

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

MARTIN KYCELT

9 - BS - 2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kycelt** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **461774**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vytápění rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Heating of a Family House

Pokyny pro vypracování:

Studie vytápění rodinného domu ve třech variantách zdroje tepla a teplovodní otopnou soustavou. Součástí studie je zpracování energetické náročnosti potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody s ohledem na navržené zdroje tepla. Výstupem studie bude samostatná výpočetní pomůcka pro stanovení potřeby tepla.

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 12 831-1. Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. ČNI, 2018.
2. ČSN EN ISO 13 790. Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. ČNI, 2009.
3. VAVŘIČKA, R., a kolektiv: Příprava teplé vody, Sešit projektanta č. 3. STP – OS 02 – Vytápění. Praha 2017, 182 s. ISBN 978-80-02-02713-3.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

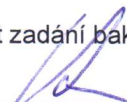
Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS


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

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.06.2019**

Platnost zadání bakalářské práce:


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

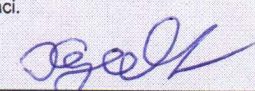

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

24.4.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Souhrn

Cílem mé bakalářské práce je navrhnout vytápění rodinného domu s teplovodní otopnou soustavou v rozsahu studie. Potřebu tepla na vytápění jsem stanovil dle ČSN EN ISO 13 790. Z hlediska potřeby tepla jsem navrhl rodinný dům na požadované a pasivní hodnoty součinitele prostupu tepla. Pro variantu pasivní hodnoty jsem navrhl otopnou soustavu a tři varianty zdroje tepla a to plynový kondenzační kotel, kotel na tuhá paliva a tepelné čerpadlo vzduch - voda. Tyto tři varianty zdroje tepla jsem následně ekonomicky porovnal. Součástí této práce v přílohách je výkresová dokumentace.

Summary

The aim of my bachelor thesis is to design heating in detached house with heating system encompassing my study. The heat demand is set by ČSN EN ISO 13 790. From the point of view of heat demand I designed a detached house with required and passive value of transmission heat loss coefficient. For a passive value variant, I designed heating system and three options of heat source, gas condensing boiler, solid fuel boiler and heat pump air - water. Subsequently, these three passive value variants were economically compared. A Part of this thesis is attached drawing documentation.

Prohlášení o samostatném vypracování bakalářské práce

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

V Praze 24. 6. 2019

Martin Kycelt

Poděkování

Chtěl bych především poděkovat Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za odborné vedení práce a užitečné rady. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mě něco v oboru vytápění naučili, a to Prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D., Ing. Jiřichu Boháčovi, Doc. Ing. Tomáši Matuškovi, Ph.D. a ze střední školy SPŠ stavební v Hradci Králové Ing. Petru Kyceltovi a Ing. Ivě Fabiánové.

OBSAH

1. ÚVOD.....	12
2. POPIS OBJEKTU.....	13
3. VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA.....	14
3.1 Výpočet součinitele prostupu tepla U_c dle normy ČSN 73 0540.....	14
3.2 Výpočet pro variantu Pasivní hodnoty.....	16
3.3 Výpočet pro variantu Požadované hodnoty.....	17
4. TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU.....	18
4.1 Výpočet tepelného výkonu pro vytápění (tepelných ztrát).....	18
4.2 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru.....	18
4.3 Tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru.....	19
4.4 Návrh jednotky pro zpětné získávání tepla ZZT.....	19
4.5 Výpočet tepelných ztrát.....	20
5. POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ.....	22
5.1 Potřeba tepla prostupem.....	22
5.2 Potřeba tepla větráním.....	22
5.3 Vnitřní tepelné zisky.....	22
5.4 Vnější tepelné zisky.....	23
5.4.1 Výpočet účinné solární sběrné plochy pro průhledné prvky.....	24
5.4.2 Výpočet účinné solární sběrné plochy pro průhledné prvky.....	24
5.4.3 Výpočet přídatného tepelného toku sáláním vůči obloze.....	24
5.5 Potřeba tepla na vytápění.....	25
5.5.1 Bilanční poměr pro režim vytápění.....	25
5.5.2 Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění.....	25
5.5.3 Bezrozměrný parametr závisující na časové konstantě (měsíční metoda).....	26
5.5.4 Časová konstanta budovy.....	26
5.6 Výpočet potřeby tepla na vytápění.....	26
6. POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY.....	29
7. TEPLOVODNÍ OTOPNÁ SOUSTAVA.....	30
7.1 Dělení teplovodních otopných soustav.....	30
7.2 Materiál.....	30
7.3 Otopná tělesa.....	31

7.4	Návrh otopných těles.....	32
7.5	Dimenzování a hydraulické vyvážení otopné soustavy	34
8.	NÁVRH ZDROJE TEPLA	36
8.1	Plynový kondenzační kotel	36
8.1.1	Hydraulické komponenty kotle GB 172 -14.....	36
8.1.2	Příprava teplé vody	37
8.1.3	Přívod spalovacího vzduchu a odtah spalin.....	37
8.1.4	Regulace.....	37
8.1.4	Požadavky na ostatní profese.....	37
8.2	Kotel na tuhá paliva pelety.....	39
8.2.1	Další technické informace potřebné pro návrh kotle	39
8.2.3	Návrh pojistného zařízení	39
8.2.4	Zabezpečovací zařízení.....	39
8.2.5	Akumulační zásobník	40
8.2.6	Oběhové čerpadlo pro otopnou soustavu a třicestný směšovací ventil	40
8.2.7	Průtokový součinitel	40
8.2.8	Příprava teplé vody	41
8.2.9	Přívod spalovacího vzduchu a odtah spalin.....	42
8.2.10	Regulace.....	42
8.2.11	Požadavky na ostatní profese.....	42
8.3	Tepelné čerpadlo vzduch - voda	43
8.3.1	Tepelná čerpadla teorie.....	43
8.3.2	Návrh tepelného čerpadla vzduch x voda.....	44
8.3.3	Venkovní jednotka TČ WPL 6 AR.....	45
8.3.4	Vnitřní jednotka T190.....	46
8.3.5	Akumulační zásobník	46
8.3.6	Oběhové čerpadlo pro otopnou soustavu a třicestný směšovací ventil	46
8.3.7	Regulace.....	47
8.3.8	Požadavky na ostatní profese.....	47
9.	VÝPOČET SKUTEČNÉ POTŘEBY TEPLA A PALIVA	48
9.1	Plynový kondenzační kotel	48
9.2	Kotel na tuhá paliva pelety.....	49
9.3	Tepelné čerpadlo vzduch - voda	50

10. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ.....	52
10.1 Investiční náklady plynový kondenzační kotel	52
10.2 Investiční náklady kotel na tuhá paliva pelety	53
10.3 Investiční náklady tepelné čerpadlo vzduch x voda	54
10.4 Porovnání investičních a provozních nákladů	54
11. ZÁVĚR	56
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	58
SEZNAM PŘÍLOH.....	60

SOUHRN POUŽITÉHO ZNAČENÍ

$A_{c,poh}$	pohledová plocha neprůhledných prvků	$[m^2]$
A_g	plocha podlahové desky	$[m^2]$
A_{sol}	účinná solární sběrná plocha	$[m^2]$
$A_{w,poh}$	pohledová plocha průhledných prvků	$[m^2]$
a_H	bezrozměrný parametr závisející na časové konstantě	[1]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušení vytápění, pro RD je 1	[1]
B'	geometrický parametr podlahové desky	[m]
COP	topný faktor	[1]
c	měrná tepelná kapacita vody	$[J/kg \cdot K]$
c_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	$[J/K]$
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	$[Wh/kg \cdot K]$
E_C	celková potřeba energie na provoz TČ a souvisejících zařízení	[kWh]
E_{cel}	celková potřeba energie	[kWh]
F_f	korekce na podíl plochy rámu	[1]
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[1]
F_{sh}	korekce stínění na externí překážky	[1]
$F_{sh,gl}$	korekční činitel stínění	[1]
f	přítomnost osob v roce je 70 %	[1]
f_u	teplotní opravný činitel	[1]
g_{gl}	celková energetická propustnost zasklení	[1]
H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru	$[W/K]$
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok přímo do venkovního prostředí	$[W/K]$
$H_{T,iaj}$	měr. tepe. tok do sousedních prostor nebo přes sousední prostory	$[W/K]$
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok do zeminy	$[W/K]$
H_u	výhřevnost paliva	$[MJ/m^3]$
H_v	měrný tepelný tok větráním z vytápěného prostoru	$[W/K]$
h_r	součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně	$[W/m^2 \cdot K]$
I_{sol}	celkové solární záření	$[W/m^2]$
k_v	průtokový součinitel	$[m^3/h]$
L	délka potrubí	[m]
L_{pAeq}	hladina akustického tlaku u příjemce	[dB]
L_{WAeq}	hladina akustického výkonu na zdroji hluku	[dB]
m	hmotnostní průtok vody	$[kg/h]$
n_{hod}	počet hodin za období	[h]
$n_{min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti	[1/h]
P	nechráněný obvod podlahové desky	[m]
P_e	elektrický příkon	[W]
$Q_{H,nd}$	potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla na vytápění a větrání	[kWh]
$Q_{H,int}$	vnitřní tepelné zisky	[kWh]

$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,sol}$	solární tepelné zisky	[kWh]
$Q_{H,tr}$	potřeba tepla prostupem	[kWh]
$Q_{H,ve}$	potřeba tepla větráním	[kWh]
Q_k	výkon odebraný z kondenzátoru - užitečný topný výkon	[W]
Q_l	faktor směrovosti	[1]
Q_N	nominální výkon tělesa	[W]
Q_r	redukovaný výkon tělesa	[W]
Q_{TV}	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh]
Q_{VTP}	skutečná potřeba tepla na vytápění	[kWh]
Q_{2p}	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh/den]
$Q_{2p,r}$	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh/rok]
R	měrná tlaková ztráta potrubí	[Pa/m]
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[m ² ·K/W]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[m ² ·K/W]
r_1	vzdálenost mezi příjemcem a zdrojem hluku	[m]
$R \cdot L$	tlaková ztráta potrubí třením	[Pa]
SPF	sezonní topný faktor dané soustavy	[1]
s_n	tloušťka vrstvi	[m]
T_{k2}	teplota na výstupu kondenzátoru	[°K]
T_{v1}	teplota na vstupu výparníku	[°K]
t_{ep}	průměrná střední venkovní teplota za měsíc	[°C]
t_1	teplota studené vody	[°C]
t_2	teplota teplé vody	[°C]
U_c	součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_{cel}	potřeba paliva	[kg/rok]
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
V_{EN}	potřebný objem expanzní nádoby	[litr]
V_m	vnitřní objem místnosti	[m ²]
V_A	průtok armaturou	[m ³ /h]
V_{2p}	celková potřeba teplé vody	[m ³ /den]
w	rychlost v potrubí	[m/s]
ξ	součinitel místních ztrát	[1]
Z	tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
z	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci	[1]
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního zařízení neprůhledných prvků	[1]
$\Delta t_{e,r}$	rozdíl vnějších teplot, volí se pro ČR 11 °K	[°K]
Δp_A	hledaná tlaková ztráta armatury	[kPa]
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² ·K]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[1]
η_k	účinnost kotle	[1]
η_o	účinnost regulace	[1]

η_R	účinnost rozvodů	[1]
$\eta_{rec,z}$	účinnost zpětného získávání tepla	[1]
$\eta_{TČ}$	účinnost tepelného čerpadla, běžně je 0,4 - 0,6	[1]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti vrstvy	[W/m·K]
Θ_e	oblastní venkovní výpočtová teplota	[°C]
Θ_{es}	průměrná teplota v otopném období	[°C]
$\Theta_{exh,z}$	průměrná teplota vzduchu odváděná ze zóny	[°C]
Θ_i	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$\Theta_{rec,z}$	teplota přiváděného vzduchu po zpětném získání tepla	[°C]
Θ_u	teplota přilehlého prostoru	[°C]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
ρ_a	hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	[kg/m ³]
τ	časová konstanta budovy	[h]
Y_H	bilanční poměr pro režim vytápění	[1]
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[W]
$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vyt. prostoru	[W]
$\Phi_{r,i}$	přídavný tepelný tok sáláním vůči obloze	[W]
Φ_{sol}	vnější tepelné zisky	[W]
$\Phi_{s,o}$	zisky od domácích spotřebičů a osvětlení	[W]
$\Phi_{s,p}$	tepelné zisky na bytovou jednotku	[W]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{zisk,vni}$	vnitřní tepelné zisky	[W]

1. ÚVOD

V dnešní době je tendencí stavět energeticky úsporné domy. Tyto domy jsou ekologicky šetrné k životnímu prostředí. Zabezpečují zdravé obytné prostředí a jsou energeticky šetrné k spotřebě primární energie. Dnes se již začínají stavět i energeticky soběstačné budovy.

V rámci bakalářské práce řeším studii vytápění rodinného domu. Cílem mé bakalářské práce je navrhnout vhodný systém vytápění pro daný rodinný dům. Z hlediska vytápění řeším pasivní dům, kterému odpovídají doporučené součinitele prostupu tepla. V rámci potřeby tepla na vytápění řeším i variantu pro tzv. požadované hodnoty součinitele prostupu tepla. Tyto dvě varianty se liší pouze v tloušťce tepelné izolace obvodového pláště.

Nejprve navrhnu skladby konstrukcí, které vyhovují normě ČSN 73 0540 a to na požadované a pasivní hodnoty součinitele prostupu tepla U_c [$W/m^2 \cdot K$]. Dále vypočítám tepelné ztráty dle ČSN EN 12 831 - 1 pro variantu Pasivní hodnoty se zpětným získáváním tepla a variantu pro Požadované hodnoty.

Výpočet potřeby tepla na vytápění stanovím dle normy ČSN EN ISO 13 790. Norma zohledňuje vnitřní tepelné zisky a vnější tepelné zisky. Potřebu tepla na vytápění stanovím jak pro variantu Pasivní hodnoty, tak pro variantu Požadované hodnoty. Dále stanovím potřebu tepla na přípravu teplé vody.

Pro přenos tepla ze zdroje do jednotlivých vytápěných místností navrhnu teplovodní otopnou soustavu. Přenos tepla z otopné soustavy do místností bude zajištěn pomocí otopných těles. Otopnou soustavu navrhnu pro variantu Pasivní hodnoty. [1]

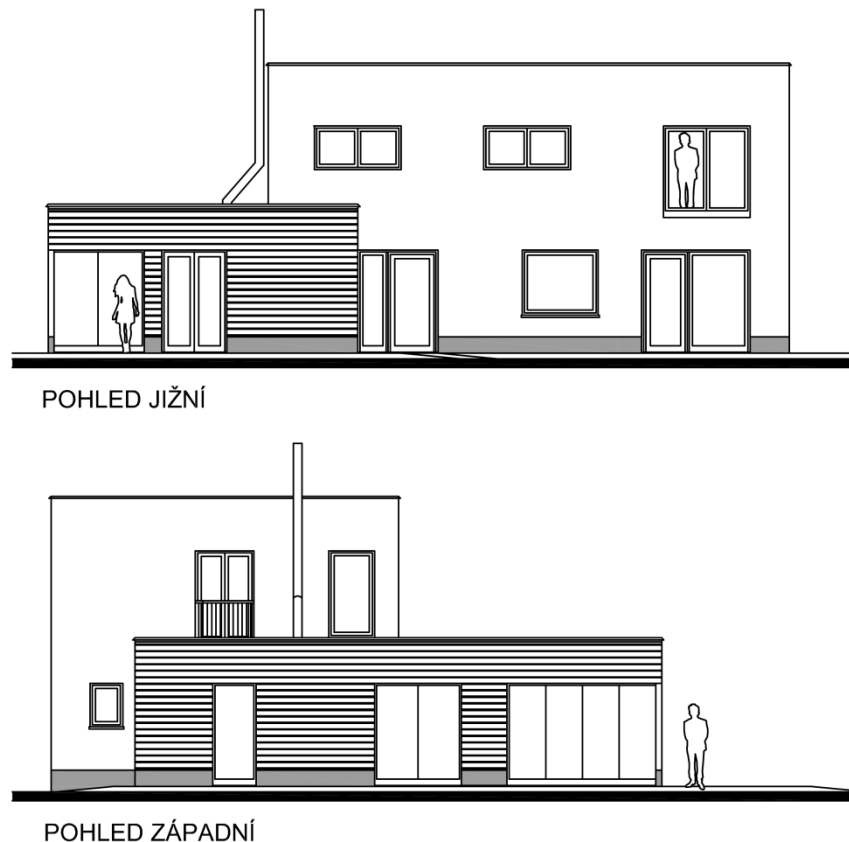
V rámci této bakalářské práce řeším návrh tří zdrojů tepla. Navrhnu jako první variantu plynový kondenzační kotel. Jako druhou variantu navrhnu kotel na tuhá paliva. Třetí variantu zdroje tepla navrhnu tepelné čerpadlo vzduch - voda.

Následně tyto zdroje mezi sebou porovnáám a navrhnu nejvhodnější řešení pro daný rodinný dům.

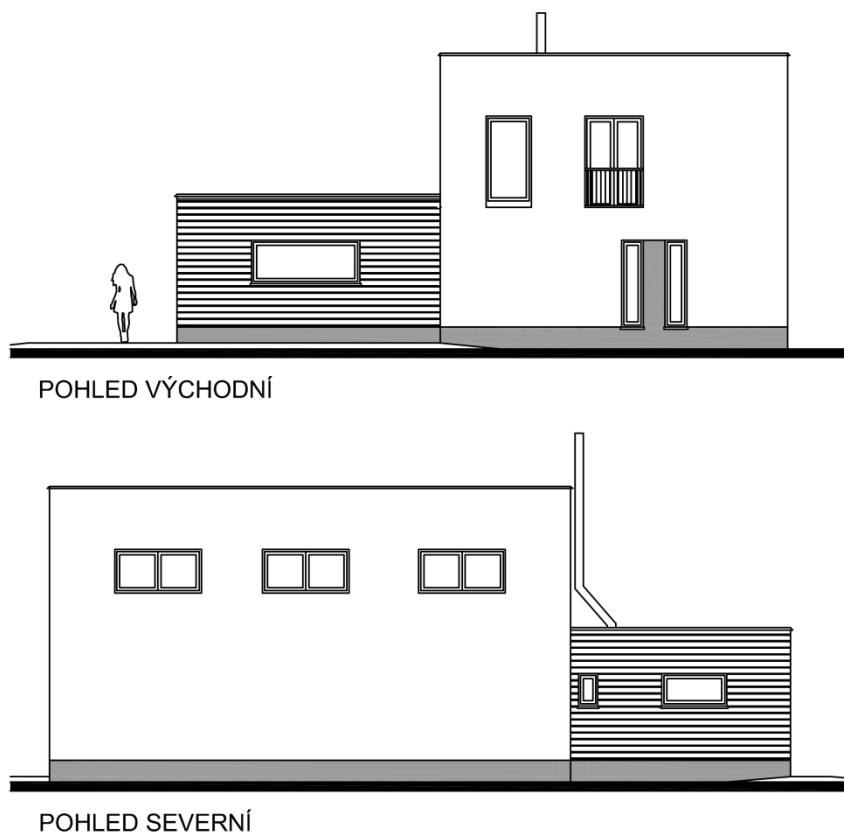
2. POPIS OBJEKTU

Jedná se o novostavbu rodinného domu. Dle stavební výkresové dokumentace se jedná o dvoupodlažní dům. Dům není podsklepen, jedna část je pouze jednopodlažní s plochou střechou a druhá část je dvoupodlažní také s plochou střechou. Celková zastavěná plocha je 170 m². Celková užitná plocha je 200 m². Světlá výška prvního podlaží je 2,6 m a světlá výška druhého podlaží je 2,4 m. Jednotlivé dispozice domu viz výkresová dokumentace. Obvodové stěny jsou z pálených cihel Porotherm 30 Profi. Ploché střechy jsou z trámů a prken, zatepleny minerální vlnou. Podlaha v přízemí je z betonu a zateplena polystyrenem. Detailnější popis konstrukcí viz 3. VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA.

Budova se nachází v lokalitě Hradec Králové s venkovní výpočtovou teplotou $\Theta_e = -15$ [°C], průměrná teplota v otopném období $\Theta_{es} = 5,2$ [°C], počet dnů v otopném období 279 dnů, nadmořská výška 244 m. n. m. Hodnoty dle ČSN 73 0540.



Obr. 2 - 1 Pohled jižní a západní na rodinný dům



Obr. 2 - 2 Pohled východní a severní na rodinný dům

3. VÝPOČET SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA

3.1 Výpočet součinitele prostupu tepla U_c dle normy ČSN 73 0540

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

λ_n	součinitel tepelné vodivosti vrstvy	[W/m·K]
s_n	tloušťka vrstvy	[m]
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[m ² ·K/W]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[m ² ·K/W]

Tab. 3 - 1 Hodnoty tepelného odporu při prostupu tepla

Tepelný odpor [m ² ·K/W]	Směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolů
R _{si}	0,1	0,13	0,17
R _{se}	0,04	0,04	0,04

Tabulka platí pro povrchy přilehlé ke vzduchu. Tepelný odpor při přestupu tepla dle tabulky nelze použít v kontaktu s jiným materiálem. [5]

Tab. 3 - 2 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_i v intervalu 18 °C až 22 °C včetně [4]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty U _{N,20}	Doporučené hodnoty U _{rec,20}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy U _{pas,20}
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4

3.2 Výpočet pro variantu Pasivní hodnoty

Pro venkovní výplně otvorů bylo uvažováno s $U_c = 0,8$ [W/m²·K] včetně rámu. V následující tabulce jsou vypočítány zbývající konstrukce.

Tab. 3 - 3 Vypočítané součinitele prostupu tepla varianta Pasivní hodnoty

SO1	STĚNA OBVODOVÁ	$U_c =$	0,128 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,01	0,99
	Porotherm 38 Profi	0,38	0,113
	Polystyren EPS 250 S	0,15	0,035
	Fasádní lepidlo	0,003	0,22
SN1	PŘÍČKY	$U_c =$	1,268 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
	Porotherm 14 Profi	0,14	0,27
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
SN2	NOSNÉ ZDIVO	$U_c =$	0,516 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
	Porotherm 30 Profi	0,3	0,18
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
STR1	STROP DO 2 NP.	$U_c =$	0,446 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
	Miako 210 mm	0,21	0,875
	EPS 70 F	0,05	0,039
	Betonová mazanina	0,4	0,86
	Keramická dlažba	0,05	1
SCH1	STŘECHA PLOCHÁ	$U_c =$	0,110 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Sádrokarton	0,125	0,15
	Folie z PE	0,015	0,35
	Minerální vlna MVV 75	0,3	0,037
PDL1	PODLAHA NAD ZEMINOU	$U_c =$	0,166 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Keramická dlažba	0,05	1
	Betonová mazanina	0,4	0,86
	EPS 70 F	0,2	0,039
	Beton hutný	0,15	1,1
	Hydroizolace PE	0,01	0,35

3.3 Výpočet pro variantu Požadované hodnoty

Pro venkovní výplně otvorů bylo uvažováno s $U_c = 0,8$ [W/m²·K] včetně rámu. V následující tabulce jsou vypočítány zbývající konstrukce.

Tab. 3 - 4 Vypočítané součinitele prostupu tepla varianta Požadované hodnoty

SO1	STĚNA OBVODOVÁ	$U_c =$	0,281 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,01	0,99
	Porotherm 38 Profi	0,38	0,113
	Polystyren EPS 250 S	0	0,035
	Fasádní lepidlo	0,003	0,22
SN1	PŘÍČKY	$U_c =$	1,268 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
	Porotherm 14 Profi	0,14	0,27
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
SN2	NOSNÉ ZDIVO	$U_c =$	0,516 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
	Porotherm 30 Profi	0,3	0,18
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
STR1	STROP DO 2 NP.	$U_c =$	0,446 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Omítka vápenocementová	0,005	0,99
	Miako 210 mm	0,21	0,875
	EPS 70 F	0,05	0,039
	Betonová mazanina	0,4	0,86
	Keramická dlažba	0,05	1
SCH1	STŘECHA PLOCHÁ	$U_c =$	0,235 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Sádrokarton	0,125	0,15
	Folie z PE	0,015	0,35
	Minerální vlna MVV 75	0,12	0,037
PDL1	PODLAHA NAD ZEMINOU	$U_c =$	0,412 W/m²·K
	VRSTVA:	s_n [m]	λ_n [W/m·K]
	Keramická dlažba	0,05	1
	Betonová mazanina	0,4	0,86
	EPS 70 F	0,06	0,039
	Beton hutný	0,15	1,1
	Hydroizolace PE	0,01	0,35

4. TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU

Výpočet tepelných ztrát byl proveden dle evropské normy ČSN EN 12 831-1. Výpočet byl proveden zjednodušenou metodou, kde nepočítáme jednotlivé tepelné vazby, ale zvolí se přírážka na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} [W/m²·K]. Tato přírážka byla zvolena pro variantu Pasivní hodnoty jako optimalizované řešení $\Delta U_{TB} = 0,02$ [W/m²·K] a pro variantu Požadované hodnoty jako standardní řešení $\Delta U_{TB} = 0,1$ [W/m²·K]. [5]

Tepelná ztráta byla vypočítána po jednotlivých místnostech. Pro výpočet bylo uvažováno s vnitřními rozměry místnosti. Zátopový tepelný výkon byl volen $\Phi_{hu,i} = 0$ [W]. Trvalé tepelné zisky byly voleny $\Phi_{gain,i} = 0$ [W].

Požadovaná výměna vzduchu v místnosti $n_{min,i}$ [1/h] byla volena pro obývané místnosti $n_{min,i} = 0,5$ [1/h], pro kuchyň, koupelny, záchody $n_{min,i} = 1$ [1/h] a pro pomocné místnosti bez oken $n_{min,i} = 0,3$ [1/h]. Pro variantu Pasivní hodnoty bylo zapotřebí určit teplotu vzduchu přiváděnou do místnosti $\Theta_{rec,z}$ [°C] po zpětném získání tepla. Viz kapitola 4.4 Návrh jednotky pro zpětné získávání tepla. [5]

4.1 Výpočet tepelného výkonu pro vytápění (tepelných ztrát)

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} + \Phi_{gain,i} \text{ [W]} \quad (2)$$

$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{hu,i}$	volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[W]

4.2 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru

$$\Phi_{T,i} = \{H_{T,ie} + H_{T,iaj} + H_{T,ig}\} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \text{ [W]} \quad (3)$$

Θ_i	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
Θ_e	oblastní venkovní výpočtová teplota	[°C]
H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru	[W/K]
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok přímo do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,iaj}$	měrný tepelný tok do sousedních prostor nebo přes sousední prostory	[W/K]
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok do zeminy	[W/K]

4.3 Tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru

$$\Phi_{V,i} = V_m \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot n_{\min,i} \cdot (\Theta_i - \Theta_e) \text{ [W]} \quad (4)$$

Při zpětném získávání tepla

$$\Phi_{V,i} = V_m \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot n_{\min,i} \cdot (\Theta_i - \Theta_{\text{rec},z}) \text{ [W]} \quad (5)$$

V_m	vnitřní objem místnosti	[m ³]
ρ_a	hustota vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	[kg/m ³]
c_p	měrná tepelná kapacita vzduchu při vnitřní výpočtové teplotě	[Wh/kg · K]
$n_{\min,i}$	minimální intenzita větrání místnosti	[1/h]
$\Theta_{\text{rec},z}$	teplota přiváděného vzduchu po zpětném získání tepla	[°C]

$$\Theta_{\text{rec},z} = \Theta_e + \eta_{\text{rec},z} \cdot (\Theta_{\text{exh},z} - \Theta_e) \text{ [°C]} \quad (6)$$

$$\eta_{\text{rec},z} \quad \text{účinnost zpětného získávání tepla} \quad [1]$$

$$\Theta_{\text{exh},z} \quad \text{průměrná teplota vzduchu odváděná ze zóny} \quad [°C]$$

4.4 Návrh jednotky pro zpětné získávání tepla ZZT

Varianta domu Pasivní hodnoty je s nuceným větráním. Pro návrh vzduchotechnické jednotky dle výrobce byl stanoven celkový objemový průtok pro větrání. Výpočet vychází z normy ČSN EN 15251 - 2. třída. Navrhl jsem vzduchotechnickou jednotku ATREA DUPLEX 370 ECP. V závislosti na objemovém průtoku vzduchu byla stanovena dle podkladů výrobce účinnost zpětného získávání tepla (rekuperace). [6]

Následně jsem vypočítal teplotu vzduchu přiváděnou do místnosti $\Theta_{\text{rec},z} = 14,32 \text{ [°C]}$ po zpětném získání tepla. Tuto teplotu potřebuji pro výpočet tepelných ztrát.

Tabulka 4.5 Návrh vzduchotechnické jednotky ATREA DUPLEX 370 ECP

Celkový objemový průtok	$V_c =$	300 [m ³ /h]
Účinnost zpětného získávání tepla (rekuperace)	$\eta_{\text{rec},z} =$	84 [%]
Venkovní výpočtová teplota	$\Theta_e =$	-15 [°C]
Teplota objemového průtoku vzduchu odváděného ze zóny	$\Theta_{\text{exh},z} =$	19,9 [°C]
Teplota objemového průtoku vzduchu přiváděného do zóny	$\Theta_{\text{rec},z} =$	14,32 [°C]

4.5 Výpočet tepelných ztrát

Tab. 4 - 1 Vzorový výpočet tepelných ztrát (v Excel) varianta Pasivní hodnoty

104 Ložnice												
$\Theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$			$\Theta_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$			$\Theta_i - \Theta_e = 35 \text{ }^\circ\text{C}$						
označení konstrukce	délka	šířka nebo výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů nebo (plocha okna nebo dveří)	součinitel prostupu tepla	přirážka na tepelné mosty	teplota přilehlého prostoru	teplotní opravný činitel $f = (\Theta_i - \Theta_u) / (\Theta_i - \Theta_e)$	měrný tepelný tok prostupem $H_T = A \cdot (U_c + \Delta U_{TB}) \cdot f$	návrhová tepelná ztráta prostupem $\Phi_T = H_T \cdot (\Theta_i - \Theta_e)$
						A	$U_c; U_{eq}$	ΔU_{TB}	Θ_u	f_u	$H_{T,i}$	$\Phi_{T,i}$
1	m	m	m ²	1	m ²	m ²	W/m ² K	W/m ² K	°C	1	W/K	W
SO1	4,38	2,60	11,39	1,00	1,00	10,39	0,128	0,020	-15	1	1,53	
OJT	0,50	2,00	1,00			1,00	0,800	0,020	-15	1	0,82	
SO1	3,04	2,60	7,90	1,00	5,88	2,03	0,128	0,020	-15	1	0,30	
OJT	2,50	2,35	5,88			5,88	0,128	0,020	-15	1	0,87	
PDL	4,38	3,04	13,32			13,32	0,170		5	0,429	0,97	157
Objem vzduchu v místnosti	$V_m = 34,63 \text{ [m}^3\text{]}$					$\sum H_{T,i} = 4,49 \text{ W/K}$						
Teplota VZD po ZZT	$\Theta_{rec,z} = 14,32 \text{ [}^\circ\text{C]}$					$\sum H_{v,i} = 5,82 \text{ W/K}$						
Požadovaná výměna vzduchu	$n_{min,i} = 0,5 \text{ [1/h]}$					Zátopový TV $\Phi_{hu,i} = 0 \text{ W}$						
Měrná tepelná kapacita vzduchu	$c_p = 0,28 \text{ [W}\cdot\text{h/kg}\cdot\text{K]}$					Tepelné zisky $\Phi_{gain,i} = 0 \text{ W}$						
Hustota vzduchu	$\rho = 1,2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$					Celková tepelná ztráta daného prostoru $\Phi_{HL,i} = 190 \text{ W}$						
Minimální obj. průtok v místnosti	$q_{v,min,i} = 17,32 \text{ [m}^3\text{/h]}$											
Náv. tepelná ztráta větráním	$\Phi_{v,i} = 33 \text{ W}$											

Přepočet součinitele prostupu tepla U_c na $U_{equiv,k}$ pro konstrukci přilehlou k zemině

PDL1	$U_c = 0,1662 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$\Delta U_{TB} = 0,02 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$
Plocha podlahové desky	$A_g = 13,32 \text{ [m}^2\text{]}$	
Nechráněný obvod podlahové desky	$P = 7,4 \text{ [m]}$	
Geometrický parametr podlahové desky	$B' = 3,60 \text{ [m]}$	
Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části	$U_{equiv,k} = 0,170 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	

Tab. 4 - 3 Tepelné ztráty pro variantu Pasivní hodnoty

číslo	Místnost	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{V,i}$	$\Phi_{HL,i}$
		W	W	W
101	Zádveří	50	0	50
102	Chodba	110	50	160
103	Pracovna	120	20	140
104	Ložnice	160	30	190
105	Pokoj	130	30	160
106	Spíž	0	0	0
107	Obýv. pokoj + Kuchyň	1250	160	1410
108	Technická místnost	130	0	130
109	Wc	10	10	20
110	Koupelna	190	70	260
201	Chodba	100	30	130
202	Pokoj	480	50	530
203	Koupelna	270	100	370
204	Pokoj	30	470	500
Σ		3030	1020	4050

H_T	H_V
W/K	W/K
Σ 97	Σ 92

Tab. 4 - 4 Tepelné ztráty pro variantu Požadované hodnoty

číslo	Místnost	$\Phi_{T,i}$	$\Phi_{V,i}$	$\Phi_{HL,i}$
		W	W	W
101	Zádveří	80	70	150
102	Chodba	240	310	550
103	Pracovna	260	110	370
104	Ložnice	350	200	550
105	Pokoj	200	200	400
106	Spíž	0	0	0
107	Obýv. pokoj + Kuchyň	1890	1000	2890
108	Technická místnost	340	150	490
109	Wc	50	80	130
110	Koupelna	250	280	530
201	Chodba	260	180	440
202	Pokoj	840	310	1150
203	Koupelna	440	390	830
204	Pokoj	150	890	1040
Σ		5350	4170	9520

H_T	H_V
W/K	W/K
Σ 174	Σ 92

Celková tepelná ztráta domu je pro variantu Pasivní hodnoty 4050 W a pro variantu Požadované hodnoty 9520 W, což je o 57 % více než varianta Pasivní hodnoty.

5. POTŘEBA TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

Pro stanovení potřeby tepla na vytápění jsem postupoval dle normy ČSN EN ISO 13 790. Tato norma zohledňuje vnitřní a vnější tepelné zisky. Výpočet potřeby tepla dle této normy je přesnější oproti denostupňové metodě. [7]

5.1 Potřeba tepla prostupem

$$Q_{H,tr} = H_T \cdot (\Theta_{exh,z} - t_{ep}) \cdot \frac{n_{hod}}{1000} \text{ [kWh]} \quad (7)$$

H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru	[W/K]
$\Theta_{exh,z}$	průměrná teplota vzduchu odváděná ze zóny	[°C]
t_{ep}	průměrná střední venkovní teplota za měsíc	[°C]
n_{hod}	počet hodin za období	[h]

5.2 Potřeba tepla větráním

$$Q_{H,ve} = H_v \cdot (\Theta_{exh,z} - t_{ep}) \cdot (1 - \eta_{rec,z}) \cdot \frac{n_{hod}}{1000} \text{ [kWh]} \quad (8)$$

H_v	měrný tepelný tok větráním z vytápěného prostoru	[W/K]
$\eta_{rec,z}$	účinnost zpětného získávání tepla	[1]

Pro výpočet bez zpětného získávání tepla.

$$Q_{H,ve} = H_v \cdot (\Theta_e - t_{ep}) \cdot \frac{n_{hod}}{1000} \text{ [kWh]} \quad (9)$$

Θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
------------	----------------------------	------

5.3 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky $\Phi_{zisk,vni}$ [W] produkují vnitřní zdroje tepla. Vnitřní tepelné zisky produkují domácí spotřebiče a umělé osvětlení $\Phi_{s,o}$ [W/osobu], tepelné zisky na každou bytovou jednotku $\Phi_{s,p}$ [W/byt] rodinný dům je jedna bytová jednotka. [7]

$$\Phi_{zisk,vni} = \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p} \text{ [W]} \quad (10)$$

$\Phi_{zisk,vni}$	vnitřní tepelné zisky	[W]
$\Phi_{s,o}$	zisky od domácích spotřebičů a osvětlení	[W]
f	přítomnost osob v roce 70 %	[1]
$\Phi_{s,p}$	tepelné zisky na bytovou jednotku	[W]

5.4 Vnější tepelné zisky

Vnější tepelné zisky se počítají zvlášť pro průhledné a neprůhledné konstrukce. Tepelné zisky vznikají jako důsledek sluneční radiace. V dané lokalitě jsou závislé na orientaci sběrných ploch, stínění, prostupnosti a pohltivosti slunečního záření a na vlastnostech charakterizujících přenos tepla sběrných ploch. Koeficient zahrnující vlastnosti a plochu sběrného povrchu (včetně vlivu stínění) se nazývá účinná solární sběrná plocha. [7, 8]

Vnější tepelné zisky se počítají pro průhledné a neprůhledné prvky zvlášť a dle orientace na světovou stranu. Pro výpočet byla využita měsíční metoda. Třída budovy velmi těžká.

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

Φ_{sol}	vnější tepelné zisky	[W]
F_{sh}	korekce stínění na externí překážky	[1]
A_{sol}	účinná solární sběrná plocha	[m ²]
I_{sol}	celkové solární záření	[W/m ²]
$F_{\text{r,i}}$	faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	[1]
$\Phi_{\text{r,i}}$	přídavný tepelný tok sáláním vůči obloze	[W]

Tab. 5 – 1 Průměrné celkové solární záření za měsíc pro ČR

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

Tab. 5 – 2 Parametry pro výpočet vnějších tepelných zisků

Korekce stínění na externí překážky	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	
	Horizontální	Vertikální
F_{sh}	$F_{\text{r,i}}$	
[1]	[1]	
1	1	0,5

5.4.1 Výpočet účinné solární sběrné plochy pro průhledné prvky

$$A_{\text{sol}} = F_{\text{sh,gl}} \cdot g_{\text{gl}} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{\text{w,poh}} \quad [\text{m}^2] \quad (12)$$

A_{sol}	účinná solární sběrná plocha	$[\text{m}^2]$
$F_{\text{sh,gl}}$	korekční činitel stínění	$[1]$
g_{gl}	celková energetická propustnost zasklení	$[1]$
F_f	korekce na podíl plochy rámu	$[1]$
$A_{\text{w,poh}}$	pohledová plocha průhledných prvků	$[\text{m}^2]$

Tabulka 5 – 3 Parametry pro výpočet účinné solární sběrné plochy průhledných prvků

Korekční činitel stínění	Celková propustnost zasklení	Korekce pro rozptyl zasklení	Celková propustnost průhlednými prvky	Podíl plochy rámu
$F_{\text{sh,gl}}$	g_{gl}	F_w	g_{gl}	F_f
$[1]$	$[1]$	$[1]$	$[1]$	$[1]$
Dle projektu-zastínění vnější a vnitřní	Dle typu zasklení-např. trojsklo	Hodnota dána normou	$F_w \cdot g_{\text{gl}}$	Dle projektu
0,7	0,7	0,9	0,63	0,3

5.4.2 Výpočet účinné solární sběrné plochy pro neprůhledné prvky

$$A_{\text{sol}} = \alpha_{\text{s,c}} \cdot R_{\text{se}} \cdot U_c \cdot A_{\text{c,poh}} \quad [\text{m}^2] \quad (13)$$

A_{sol}	účinná solární sběrná plocha	$[\text{m}^2]$
$\alpha_{\text{s,c}}$	pohltivost slunečního zařízení neprůhledných prvků	$[1]$
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$[\text{m}^2/\text{K}\cdot\text{W}]$
U_c	součinitel prostupu tepla	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$
$A_{\text{c,poh}}$	pohledová plocha neprůhledných prvků	$[\text{m}^2]$

5.4.3 Výpočet přídatného tepelného toku sáláním vůči obloze

V mém výpočtu s ním počítám, ale lze jej pro zjednodušení výpočtu zanedbat.

$$\Phi_{\text{r,i}} = R_{\text{se}} \cdot U_c \cdot A_{\text{c,poh}} \cdot h_r \cdot \Delta t_{\text{e,r}} \quad [\text{W}] \quad (14)$$

$\Phi_{\text{r,i}}$	přídatný tepelný tok sáláním vůči obloze	$[\text{W}]$
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	$[\text{m}^2/\text{K}\cdot\text{W}]$
U_c	součinitel prostupu tepla	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$
$A_{\text{c,poh}}$	pohledová plocha neprůhledných prvků	$[\text{m}^2]$
h_r	součinitel prostupu tepla sáláním na vnější straně	$[\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}]$
$\Delta t_{\text{e,r}}$	rozdíl vnějších teplot, volí se pro ČR 11 °K	$[\text{°K}]$

Tab. 5 – 4 Parametry pro výpočet účinné solární sběrné plochy neprůhledných prvků a parametry pro výpočet tepelného toku sáláním vůči obloze

Parametry k výpočtu účinné solární sběrné ploše neprůhledných prvků A_{sol}			Parametry pro výpočet sálání vůči obloze Φ_r	
Pohltivost slunečního záření nep. Prvků	Tepelný odpor na vnějším povrchu	Součinitel prostupu tepla neprůhledných částí	průměrnou teplotu 10°K	pro mírné pásma
$\alpha_{s,c}$	R_{se}	U_c	h_r	$\Delta t_{e,r}$
[1]	$[(m^2 \cdot K)/W]$	$[(m^2 \cdot K)/W]$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	$^{\circ}K$
Dle projektu		Dle projektu		
0,6	0,04	-	5	11

5.5 Potřeba tepla na vytápění

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \text{ [kWh]} \quad (15)$$

$Q_{H,nd}$	potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušení vytápění, pro RD je 1	[1]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla na vytápění a větrání	[kWh]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[1]
$Q_{H,gn}$	celkové tepelné zisky	[kWh]

5.5.1 Bilanční poměr pro režim vytápění

$$Y_H = \frac{\text{Celkové tepelné zisky}}{\text{Celková potřeba tepla}} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \text{ [1]} \quad (16)$$

5.5.2 Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění

$$\text{Když } Y_H > 0 \text{ a } Y_H \neq 0 \text{ pak } \eta_{H,gn} = \frac{1 - Y_H^{a_H}}{1 - Y_H^{a_H + 1}} \text{ [1]} \quad (17)$$

$$\text{Když } Y_H = 1 \text{ pak } \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \text{ [1]} \quad (18)$$

$$\text{Když } Y_H < 0 \text{ pak } \eta_{H,gn} = \frac{1}{Y_H} \text{ [1]} \quad (19)$$

5.5.3 Bezrozměrný parametr závisející na časové konstantě (měsíční metoda)

$$a_H = 1 + \frac{\tau}{15} \quad [1] \quad (20)$$

5.5.4 Časová konstanta budovy

$$\tau = \frac{c_m}{H_T + H_V} \cdot \frac{3600}{[h]} \quad (21)$$

c_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru	[W/K]
H_V	měrný tepelný tok větráním z vytápěného prostoru	[W/K]

Tab. 5 – 5 Hodnoty vnitřní tepelné kapacity budovy

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

5.6 Výpočet potřeby tepla na vytápění

Dle následujících tabulek jsem vypočítal potřebu tepla na vytápění pro obě varianty zateplení domu. Průměrné venkovní měsíční teploty byly uvažovány pro lokalitu Hradec Králové. Pro variantu Pasivní hodnoty vyšla potřeba tepla na vytápění za rok $Q_{H,nd} = 5781$ [kWh] a pro variantu Požadované hodnoty $Q_{H,nd} = 18634$ [kWh] za rok. U varianty Pasivní hodnoty se zpětným získáváním tepla uspoříme 69 % energie za rok oproti variantě Požadované hodnoty.

Tab. 5 – 5 Výpočet potřeby tepla na vytápění (v Excel) varianta Pasivní hodnoty

Měsíc	Počet dnů n_d den	Počet hod n_{hod} hod	Střední venkovní teplota t_{ep} °C	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy H_T W/K	Potřeba tepla prostupem Q_{Htr} kWh	Měrný tepelný tok větráním celé budovy H_v W/K	Potřeba tepla větráním Q_{Hve} kWh	Celková potřeba tepla Q_{Hht} kWh	Vnitřní tepelné zisky Q_{Hinc} kWh	Solární tepelné zisky Q_{Hsol} kWh	Celkové tepelné zisky Q_{Hgen} kWh	Bilanční poměr pro režim vytápění Y_H		Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění η_{Hgen}	Redukční faktor na přerušené vytápění a_{Hrec}	Potřeba tepla na VTP Q_{Hpd} kWh
												1	1			
Leden	31	744	-2,1	1588	241	1829	304	597	901	0,49	0,681	1	1	0,681	1	1215
Únor	28	672	-1	1362	207	1569	274	789	1063	0,68	0,607	1	1	0,607	1	925
Březen	31	744	2,7	1241	188	1430	304	1352	1655	1,16	0,472	1	1	0,472	1	649
Duben	30	720	7,4	873	132	1005	294	1749	2043	2,03	0,335	1	1	0,335	1	321
Květen	31	744	12,8	512	78	590	304	2096	2400	4,07	0,200	1	1	0,200	1	110
Červen	30	720	17	203	31	233	294	2015	2308	9,90	0,093	1	1	0,093	1	0
Červenec	31	744	18,2	123	19	141	304	2048	2351	16,64	0,057	1	1	0,057	1	0
Srpen	31	744	18,8	79	12	91	304	1999	2303	25,19	0,038	1	1	0,038	1	0
Září	30	720	13,5	447	68	515	294	1607	1900	3,69	0,216	1	1	0,216	1	104
Říjen	31	744	8,3	837	127	964	304	1166	1470	1,52	0,403	1	1	0,403	1	372
Listopad	30	720	3,1	1173	178	1351	294	458	752	0,56	0,653	1	1	0,653	1	860
Prosinec	31	744	-0,4	1465	222	1687	304	319	623	0,37	0,741	1	1	0,741	1	1226
				97			92									5781

Tab. 5 – 6 Výpočet potřeby tepla na vytápění (v Excel) var. Požadované hodnoty

Měsíc	Počet dnů n_d den	Počet hod n_{hod} hod	Střední venkovní teplota t_{ep} °C	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy H_T W/K	Potřeba tepla prostupem $Q_{q,itr}$ kWh	Měrný tepelný tok větráním celé budovy H_v W/K	Potřeba tepla větráním $Q_{q,ive}$ kWh	Celková potřeba tepla $Q_{q,nt}$ kWh	Vnitřní tepelné zisky $Q_{q,int}$ kWh	Solární tepelné zisky $Q_{q,isol}$ kWh	Celkové tepelné zisky $Q_{t,ign}$ kWh	Bilanční poměr pro režim vytápění Y_h	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění $\eta_{p,ign}$	Redukční faktor na přerušené vytápění $a_{h,red}$	Potřeba tepla $Q_{q,nd}$ kWh	
															3641	
Leden	31	744	-2,1	2864	1506	4370	304	563	866	0,20	0,842	1	0,842	1	3641	
Únor	28	672	-1	2458	1292	3750	274	776	1051	0,28	0,789		0,789		2921	
Březen	31	744	2,7	2239	1177	3417	304	1373	1676	0,49	0,679		0,679		2279	
Duben	30	720	7,4	1575	828	2403	294	1807	2101	0,87	0,540		0,540		1268	
Květen	31	744	12,8	924	486	1410	304	2190	2493	1,77	0,366		0,366		499	
Červen	30	720	17	365	192	557	294	2114	2407	4,32	0,190		0,190		0	
Červenec	31	744	18,2	221	116	338	304	2140	2443	7,23	0,122		0,122		0	
Srpen	31	744	18,8	143	75	219	304	2077	2380	10,89	0,085		0,085		0	
Září	30	720	13,5	806	424	1230	294	1646	1940	1,58	0,393		0,393		468	
Říjen	31	744	8,3	1510	794	2304	304	1168	1471	0,64	0,618		0,618		1395	
Listopad	30	720	3,1	2117	1113	3230	294	423	717	0,22	0,826		0,826		2638	
Prosinec	31	744	-0,4	2643	1389	4033	304	274	577	0,14	0,881	1	0,881	1	3524	
				175		92									Σ	18634

6. POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Potřeba tepla na přípravu teplé vody byla stanovena základní energetickou bilancí (množství osob, potřeba teplé vody na osobu a den, poměrné ztráty přípravy teplé vody a rozdílu teplot). Pro výpočet bylo uvažováno s potřebou teplé vody 40 litrů na osobu a den. Potřeba tepla na přípravu teplé vody je pro variantu Pasivní hodnoty a variantu Požadované hodnoty shodná. V této práci se nezabývám detailním návrhem přípravy teplé vody. [9]

Potřeba tepla dodaná ohřivačem za den

$$Q_{2p} = \frac{(1 + z) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} \text{ [kWh/den]} \quad (22)$$

Q_{2p}	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh/den]
V_{2p}	celková potřeba teplé vody	[m ³ /den]
z	poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci	[1]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg·K]
t_1	teplota studené vody	[°C]
t_2	teplota teplé vody	[°C]

Potřeba tepla dodaná ohřivačem za rok

$$Q_{2p,r} = Q_{2p} \cdot 349,5 \text{ [kWh/rok]} \quad (23)$$

$Q_{2p,r}$	potřeba tepla na přípravu teplé vody	[kWh/den]
------------	--------------------------------------	-----------

Tab. 6 – 1 Výpočet (v Excel) pro stanovení potřeby tepla na přípravu teplé vody

počet osob	potřeba TV na osobu	celková potřeba TV	poměrná ztráta tepla	teplota studené vody	teplota teplé vody	teplo dodané ohřevem	potřeba tepla na přípravu TV
n		V_{2p}	z	t_1	t_2	Q_{2p}	$Q_{2p,r}$
1	l/os·den	m ³ /den	1	°C	°C	kWh/den	kWh/rok
4	40	0,16	0,3	10	55	10,89	3805

7. TEPLOVODNÍ OTOPNÁ SOUSTAVA

Otopná soustava zajišťuje přenos tepla do jednotlivých místností. Základním podkladem pro projektování je nezávazná norma ČSN 06 0310 Ústřední vytápění z roku 1998. [1]

7.1 Dělení teplovodních otopných soustav

Podle způsobu oběhu otopné vody na soustavy s přirozeným a nuceným oběhem vody. Podle provedení hlavního rozvodů na soustavy s horním a spodním rozvodem vody. Podle rozvodu k jednotlivým otopným tělesům na vertikální a horizontální. Podle způsobu přívodu a odvodu otopné vody na dvoutrubkové protiproudé a souproudé, nebo jednotrubkové bez obtoku těles a s obtokem těles. Podle způsobu spojení s atmosférou na otevřené a uzavřené soustavy. A podle teploty teplotnosné látky na nízkoteplotní do 65°C, teplovodní do 110°C a horkovodní nad 110°C. [1, 3]

Otopnou soustavu jsem navrhl pro variantu Pasivní hodnoty, jako dvoutrubkovou protiproudou se spodním rozvodem a s nuceným oběhem vody. Zabezpečení otopné soustavy je tlakovou expanzní nádobou. Jmenovitý teplotní spád 50/40°C.

7.2 Materiál

Ve vytápění se běžně využívá pro rozvody otopné vody měď, ocel a plast nejčastěji jako síťovaný polyetylen PE-X. Odlišnost v navrhování soustavy z plastů nebo kovů je dána odlišnými mechanickými vlastnostmi těchto materiálů. Potrubí z kovu je možné vést volně před stěnami, zatímco plastové rozvody je nutno chránit před mechanickým poškozením. Otopná soustava musí být chráněna proti korozi zevnitř i zvenku potrubí. Doporučené pH pro ocelové potrubí je 10 a pro měděné je doporučeno pH 6 - 10. [1]

Z hlediska délkové roztažnosti jednotlivých materiálu, nutno zajistit možnost teplotní dilatace potrubí. Teplotní dilatace závisí na délce potrubí, součiniteli teplotní délkové roztažnosti a rozdílu teplot. Při změně teploty o 50 °K pro DN15 o délce 10 m se ocelové potrubí roztáhne o 6 mm, měděné o 8,5 mm a plastové PE-X o 75 mm. [2, 3]

Pro rozvody otopné vody jsem navrhl měděné potrubí pájené na měkko. Potrubí je vedeno dle výkresové dokumentace v podlaze nebo drážce zdiva, opatřeno tepelnou izolací. V dané lokalitě je pH v doporučeném rozmezí. Kompenzace potrubí je zajištěna přirozenými změnami směrů.

7.3 Otopná tělesa

Pro přenos tepla ze zdroje do jednotlivých místností jsem navrhl otopná tělesa. Tělesa byla navržena tak, aby bylo zajištěno optimální rozložení teplot v místnosti. Tělesa byla instalována pokud možno pod ochlazovanou plochu (okna). Otopná tělesa jsem zvolil desková RADIK VK, dále podlahové konvektory a trubkové registry. Veškerá otopná tělesa byla navržena od firmy KORADO.

Deskové ocelové otopné těleso v provedení VENTIL KOMPACT, které umožňuje pravé spodní připojení na otopnou soustavu. Tato tělesa oproti klasickému provedení mají integrovaný ventil v sobě, mají větší tlakovou ztrátu, ale oproti klasickému připojení se dá přívodní potrubí esteticky lépe zakrýt. Tělesa budou připojena pomocí regulačního šroubení IVAR. DD 345. Ze zadní strany tělesa jsou přivařeny dvě horní a dolní přichytky, otopná tělesa o délce 1800 mm a delší mají navařených šest přichytek. Typové označení např. 21- 500 x 1000 znamená: dvě otopné plochy a jeden přidavný plech - výška tělesa x délka tělesa. [10]

Trubkové registry byly navrženy KORALUX RONDO COMFORT - M. Tato tělesa jsou vyrobena z uzavřených ocelových profilů s průřezem ve tvaru "D" a prohnutých profilů s kruhovým průřezem. Těleso je upravené pro spodní středové připojení s přípojovací roztečí 50 mm. Jsou připojena pomocí speciální středové armatury HM, jedná se o integrovanou armaturu, tj. v těle armatury je integrován ventil a regulační uzavírací šroubení a lze tedy odpojit otopné těleso od otopné soustavy bez přerušení provozu. Typové označení např. KRTM - 1820 x 500 znamená typ registru - délka x výška. [10]

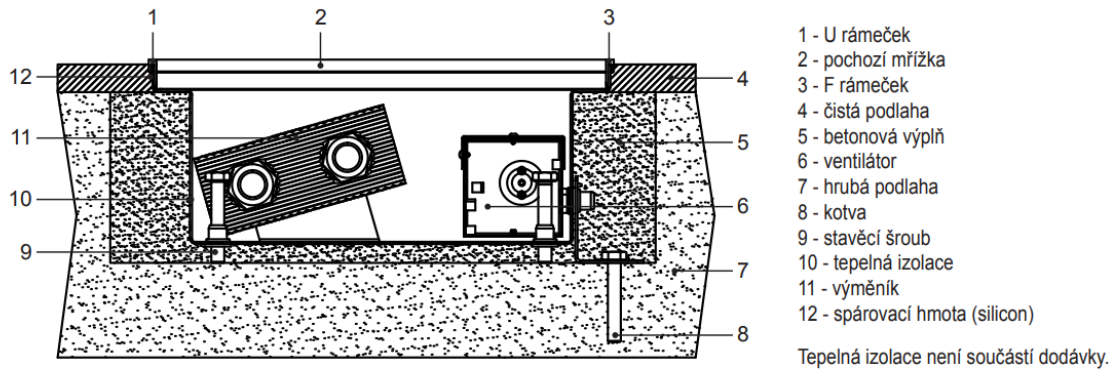


Obr. 7 - 1 RADIK VK [10]



Obr. 7 - 2 KRTM [10]

Podlahové konvektory byly navrženy KORAFLEX FV s ventilátorem a optimalizovanou konvekcí. Výhodou těchto těles je, že se dají dobře umístit pod okna bez parapetu. Nevýhodou je hlučnost ventilátoru a víření prachu, také jsou závislé na elektrické energii. Typové označení např. K - FV - 8/16 x 1600 znamená konvektor - typ - hloubka / šířka x délka. Konvektory budou připojeny pomocí termostatického regulačního ventilu IVAR.VD 005 a regulačního šroubení IVAR.DD 305. [10]



Obr. 7 - 3 Řez zabudovaného konvektoru v podlaze [10]

7.4 Návrh otopných těles

Otopná tělesa byla navržena tak, aby pokryla tepelnou ztrátu místnosti a bylo zajištěno optimální rozložení teplot v místnosti. Ve vedlejších místnostech, kde byla tepelná ztráta minimální, nebyla instalována žádná tělesa. Tělesa byla instalována pokud možno pod ochlazovanou plochu (okno). Jednotlivé rozmístění otopných těles dle přílohy výkresové dokumentace.

Výrobce udává výkon otopných těles při jmenovitých podmínkách. Jmenovitý teplotní spád je 75/65 °C a teplotu v dané místnosti 20°C. Výrobce KORADO na svých webových stránkách umožňuje přepočítání tepelného výkonu jednotlivých těles při námi zadaných teplotních parametrech, tedy teplotním spádu 50/40 °C a výpočtové teploty v dané místnosti. Výrobce tedy umožňuje přepočítání tepelného výkonu, což zohledňuje opravný součinitel na teplotní rozdíl. Dále pokud otopné těleso nebylo umístěno pod okno, byl návrhový tepelný výkon upraven opravným součinitelem na umístění těles v prostoru. [10, 1]

Tab. 7 - 1 Návrh otopných těles varianta Pasivní hodnoty

přívod	zpátečka	Δt	Místnost		tepelná ztráta místnosti	vytápěna z vedlejší místnosti	požadovaný výkon		typ otopného tělesa	nominální výkon		redukovaný výkon		instalovaný výkon		hmotnostní průtok		otáčky ventilátoru pro konvektor
			číslo	zpátečka			Q_i	W		Q_n	W	Q_r	W	výkon	výkon	výkon	výkon	
50	40	10																
101	Zá dveří		50	ne	1410		80	10-500x400		206	100	125	8,6					
102	Chodba		160	101, 107		0												
103	Pracovna		140	ne		140	10-500x800		360	155	111	13,3						
104	Ložnice		190	ne		190	K-FV8/16-1200		411	198	104	17,0	1					
105	Pokoj		160	ne		160	10-500x800		411	164	103	14,1						
106	Spiž		0	nevytápěná		0												
107	Obý. Pokoj + Kuchyň		1410					K-FV8/28-1200	785	362		31,1	2					
								K-FV8/28-1600	1154	532		45,7	2					
								K-FV8/28-2000	1532	703	107	60,4	2					
108	Technická místnost		130	nevytápěná		0												
109	Wc		20	nevytápěná		0												
110	Koupelna		260	ne		260	KRTM-1820x500		848	278	107	23,9						
201	Chodba		130	204, 203, 202		0												
202	Pokoj		530	ne		580	20-500x1800		1508	604	104	51,9						
203	Koupelna		370	ne		400	KRTM-1820x750		1213	400	100	34,4						
204	Pokoj		500	ne		550	20-500x1800		1508	604	110	51,9						

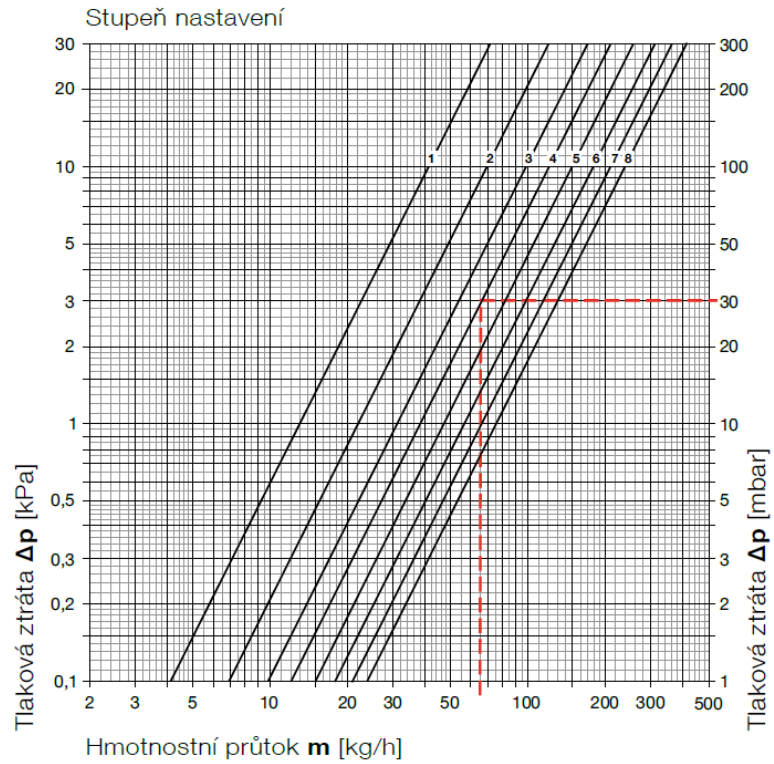
přívod	zpátečka	Δt
50	40	10

7.5 Dimenzování a hydraulické vyvážení otopné soustavy

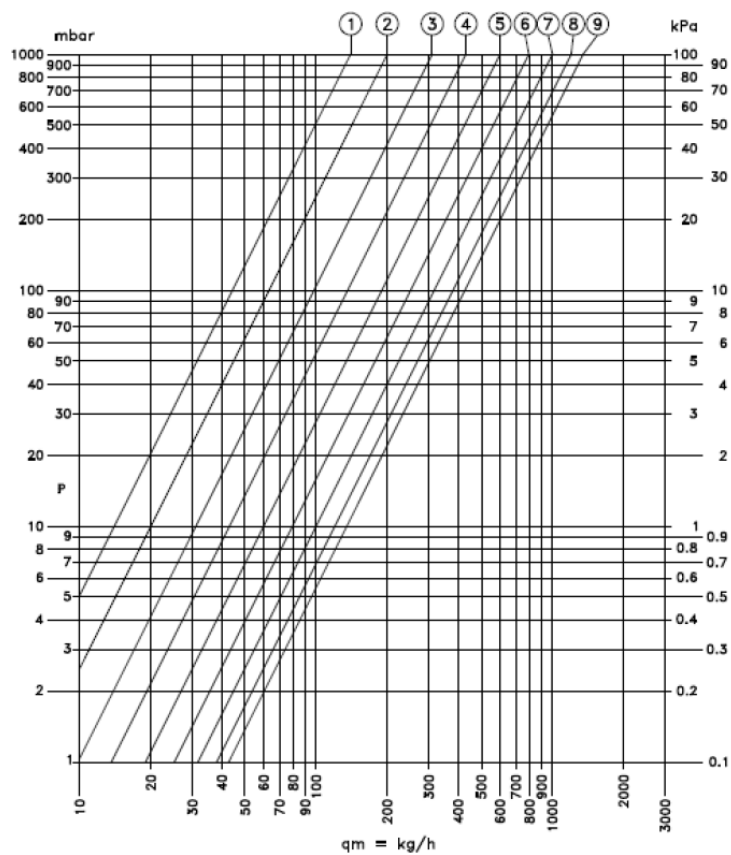
Pro dimenzování potrubní sítě jsem postupoval dle ČSN 06 0310. Výpočet průměru potrubí jsem vypočetl metodou návrhu optimálních ekonomických rychlostí, kde pro dvoutrubkové soustavy je doporučeno 0,5 - 0,6 m/s. Nejprve jsem vypočítal tlakovou ztrátu třením a poté tlakovou ztrátu místních odporů pro jednotlivé úseky. Výpočet jsem provedl pomocí výpočetní pomůcky z webu TZB - info. Výpočet lze použít ke zjištění tlakové ztráty třením v potrubí v závislosti na tvaru a rozměrech potrubí, drsnosti a délky potrubí, hustoty a kinematické viskozity proudící tekutiny. Zadává se průtok potrubím nebo rychlost proudění. [1, 2, 11]

Po dimenzování jednotlivých úseků bylo zapotřebí otopnou soustavu hydraulicky vyvážit. Nejprve zjistit okruh otopného tělesa, který má nejvyšší tlakovou ztrátu. Následně jsem zbývající okruhy otopných těles seškrtl pomocí termostatických ventilů a regulačních šroubení u jednotlivých těles. Tak aby všechna otopná tělesa měla mnou navržený výkon, který závisí především na objemovém průtoku. Je tedy zapotřebí, aby všechny okruhy otopných těles měly stejnou tlakovou ztrátu. Nastavení termostatických ventilů a dimenze potrubí viz příloha výkresové dokumentace a dimenzování otopné soustavy. [1, 3]

U všech termostatických ventilů a regulačních šroubení nebylo využito nastavení s nejmenším průtočným průřezem, tedy nejvyšší tlakovou ztrátou. Mohlo by dojít k zarůstání ventilu až k úplnému ucpání ventilu. Kvůli hydraulickému vyvážení otopných těles bylo zapotřebí konvektory v místnosti 107 a trubkové těleso v 110 vyvážit ještě pomocí radiátorového ventilu IVAR VD.005. [11]



Obr. 7 - 4 Nastavení integrovaného ventilu pro RADIK VK [10]



Obr. 7 - 5 Nastavení regulačního šroubení typu VK IVAR DD 345 [11]

8. NÁVRH ZDROJE TEPLA

Zdroje tepla byly navrženy pro variantu Pasivní hodnoty. Pro danou otopnou soustavu jsem navrhl celkem tři varianty zdroje tepla. Plynový kondenzační kotel, kotel na tuhá paliva pelety a tepelné čerpadlo vzduch - voda. V této práci se nezabývám detailním návrhem regulace a odtahem spalin. Hydraulická schémata zdrojů tepla v přílohách výkresové dokumentace.

8.1 Plynový kondenzační kotel

Na návrhovou tepelnou ztrátu rodinného domu 4050 W, jsem navrhl plynový kondenzační kotel Buderus Logamax plus GB 172-14 o jmenovitém výkonu 14 kW. Výrobce udává normovaný stupeň využití 105 % pro teplotní spád 75/60 °C. Tomu odpovídá účinnost kotle 95 %. Kotel bude umístěn v technické místnosti 108.

Jedná se o kondenzační kotel využívající teplo ze spalin. Aby kondenzační kotel pracoval v kondenzačním režimu, musíme navrhnout vhodný tepelný spád. Při optimálním řízení procesu spalování leží obě teploty pod teplotou rosného bodu, vlhkost obsažená ve spalinách kondenzuje a jde o kondenzační režim. Čehož jsme docílili s navrženým spádem 50/40°C. Pokud bychom ale navrhli např. teplotní spád 90/70°C. Vratná voda do výměníku vstupuje s teplotou 70 °C, která je vyšší než teplota rosného bodu. Vlhkost obsažená ve spalinách nekondenzuje a kotel bude provozován v nekondenzačním režimu. [1, 13]

8.1.1 Hydraulické komponenty kotle GB 172 -14

Součástí kotle je oběhové čerpadlo s možností regulace podle výkonu nebo podle tlakové ztráty, toto čerpadlo je schopno při průtoku 360 kg/h překonat tlakovou ztrátu 40 kPa. Pro mnou navrženou otopnou soustavu plně dostačuje. Dále je vybaven expanzní nádobou o objemu 12 litrů s automatickým odvzdušněním. Pojistným ventilem 3 bar a třicestným přepínacím ventilem pro přednostní přípravu teplé vody. [13]

8.1.2 Příprava teplé vody

Pro přípravu teplé vody jsem zvolil zásobník teplé vody s integrovaným výměníkem tepla Buderus Logamax S120/5W o objemu 120 litrů, který dostačuje pro čtyřčlennou domácnost. Teplá voda bude ohřívána na 55°C. Kotel bude pracovat s přednostní přípravou teplé vody. [13]

8.1.3 Přívod spalovacího vzduchu a odtah spalin

Odtah spalin a přívod spalovacího vzduchu je zajištěn plastovým koaxiálním potrubím ukončeným hlavicí nad střechou. Přetlakový ventilátor nasává pro proces spalování požadovaný průtok vzduchu. Vzduch na spalování je v přetlaku a tím se dopravují spaliny do odvodu spalin. [13]

8.1.4 Regulace

Kotel je regulován podle venkovní teploty (ekvitermně). Pro tento druh regulace je zapotřebí obslužné jednotky RC310 s potřebným čidlem venkovní teploty. Obslužná jednotka bude umístěna v místnosti 102. Čidlo venkovní teploty se instaluje na neosluněnou severní stranu budovy. V kotli je umístěna základní řídicí jednotka Logamatic BC25 s integrovaným hořákovým automatem. Obslužná jednotka RC310 je umístěna v kotli na základním regulátoru BC110 nebo je možné ji instalovat do obytné místnosti. Při instalaci do obytné místnosti funguje obslužná jednotka RC310 také jako komfortní pokojový regulátor. Zásobník teplé vody bude osazen čidlem teploty vody. [13]

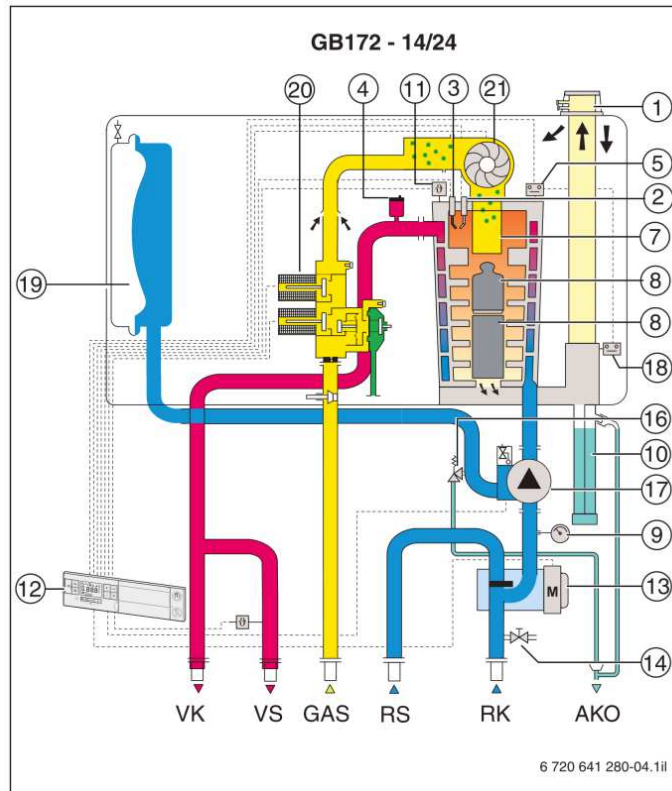
8.1.4 Požadavky na ostatní profese

Zapojení kotle na elektrickou síť 230V.

V blízkosti kondenzačního kotle bude umístěna podlahová vpust', do které bude pomocí odtokového potrubí sveden kondenzát. Pro případ, že bude pojistný ventil v případě havárie odpouštět vodu, bude tato voda svedena nad podlahovou vpust', tak aby byla možná vizuální kontrola. Pojistný ventil nesmí být zapojen přímo do kanalizace.

Připojení zásobníku teplé vody na studenou a teplou vodu.

Napojení kotle na domovní plynovod.



Obr. 8 Funkční schéma Logamax plus GB172-14/24

- AKO** Výstup kondenzátu
- GAS** Připojení plynu
- RK** Zpátečka kotle
- RS** Zpátečka zásobníku
- VK** Výstup kotle
- VS** Výstup zásobníku
- 1** Připojení přívodu vzduchu a odvodu spalin
- 2** Zapalovací elektroda
- 3** Ionizační elektroda
- 4** Automatický odvzdušňovač
- 5** Havarijní omezovač teploty
- 7** Tyčový plošný hořák z nerezů
- 8** Vratné hlavy
- 9** Tlakoměr
- 10** Sífon
- 11** Teplotní čidlo na výstupu
- 12** Základní řídicí jednotka Logamatic BC25
- 13** 3cestný přepínací ventil
- 14** Kohout pro plnění a vypouštění
- 16** Pojistný ventil
- 17** Nízkoenergetické modulační oběhové čerpadlo
- 18** Omezovač teploty spalin
- 19** Integrovaná expanzní nádoba 12 litrů
- 20** Plynová armatura
- 21** Ventilátor

Obr. 8 - 1 Funkční schéma Kotle GB172-14

Detailní schéma zapojení kotle na otopnou soustavu viz příloha 1.4 Schéma zapojení - Plynový kondenzační kotel.

8.2 Kotel na tuhá paliva pelety

Na návrhovou tepelnou ztrátu rodinného domu 4050 W, jsem navrhl kotel na pelety Buderus Logano S181E o jmenovitém výkonu 15 kW a účinnosti kotle 85 %. Ocelový automatický kotel na dřevní palety s násypkou s kapacitou až na 50 provozních hodin a popelníkem s kapacitou na 12 provozních hodin. Splňuje požadavky na EKODESIGN. Zásobník paliva lze instalovat zleva nebo zprava kotle. Kotel bude umístěn v technické místnosti 108. [13]

Kotel musí být chráněn proti nízkoteplotní korozi. To lze zajistit pomocí třicestného přepínacího ventilu. Oběh vody v kotlovém okruhu bude zajišťovat oběhové čerpadlo Grundfos UPM3, které je v rámci volitelného příslušenství kotle v sestavě s třicestným ventilem. [1, 3, 13]

8.2.1 Další technické informace potřebné pro návrh kotle

Obsah vody v kotli 55 litrů, teplota kotlové vody 65 až 80°C minimální teplota vratné vody je 55°C. Přípustný provozní tlak 3 bar, obsah zásobníku paliva 240 litrů, spotřeba paliva při jmenovitém výkonu 5,8 kg/h. [13]

8.2.3 Návrh pojistného zařízení

Prvek s nejnižší tlakovou odolností je kotel 3 bar. Pojistné zařízení jistí zdroj tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku. Dle normy ČSN 06 0830 jsem navrhl pojistný ventil DN 15 2,5 bar.

Tab. 8 - 1 Návrh pojistného zařízení zdroj kotel na tuhá paliva

skupina B pojistný výkon $Q_p=Q_N$	otevřací přetlak	výparné teplo páry	pojistný průtok pro páru	zaručený výtokový součinitel	konstant a závislá na stavu syté páry	potřebný průřez sedla pojistného o ventilu	potřebný vnitřní průměr pojistného o potrubí	minimální výrobce zaručený průřez	zvolený průměr pojistného potrubí
Q_p	p_{ot}	r	m_p	α_v	K	S_o	d_o	$S_{o,min}$	
Kw	kPa	Wh/kg	kg/h	1	kW/mm ²	mm ²	mm	mm ²	
15	250	596	25,2	0,444	1,12	30,2	20,42	113	DN25
Zvolen pojistný ventil 1/2 X 3/4 DN15 2,5 bar									

8.2.4 Zabezpečovací zařízení

Zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teploty a potažmo tlaků v rámci roztažnosti otopné vody v soustavě. Navrhl jsem tlakovou expanzní nádobu o objemu 18 litrů a 5 litrů s automatickým odvzdušněním. [1]

Tab. 8 - 2 Návrh zabezpečovacího zařízení zdroj kotel na tuhá paliva

objem vody v o. soustavě	maximální dovolený konstrukční přetlak	otevírací přetlak	maximální teplota v o. soustavě	maximální rozdíl teplot	součinitel zvětšení objemu	nejvyšší dovolený přetlak absolutně	nejnižší dovolený přetlak absolutně	stupeň využití expanzní nádoby	potřebný objem tlakové expanzní nádoby
V_s	P_k	P_{ot}	t_{max}	Δt_{max}	n	$P_{h,dov,a}$	$P_{o,dov,a}$	η	V_{EN}
l	kPa	kPa	°C	°C	1	kPa	kPa	1	l
596	300	250	50	40	0,01672	350	109	0,689	18,8
Volba expanzní nádoby 18l a 5l.									

8.2.5 Akumulační zásobník

Ke zdroji tepla bylo zapotřebí navrhnout akumulaci. Uvažoval jsem praxí ověřený požadavek 50 litrů na 1 kW instalovaného výkonu. Navrhl jsem akumulaci nádobu Buderus Logalux P500.6 o objemu 500 litrů. Zásobník je z ocelového plechu ve stojatém, válcovém provedení. Má jímku pro teplotní čidlo. Zásobník je tepelně izolován. Zásobník bude osazen automatickou odvzdušňovací nádobou a vypouštěcím kohoutem. [13]

8.2.6 Oběhové čerpadlo pro otopnou soustavu a třicestný směšovací ventil

Na hydraulicky nejnejpříznivější okruh otopné těleso - akumulaci zásobník. Bylo navrženo oběhové čerpadlo na průtok 360 kg/h a tlakovou ztrátu 16,6 kPa Grunfos ALPHA 2 15-40 130 viz obr. 8 - 2. Požadovanou teplotu pro otopnou soustavu bude zajišťovat třicestný směšovací ventil ESBE VRG 131 $k_v = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ DN15. Teplotní spád 50/40°C. [14, 15]

8.2.7 Průtokový součinitel

$$k_v = V_A \cdot \sqrt{\frac{100}{\Delta p_A}} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (24)$$

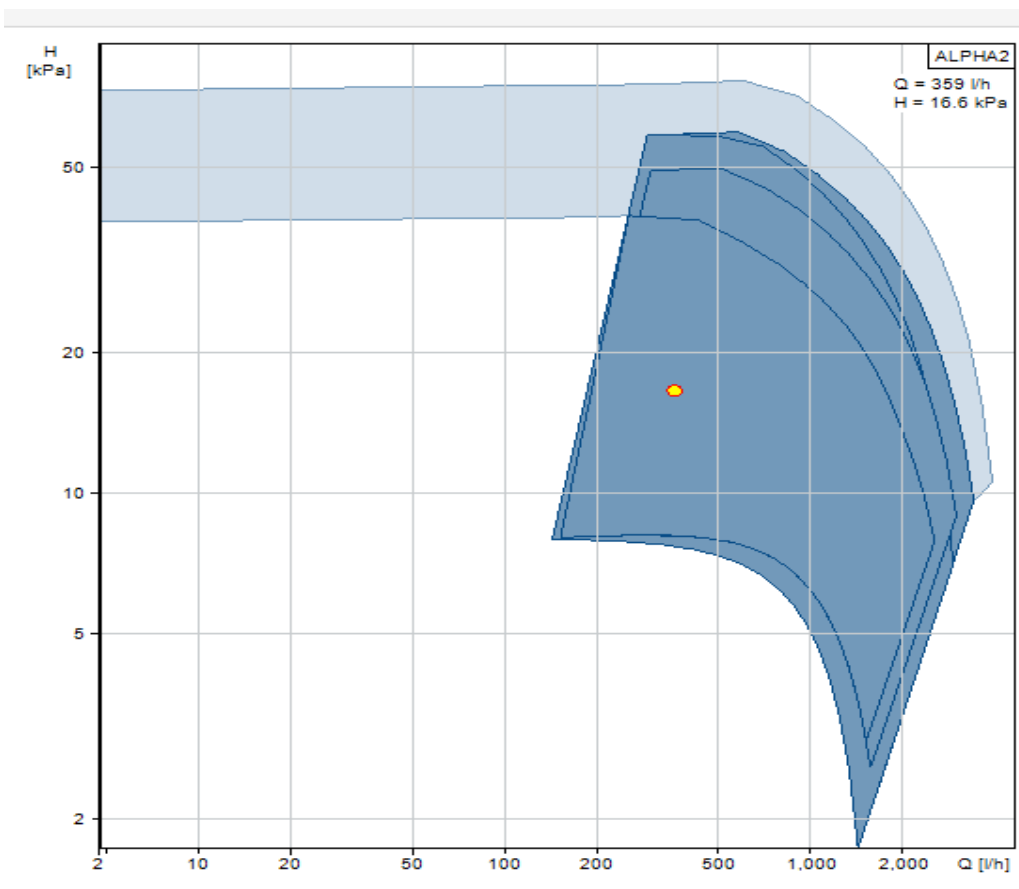
k_v	průtokový součinitel	$[\text{m}^3/\text{h}]$
V_A	průtok armaturou	$[\text{m}^3/\text{h}]$
Δp_A	hledaná tlaková ztráta armatury	$[\text{kPa}]$

Tab. 8 - 3 Návrh oběhového čerpadla zdroj kotel na tuhá paliva

ÚSEK	m	L	ø ; DN	R	w	∑ξ	R.L	Z	R.L+Z
	kg/h	m	mm	Pa/m	m/s	-	Pa	Pa	Pa
1	359	5	18x1	225	0,51	21	1125	2731	3856
Celková tlaková ztráta nejnepříznivějšího okruhu teleso bez useku 1									10051
ÚSEK						m	m	kv	Z
						kg/h	m ³ /h	m ³ /h	Pa
1	filtr do potrubí Giacomini DN15					359	0,359	4,5	636
1	trojcestný směšovací ventil ESBE VRG 131 DN15					359	0,359	2,5	2062
Celková tlaková ztráta nejnepříznivějšího okruhu teleso- akumulární nádob									16606
OČ1 Grunfos ALPHA 2 15-40 130									

8.2.8 Příprava teplé vody

Pro přípravu teplé vody jsem zvolil zásobník teplé vody s integrovaným výměníkem tepla Buderus Logalux SU160 o objemu 160 litrů, který dostačuje pro čtyřčlennou domácnost. Teplá voda bude ohřívána na 55°C. Kotel bude pracovat s přednostní přípravou teplé vody. V období, kdy se nebude vytápět, bude ohřev teplé vody zajištěn pomocí elektrické energie. Zásobník teplé vody bude osazen elektrickou topnou vložkou 4,5 kW/400V. [13]

**Obr. 8 - 2 Charakteristika oběhového čerpadla Grunfos ALPHA 2 15-40 130 [14]**

8.2.9 Přívod spalovacího vzduchu a odtah spalin

Odtah spalin bude zajištěn kouřovodem do komína ukončeným hlavicí nad střechou. Přívod spalovacího vzduchu bude zajištěn otvorem u podlahy o průměru 200 mm osazeným proti dešťovou žaluzií. Plynulá regulace otáček ventilátoru spalovacího vzduchu v kotli je od 700 do 2600 ot/min. [13]

8.2.10 Regulace

Kotel je regulován podle venkovní teploty (ekvitermně). Pro tento druh regulace je zapotřebí obslužné jednotky ST 298 s potřebným čidlem venkovní teploty. Obslužná jednotka bude umístěna v místnosti 102. Čidlo venkovní teploty se instaluje na neosluněnou severní stranu budovy. V kotli je zabudovaná elektronická regulace s PID regulátorem, která řídí podávání paliva, ventilátor spalovacího vzduchu, čerpadlo otopného systému, čerpadlo pro ohřev zásobníku teplé vody. Regulace spalování je na základě teploty otopné vody i teploty spalin, díky tomu je teplota kotle stabilní. Pro docílení požadované teploty 50°C na přívodu otopné vody pro otopná tělesa bude osazen třicestný směšovací ventil a bude osazeno teplotní čidlo. Dále bude osazeno čidlo teploty na akumulacním zásobníku a zásobníku teplé vody. [13]

Detailní schéma zapojení kotle na otopnou soustavu viz příloha 1.5 Schéma zapojení - Kotel na tuhá paliva.

8.2.11 Požadavky na ostatní profese

Zapojení kotle a oběhových čerpadel na elektrickou síť 230V. Připojení zásobníku teplé vody na elektrickou síť 400V. Výkon topné vložky je 4,5 kW.

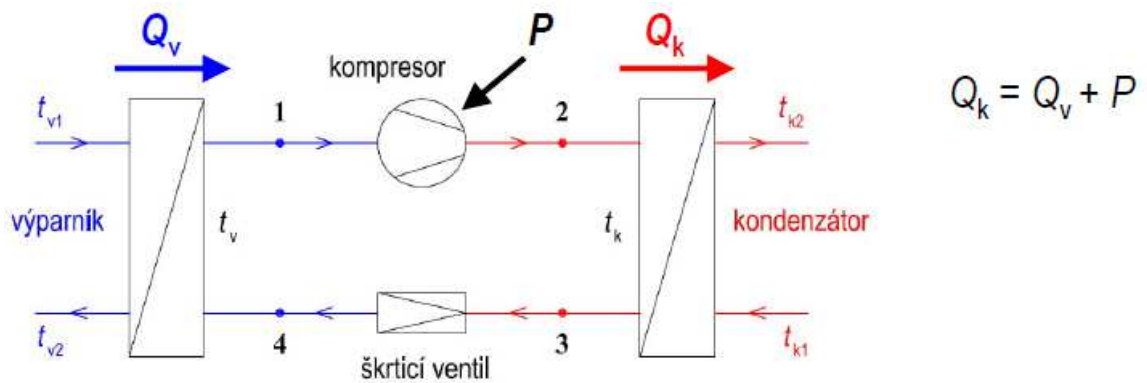
V blízkosti kotle bude umístěna podlahová vpust'. Pro případ, že bude pojistný ventil v případě havárie odpouštět vodu, bude tato voda svedena nad podlahovou vpust' tak aby byla možná vizuální kontrola. Pojišťovací ventil nesmí být zapojen přímo do kanalizace.

Připojení zásobníku teplé vody na studenou a teplou vodu.

8.3 Tepelné čerpadlo vzduch - voda

8.3.1 Tepelná čerpadla teorie

Tepelná čerpadla (TČ) jsou zařízení, která umožňují čerpat tepelnou energii z prostředí A (o nízké teplotě) a zároveň ji předávat do prostředí B (při vyšší teplotě). Většina tepelných čerpadel pracuje s parním oběhem a elektrickým kompresorem.



Obr. 8 - 3 Princip tepelného čerpadla, parní oběh [16]

- 4 - 1 vypařování při nízkém vypařovacím tlaku p_v a teplotě $t_v < t_{v2}$, ochlazení, strana A
- 1 - 2 komprese na vyšší kondenzační tlak
- 2 - 3 ochlazení par a kondenzace při tlaku p_k a teplotě $t_k > t_{k2}$, ohřev, strana B
- 3 - 4 škrťací ventil pro udržení rozdílu tlaků mezi výparníkem a kondenzátorem

Aby bylo možné provést přibližné porovnání různých tepelných čerpadel, jsou v normě EN 14511 stanoveny podmínky, při nichž se topné faktory zjišťují. Výrobce musí udávat topný faktor COP pro jmenovité parametry. V závislosti na teplotě na vstupu do výparníku t_{v1} a teplotě na výstupu z kondenzátoru t_{k2} pro TČ vzduch x voda je $t_{v1} = 2$ [°C] a $t_{k2} = 35$ [°C] značí se A2/W35. [16]

$$\text{COP} = \frac{Q_k}{P_e} = \eta_{\text{TČ}} \cdot \frac{T_{k2}}{T_{k2} - T_{v1}} \quad [1] \quad (25)$$

COP	topný faktor	[1]
Q_k	výkon odebraný z kondenzátoru - užitečný topný výkon	[W]
P_e	elektrický příkon	[W]
$\eta_{\text{TČ}}$	účinnost tepelného čerpadla, běžně je 0,4 - 0,6	[1]
T_{k2}	teplota na výstupu kondenzátoru	[°K]
T_{v1}	teplota na vstupu výparníku	[°K]

Požadavky NZÚ (nová zelená úsporám) na efektivitu tepelných čerpadel. Minimální topný faktor COP při jmenovitých parametrech. **Vzduch x voda A2/W35 COP > 3,1.** Země x voda B0/W35 COP > 4,3. Voda x voda W10/W35 COP > 5,1. [16]

Dle směrnice EU 2009/28/EC o podpoře využití energie z obnovitelných zdrojů má být minimální sezonní topný faktor SPF > 2,5, vychází z účinnosti výroby elektrické energie 45,5 %. Sezonní topný faktor zahrnuje potřebnou elektrickou energii pro provoz tepelného čerpadla, pro dodatkový zdroj a pro energii na pohon ostatních čerpadel v soustavě. [16]

$$\text{SPF} = \frac{Q_{H,nd} + Q_{2p}}{E_C} \quad [1] \quad (26)$$

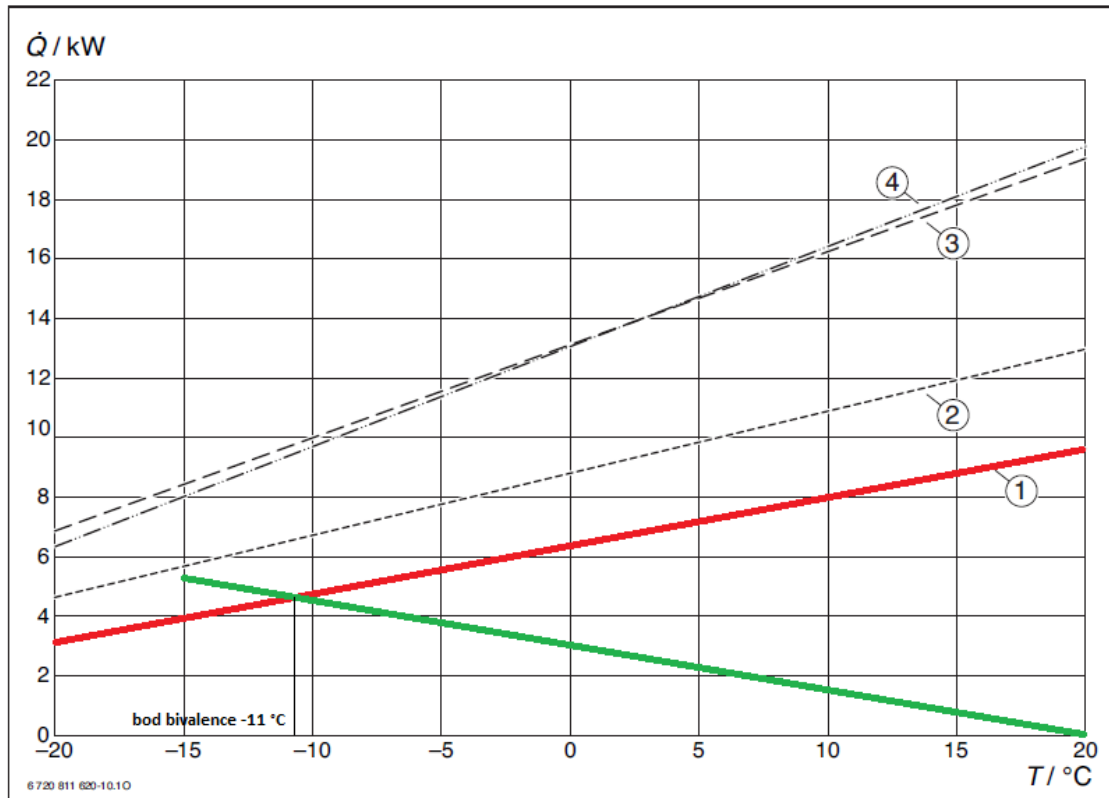
SPF	sezonní topný faktor dané soustavy	[1]
Q_{2p}	potřeba tepla pro ohřev teplé vody	[kWh]
$Q_{H,nd}$	potřeba tepla na vytápění	[kWh]
E_C	celková potřeba energie na provoz TČ, dodatkového zdroje a oběhových čerpadel	[kWh]

Pro nahrazení primárního paliva tepelným čerpadlem, lze zjednodušeně vypočítat, jaký by mělo mít tepelné čerpadlo roční (sezonní) topný faktor SCOP. Vezmeme li například kotel o účinnosti 80 % a podělíme ji účinností výroby elektrické energi pro ČR 32 %. Vyjde nám, že by roční topný faktor měl být SCOP > 2,5. [16]

Při projektování systému lze vhodnou volbou zdroje tepla a otopné soustavy pozitivně ovlivnit topný faktor. Čím je rozdíl mezi teplotou na výstupu z kondenzátoru a teplotou na vstupu do výparníku menší, tím lepší je topný faktor. [13]

8.3.2 Návrh tepelného čerpadla vzduch x voda

Pro tepelnou ztrátu rodinného domu 4050 W, jsem dle doporučení výrobce spočítal návrhový výkon tepelného čerpadla 5340 W. Navrhl jsem tepelné čerpadlo vzduch - voda Buderus WPL 6 AR s vnitřní jednotkou T190, toto čerpadlo má výkon 6 kW při A2/W35. Toto tepelné čerpadlo bude pracovat v monoenergetickém provozu. Špičkové výkony nejsou pokryty samy tepelným čerpadlem, ale jsou kryty pomocí elektrické topné vložky. Tato čerpadla umožňují reverzaci chodu kompresoru, tudíž mohou být využity pro vytápění či chlazení. Výrobce doporučuje, aby bivalentní bod ležel mezi -4 °C až -7 °C. [13]



Obr. 5 Bivalentní bod, výkonové křivky tepelných čerpadel WPL ... AR při výstupní teplotě 55 °C a modulaci 100 %

- Q Potřeba tepelného výkonu
 T Venkovní teplota
 1 Křivky tepelného výkonu WPL 6 AR ———
 2 Křivky tepelného výkonu WPL 8 AR
 3 Křivky tepelného výkonu WPL 11 AR
 4 Křivky tepelného výkonu WPL 14 AR

Obr. 8 - 4 Výkonové křivky tepelného čerpadla WPL AR při výs. teplotě 55°C [13]

8.3.3 Venkovní jednotka TČ WPL 6 AR

Tato jednotka pracuje s principem parního oběhu. Hermeticky uzavřený chladivový okruh, při instalaci není nutná účast chladírenského technika. Jednotka pracuje s chladivem R410A množství chladiva v jednotce 1,75 kg. Jednotka bude umístěna na betonovém základu. Při nezbytném odmrazování a odtávání výparníku vzniká kondenzát. Protože při jediném procesu odtávání může vzniknout až 10 l/h kondenzátu, musí být kondenzát bezpečně odveden do drenážního materiálu nebo k přípojce na splaškovou kanalizaci. [13]

Venkovní jednotka je spojena s vnitřní jednotkou umístěnou uvnitř budovy přednostně pomocí izolovaného potrubí. Pro akustické posouzení místa instalace tepelného čerpadla musí být početně odhadnuty předpokládané hladiny akustického tlaku na místnosti vyžadující ochranu. [13]

$$L_{pAeq} = L_{WAeq} + 10 \cdot \log\left(\frac{Q_1}{4 \cdot \pi \cdot r_1^2}\right) = 61 + 10 \cdot \log\left(\frac{4}{4 \cdot \pi \cdot 10^2}\right) = 36 \text{ [dB]} \quad (27)$$

L_{pAeq}	hladina akustického tlaku u příjemce	[dB]
L_{WAeq}	hladina akustického výkonu na zdroji hluku	[dB]
Q_1	faktor směrovosti	[1]
r_1	vzdálenost mezi příjemcem a zdrojem hluku	[m]

Při instalaci tepelných čerpadel je třeba respektovat směrné emisní hodnoty, které jsou pro obytné oblasti a malá sídliště přes den 55 dB a v noci 40 dB. [13]

8.3.4. Vnitřní jednotka T190

Součástí této jednotky je elektronické oběhové čerpadlo pro okruh zdroje, expanzní nádoba o objemu 14 litrů. K obsahu dodávky náleží pojistná skupina pro otopný okruh 3 bar. Dále přepínatelný elektrický dohřev 3/6/9 kW a třicestný přepínací ventil pro zásobník teplé vody. Jednotka obsahuje zásobník teplé vody o objemu 190 litrů. Teplá voda bude ohřívána na 55°C. [13]

8.3.5 Akumulační zásobník

Pro oddělení okruhu zdroje a okruhu spotřebiče je nutno zvolit buď obtok mezi výstupem a zpátečkou, nebo **akumulační zásobník**. Obtok spojuje vzájemně výstup a zpátečku, aby se zajistil minimální objemový průtok při nízkém odběru v otopném okruhu. Velikost akumulčního zásobníku jsem navrhl praxí ověřeným požadavkem 20 litrů na 1 kW instalovaného výkonu. Navrhl jsem akumulční zásobník o objemu 120 litrů Buderus Logalux P120.5. [13]

8.3.6 Oběhové čerpadlo pro otopnou soustavu a třicestný směšovací ventil

Na hydraulicky nejnepříznivější okruh otopné těleso - akumulční zásobník bylo stejně jako u varianty kotel na tuhá paliva navrženo oběhové čerpadlo a třicestný směšovací ventil. Grunfos ALPHA 2 15-40 130 viz obr. 8 - 2. Požadovanou teplotu pro otopnou soustavu bude zajišťovat třicestný směšovací ventil ESBE VRG 131 $k_v = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ DN15. Teplotní spád 50/40°C. [14, 15]

8.3.7 Regulace

Ve vnitřní jednotce T190 je již integrovaná regulace tepelného čerpadla HMC300. TČ je regulováno podle venkovní teploty (ekvitermně). Pro tento druh regulace je potřeba instalovat čidlo venkovní teploty. Jako prostorový termostat umístěný v místnosti 102 bude sloužit dálkové ovládání s čidlem vlhkosti vzduchu RC100. Pro docílení požadované teploty 50°C na přívodu otopné vody pro otopná tělesa bude osazen třicestný směšovací ventil a bude osazeno teplotní čidlo. Dále bude osazeno čidlo teploty na akumulacním zásobníku. [13]

**Detailní schéma zapojení tepelného čerpadla na otopnou soustavu viz příloha 1.6
Schéma zapojení - Tepelné čerpadlo.**

8.3.8 Požadavky na ostatní profese

Zapojení venkovní jednotky TČ a oběhových čerpadel na elektrickou síť 230V.
Připojení vnitřní jednotky TČ na elektrickou síť 400V. Výkon topné vložky je až 9 kW.
Odvedení kondenzátu z venkovní jednotky do kanalizace.

9. VÝPOČET SKUTEČNÉ POTŘEBY TEPLA A PALIVA

Z hlediska použitých zdrojů tepla bylo zapotřebí stanovit skutečnou potřebu tepla na vytápění a přípravu teplé vody. Skutečná potřeba závisí především na účinnosti zdroje tepla, účinnosti rozvodů a účinnosti regulace. Ceny jsou aktuální k roku 2019.

9.1 Plynový kondenzační kotel

Pro mnou navržený plynový kondenzační kotel byla dle parametrů uvedených v tabulce stanovena celková potřeba energie **10 423 kWh/rok**, což odpovídá celkovému množství zemního plynu **1107 m³/rok**. Cena byla stanovena dle ročního odběru plynu od společnosti E.ON. K celkové ceně jsem přičetl měsíční poplatek 321 Kč. Celková cena za odebraný plyn za rok činí **18 444 Kč**.

Tab. 9 - 1 Výpočet skutečné potřeby tepla a paliva pro plynový kondenzační kotel

palivo	zemní plyn výhřevnost	zemní plyn spalné teplo	účinnost rozvodů	účinnost regulace	účinnost kotle	teoretická potřeba tepla na VTP	potřeba tepla pro ohřev teplé vody
	H_u	H_s	η_R	η_o	η_k	$Q_{H,nd}$	$Q_{2p,r}$
	MJ/m ³	MJ/m ³	%	%	%	kWh/rok	kWh/rok
Z. PLYN	33,9	37,7	96	99	95	5781	3805

	skutečná potřeba tepla na VTP	potřeba tepla na přípravu TV	celková potřeba energie	celková potřeba energie	potřeba paliva	cena jednotková včetně DPH	cena celkem včetně DPH
	Q_{VTP}	Q_{TV}	E_{cel}	E_{cel}	U_{cel}	-	-
	kWh/rok	kWh/rok	kWh/rok	MJ/rok	m ³ /rok	Kč/kWh	Kč/rok
Z. PLYN	6412	4011	10423	37523	1107	1,4	18444

9.2 Kotel na tuhá paliva pelety

Během otopné sezony bude potřebu tepla pro vytápění a teplou vodu zajišťovat kotel na tuhá paliva pelety. Pro mnou navržený kotel na tuhá paliva pelety byla dle parametrů uvedených v tabulce stanovena potřeba energie **10 682 kWh/rok**. Celková cena za rok za pelety činí **12 818 Kč**. V technické místnosti lze vedle kotle uskladnit 1000 kg paliva, které zabere objem 1,55 m³. Zbytek paliva bude uskladněn ve venkovním přístřešku.

Je předpokládáno, že se v letních měsících nebude teplá voda ohřívat pomocí kotle, ale pomocí elektrické energie. Potřeba elektrické energie je **1 100 kWh/rok**. Cena byla stanovena pro sazbu D 27d - Dvoutarifová sazba s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu osmi hodin. Jistič 3x25A měsíční poplatek činí 254 Kč. Sazba je uvažována pro nízký tarif 2,13 Kč/kWh a pro vysoký 4,77 Kč/kWh. Celková cena za elektrickou energii pro ohřev teplé vody mimo otopnou sezonu včetně měsíčního poplatku činí **4 062 Kč**.

Celková cena za rok za energie na potřebu tepla pro vytápění a přípravu teplé vody činí **16 880 Kč**.

Tab. 9 - Výpočet skutečné potřeby tepla a paliva pro kotel na tuhá paliva

palivo	pelety výhřevnost		účinnost rozvodů	účinnost regulace	účinnost kotle	teoretická potřeba tepla na VTP	potřeba tepla dodaná ohřívatelem TV
	H _u		η _R	η _o	η _k	Q _{H,nd}	Q _{2p,r}
	MJ/kg		%	%	%	kWh/rok	kWh/rok
Pelety	18		95	98	85,0	5781	3805

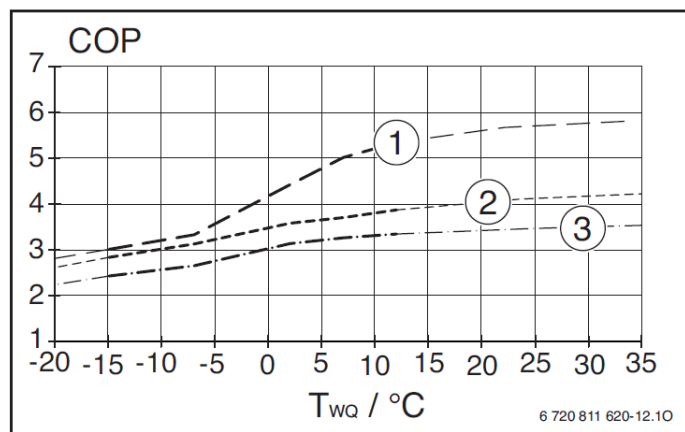
	skutečná potřeba tepla na VTP	potřeba tepla na přípravu TV	celková potřeba energie	celková potřeba energie	potřeba paliva	cena jednotková včetně DPH	cena celkem včetně DPH
	Q _{VTP}	Q _{TV}	E _{cel}	E _{cel}	U _{cel}	-	-
	kWh/rok	kWh/rok	kWh/rok	MJ/rok	kg/rok	Kč/kg, Kč/kWh	Kč/rok
Pelety	7306	3376	10682	38455	2136	6	12818
Elektrina	0	1100	1100	3960	-	3	4062

9.3 Tepelné čerpadlo vzduch - voda

Pro bilancování tepelného čerpadla jsem využil měsíční metodu. Tato metoda je zjednodušená a není příliš přesná, slouží spíše pro zjištění orientačních hodnot. Pro mé výpočty, ale dostačuje. Účelem bilancování tepelného čerpadla je zjistit sezonní topný faktor dané soustavy SPF s tepelným čerpadlem. Tím získáme skutečnou potřebu elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla a dodatkového zdroje. [16]

Tab. 9 - 3 Průměrné tepelné faktory za měsíc - zjednodušená metoda

Měsíc	Počet dnů n	Střední venkovní teplota t_{ep} °C	Teploty na výstupu TČ	
			pro VTP 50°C	pro TV 55°C
			t_{w1} °C	t_{w1} °C
Leden	31	-2,1	3,2	2,9
Únor	28	-1	3,3	3
Březen	31	2,7	3,4	3,1
Duben	30	7,4	3,6	3,3
Květen	31	12,8	3,6	3,4
Červen	30	17	bez VTP	3,5
Červenec	31	18,2	bez VTP	3,5
Srpen	31	18,8	bez VTP	3,5
Září	30	13,5	3,7	3,4
Říjen	31	8,3	3,5	3,3
Listopad	30	3,1	3,4	3,1
Prosinec	31	-0,4	3,3	3
SPF			3,87	3,25



Obr. 9 - 1 Výkoné křivky WPL 6 AR

1 35°C, 2 45°C, 3 55°C

Počet dnů, kdy venkovní výpočtová teplota klesne pod bod bivalence, jsou 3 dny. Pod bodem bivalence -11°C se spíná dodatkový zdroj tepla a tepelné čerpadlo pracuje v paralelně bivalentním provozu. Potřebný výkon dodatkového zdroje je 0,8 kW. Dodatkový zdroj tepla tedy potřebuje 57 kWh elektrické energie za rok. Potřeba elektrické energie za rok pro provoz tepelného čerpadla tedy činí **2721 kWh**. Sazba je uvažována D 56d - Dvoutarifová sazba pro vytápění s tepelným čerpadlem. Jistič 3x25A, měsíční poplatek 514 Kč. Sazba je uvažována pro nízký tarif 2,5 Kč/kWh a pro vysoký 2,8 Kč/kWh. Celková cena za elektrickou energii činí **13 379 Kč**. Lze ale předpokládat, že vlivem této zjednodušené metody bude skutečná potřeba elektrické energie vyšší.

Tab. 9 - 4 Výpočet potřeby elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla

	potřeba tepla na VTP	potřeba tepla na přípravu TV	potřeba el. energie pro VTP	potřeba el. energie pro ohřev TV	celková potřeba el. energie	cena jednotková včetně DPH	cena celkem včetně DPH
	$Q_{H,nd}$	$Q_{2p,r}$	E_{VTP}	E_{TV}	E_{cel}	-	-
	kWh/rok	kWh/rok	kWh/rok	kWh/rok	kWh/rok	Kč/kWh	Kč/rok
Elektřina	5781	3805	1494	1170	2721	2,65	13379

10. EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Porovnání investičních a provozních nákladů jednotlivých zdrojů tepla řešených pro variantu Pasivní hodnoty. Pro mé tři navržené varianty zdrojů tepla jsem provedl rozpočet investičních nákladů jednotlivých zařízení. Veškeré ceny jsou aktuální k roku 2019.

10.1 Investiční náklady plynový kondenzační kotel

Tab. 10 - 1 Rozpočet plynový kondenzační kotel

Popis materiálu - výkonu	Měr. jedn.	Množství	Jedn. cena	Cena
Kotel Buderus GB 172 - 14kW	ks.	1	42200	42200
Zásobník Buderus S 120/5	ks.	1	13300	13300
Odkouření DO 80/125 sada	ks.	1	3500	3500
Montáž kotle	soub.	1	2000	2000
Regulátor RC300 s venkovním čidlem	ks.	1	5200	5200
Kulový kohout DN15	ks.	2	160	320
Filtr do potrubí	ks.	1	290	290
Vypouštěcí kohout	ks.	2	100	200
Montáž ostatních zařízení	soub.	1	1000	1000
Potrubí měděné 18x1 + tvarovky	m	6	280	1680
Tepelná izolace potrubí DN15	m	6	65	390
Seřízení a spuštění, montáž regulace	soub.	1	2000	2000
Cena celkem za vytápění			Kč. bez DPH	72080
Cena celkem za domovní plynovod			Kč. bez DPH	18000
Vytápění + Domovní plynovod			Kč. bez DPH	90080

K celkovým investičním nákladům za vytápění 72 000 Kč jsem připočítal náklady nutné na vybudování domovního plynovodu 18 000 Kč, v této ceně není započítána veřejná přípojka. Předpokládám, že parcela je již připojena k plynovodu do přístavku na hranici pozemku. Celkové investiční náklady plynového kondenzačního kotle jsou tedy 90 000 Kč.

10.2 Investiční náklady kotel na tuhá paliva pelety

Tab. 10 - 2 Rozpočet kotel na tuhá paliva pelety

Popis materiálu - výkonu	Měr. jedn.	Množství	Jedn. cena	Cena
Kotel Buderus LOGANO S 181E 15 kW	ks.	1	59800	59800
Kotlové čerpadlo s třícestným ventilem	ks.	1	7230	7230
Modul ST-431n	ks.	1	3660	3660
Prostorový termostat ST 298	ks.	1	3600	3600
Odkouření DO 150 sada	ks.	1	3500	3500
Montáž kotle	soub.	1	3500	3500
Zásobník TV Buderus Logalux SU160	ks.	1	17600	17600
Elektrická topná vložka 4,5kW/400V	ks.	1	8200	8200
Čerpadlo Grunfos ALPHA 2 20-40	ks.	1	8300	8300
Čerpadlo Grunfos ALPHA 2 15-40	ks.	1	8500	8500
Zásobník Buderus Logalux P500.6	ks.	1	15800	15800
Čidlo teploty	ks.	1	1100	1100
Expanzní nádoba 18 l	ks.	1	800	800
Expanzní nádoba 5 l	ks.	1	550	550
Třícestný s. ventil DN15 VRG 131 kv=2,5	ks.	1	2300	2300
Kulový kohout DN15	ks.	2	160	320
Kulový kohout DN20	ks.	4	240	960
Kulový kohout s vypouštěním DN15	ks.	2	250	500
Filtr do potrubí DN15	ks.	1	290	290
Filtr do potrubí DN20	ks.	1	360	360
Filtr do potrubí DN20	ks.	1	360	360
Zpětný ventil DN15	ks.	1	160	160
Zpětný ventil DN20	ks.	2	210	420
Vypouštěcí kohout	ks.	6	100	600
Manometr	ks.	1	370	370
Teploměr	ks.	1	350	350
Automatický odvzdušňovací ventil	ks.	3	180	540
Pojistný ventil DN15 2,5 bar	ks.	1	340	340
Montáž ostatních zařízení	soub.	1	15500	15500
Ostatní regulace	soub.	1	4000	4000
Seřízení a spuštění, montáž regulace	soub.	1	6000	6000
Potrubí měděné 18x1 + tvarovky	m	7	280	1960
Tepelná izolace potrubí DN15	m	7	65	455
Potrubí měděné 22x1 + tvarovky	m	21	335	7035
Tepelná izolace potrubí DN20	m	21	85	1785
Potrubí měděné 28x1,5 + tvarovky	m	4	480	1920
Tepelná izolace potrubí DN25	m	4	105	420
Větrací otvor s mřížkou ø 200	ks.	1	2900	2900
Cena celkem za vytápění			Kč. bez DPH	191985

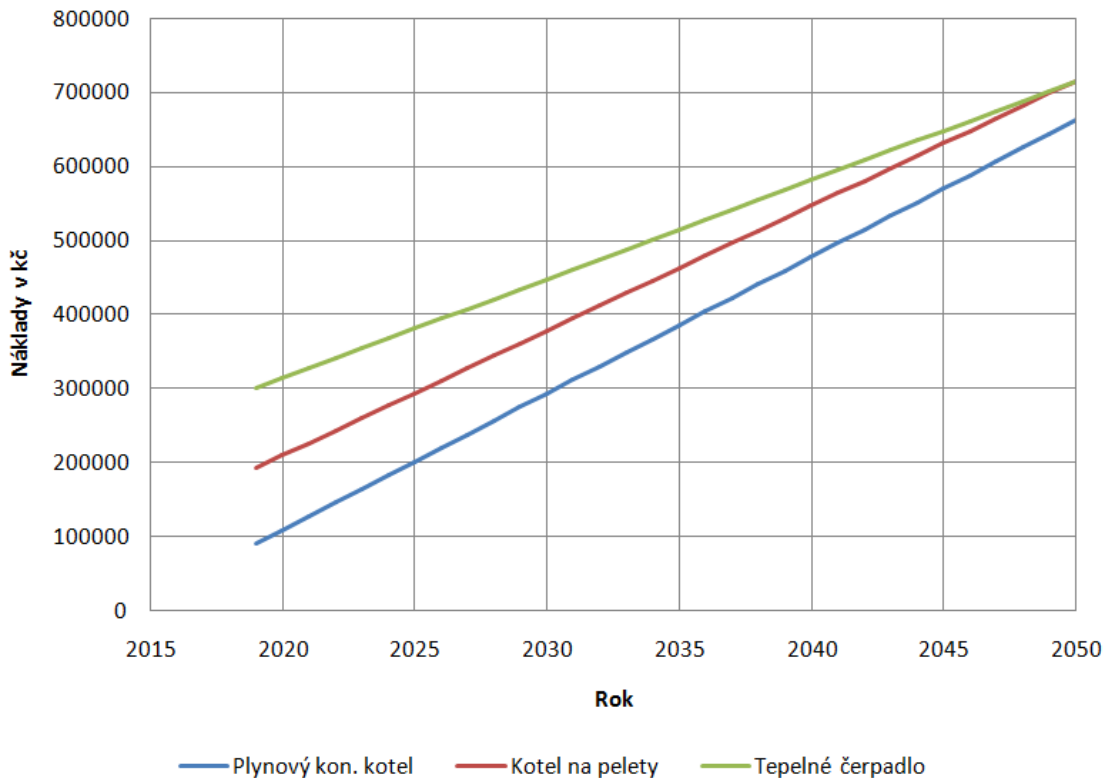
10.3 Investiční náklady tepelné čerpadlo vzduch x voda

Tab. 10 - 3 Rozpočet tepelné čerpadlo

Popis materiálu - výkonu	Měr. jedn.	Množství	Jedn. cena	Cena
TČ Buderus WPL AR 6 AR	ks.	1		
Buderus WPL AR T190	ks.	1		
Regulace HMC300 + čidlo ven. teploty	ks.	1		
Cena celkem za tepelné čerpadlo				244500
Montáž TČ	soub.	1	5500	5500
Prostorový termostat RC 100	ks.	1	1200	1200
Aku. zásobník Buderus Logalux P120.5	ks.	1	13900	13900
Čerpadlo Grunfos ALPHA 2 15-40	ks.	1	8500	8500
Třícestný s. ventil DN15 VRG 131 kv=2,5	ks.	1	2300	2300
Kulový kohout DN15	ks.	3	160	480
Kulový kohout DN20	ks.	2	240	480
Zpětný ventil DN15	ks.	2	160	320
Filtr do potrubí DN15	ks.	1	290	290
Vypouštěcí kohout	ks.	4	100	400
Automatický odzdušňovací ventil	ks.	5	180	900
Montáž ostatních zařízení	soub.	1	4000	4000
Seřízení a spuštění, montáž regulace	soub.	1	4000	4000
Potrubí měděné 18x1 + tvarovky	m	8	280	2240
Tepelná izolace potrubí DN15	m	8	65	520
Potrubí měděné 22x1 + tvarovky	m	25	335	8375
Tepelná izolace potrubí DN20	m	25	85	2125
Cena celkem za vytápění			Kč. bez DPH	300030

10.4 Porovnání investičních a provozních nákladů

Z ekonomického hlediska jsem se snažil vybrat nejpříznivější zdroj tepla pro tento rodinný dům ve variantě Pasivní hodnoty. Vezmu li počáteční investiční náklady a poté k nim přičtu provozní náklady za daný rok, dostanu pro každý zdroj tepla křivku nákladů. Budeme li teoreticky uvažovat pro jednotlivé zdroje, že jejich provozní náklady budou pro každý rok stejné. Bude mít tato křivka lineární průběh viz obr. 10 -1. Reálně se ale každý rok reálná spotřeba tepla bude lišit v závislosti na provozních parametrech a venkovních podmínkách.



Obr. 10 - 1 Investiční a provozní náklady jednotlivých zdrojů tepla

Dle grafu je patrné, že z ekonomického hlediska je nejpříznivější varianta plynový kondenzační kotel. Investiční náklady jsou pouze 90 000 Kč včetně vybudování domovního plynovodu, provozní náklady jsou sice nejvyšší ze všech tří variant, ale činí pouze 18 400 Kč za rok. Takto nízké provozní náklady jsou způsobeny tím, že se jedná o nízkoenergetický dům a jeho teoretická potřeba tepelné energie činí pouze 5 780 kWh za rok. Pokud budeme uvažovat s životností zařízení 20 let, tak se tepelné čerpadlo ani kotel na pelety nevyplatí z ekonomického hlediska. Zjednodušeně lze říci, že investiční náklady oproti plynovému kondenzačnímu kotli jsou pro kotel na tuhá paliva dvojnásobné a pro tepelné čerpadlo vzduch - voda trojnásobné.

Cena paliva se však reálně v průběhu let bude měnit. Nelze jednoduše určit, jak se ceny paliv budou reálně v průběhu následujících let vyvíjet. Cenu paliv ovlivňuje především cena na trhu, poptávka, ekonomická situace (HDP) a politika. Lze ale předpokládat, že ceny energií porostou, elektrická energie poroste zřejmě nejrychleji. Vzroste spotřeba elektrické energie vlivem prosazování elektro automobility. Dále dle rozhodnutí evropské komise, by měly evropské státy do roku 2050 dosáhnout nulových čistých emisí skleníkových plynů. Toto povede k přechodu od fosilních paliv na obnovitelné zdroje energie. Nutná výstavba nových elektráren. To může mít za následek zvýšení

poptávky po biopalivu, tedy růstu cen pelet. Naopak na fosilní paliva, tedy i zemní plyn, může být uvalena ekologická daň. [17]

11. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout vytápění rodinného domu. Nejprve jsem navrhl **skladby konstrukcí**, které vyhovují normě ČSN 73 0540 a to na požadované a pasivní hodnoty součinitele prostupu tepla U_c [$W/m^2 \cdot K$]. Dále jsem vypočítal **tepelné ztráty** dle ČSN EN 12 831 - 1 pro variantu Pasivní hodnoty se zpětným získáváním tepla je tepelná ztráta domu **4 050 W** a pro variantu Požadované hodnoty je tepelná ztráta domu **9 520 W**.

Výpočet potřeby tepla na vytápění jsem stanovil dle normy ČSN EN ISO 13 790. Norma zohledňuje vnitřní tepelné zisky a vnější tepelné zisky. Teoretická potřeba tepla na vytápění byla stanovena pro variantu Pasivní hodnoty **5 781 kWh/rok**, tak pro variantu Požadované hodnoty **18 634 kWh/rok**. Dále jsem stanovil energetickou bilanci potřebu tepla na přípravu teplé vody, která je pro obě varianty **3 805 kWh/rok**. U varianty Pasivní hodnoty uspoříme **69 %** energie za rok oproti variantě Požadované hodnoty. Na přiloženém CD je soubor ve formátu excel, kde s jednotlivými výpočty lze pracovat.

Pro přenos tepla ze zdroje do jednotlivých místností byla navržena **teplovodní otopná soustava**, která byla navržena na jmenovitý teplotní spád **50/40 °C**. Přenos tepla z otopné soustavy do místností je zajištěn pomocí otopných těles. A to deskových otopných těles, trubkových otopných těles a podlahových konvektorů. Otopnou soustavu jsem navrhl pro variantu **Pasivní hodnoty**, jako dvotrubkovou protiproudou s nuceným oběhem vody. Zabezpečení otopné soustavy je tlakovou expanzní nádobou.

V rámci této bakalářské práce řeším návrh tří zdrojů tepla. Navrhl jsem jako první variantu **plynový kondenzační kotel Buderus GB 172 - 14 kW**. Jako druhou variantu jsem navrhl **kotel na tuhá paliva pelety Buderus Logano S181E 15 kW**. Palivo jsem zvolil dřevěné pelety. Třetí variantu zdroje tepla jsem navrhl **tepelné čerpadlo vzduch - voda Buderus WPL 6 AR 6 kW**.

Pro jednotlivé zdroje tepla jsem vypočítal **skutečnou potřebu energie** na vytápění a ohřev teplé vody. **Plynový kondenzační kotel** s účinností kotle 95 % potřebuje **10 423 kWh/rok** zemního plynu, což činí 18 440 Kč. **Kotel na tuhá paliva pelety** s

účinností kotle 85 % potřebuje 10 682 kWh/rok v peletách a v období, kdy se nebude vytápět, tedy v létě, se bude ohřívat teplá voda pomocí elektrické energie 1 100 kWh/rok. Celková potřeba energie je tedy **11 782 kWh/rok** což činí 16 880 Kč. **Tepelné čerpadlo** pracuje pro mnou navrženou soustavu se sezonním topným faktorem pro ohřev teplé vody 55°C SPF = 3,25 a pro vytápění 50°C SPF = 3,87. Celková potřeba elektrické energie pro provoz tepelného čerpadla je **2 721 kWh/rok** což činí 13 380 Kč. Lze tedy konstatovat, že z hlediska úspory potřeby primární energie je tepelné čerpadlo nejúspornější, ale je potřeba zohlednit účinnost výroby el. energie.

Investiční náklady jednotlivých zdrojů tepla jsou: Plynový kondenzační kotel **90 000 Kč**, kotel na tuhá paliva **192 000 Kč** a tepelné čerpadlo vzduch - voda **300 000 Kč**. Z hlediska porovnání investičních a provozních nákladů vychází nejvýhodněji plynový kondenzační kotel, dále kotel na tuhá paliva a tepelné čerpadlo vychází investičně nejméně příznivě.

Z mých závěrů bych tedy doporučil pro tento dům **plynový kondenzační kotel**. A všude tam kde je možné připojit dům na plynovod. Plynový kotel zabere minimum místa pro instalaci. Jeho montáž a regulace je jednoduchá na instalaci. Jeho investiční náklady jsou minimální a lze jej jednoduše demontovat. Nevýhodou jsou vyšší provozní náklady, přívod spalovacího vzduchu a odvod spalin. Plynový kotel musí být pravidelně kontrolován a je nutné provádět minimálně jednou za tři roky revizi kotle.

Kotel na tuhá paliva bych doporučil pouze lidem, kterým nevádí potřebná obsluha kotle, případně mají výraznou slevu na palivo, v mém případě pelety. Výhodou tedy mohou být provozní náklady. Nevýhodou jsou prostorové nároky na umístění kotle a ostatního zařízení a nutnost uskladnění paliva. Následné přikládání paliva do zásobníku a vynášení popelu. Vysoké nároky na montáž zařízení a instalaci regulace zařízení. Vysoké investiční náklady. Nutnost zajištění přívodu vzduchu a odvodu spalin.

Tepelné čerpadlo vzduch - voda bych doporučil tam, kde není možnost připojení na plynovod a ekologicky smýšlejícím lidem, kterým nevádí vysoké investiční náklady. Výhodou jsou relativně malé prostorové nároky na umístění vnitřní jednotky. Relativně nízké nároky na montáž zařízení a regulaci oproti kotli na tuhá paliva. Nepotřebujeme přívod spalovacího vzduchu ani odtah spalin. Nízké provozní náklady. Nevýhodou jsou investiční náklady a instalace venkovní jednotky tak, aby nebyly překročeny hlukové limity.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy - teplovodní*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 1998. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-0201254-2.
- [2] BAŠTA, Jiří a Roman VAVŘIČKA. *Otopné plochy: cvičení*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3344-9.
- [3] ŠTĚCHOVSKÝ, Jaroslav. *Vytápění pro střední školy se studijním oborem TZB nebo obdobným*. 3. vydání. Praha: SOBOTÁLES, 2010. ISBN 978-80-86817-11-8
- [4] *Tzb-info: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/136-normove-hodnoty-soucinitele-prostupu-tepla-un-20-jednotlivych-konstrukci-dle-csn-73-0540-2-2011-tepelna-ochrana-budov-cast-2-pozadavky>
- [5] BAŠTA, Jiří. *Výpočet tepelného výkonu pro vytápění: ČSN EN 12831-1* [přednáška]. 2018.
- [6] *Atrea: Kompaktní větrací jednotky DUPLEX EC5* [online]. [cit. 2019-02-01]. Dostupné z: https://www.atrea.cz/img/obytneduplex_ec5_cz/duplex_ec5_cz_2016_04.pdf
- [7] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet potřeby tepla a paliva. Utp.fs.cvut* [online]. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf
- [8] MPO-EFEKT, *ZAVEDENÍ POSTUPU VÝPOČTU POTŘEBY TEPLA A CHLADU PODLE NOVELIZOVANÉ EN ISO 13790* [online]. Copyright ©RPQ [cit. 01.05.2019]. Dostupné z: https://www.mpoefekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/091214_publicace_CSN_EN_13790_def_opr.pdf
- [9] VAVŘIČKA, Roman. *Příprava teplé vody. Utp.fs.cvut* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/ZTI/NEW/004_TV_1.pdf
- [10] *KORADO* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.korado.cz/>
- [11] *Tzb - info: Výpočet tlakové ztráty třením v potrubí* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/87-vypocet-tlakove-ztraty-trenim-v-potrubi>

- [12] *IVAR: Topenářské armatury* [online]. [cit. 2019-05-30]. Dostupné z:
<https://www.ivarcs.cz/katalog/vytapeni-ivartrio/topenarske-armatury-c722/>
- [13] *Buderus: Technický katalog 2019* [online]. [cit. 2019-05-30]. Dostupné z:
<https://www.buderus.com/cz/cs/dokumenty/katalog.html>
- [14] *Grundfos: ALPHA 2* [online]. [cit. 2019-05-30]. Dostupné z:
<https://cz.grundfos.com/Produkty/find-product/ALPHA2.html>
- [15] *ESBE: Ventily a servopohony* [online]. [cit. 2019-05-30]. Dostupné z:
<https://www.esbe.cz/>
- [16] MATUŠKA, Tomáš. *Tepelná čerpadla* [přednáška]. 2019.
- [17] *Solarninovinky: Brusel vyzývá k přechodu k obnovitelným zdrojům a čisté mobilitě* [online]. [cit. 2019-06-13]. Dostupné z:
<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2019040108/brusel-vyzyva-k-prechodu-k-obnovitelnym-zdrojum-a-ciste-mobilite>

SEZNAM PŘÍLOH

1. Výkresová dokumentace
 - 1.1 Půdorys 1. NP
 - 1.2 Půdorys 2. NP
 - 1.3 Schéma zapojení
 - 1.4 Schéma zapojení - Plynový kondenzační kotel
 - 1.5 Schéma zapojení - Kotel na tuhá paliva
 - 1.6 Schéma zapojení - Tepelné čerpadlo
2. Dimenzování otopné soustavy