	27 251 Kč	11 793 Kč	26 775 Kč	9 907 Kč

Z Tabulka 5 je patrné, že nejmenší provozní náklady vychází pro systém IV – TČ + FVE. Nejvyšší provozní náklady by měl systém III – TČ.

7.3 Návratnost investice

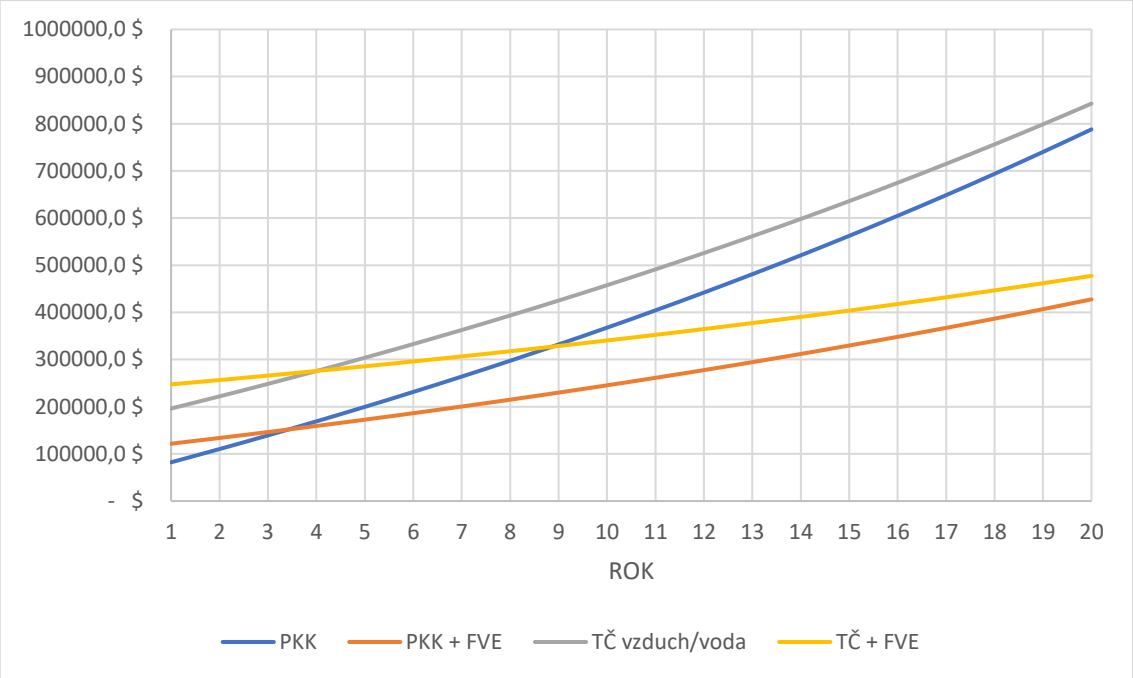
Pomocí předchozích kapitol víme, kolik bude stát pořízení a provoz jednotlivých systémů za jeden rok. Aby bylo možné zjistit reálné náklady za více let, přičte se 3% přirážka na zdražování ceny za provozní náklady. Tato data jsem vložil do následujících grafů pro RD - typ 1 a 2. Návratnost znamená, po jaké době budou celkové náklady nižší, než náklady srovnávaného systému. V následujících grafech je tento stav v místě, kde je průsečík s křivkou systému I.



Obrázek 13 RD - typ 1 Investiční a provozní náklady za 25 let

Z grafu je možné vyčíst, že pro RD – typ 1 vychází návratnost investice plynového kondenzačního kotle s fotovoltaickou elektrárnou 3,5 let po uvedení zařízení do provozu. Pro tepelné čerpadlo s fotovoltaickou elektrárnou je doba návratnosti 8,9 let a samotné tepelné čerpadlo by pravděpodobně mělo dobu návratnosti delší než je jeho životnost.

Plynový kondenzační kotel a tepelné čerpadlo mají standardní životnost 20 let. Tedy po tuto dobu má smysl počítat uspořené peníze pomocí investice do těchto zařízení. PKK + FVE za dobu životnosti kotle mají rozdíl mezi celkovými náklady samostatného PKK a PKK + FVE 360 770 Kč. Za tyto peníze lze koupit nový kotel, který dnes stojí 40 060 Kč, po přičtení ročního navýšení ceny o 3 % bude za 20 let stát 70 245 Kč. Po odečtení zbývá ušetřených 290 525 Kč. Tepelné čerpadlo má po dvaceti letech záporná čísla úspor a TČ + FVE za 20 let uspoří 303 810 Kč. Avšak tepelné čerpadlo dnes stojí 143 900 Kč a za 20 let bude po přičtení 3% navýšení 252 330 Kč. Po odečtení částky za nové tepelné čerpadlo by majiteli zbylo 51 480 Kč.



Obrázek 14 RD - typ 2 Investiční a provozní náklady za 25 let

pro RD – typ 2 vychází návratnost investice podobná jako pro první typ rodinného domu. Pro PKK + FVE vychází 3,4 let, pro TČ + FVE 8,8 let a pro samostatné TČ je návratnost za horizontem jeho životnosti.

Po 20 letech PKK + FVE uspořilo 360 445 Kč a po zakoupení nového kotle zbyde stále 290 200 Kč. Samostatné TČ v úspoře nedosáhlo kladných čísel za dobu své životnosti

a v kombinaci s FVE uspořilo 310 460 Kč, pro zakoupení nového TČ by majiteli zbylo 58 130 Kč.

ZÁVĚR

Pro oba rodinné domy byly zjištěna a vypočítána jejich energetická náročnost, podle energetické náročnosti byly navrhnuty zdroje dodávky energie pro budovy a porovnány v ekonomické analýze.

Díky použití kvalitních izolačních materiálů a vhodné volbě skladeb jsem u obou rodinných domů dosáhl přibližného středu nízkoenergetického standardu. Rodinný dům typ 1 má spotřebu energie na vytápění 26,4 $kWh \cdot m^{-2}$. Rodinný dům typ 2 má spotřebu energie na vytápění 30,6 $kWh \cdot m^{-2}$. Pro dosažení hodnot pasivního domu by musel mít objekt spotřebu energie na vytápění nižší než 15 $kWh \cdot m^{-2}$.

Výsledky této práce jsou pouze teoretické a nebudou přesně odpovídat realitě, jelikož jsem nebral v úvahu celý systém pro vytápění a ohřev teplé vody pro domácnost, ale jen hlavní prvky pro zásobování energií. Dále systém fotovoltaické elektrárny byl vypočítán na základě mnou odhadovaného elektrického příkonu a při reálném použití mohou být hodnoty odlišné. Spotřeba elektrické energie se totiž liší jak v každé domácnosti, tak i denní výkyvy by měly svůj vliv na provoz fotovoltaické elektrárny.

Podle ekonomické analýzy vyšla jako nejvhodnější ze systémů kombinace plynového kondenzačního kotle a fotovoltaické elektrárny. Dá se předpokládat, že to je díky nízké počáteční investici, nízké ceně za plyn a vysoké úspoře v podobě elektrické energie vyprodukované fotovoltaickou elektrárnou.

Jako druhý nejvhodnější systém dodávky energie vyšla kombinace tepelného čerpadla vzduch-voda a fotovoltaická elektrárny. I když jsou tepelná čerpadla úspornější než plynový kotel, hlavní úsporu vytváří právě fotovoltaická elektrárna, která je součástí obou nejvhodnějších systémů. Při výpočtu návratnosti nebyla zohledněna možnost dotace v rámci programu nová zelená úsporám. V tomto programu by mohl majitel dostat podporu ve výši až 75 000 Kč na tepelné čerpadlo vzduch-voda. V tomto případě by tepelné čerpadlo mělo návratnost za 17 let. Za dobu 20 let by ušetřilo 13 230 Kč oproti plynovému kondenzačnímu kotli. Dotaci jsem neuvažoval při výpočtu, protože pro určení její výše je nutný odborný posudek, který se skládá z projektové dokumentace a z energetického hodnocení budovy.

Dále se dá říci, že samostatná tepelná čerpadla nejsou vhodným zdrojem pro pasivní a nízkoenergetické stavby, které mají přístup k dodávce plynu. Tento závěr je dán tím, že pasivní a nízkoenergetické mají nízké provozní náklady na vytápění a tepelná čerpadla vytváří úsporu pro již úsporné provozní náklady, proto dosáhnou návratnosti za delší dobu než u objektů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. **Oddělení analýz a datové podpory koncepcí, MPO.** Tepelná čerpadla (energie prostředí). [Online] květen 2021. [Citace: 28. červen 2021.] https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2021/5/Tepelna-cerpadla-2010-2020-210527.pdf.
2. **Oddělení analýz a datové podpory koncepcí, MPO.** Roční dodávka plynových kotlů na trh v České republice. [Online] 2017-2020. [Citace: 28. červen 2021.] https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/plynna-paliva/2021/6/Rocni-dodavka-plynovych-kotlu-na-trh-2020.pdf.
3. **ČSN 73 0540-2.** ***Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky.*** **Praha : ÚNMZ, říjen 2011.**
4. **ČSN EN ISO 6946.** ***Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody.*** **Praha : ÚNMZ, září 2020.**
5. **ČSN EN ISO 13370.** ***Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody.*** **Praha : ÚNMZ, říjen 2019.**
6. **Window Holding a.s. Prohlášení o vlastnostech.** ***Plastová okna a balkónové dveře, typ KOMFORT EVO, DESIGN EVO, STYLE EVO.*** **[Online] leden 2021. [Citace: 3. březen 2021.] https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/KOMFORT-EVO_DESIGN-EVO_STYLE_EVO_74g_2014_POV.pdf.**
7. **—. Prohlášení o vlastnostech .** ***Plastové vchodové dveře typ KOMFORT EVO prosklené, poloprosklené a/nebo plné.*** **[Online] leden 2021. [Citace: 3. březen 2021.] https://www.vekra.cz/wp-content/uploads/2015/10/KOMFORT-EVO-dvere_78b_2014_POV-1.pdf.**
8. **ČSN EN 12831-1.** ***Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3.*** **Praha : ÚNMZ, srpen 2018.**
9. **ČSN 38 3350.** ***Zásobování teplem, všeobecné zásady.*** **Praha : ÚNMZ, červen 1988.**
10. **ČSN EN ISO 13790.** ***Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.*** **Praha : ÚNMZ, listopad 2009.**
11. **TNI 73 0329.** ***Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy.*** **Praha : ÚNMZ, červenec 2010.**
12. **ČSN EN ISO 52016-1.** ***Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy.*** **Praha : ÚNMZ, září 2019.**

13. ČSN EN 12831-3. ***Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3.*** **Praha : ÚNMZ, leden 2019.**

14. PROTHERM . Závěsné plynové kondenzační kotle Panther Condens FlameFit a Tiger Condens FlameFit. [Online] 2021. [Citace: 16. únor 2021.] https://www.protherm.cz/files/downloads/projekcni-podklady/pp-1-7-ver-1-panther-tiger-condens-flamefit-2066059.pdf.

15. REGULUS spol. s r.o. Technický list. ***Tepelné čerpadlo vzduch/voda RTC 6i.*** **[Online] červen 2021. [Citace: 21. červen 2021.] https://www.regulus.cz/download/tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_rtc-6i.pdf.**

16. CANADIAN SOLAR INC. VYSOCE VÝKONNÝ MONO PERC PANEL. ***CS3W-425\|430\|435\|440\|445\|450MS.*** **[Online] květen 2020. [Citace: 20. květen 2021.] https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-MS_EN.pdf.**

17. Program Ministerstva životního prostředí. ***nová zelená úsporám - 3. výzva.*** **[Online] 1. leden 2021. [Citace: 25. květen 2021.] https://www.novazelenausporam.cz/wp-content/uploads/2018/07/NZU_3-vyzva_RD_DL_v6_tisk-kancelar.pdf.**

18. Kurzy.cz, spol. s r.o. ***BOHEMIA ENERGY entity s.r.o. - tarif Bohemia Energy Start++, Východočeský kraj.*** **[Online] 28. květen 2021. [Citace: 28. květen 2021.] https://www.kurzy.cz/elektrina/bohemia-energy-entity-sro/bohemia-energy-start-plus-plus?kraje=36.**

19. Kurzy.cz, spol. s r.o. ***BOHEMIA ENERGY entity s.r.o. - tarif BOHEMIA ENERGY entity s.r.o. - Energie A++ (cenová hladina za posledních 12 měsíců), Východočeský kraj.*** **[Online] 28. květen 2021. [Citace: 28. květen 2021.] https://www.kurzy.cz/plyn/bohemia-energy-entity-sro/bohemia-energy-entity-sro-energie-a-plus-plus-cenova-hladina-za-poslednich-12-mesicu?kraje=36.**

PŘÍLOHY