ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

NÁVRH VYTÁPĚNÍ NOVOSTAVBY RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

TOMÁŠ KADLEC 1–BS–2023

ČVUT
ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kadlec** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **492412**

Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**

Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**

Studijní program: **Strojírenství**

Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh vytápění novostavby rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Design of Heating System for a New Family House

Pokyny pro vypracování:

V souladu s příslušnými normami zvolte skladbu obálky budovy a stanovte tepelné ztráty zadaného objektu podle normy ČSN EN 12831-1. Kompletně navrhněte nejvhodnější otopnou soustavu se zdrojem tepla. Navrhněte rovněž systém přípravy teplé vody. Stanovte vhodnou metodou potřebu tepla a paliva (vč. přípravy teplé vody) a stanovte roční náklady na provoz domu.

Seznam doporučené literatury:

BROŽ, Karel. Vytápění. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-02536-5.
BAŠTA, Jiří. Otopné plochy. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02365-6
BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. Otopné soustavy teplovodní. 3., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, odborná sekce vytápění, 2008. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 978-80-02-02064-6.
BAŠTA, Jiří. Výkresová dokumentace ve vytápění. 2., přeprac. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01465-0.
LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. Výpočtové tabulky pro vytápění: vztahy a pomůcky. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. Sešit projektanta - pracovní podklady. ISBN 80-02-01466-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jindřich Boháč, Ph.D. Ú 12116

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.03.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **14.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Jindřich Boháč, Ph.D.	doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.	doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce	podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

20. 3. 2023
Datum převzetí zadání

Podpis studenta

CVUT-CZ-ZBP-2015.1 © ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

SOUHRN

V této bakalářské práci bylo mým cílem navrhnout pro novostavbu rodinného domu vhodnou otopnou soustavu a zdroj tepla, který bude sloužit také k ohřevu teplé vody. Jelikož se jedná o novostavbu, zvolil jsem zde mokrý způsob podlahového vytápění v kombinaci s trubkovými otopnými tělesy s elektrickou topnou patronou, pro hrazení tepelné ztráty prostupem a větráním. K tomuto způsobu vytápění jsem jako zdroj tepla zvolil tepelné čerpadlo vzduch/voda. V závěru bylo intervalovou metodou zhotoveno hodnocení energetické náročnosti budovy, ze kterého se vypočítali přibližné náklady na provoz domu.

SUMMARY

My objectives in this bachelor´s thesis was to design proper heating system and source of heat, which will be used for warming domestic hot water also for new building of family house. Because it is new building, I have chosen wet type of floor heating in combination with tubular radiators with electric heating cartridge, for refunding heat loss of mass penetration and ventilation. For this type of heating system, I have chosen heat pump air/water as a source of heat. In the end I made energy performance of the building by interval method, from which I calculate costs for operation of the house.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh vytápění novostavby rodinného domu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jindřicha Boháče, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 14. 6. 2023 Tomáš Kadlec

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jindřichu Boháčovi, Ph.D. za vedení, cenné rady, připomínky a trpělivost při konzultacích.

OBSAH

1 ÚVOD 12
2 SKLADBA KONSTRUKCE OBJEKTU 13
2.1 Součinitel prostupu tepla 13
3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT 15
3.1 Seznámení s objektem 15
3.2 Tepelná ztráta prostupem 16
3.3 Tepelná ztráta větráním 18
3.4 Celková tepelná ztráta 19
4 OTOPNÁ PLOCHA 20
4.1 Otopná tělesa 20
4.1.1 Článková otopná tělesa 20
4.1.2 Desková otopná tělesa 21
4.1.3 Trubková otopná tělesa 22
4.1.4 Konvektory 23
4.2 Velkoplošné sálavé vytápění 24
4.2.1 Podlahové vytápění 24
4.2.2 Stěnové vytápění 29
4.2.3 Stropní vytápění 30
4.2.4 Volba otopné plochy a její návrh 31
5 ZDROJ TEPLA 35
5.1 Plynové kondenzační kotle 35
5.2 Tepelná čerpadla 37
5.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda 37
5.2.2 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch 38
5.2.3 Tepelné čerpadlo země/voda 38
5.2.4 Tepelné čerpadlo voda/voda 40

5.3 Volba zdroje vytápění 41
5.3.1 Návrh bodu bivalence 42
5.3.2 Kontrola objemu expanzní nádoby 44
6 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY 46
6.1 Návrh zásobníku teplé vody dle ČSN 06 0320 46
6.2 Výpočet zásobníku teplé vody 47
7 HYDRAULICKÉ VYVÁŽENÍ OTOPNÉ SOUSTAVY 49
7.1 Tlakové ztráty potrubí 49
7.1.1 Tlaková ztráta třením 49
7.1.2 Tlaková ztráta místními odpory 51
7.2 Vyvážení otopné soustavy zadaného objektu 51
7.2.1 Tlakové ztráty třením otopných hadů 53
7.2.2 Celková tlaková ztráta otopných hadů 53
7.2.3 Návrh oběhového čerpadla 56
8 ENERGETICKÉ HODNOCENÍ PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA 57
9 ZÁVĚR 58
10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 60
11 SEZNAM PŘÍLOH 63

SOUPIS POUŽITÉHO ZNAČENÍ

$\dot{V}$	Objemový průtok otopným hadem	[m^3/h]
D_{tr}	Vnější průměr trubek	[m]
E_{sys}	Potřeba elektrické energie	[MWh]
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok prostupem tepla do sousedních vytápěných prostor	[W/K]
$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok prostupem tepla do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok prostupem tepla do zeminy	[W/K]
Kv	Průtokový součinitel	[m^3/h]
L	Celková délka potrubí otopného hadu	[m]
M	Hmotnostní průtok jednotlivých otopných hadů	[kg/s]
$PRŠ$	Tlaková ztráta přídavným regulačním šroubením	[Pa]
P_z	Tepelný výkon zdroje tepla	[W]
Q_{2p}	Teplo odebrané z ohřívače TV	[kWh/den]
Q_{2t}	Teoretické teplo odebrané z ohřívače TV	[kWh/den]
Q_{2z}	Teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV	[kWh/den]
Q_c	Celková tepelná ztráta místnosti	[W]
Q_p	Roční potřeba tepla	[MWh]
Q_{PC}	Celkový výkon otopného hadu	[W]
R	Měrná tlaková ztráta	[Pa/m]
$R.l_p$	Tlaková ztráta třením otopného hadu	[Pa]
$R.L$	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$R.L+Z$	Tlaková ztráta třením a místními odpory	[Pa]
R_e	odpor při přestupu přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[m^2.K/W]
R_i	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[m^2.K/W]
RS	Tlaková ztráta rozdělovače	[Pa]
$RŠ$	Tlaková ztráta regulačního šroubení	[Pa]
$S_č$	Celková dostupná plocha místnosti	[m^2]
S_p	Plocha otopného hadu	[m^2]
SPF	Sezónní topný faktor	[-]
U	Součinitel prostupu tepla	[W/m^2.K]

U_{rec}	Doporučená normová hodnota součinitele prostupu tepla	[W/m^2.K]
U_w	Celkový součinitel prostupu tepla oknem	[W/m^2.K]
V_{2p}	Celková potřeba teplé vody	[m^3/den]
V_{et}	Objem expanzní tlakové nádoby	[m^3]
V_o	Objem vody v celé otopné soustavě včetně zdroje tepla	[m^3]
V_p	Skutečný objemový průtok otopným hadem	[m^3/h]
V_z	Objem zásobníku TV	[m^3]
Z	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
q'_p	Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů	[W/m^2]
$\dot{q}$	Měrný tepelný tok podlahové plochy	[W/m^2]
a	Tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami	[m]
b	Tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami	[m]
c	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg.K]
d_i	Vnitřní průměr potrubí	[m]
g	Tíhové zrychlení	[m/s^2]
h	Výška vodního sloupce	[m]
l	Rozteč trubek	[m]
l_p	Potřebná délka trubek otopného hadu	[m]
m	Charakteristické číslo podlahy	[m^{-1}]
n	Součinitel zvětšení objemu	[-]
n_p	Počet řad trubek otopného hadu	[-]
n_V	Intenzita větrání	[h^{-1}]
p_B	Barometrický tlak	[kPa]
$p_{d,dov,A}$	Nejnižší dovolený absolutní tlak	[kPa]
$p_{h,dov,A}$	Nejvyšší dovolený absolutní tlak	[kPa]
p_{ot}	Otevírací přetlak pojistného ventilu	[kPa]
p_z	Celková tlaková ztráta otopného hadu	
s	Tloušťka materiálu	[m]
t'_i	Teplota zeminy	[°C]
t_1	Teplota studené vody	[°C]
t_2	Teplota teplé vody	[°C]

t_i	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
t_m	Střední teplota otopné vody	[°C]
t_p	Střední povrchová teplota podlahy	[°C]
w	Rychlost proudění	[m/s]
x	Spotřeba trubek	[m/m^2]
z	Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci	[-]
Δp	Tlaková ztráta armatury	[bar]
Δp_z	Celková tlaková ztráta potrubí	[Pa]
Δp_λ	Tlaková ztráta třením	[Pa]
Δp_ξ	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
ΔQ_{max}	Maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky Q_1 a odběru Q_2	[kWh]
Δt	Ochlazení vody v otopném hadu	[K]
ΔU_{TB}	Přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m^2.K]
Λ_a	Tepelná propustnost vrstvy nad trubkami	[W/m^2.K]
Λ_b	Tepelná propustnost vrstvy pod trubkami	[W/m^2.K]
$\Phi_{C,i}$	Celková tepelná ztráta	[W]
$\Phi_{T,i}$	Tepelná ztráta prostupem	[W]
$\Phi_{V,i}$	Tepelná ztráta větráním	[W]
α'_p	Celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy	[W/m^2.K]
α_p	Celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy	[W/m^2.K]
η	Stupeň využití EN	[-]
θ_e	Venkovní výpočtová teplota	[°C]
λ	Tepelná vodivost	[W/m.K]
λ_a	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami	[W/m.K]
λ_b	Součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami	[W/m.K]
λ_d	Součinitel tepelné vodivosti materiálu do kterého jsou zality trubky	[W/m.K]
λ_t	Součinitel tlakové ztráty třením	[-]

ξ	Součinitel místních ztrát	[-]
ξ_{φ}	Součinitel místního odporu oblouku o úhlu φ	[-]
ρ	Hustota	[kg/m^3]
τ	Čas	[h]
τ_{TC}	Doba provozu tepelného čerpadla	[h]
φ	Úhlová míra	[rad]

1 ÚVOD

S rostoucími cenami energií a s rostoucími nároky na ochranu životního prostředí, se úměrně zvyšují i nároky na kvalitu vnitřního prostředí budov. Nově postavené budovy mají v těchto ohledech výhodu, jelikož se u nich používají moderní konstrukční materiály s co nejlepšími tepelně-technickými vlastnostmi, které přispívají ke snižování energetické náročnosti budov. Dále se u nich využívají moderní zdroje tepla a chladu, které jsou navrženy s ohledem na nízkou spotřebu energie. Mají vysokou účinnost a zároveň splňují přísné normy pro ochranu životního prostředí.

Problémy s těmito aspekty však nastávají při případných rekonstrukcích stávajících budov. Například při snaze snížit tepelnou ztrátu budovy, se většinou jako první věc realizuje zateplení objektu a výměna starých oken za nová těsná okna. Tepelná ztráta je tímto způsobem velice efektivně snížitelná, ale po utěsnění budovy je zde problém s odvodem vlhkosti, a pokud tento problém není řešen například instalací nuceného větrání, mohou se v budově tvořit plísně. Další problém nastává při pořízení například tepelného čerpadla. Pokud se v domě používala pro vytápění otopná tělesa, byla s nejvyšší pravděpodobností navržena na vyšší teploty otopné vody, než které jsou pro tepelné čerpadlo ideální. Napojí-li se tedy tepelné čerpadlo na stávající otopnou soustavu stává se jeho provoz velice neekonomickým. Čili je při výměně zdroje tepla ideální i návrh nové otopné soustavy pro použitý tepelný zdroj.

V této bakalářské práce je mým cílem navrhnout pro novostavbu co nejideálnější otopnou soustavu a zdroj tepla s ohledem na nejnovější trendy ve vnitřním prostředí budov.

2 SKLADBA KONSTRUKCE OBJEKTU

Prvním a velice důležitým krokem při návrhu budovy, je zvolení správných konstrukcí budovy. Jednotlivé konstrukce musí splňovat předepsané hodnoty součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2:2011 [1]. Kromě splnění normy, je dobré brát zřetel na součinitel prostupu tepla i z důvodu snížení tepelné ztráty budovy a tím pádem i snížení potřebného výkonu na vytápění budovy.

2.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla *U* pro návrh skladby konstrukce se určí pomocí vztahu:

$$U = \frac{1}{R_{\mathrm{i}} + \Sigma \frac{s}{\lambda} + R_{\mathrm{e}}} \; [W/m^2.K] \tag{2.1}$$

kde:

R_i je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [m^2.K/W]

R_e je odpor při přestupu přestupu tepla na vnější straně konstrukce [m^2.K/W]

s je tloušťka materiálu [m]

λ je tepelná vodivost [W/m.K]

Jako příklad výpočtu součinitele prostupu tepla pomocí rovnice 2.1 použiji konstrukci obvodové zdi:

Tab. 1 - Konstrukce obvodové zdi

	Materiál	s [m]	λ [W/m.K]
1	Omítka vápenocementová	0,025	0,95
2	Extrudovaný polystyren	0,05	0,04
3	Porotherm 44 Profi	0,44	0,11
4	Omítka vápenocementová	0,015	0,98

$$U = \frac{1}{R_{\mathrm{i}} + \Sigma \frac{s}{\lambda} + R_{\mathrm{e}}} = \frac{1}{0{,}04 + \frac{0{,}025}{0{,}95} + \frac{0{,}05}{0{,}04} + \frac{0{,}44}{0{,}11} + \frac{0{,}015}{0{,}98} + 0{,}13} = 0{,}18 \; [W/m^2.K]$$

Po výpočtu je hodnota součinitele prostupu tepla U = 0,18 W/m^2.K. Tato hodnota musí být menší nebo rovna doporučené normové hodnotě součinitele prostupu tepla U_{rec} pro těžkou vnější stěnu dle ČSN 73 0540-2:2011. Tato doporučená normová hodnota činí 0,25 W/m^2.K. Vypočtená hodnota je menší než normová hodnota a z tohoto důvodu konstrukce vyhovuje normovým požadavkům.

Tab. 2 - Přehled konstrukcí a jejich součinitele prostupu tepla

Konstrukce	***U*** **[W/m^2.K]**	***U*$_{rec}$** **[W/m^2.K]**
Obvodová zeď	0,18	0,25
Vnitřní nosná stěna	1,03	1,8
Vnitřní stěna	1,8	1,8
Podlaha 1. NP	0,29	0,3
Podlaha 2. NP	0,47	1,45
Strop	0,15	0,16

Dalšími řešenými konstrukcemi jsou okna, balkonové dveře a vstupní dveře. Okna byla zvolena plastová se standardním izolačním dvojsklem. Celkový součinitel prostupu tepla okna U_w = 1,3 W/m^2.K. Vstupní dveře byly zvoleny také plastové s celkovým součinitelem tepla U_w = 1,3 W/m^2.K.

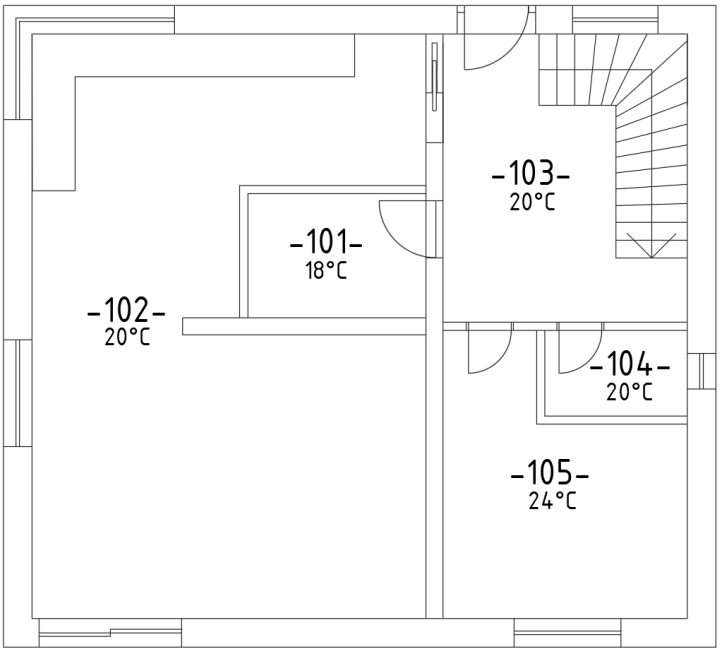
3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT

Výpočet tepelných ztrát rodinného domu byl proveden dle normy ČSN EN 12 831-1 ve výpočetním programu excel viz příloha I.

3.1 Seznámení s objektem

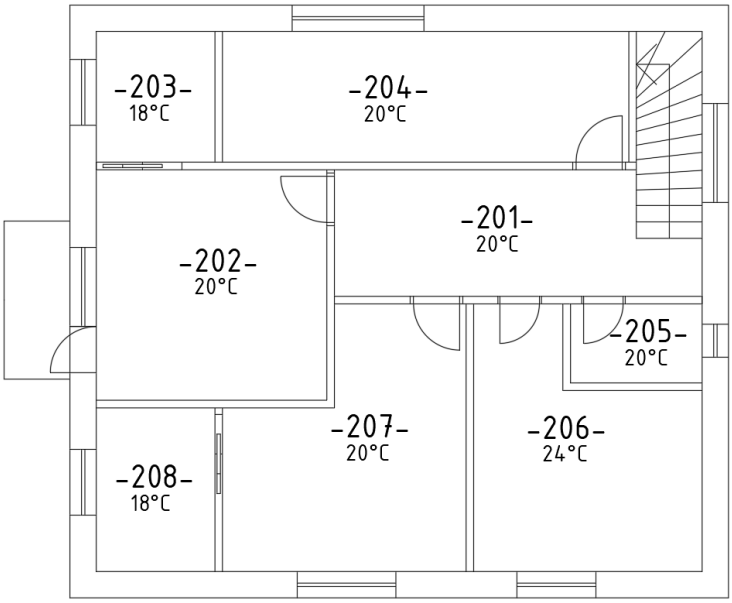
Tepelná ztráta byla počítána pro novostavbu rodinného domu o rozloze 90 m^2. Rodinný dům bude v okrese Příbram, z tohoto údaje vyplývá venkovní výpočtová teplota dle ČSN EN 12 831-1 θ_e = -15 °C. [2]

Objekt se skládá ze dvou nadzemních pater. V prvním nadzemním patře se nachází kuchyně spojená s obývacím pokojem, koupelna, záchod a zádveří. Nadzemní patra jsou spojena schodištěm. Ve druhém nadzemním patře se nachází ložnice, dva dětské pokoje, dvě šatny, koupelna, záchod a chodba. Dům bude mít plochou střechu.



Č. MÍSTNOSTI	NÁZEV	PLOCHA [m²]
101	Tech. Místnost	4,6
102	Kuchyň + Obývací pok	39,7
103	Zádveří	13,9
104	WC	2,4
105	Koupelna	11

Obr. 1 - 1. Nadzemní patro



Č. MÍSTNOSTI	NÁZEV	PLOCHA [m²]
201	Chodba	12,9
202	Ložnice	12,3
203	Šatna	3,6
204	Dětský pokoj	12,2
205	WC	11,4
206	Koupelna	11,4
207	Dětský pokoj	12,4
208	Šatna	4,5

Obr. 2 - 2. Nadzemní patro

3.2 Tepelná ztráta prostupem

Při výpočtu tepelné ztráty dle normy ČSN EN 12 831-1 se návrhová tepelná ztráta prostupem skládá z jednotlivých měrných tepelných toků.

Při výpočtu $H_{T,ie}$ se kromě plochy stavební části a součinitele prostupu tepla, počítá s přirážkou na vliv tepelných vazeb a dvěma opravnými činiteli.

Přirážka na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} zohledňuje řešení konstrukce pro počítaný objekt.

Tab. 3 - Přirážka na vliv tepelných vazeb [3]

Název	**Popis**	**Hodnota ΔU_{TB} [W/m².K]**
1. Optimalizované řešení	Konstrukce téměř bez tepelných mostů	0,02
2. Typové či opakované řešení	Konstrukce s mírnými tepelnými mosty	0,05
3. Standardní řešení	Konstrukce s běžnými tepelnými mosty	0,10
4. Zanedbané řešení	Konstrukce s výraznými tepelnými mosty	0,15

Pro výpočet tepelných ztrát zadaného objektu jsem zvolil přirážku na vliv tepelných vazeb ΔU_{TB} = 0,05 W/m^2.K. Tuto hodnotu jsem zvolil, protože se jedná o novostavbu, která bude postavena z běžných konstrukčních materiálů a také bude zaizolována.

Tab. 4 - Tepelné ztráty prostupem

Č. místnosti	$H_{T,ie}$ [W/K]	$H_{T,ia}$ [W/K]	$H_{T,ig}$ [W/K]	$\Phi_{T,i}$ [W]
101	-	-2,04	1,05	-33
102	26,58	0,19	7,51	1200
103	8,55	-0,36	2,69	381
104	1,1	-1,64	0,46	-3
105	6,63	2,78	2,4	461
201	8,84	-0,64	-	287
202	8,21	0,96	-	321
203	4,68	-1,15	-	117
204	9,66	0,51	-	356
205	1,58	-1,64	-	-2
206	9,01	4,00	-	507
207	7,21	-1,43	-	202
208	5,22	-1,31	-	129

3.3 Tepelná ztráta větráním

Při výpočtu tepelné ztráty větráním bylo při výpočtu uvažováno s přirozeným větráním.

Tab. 5 - Tepelné ztráty větráním

Č. místnosti	Objem místnosti [m^3]	n_V [h^{-1}]	$\Phi_{V,i}$ [W]
101	11,5	0,1	13
102	99,25	0,3	350
103	34,75	0,3	123
104	6	1	71
105	27,5	1	360
201	32,25	0,3	114
202	30,75	0,3	108
203	9	0,2	20
204	30,5	0,3	108
205	6	1	71
206	28,5	1	373
207	31	0,3	109
208	11,25	0,2	25

3.4 Celková tepelná ztráta

Tab. 6 - Celkové tepelné ztráty

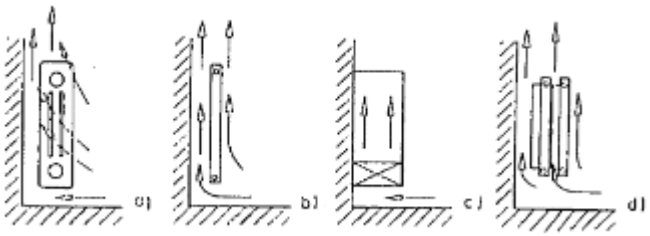
Č. místnosti	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{C,i}$ [W]
101	-33	13	-20
102	1200	350	1550
103	381	123	503
104	-3	71	67
105	461	360	821
201	287	114	401
202	321	108	429
203	117	20	137
204	356	108	463
205	-2	71	69
206	507	373	881
207	202	109	312
208	129	25	154
			5766

V tabulce č. 6 můžeme vidět že u místnosti 101 je tepelná ztráta záporná, a proto se tato místnost nemusí vytápět. Dále celková tepelná ztráta rodinného domu činí 5,8 kW.

4 OTOPNÁ PLOCHA

4.1 Otopná tělesa

Otopná tělesa jsou jedním z nejpoužívanějších způsobů vytápění. Jsou to otopné plochy, které se umisťují přímo do místnosti, kterou vytápějí. Jedná se tedy o výměník tepla, který sdílí teplo převážně konvekcí z teplonosného média do vytápěné místnosti. Poměr sdílení tepla konvekcí a sáláním je závislý na druhu otopného tělesa. [4]



Obr. 3 - Způsoby proudění vzduchu u otopných těles

a) proudění mezi články s velkoplošným natékáním vzduchu,

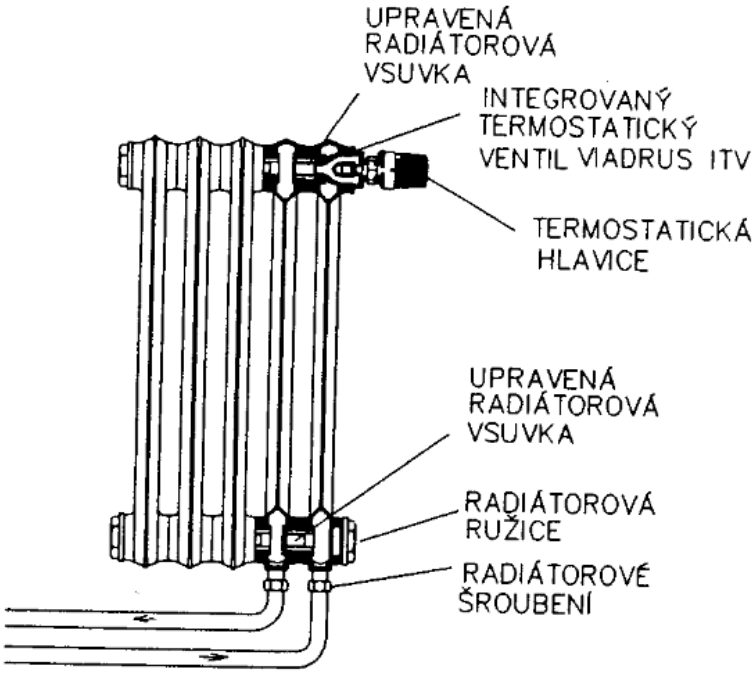
b) proudění otevřenou šachtou mezi otopným tělesem a obvodovou konstrukcí s volnou konvekcí na přední straně tělesa,

c) proudění uzavřenou šachtou s proudem nasávaným od podlahy,

d) kombinované proudění – kombinace způsobu a) a b). [4]

4.1.1 Článková otopná tělesa

Článková otopná tělesa se, jak je již z názvu patrné, skládají z jednotlivých článků různých tvarů. Jednotlivé články mohou být vyrobeny pomocí lisování plechů, tlakovým litím nebo odléváním. Články jsou nejčastěji z litiny, slitin hliníku nebo ocelových plechů. Spojování článků je možné pomocí závitových vložek s pravým a levým závitem, lepení nebo svařování. U litinových článkových otopných těles se jednotlivé články spojují pomocí vsuvek, kdežto u ocelových článkových otopných těles se vsuvkami spojují soupravy 3, 4, 5, 7 a 10 článku, které jsou svařené. [4]



Obr. 4 - Kompaktní článkové otopné těleso s připojením zprava [4]

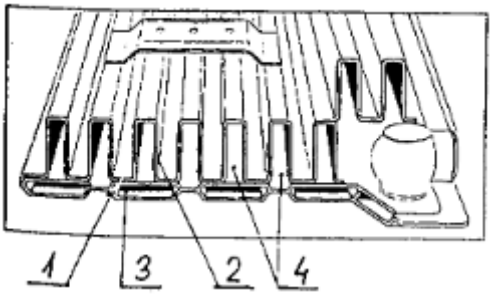
Články se dělí na dvě části, tedy na dolní a horní komoru, ve kterých jsou náboje se souosými závity. Základní vlastnost článkových otopných těles je, že jejich vnější přestupová plocha je rozložena hlavně do hloubky. Tato vlastnost byla zapříčiněna snahou zvýšit modul otopného tělesa, jelikož v dobách minulých byly nedostatečné tepelně technické vlastnosti budov. U článkových otopných těles se podíl tepla sdílený sáláním pohybuje okolo 15–30 %. Pokud je podíl konvekční složky větší než podíl složky sálavé, znamená to, že je ve vytápěné místnosti větší teplotní gradient ve svislém směru. Z toho vyplývá, že se ohřátý vzduch hromadí pod stropem, což se negativně promítá do ekonomických nákladů na vytápění. [4]

Článková otopná tělesa mají nejnižší hydraulický odpor, a vykazují tak nejnižší tlakové ztráty. Nevýhodou článkových otopných těles je jejich vyšší vnitřní objem vody, který v sobě akumuluje teplo. Toto může činit problémy při současném použití s pružným zdrojem tepla, jako je například kondenzační plynový kotel. [4]

4.1.2 Desková otopná tělesa

Desková otopná tělesa jsou v dnešní době jedním z nejrozšířenějších druhů otopných těles. Desková otopná tělesa tvoří hladké desky nebo desky jejichž povrch je zvětšen zvlněním nebo žebry. Hlavními částmi deskového otopného tělesa je horní rozvodná komora a dolní sběrná komora. Těleso je tvořeno dvěma prolisovanými

deskami z ocelového plechu. Tyto desky jsou spojeny obvodovými švovými svary a mezi jednotlivými kanály jsou spojeny svary bodovými. Na čelní desky se zvlněním se používá plech o tloušťce 1,25 – 1,3 mm, pokud je čelní deska rovná nebo hladká, je používán plech o tloušťce 2 mm. Pokud se jedná o tak zvané kompaktní provedení je v tělese integrovaná propojovací garnitura s integrovaným ventilem nebo ventilovou vložkou. Tělesa v kompaktním provedení mají napojení na otopnou soustavu vlevo, vpravo či uprostřed. [4]



Obr. 5 - Řez deskovým otopným tělesem;1 - deska, 2 - rozšířená přestupní plocha, 3 - vodní kanál, 4 - vzduchový kanál [5]

Oproti článkovým otopným tělesům mají desková otopná tělesa menší objem vody a tím pádem i menší akumulaci tepla. Z toho vyplývá že desková otopná tělesa umožnují rychlejší reakci na regulační zásah a jsou vhodná pro pružné zdroje tepla. Vývoj deskových otopných těles se snažil vyrovnat zvýšením tepelného modulu, článkovým tělesům. Zvýšení tepelného výkonu modulu bylo dosaženo pomocí rozšíření přestupní plochy. Rozšířená přestupní plocha neboli konvekční plech je nejčastěji tvořen soustavou žeber, která by měla být z důvodu vedení tepla co nejlépe spojena s přestupní plochou. Konvekční plech je nejčastěji zhotoven z ocelového plechu o tloušťce 0,5 mm. Konvekční plech je k desce bodově přivařen mezi svislými kanálky. Přibodování konvekčního plechu zvýšilo tepelný výkon tělesa až o 15 %. Podíl sdílení tepla sáláním je nepřímo úměrný počtu konvekčních plechů. [4]

4.1.3 Trubková otopná tělesa

Hlavním principem trubkových těles je spojení rozvodné a sběrné komory řadou trubek menších průřezů, které mohou být kruhové, čtvercové nebo různého tvaru. Trubky mohou být různě uspořádány, ale nejčastěji se používá meandr a registr s vodorovnými nebo svislými trubkami. Registr se svislými trubkami se podobá článkovým nebo deskovým tělesům. [4]

Obr. 6 - Uspořádání trubek u trubkového otopného tělesa [5]

Trubky, které mohou být hladké, profilované nebo na vnější straně opatřeny rozšířenou přestupní plochou jsou nejčastěji ocelové nebo měděné. Rozšíření přestupní plochy může být provedeno podélnými tvarovanými žebry, nebo žebry ve tvaru desky s prolisy a prostřihy malých rozměrů. Rozšířené přestupní plochy mohou být k trubce přivařeny, nalisovány nebo přitlačovány předpětím žebra. [4]

Samostatnou skupinu tvoří koupelnová trubková otopná tělesa, která se používají k vytápění a také sušení textilií nejčastěji v koupelnách nebo jiných podobně určených místnostech. Konstrukčním řešením se jedná o registr s vodorovnými trubkami, kde jedna svislá boční komora plní funkci rozdělovače a druhá svislá boční komora plní funkci sběrače. Vývody pro napojení na otopnou soustavu jsou umístěny ve všech čtyřech rozích tělesa. Toto řešení umožňuje různé kombinace napojení na otopnou soustavu, je však brát v zřetel, že různé napojení ovlivňuje výkon tělesa. Další negativní vliv na výkon trubkového tělesa má zakrytí ručníkem. Trubková tělesa je možné kromě napojení na otopnou soustavu opatřit elektrickou topnou vložkou. Hlavní výhodou tohoto řešení je nezávislost na provozu otopné soustavy hlavně v letním období. Elektrická topná vložka umožňuje ohřátí na provozní teplotu až 70 °C, tato teplota je kontrolována pomocí integrovaného termostatu. [4]

4.1.4 Konvektory

Konvektory jsou otopná tělesa, která sdílí teplo hlavně konvekcí. Nejčastěji se skládají z výměníku tepla a skříně, na které je v horní části umístěna výdechová mřížka. Druhy konvektorů se nazývají podle toho, kde je výměník tepla umístěn. Konvektory se tedy dělí na skříňové, soklové a zapuštěné. Konvektory mohou být podle jejich typu umístěny na stěnu, těsně u stěny na samostatných stojáncích nebo se zabudovávají např. přímo do podlahy nebo stěny. [4]

4.2 Velkoplošné sálavé vytápění

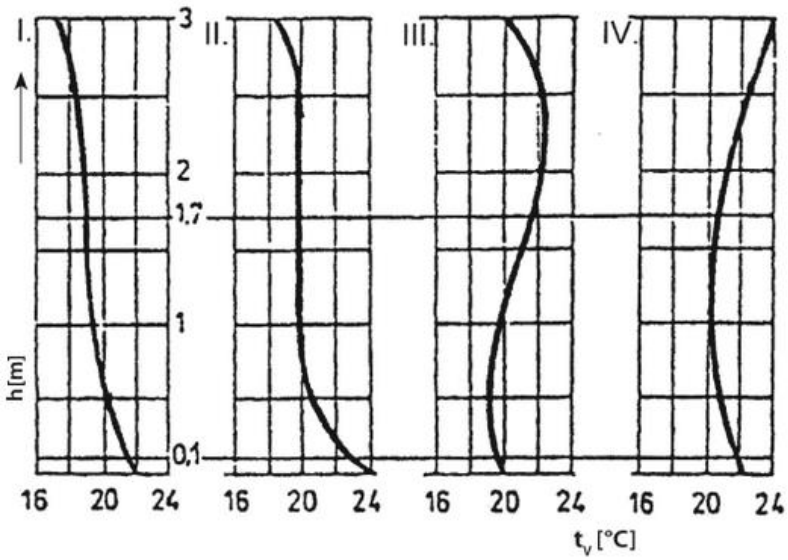
Mezi systémy, které sdílí teplo převážně sáláním se řadí velkoplošné vytápění stropní, stěnové a podlahové. Dále do této skupiny patří také závěsné sálavé panely a tmavé nebo světlé zářiče. Podíl tepla, který je sdílen sáláním je u stropního vytápění 80 %, u stěnového 65 % a u podlahového 55 %. [5]

4.2.1 Podlahové vytápění

Podlahové vytápění, jak je již z názvu zřejmé, využívá jako otopnou plochu podlahu. Jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci, podíl sdílení tepla sáláním ku sdílení tepla konvekcí je 55: 45 %. Podlahové vytápění je možné použít pouze za splnění tepelně-technických vlastností, jedna podmínka je, že průměrná tepelná ztráta objektu by měla být menší než 20 W/m^3. Druhá podmínka, kterou lze první podmínku nahradit je, že průměrná roční spotřeba tepla by měla být nižší než 70–80 kWh/m^2. [5]

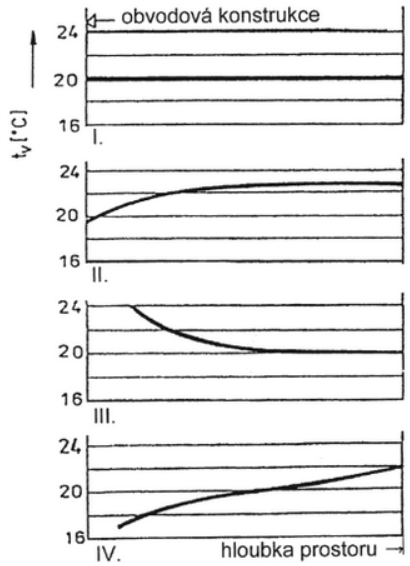
Jelikož dochází u podlahového vytápění k přímému kontaktu s chodidly, je třeba brát zřetel při návrhu podlahového vytápění na povrchovou teplotu podlahy. Pokud by byla teplota podlahy vyšší, dojde k lokálnímu tepelnému diskomfortu při kontaktu chodidla s podlahou. Z tohoto důvodu by neměla povrchová teplota podlahy přesáhnout 29 °C. Je však dáno, že v místnostech, kde se nachází dlouhodobě sedící osoby by povrchová teplota podlahy neměla přesáhnout 25 °C a v místnostech, kde jsou stojící nebo chodící osoby by neměla přesáhnout 23 °C. [5]

Další parametr, který je také velmi důležitý, je vertikální nebo horizontální rozložení teplot v místnosti. Vertikální rozložení je způsobeno nerovnoměrným ochlazováním stěn v místnosti a nerovnoměrným přívodem tepla. Vertikální rozložení je přímo závislé na povrchové teplotě otopné plochy, v tomto případě tedy na povrchové teplotě podlahy. Z tohoto vyplývá že čím je vyšší vertikální nerovnoměrnost, tím je vyšší povrchová teplota podlahy. Jelikož má podlahové vytápění oproti ostatním druhům vytápění nejnižší povrchovou teplotu otopné plochy, má vzhledem k tomuto faktu téměř ideální vertikální rozložení teploty. V ideálním případě by měla být v oblasti hlavy stojící osoby teplota vzduchu minimálně o 2 °C nižší než v oblasti kotníků. [5]



Obr. 7 - Vertikální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při různém způsobu vytápění I.) ideál, II.) podlahové, III.) článkové OT, IV.) stropní [5]

Horizontální rozložení je závislé zejména na odstupu otopné plochy od ochlazované konstrukce. Stejně jako u vertikálního rozložení se i u podlahového vytápění blíží horizontální rozložení ideálnímu případu. Pouze v blízkosti ochlazované konstrukce je mírný pokles teploty. Tento jev lze vyrovnat tak zvanou intenzivně okrajovou zónou. V této zóně, která je 0,5 až 1 m široká, je potrubí kladeno s menší roztečí než, která je uprostřed místnosti. [5]



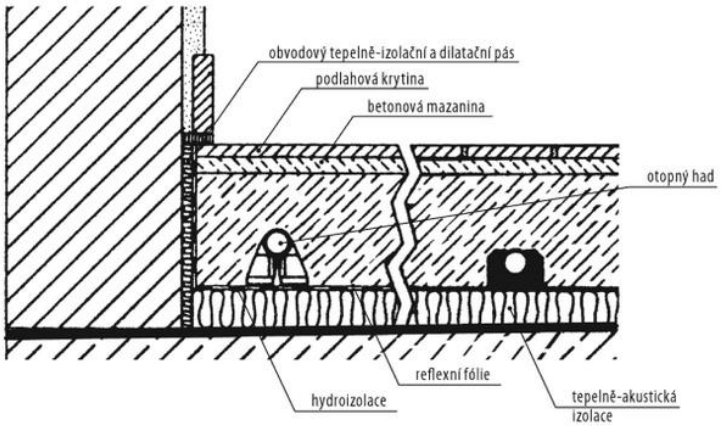
Obr. 8 - Horizontální průběh teploty vzduchu ve vytápěné místnosti při různém způsobu vytápění I.) ideál, II.) podlahové, III.) článkové OT, IV.) stropní [5]

Konstrukce podlahového vytápění:

Protože není konstrukce otopné plochy pevně spojena s okolní konstrukcí z důvodu tepelné roztažnosti, jedná se tedy o plovoucí podlahu. Otopnou podlahovou plochu lze pokládat mokrým a suchým způsobem. Mokrý způsob pokládky otopného hadu je tvořen z:

- podkladového betonu,
- tepelně-technické izolace,
- obvodového tepelně-izolačního a dilatačního pásu,
- hydroizolace,
- reflexní fólie,
- otopného hadu,
- betonové mazaniny,
- podlahové krytiny.

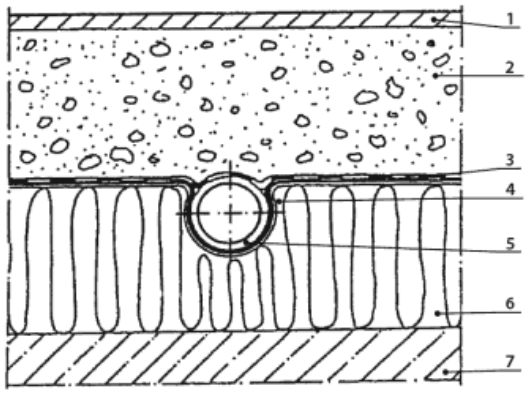
U mokrého způsobu pokládky je otopný had zalit vrstvou betonové nebo anhydritové mazaniny. Při tomto způsobu pokládky se měrný teplený výkon pohybuje nad 50 W/m^2 a teplota přívodní vody se pohybuje v rozmezí 35–55 °C. [5]



Obr. 9 - Řez podlahovou otopnou plochou položenou mokrým způsobem [5]

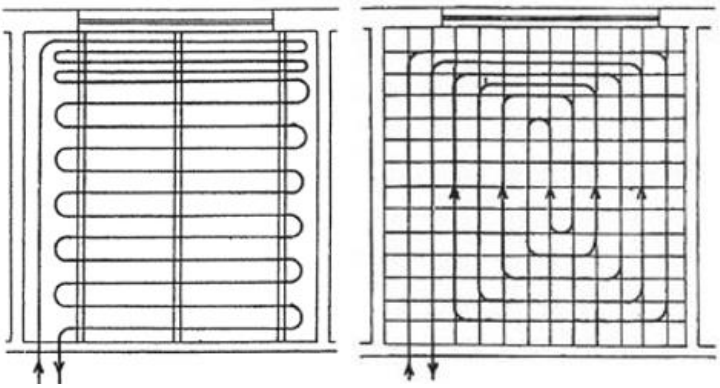
Při suchém způsobu pokládky je otopný had uložen do izolace pod betonovou deskou. Otopný had dělí od cementového potěru plastová nebo kovová lamela, která zvyšuje pevnost podlahy a zároveň umožňuje rovnoměrný rozvod tepla. Při suchém způsobu pokládky se měrný tepelný výkon pohybuje do 50 W/m^2 a teplota přívodní vody se pohybuje v rozmezí 40–70 °C. Z těchto hodnot vyplývá že se suchý způsob pokládky

používá tam, kde je třeba jenom temperovat nebo tam, kde je potřeba nízká výška podlahy. [5]



Obr. 10 - Řez suchým způsobem pokládky; 1) podlahová krytina, 2) cementový potěr, 3) hydroizolace, 4) fólie, 5) otopný had, 6) tepelná izolace, 7) nosná podlaha [5]

Další věc, se kterou je třeba počítat je způsob tvarování otopného hadu. Rozlišujeme dva způsoby pokládky, první je meandrový způsob a druhý je plošná spirála. Tvarování do meandru, umožňuje ve vytápěné místnosti rovnoměrněji rozložit teplotu, jelikož teplota otopné vody klesá směrem od ochlazované obvodové stěny k stěně vnitřní. Oblouky mají úhel 180°, z tohoto důvodu se využívá potrubí s menším průměrem. U pokládky otopného potrubí do tvaru plošné spirály je hodnota povrchové teploty ve všech místech podlahy stejná. Nevýhodou tohoto způsobu je klesání teploty od vnitřní k ochlazované stěně v horizontálním rozložení. Obluky mají u tohoto způsobu úhel 90°, to umožňuje použití potrubí o větším průměru než u meandru. U obou způsobů lze použít intenzivní okrajovou zónu. [5]



Obr. 11 - Způsoby tvarování otopného hadu (vlevo – meandr, vpravo – plošná spirála)

Otopný had je možno upevnit několika způsoby. Tyto způsoby jsou:

- přivazování na síť
- plastové příchytky na síť
- do plastové lišty
- plastové příchytky do izolační desky
- vtlačování trubek do systémové desky
- připevňování na armovací sítě

Nejjednodušší a zároveň nejrychlejší je použití systémových desek, tyto desky jsou opatřeny výlisky, v běžně používaných roztečích, mezi které se vtlačuje potrubí otopného hadu. Systémové desky mohou být také z výroby opatřeny izolací čili už není ve většině případech nutné použití samostatné izolace. Zbylé způsoby upevnění jsou z mého pohledu méně přesné a také pomalejší než při použití systémové desky. [5]

Pro zalití otopného hadu se používá betonová nebo anhydritová mazanina. Betonová mazanina se obohacuje plastifikátory z důvodu zlepšení zatékání kolem trubek. Anhydritovou mazaninu je možné použít, pokud nebyla k připevnění použita kari síť, protože sádra obsažená v anhydritové mazanině má v kontaktu s ocelí korozivní účinky. Tloušťka vrstvy betonové mazaniny může být minimálně 45 mm, ale u mokrého způsobu je potřebná tloušťka v rozmezí 65–70 mm. U anhydritové mazaniny je dostatečná tloušťka vrstvy 35 mm. Další výhodou anhydritové mazaniny je velikost maximálního dilatačního celku, který činí 400 m^2, kdežto u betonové mazaniny je to pouze 40 m^2. Nevýhodou anhydritové mazaniny je, že pokládku musí provádět pouze odborná firma. Dále není doporučeno použití anhydritu v prostorech, ve kterých je nebezpečí vlhkosti, protože jejím působením ztrácí svou pevnost. Tato nevýhoda může být odstraněna použitím hydroizolačního nátěru. [5]

Dále je potřeba zvolit vhodnou podlahovou krytinu, která musí mít tepelný odpor menší nebo roven 0,15 m^2.K/W. Tuto hodnotu splňuje většina prodávaných krytin, avšak se nedoporučuje použití koberce s délkou vlasu nad 10 mm, parket z měkkého dřeva a PVC s pryžovou podložkou. Jako nejvhodnější krytina je keramická nebo kamenná dlaždice. [5]

Materiály potrubí otopného hadu:

Podlahové potrubí může být zhotoveno z:

- nerezu,
- mědi,
- plastů,
- vícevrstvých trubek.

Nerezové potrubí se jeví jako ideální, ale je zde zásadní problém se spojováním jednotlivých trubek. První způsob je svařování, u této metody, ale dochází k rekrystalizaci, která je nežádoucí. Další způsob je pájení natvrdo stříbrnou pájkou. U tohoto způsobu je ale problém s častým výskytem koroze. Poslední způsob byl vyvinut firmou Mannesman, která vyvinula lisované objímky z nerezové oceli. I přes tento poslední způsob spojování se v praxi s nerezovým potrubím příliš nesetkáme. [5]

Další materiál je měď. Měkké měděné potrubí má spoustu výhod. Od příznivých materiálových vlastností, přes rychlou a jednoduchou montáž až po zdravotní nezávadnost. Měď, která se používá na výrobu potrubí je dezoxidovaná měď s obsahem čisté mědi min. 99,9 %. [5]

Nejpoužívanějším materiálem pro potrubí otopného hadu je plast. Nejvhodnější plast pro potrubí je síťovaný polyetylen třídy A (PEXa). Základním materiálem je polyetylen, u kterého se chemickými nebo fyzikálními postupy vytvoří příčné zesíťování molekulových řetězců. Hlavní výhodou je, že síťovaný polyetylen má ochranu proti proti difuzi kyslíku přes stěnu trubky do otopné vody. Jelikož není možno síťovaný polyetylen svařovat ani lepit, je jediný způsob spojování použití mechanické spojky. Protože mají plasty relativně větší teplotní roztažnost je třeba s touto vlastností počítat při návrhu. [5]

4.2.2 Stěnové vytápění

Dalším způsobem velkoplošného sálavého vytápění je stěnové vytápění. U tohoto způsobu je otopný had uložen na stěnu pod omítku. Oproti podlahovému vytápění zde může být větší teplotní spád otopné vody. [5]

Uložení otopné plochy je možné mokrým a suchým způsobem. Mokrý způsob je vhodný pro stavby zděné a rekonstrukce. Otopný had je ke zdi připevněn pomocí šroubovacích příchytek nebo zatloukacích spon. Dále se otopný had zakryje omítací sítí a nanese se na něj omítka. U tohoto způsobu je třeba použít omítku pro stěnové vytápění.

Suchý způsob se používá u montovaných nebo nízkoenergetických domů. Otopný had je uložený v sádrokartonových deskách, které jsou montovány na sádrokartonové stěny nebo na pomocné konstrukce zděných stěn. [5]

U stěnového vytápění je vhodné použití kapilárních rohoží. Kapilární rohož je tvořena registrem z tenkých polypropylenových trubiček. Trubičky jsou na registru rozmístěny s malou roztečí, která zajišťuje rovnoměrné rozložení teplot. [5]

V místnostech, kde je nedostatečná plocha podlahového vytápění je možné část otopného hadu vytáhnout na stěnu. Toto stěnové vytápění slouží pouze jako doplněk právě v místnostech s malou plochou podlahy. [5]

4.2.3 Stropní vytápění

U stropního vytápění je možno se setkat s několika způsoby provedení:

- otopná plocha s trubkami zalitými ve stropě,
- otopná plocha tvořená lamelami,
- otopná plocha tvořená sálavými panely a pasy,
- otopná plocha v dutém podhledu. [5]

U stropního vytápění je potřeba stejně jako u podlahového vytápění brát zřetel na povrchovou teplotu stropu. Pokud by byla povrchová teplota stropu příliš vysoká, způsobovala by nadměrné osálání temene hlavy a z toho plynoucí tepelný diskomfort. Hodnota povrchové teploty stropu je závislá na jeho výšce, nicméně hodnota měrného sálavého toku v oblasti temene hlavy by neměla přesáhnout 200 W/m^2. [5]

Otopná plocha s trubkami zalitými ve stropě je specifická tím, že trubky jsou přímou součástí stropu. Je možno je pokládat přímo do betonu nebo pouze do omítky stropu. Při pokládce trubek do betonu se jedná o takzvaný Crittall. Při tomto způsobu je otopný had pokládán do betonu při výstavbě stropu. Při instalaci otopného hadu pouze do omítky se potrubí upevňuje až poté co je strop hotový, což celý proces usnadňuje. Tato vrstva má tloušťku cca. 5–6 cm. [5]

Otopná plocha tvořená lamelami, které jsou upevněny na trubkách a zvětšují přestupní plochu trubek, umožňuje rovnoměrnější rozložení tepelného toku. Lamely se vyrábějí převážně z hliníkového plechu, jelikož je u nich požadavek na velký součinitel tepelné vodivosti. [5]

Otopné plochy tvořené sálavými panely a pasy, které jsou zavěšeny na nosnou konstrukci pod strop se většinou skládají z trubek připevněných na ocelový plech. Tato metoda je vhodná především pro průmyslové objekty. [5]

U otopné plochy s dutým podhledem je potrubí vedeno mezi podhledem a stropem, jehož spodní část je izolována. U tohoto způsobu je teplo sdíleno konvekcí a sáláním. [5]

4.2.4 Volba otopné plochy a její návrh

Jako otopnou plochu jsem zvolil pro zadaný objekt podlahové vytápění, položené mokrým způsobem pokládky. Tento způsob jsem zvolil, jelikož má objekt relativně nízkou tepelnou ztrátu a například otopná tělesa by vycházela malých rozměrů což by nepůsobilo vzhledově hezky. Dále je možné u podlahového vytápění využít výhod nízkopotenciálního zdroje tepla.

Postup návrhového výpočtu:

1. Výpočet tepelné propustnosti vrstvy nad trubkami [5]:

$$\Lambda_{\mathrm{a}} = \frac{1}{\Sigma \frac{a}{\lambda_{\mathrm{a}}} + \frac{1}{\alpha_{\mathrm{p}}}} \; [W/m^2.K] \tag{4.1}$$

kde: a [m] tloušťka jednotlivých vrstev nad trubkami

λ_{a} [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev nad trubkami

α_{p} [W/m^2.K] celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy (volí se nejčastěji 12 W/m^2.K)

2. Výpočet tepelné propustnosti vrstvy pod trubkami [5]:

$$\Lambda_{\mathrm{b}} = \frac{1}{\Sigma \frac{b}{\lambda_{\mathrm{b}}} + \frac{1}{\alpha'_{\mathrm{p}}}} \; [W/m^2.K] \tag{4.2}$$

kde: b [m] tloušťka jednotlivých vrstev pod trubkami

λ_{b} [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev pod trubkami

α'_p [W/m^2.K] celkový součinitel přestupu tepla na spodní straně otopné plochy (volí se nejčastěji 8 W/m^2.K)

3. Charakteristické číslo podlahy [5]:

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_a + \Lambda_b)}{\pi^2 + \lambda_d \cdot D_{tr}}} \; [m^{-1}] \tag{4.3}$$

kde: Λ_a [W/m^2.K] tepelná propustnost vrstvy nad trubkami

Λ_b [W/m^2.K] tepelná propustnost vrstvy pod trubkami

λ_d [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti materiálu do kterého jsou zality trubky

D_{tr} [m] vnější průměr trubek

4. Střední povrchová teplota podlahy [5]:

$$t_p = t_i + \frac{\Lambda_a}{\alpha_p} \cdot (t_m - t_i) \cdot \frac{tgh\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} \; [°C] \tag{4.4}$$

kde: t_m [°C] střední teplota otopné vody

t_i [°C] vnitřní výpočtová teplota

m [m^{-1}] charakteristické číslo podlahy

Λ_a [W/m^2.K] tepelná propustnost vrstvy nad trubkami

α_p [W/m^2.K] celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy

l [m] rozteč trubek

5. Měrný tepelný tok podlahové plochy [5]:

$$\dot{q} = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \; [W/m^2] \tag{4.5}$$

kde: t_p [°C] střední povrchová teplota podlahy

t_i [°C] vnitřní výpočtová teplota

α_p [W/m^2.K] celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy

6. Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů při stejných teplotách nad i pod otopnou plochou [5]:

$$q'_{\mathrm{p}} = \frac{\Lambda_{\mathrm{b}}}{\Lambda_{\mathrm{a}}} \cdot \alpha_{\mathrm{p}} \cdot \left(t_{\mathrm{p}} - t_{\mathrm{i}}\right) = \frac{\Lambda_{\mathrm{b}}}{\Lambda_{\mathrm{a}}} \cdot \dot{q}\ [W/m^2] \tag{4.6}$$

7. Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů při rozdílných teplotách nad i pod otopnou plochou [5]:

$$q'_{\mathrm{p}} = \frac{\Lambda_{\mathrm{b}}}{\Lambda_{\mathrm{a}}} \cdot \alpha_{\mathrm{p}} \cdot \left(t_{\mathrm{p}} - t_{\mathrm{i}}\right) + \Lambda_{\mathrm{b}} \cdot (t_{\mathrm{p}} - t_{\mathrm{i}}')\ [W/m^2] \tag{4.7}$$

8. Plocha otopného hadu [5]:

$$S_{\mathrm{p}} = \frac{Q_{\mathrm{c}}}{\dot{q}}\ [m^2] \tag{4.8}$$

kde: Q_{c} [W] celková tepelná ztráta místnosti

9. Celkový výkon otopné plochy [5]:

$$Q_{\mathrm{PC}} = (\dot{q} + q'_{p}) \cdot S_{\mathrm{p}}\ [W] \tag{4.9}$$

Jako příklad výpočtu uvádím výpočet v místnosti 103 v 1. NP. Při výpočtu v 1. NP nebyly uvažovány zisky z podlahové plochy v 2. NP z důvodu jiné dispozice.

1. Výpočet tepelné propustnosti vrstvy nad trubkami pomocí rovnice 4.1:

$$\Lambda_{\mathrm{a}} = \frac{1}{\frac{0{,}01}{0{,}25} + \frac{0{,}04}{1{,}2} + \frac{1}{12}} = 6{,}38\ W/m^2.K$$

2. Výpočet tepelné propustnosti vrstvy pod trubkami pomocí rovnice 4.2:

$$\Lambda_{\mathrm{b}} = \frac{1}{\frac{0{,}25}{1{,}5} + \frac{0{,}15}{1{,}1} + \frac{0{,}002}{0{,}21} + \frac{0{,}06}{0{,}037} + \frac{0{,}055}{0{,}04} + \frac{1}{8}} = 0{,}23\ W/m^2.K$$

3. Výpočet charakteristického čísla podlahy pomocí rovnice 4.3:

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (6{,}38 + 0{,}23)}{\pi^2 + 1{,}2 \cdot 0{,}017}} = 8{,}1\ m^{-1}$$

4. Výpočet střední povrchové teploty podlahy pomocí rovnice 4.4:

$$t_{\mathrm{p}} = 20 + \frac{6{,}38}{12} \cdot (32{,}5 - 20) \cdot \frac{tgh\left(8{,}1 \cdot \frac{0{,}2}{2}\right)}{8{,}1 \cdot \frac{0{,}2}{2}} = 25{,}5\ °C$$

5. Výpočet měrného tepelného toku podlahové plochy pomocí rovnice 4.5:

$$\dot{q} = 12 \cdot (25{,}5 - 20) = 65{,}95\ W/m^2$$

6. Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů při různých teplotách nad i pod otopnou plochou pomocí rovnice 4.7:

$$q'_{\mathrm{p}} = \frac{0{,}23}{6{,}38} \cdot 69{,}95 + 0{,}23 \cdot (25{,}5 - 5) = 5{,}73\ W/m^2$$

7. Výpočet plochy otopného hadu pomocí rovnice 4.8:

$$S_{\mathrm{p}} = \frac{503}{65{,}95} = 8\ m^2 < 8{,}7\ m^2 \rightarrow plocha\ vyhovuje$$

8. Výpočet celkového výkonu otopné plochy pomocí rovnice 4.9:

$$Q_{\mathrm{PC}} = (69{,}95 + 5{,}73) \cdot 8 = 547\ W$$

Pro návrh podlahového vytápění bylo zvoleno potrubí o průměru D_{tr} = 17 mm a teplotní spád otopné vody 35/30 °C. Teplota zeminy byla zvolena t_{i}' = 5 °C.

Tab. 7 - Výpočet podlahového vytápění

č. míst.	Λ_a [W/m².K]	Λ_b [W/m².K]	m [m^{-1}]	t_i [°C]	l [m]	t_p [°C]	q [W/m²]	q' [W/m²]	S_p [m²]	$S_č$ [m²]	Q_{pc} [W]
102	6,38	0,23	8,1	20	0,2	25,5	65,95	5,73	23,5	24	1685
103	6,38	0,23	8,1	20	0,2	25,5	65,95	5,73	8	8,7	547
104	6,38	0,23	8,1	20	0,2	25,5	65,95	5,73	1,02	2,4	73
105	6,38	0,23	8,1	24	0,1	28,2	51,47	6,12	15,95	9,2	530
201	6,38	0,47	8,3	20	0,3	24,5	54,45	4,04	7,4	8,8	430
202	6,38	0,47	8,3	20	0,25	24,9	59,91	4,45	7,2	7,7	461
203	6,38	0,47	8,3	18	0,3	23,2	63,17	4,69	2,2	3,6	147
204	6,38	0,47	8,3	20	0,25	24,9	59,91	4,45	7,7	7,7	498
205	6,38	0,47	8,3	20	0,3	24,5	54,45	4,04	1,3	2,4	74
206	6,38	0,47	8,3	24	0,15	28,0	48,25	3,58	18,3	9,40	487
207	6,38	0,47	8,3	20	0,3	24,5	54,45	4,04	5,7	6,9	335
208	6,38	0,47	8,3	18	0,3	23,2	63,17	4,69	2,4	4,5	165

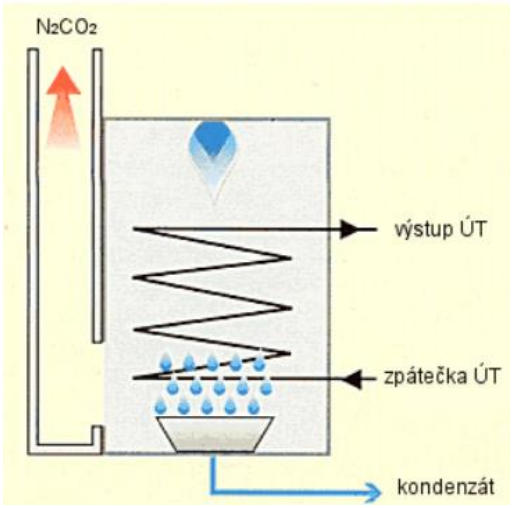
V tabulce 4 si můžeme všimnout, že v místnosti 105 a 206 je plocha podlahové plochy S_p větší, než celková dostupná plocha místnosti $S_č$. Jelikož se v obou případech jedná o koupelnu využije se zde jako přídavný zdroj, elektrické přímotopné trubkové koupelnové otopné těleso KORALUX LINEAR MAX-ER. V místnosti 105 bude těleso o výkonu 300 W a v místnosti 206 těleso o výkonu 400 W. Pro podlahové plochy je použito pětivrstvé potrubí Gabotherm hetta PB-R 17x2. Toto potrubí je z polybutenu, ale splňuje normu DIN 4726, podle které je maximální mezní hodnota prostupu kyslíku trubkami s kyslíkovou bariérou 0,1 g/m^3. U tohoto potrubí je hodnota prostupu 0,0014 g/m^3 viz příloha II na str. 12. Způsob tvarování otopných ploch je meandr položený mokrým způsobem pokládky.

5 ZDROJ TEPLA

V dnešní době, kdy jsou nejisté ceny energií, je třeba se zabývat i vhodně zvoleným zdrojem tepla pro vytápění a případně i teplou vodu. Mezi tyto zdroje se řadí v dnešní době, plynové kondenzační kotle a tepelná čerpadla.

5.1 Plynové kondenzační kotle

Jako palivo pro plynové kondenzační kotle slouží zemní plyn nebo propan. Při jeho spalování vznikne určité množství vody, které je ohříváno hořákem a dále odchází jako pára, kdy s oxidem uhelnatým tvoří spaliny hoření. Tyto spaliny v sobě mají skrytou energii, která se nazývá latentní teplo. Ochlazením spalin pod jejich teplotu rosného bodu, v nich obsažená pára zkondenzuje a tím uvolní latentní teplo. Toto teplo následně slouží k předehřevu vratné otopné vody pomocí výměníku v kondenzačním plynovém kotli. [6]



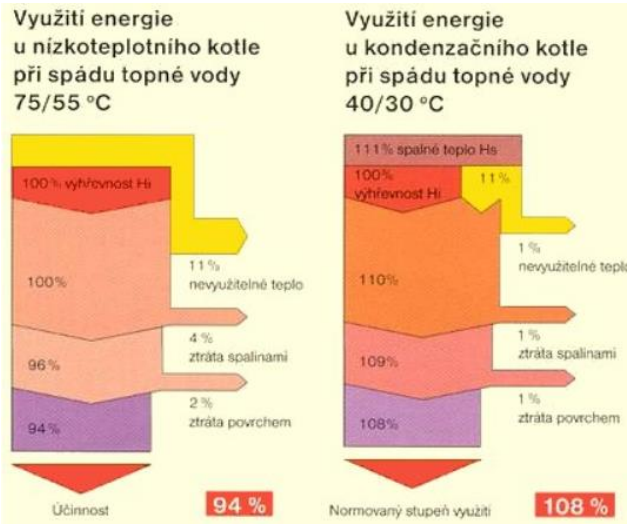
Obr. 12 – Princip spalování zemního kotle při kondenzačním ohřevu [6]

Spalováním zemního plynu v kondenzačním plynovém kotli je možné získat až o 11 % tepelné energie více než klasickými plynovými kotli. Tento procentuální rozdíl je rozdíl mezi výhřevností plynu a spalným teplem plynu. Tento zisk je však závislý na teplotě otopné vody, teplotě spalin a kondenzačním kotli. [7]

- **Spalné teplo plynu** – *Je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství plynu a stechiometrického množství kyslíku (o počátečních teplotách 25 °C) při ochlazení spalin zpět na teplotu 25 °C.* [6]

- **Výhřevnost plynu** – *Výhřevnost plynu je rovna spalnému teplu, zmenšenému o teplo uvolněné kondenzací vodní páry ze spalin. Jde tedy o množství tepla, které energii obsaženou ve vodní páře spalin nezohledňuje.* [6]

Z výhřevnosti plynu se určuje účinnost kotlů. Jelikož u kondenzačních kotlů tato hodnota převyšuje 100 %, zavedl se tak zvaný normovaný stupeň využití, který v sobě zahrnuje ztráty kotle závislé na zatížení kotle a teplotě otopné vody. U kondenzačních kotlů se normovaný stupeň využití počítá s výhřevnosti plynu, aby bylo možné porovnávat klasické plynové kotle s kotli kondenzačními. [6]



Obr. 13 - Porovnání využití energie [6]

Teplota rosného bodu spalin zemního plynu se pohybuje v rozmezí 50–55 °C. Pokud chceme, aby kondenzační kotel pracoval v kondenzačním režimu, měla by být teplota vratné otopné vody pod teplotou rosného bodu. Z tohoto důvodu jsou vhodné systémy, kde je teplota rosného bodu o 5 °C vyšší než teplota vratné otopné vody po celé otopné období. Proto se pro soustavy s kondenzačním kotlem volí nejčastěji spády otopné vody 40/30 °C a 55/45 °C. Z tohoto vyplývá, že je nejideálnější kondenzační kotel instalovat do soustav podlahového, stěnového nebo stropního vytápění. Použití s otopnými tělesy je možné také, ale jelikož je u těchto soustav většinou navržen větší teplotní spád, kondenzační kotel nebude fungovat v kondenzačním režimu po celé otopné období. [6]

Dále je nutné neustálé odvádět kondenzát. Odvod kondenzátu lze napojit na kanalizaci po souhlasu správce sítě. Většinou má kondenzát kyselost pH 5, tato hodnota se rovná hodnotě pH dešťové vody, a je tak odvod od jednotlivého kotle možné napojit přímo na kanalizaci. U kotlů většího výkonu a v případech, kdy je to od správce kanalizační sítě vyžadováno, je třeba kondenzát neutralizovat přes neutralizační granulát, v neutralizačním plastovém boxu. [6]

5.2 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení s kompresorovým oběhem, fungující na stejném principu jako klimatizační jednotky, pouze u tepelného čerpadla je teplo, které využíváme odebíráno z kondenzátoru na místo z výparníku. Tepelná čerpadla se dělí podle zdroje, ze kterého získávají teplo. [8]

Jedním z nejdůležitějších parametrů u tepelných čerpadel je topný faktor COP, což je poměr mezi odebraným teplem a spotřebou elektrické energie. Aby byl provoz tepelného čerpadla co nejlevnější, měl by být topný faktor co nejvyšší. Velikost topného faktoru závisí na typu tepelného čerpadla, a tedy na zdroji ze kterého získává teplo, ale také na teplotě otopné vody. [8]

5.2.1 Tepelné čerpadlo vzduch/voda

Tepelná čerpadla vzduch/voda odebírají energii z venkovního vzduchu a předávají ji otopné vodě, v systému vytápění nebo pro ohřev teplé vody. Tepelné čerpadlo vzduch/voda je vhodné pro rodinné domy, jelikož zde není vysoká náročnost na velikost pozemku, a kromě základů pro samotnou jednotku není třeba na pozemku větších stavebních zásahů. Většina moderních tepelných čerpadel vzduch/voda mají reverzibilní chod a lze je tedy využít jako zdroj chladu v letních měsících. Jelikož je venkovní vzduch hnán přes výměníky tepla pomocí ventilátorů, je zde riziko zvýšeného hluku. Další nevýhoda plynoucí z odebírání tepla z venkovního vzduchu je, že s klesající teplotou klesá topný faktor a zároveň topný výkon. Z tohoto důvodu je čerpadlo většinou doplněno přídavným, tedy bivalentním zdrojem. Jako bivalentní zdroj je možné použít plynový kondenzační kotel, elektrický kotel nebo integrovanou elektrickou topnou tyč. Bivalentní zdroj sepne při poklesu venkovní teploty pod bivalentní teplotu, která se navrhuje obvykle kolem -5 °C, to je teplota, do které pokrývá potřebu tepla pouze tepelné čerpadlo. Tepelná čerpadla mohou být dvou typů, monoblok a split. [9]

- **Monoblok** – U tohoto typu je ve venkovní jednotce kompletní uzavřený chladivový okruh a v potrubí propojující venkovní a vnitřní jednotku je otopná voda. [9]
- **Split** – U tohoto typu je teplo z chladivového okruhu předáváno do otopné vody, ve vnitřní jednotce. Z toho plyne že venkovní a vnitřní jednotka je propojeno chladivovým potrubím. Z tohoto důvodu musí zřízení split instalovat odborná chlaďařská firma. [9]

Obr. 14 - Tepelné čerpadlo vzduch/voda [9]

5.2.2 Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch

Tento typ opět odebírá teplo z venkovního vzduchu, ale místo otopné vody, ohřívá vzduch v místnosti. Je možno jej využívat ve vzduchotechnice, jak k chlazení, tak i k vytápění. [10]

5.2.3 Tepelné čerpadlo země/voda

Tepelná čerpadla země/voda odebírají energii ze zemského masivu. Jelikož je zemní masiv ovlivňován okolním prostředím do hloubky 5 m, jedná se o velmi stabilní zdroj tepelné energie. Tuto energii můžeme odebírat dvěma způsoby, svislými zemními vrty a horizontálními zemními kolektory. Vrty pro získávání tepla mohou být hluboké až 200 m, běžně se ale provádí do hloubky 100 m. Pro hlubší vrty je třeba mít speciální povolení. Teplo je ze zemského masivu odváděno pomocí nepřímého systému s nemrznoucí kapalinou do výparníku v tepelném čerpadlu. Nemrznoucí směs protéká potrubím z HDPE hadic, které se při instalaci do vrtu zalévají bentonitem. Vrty by měly být od sebe vzdáleny minimálně 5 m, vzdálenosti vrtů od sebe zaručují, aby nedocházelo k vychlazování vrtů. [11]

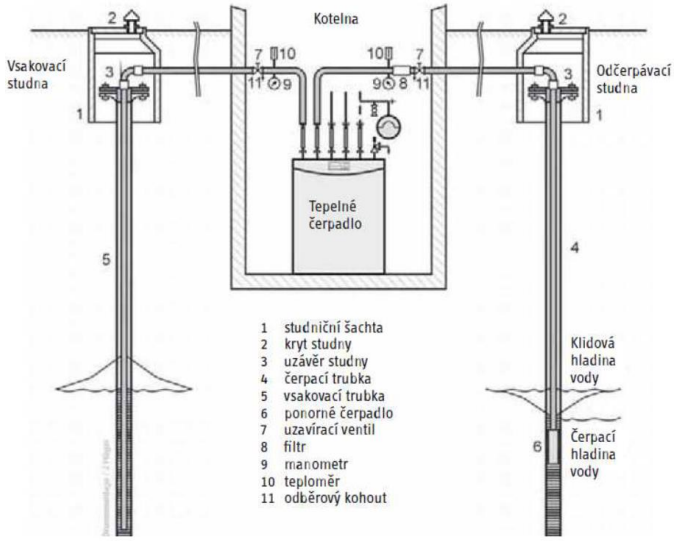
Obr. 15 - Tepelné čerpadlo země/voda (vrt) [12]

Druhý způsob odebírání tepla ze zemského masivu je horizontální zemní kolektor. Tyto kolektory odebírají energii z podpovrchových vrstev buď pomocí přímého výparníkového systému, kdy je zemní kolektor tvořen výparníkovým potrubím s chladivem, anebo pomocí nepřímého systému s nemrznoucí směsí. Potrubí se pokládá do hloubky 20 cm pod nezámrznou hloubkou. Potrubí je nejčastěji kladeno do meandru s minimální roztečí 0,5 m. Hlavním kritériem pro použití zemního kolektoru je plocha pozemku. Dále by nad kolektorem neměla být zpevněná plocha z důvodu regenerace půdy. Z důvodu tlakových ztrát by neměla délka okruhů přesáhnout 100 m (pro d = 25 mm). Pokud plocha kolektoru vyžaduje větší délku okruhů je třeba je rozdělit do více paralelních okruhů. [11]

Obr. 16 - Tepelné čerpadlo země/voda (zemní kolektor) [12]

5.2.4 Tepelné čerpadlo voda/voda

Tepelná čerpadla voda/voda mohou odebírat energii z podzemních nebo povrchových vod. Hlavní výhodou využití podzemních vod je celoroční stálá teplota na primární straně tepelného čerpadla. Využívají se dva vrty, jeden je tak zvaná čerpací studna, ze kterého se teplo získává a druhý se nazývá vsakovací studna, do kterého je vracena voda po ochlazení na výparníku. Minimální vzdálenost mezi studnami by měla být 15 m, z důvodu zabránění vychlazení okolí studny. Nejčastější hloubka studen se pohybuje v rozmezí 5–15 m, v závislosti na hloubce spodních vod. Před instalací tepelného čerpadla je třeba udělat čerpací zkoušku vydatnosti studně, která je prováděna po dobu alespoň 14 dní a při, které nesmí poklesnout hladina spodní vody. Vydatnost je potřebný průtok vody na výparníku. [11]



Obr. 17 - Tepelné čerpadlo voda/voda (podzemní voda) [11]

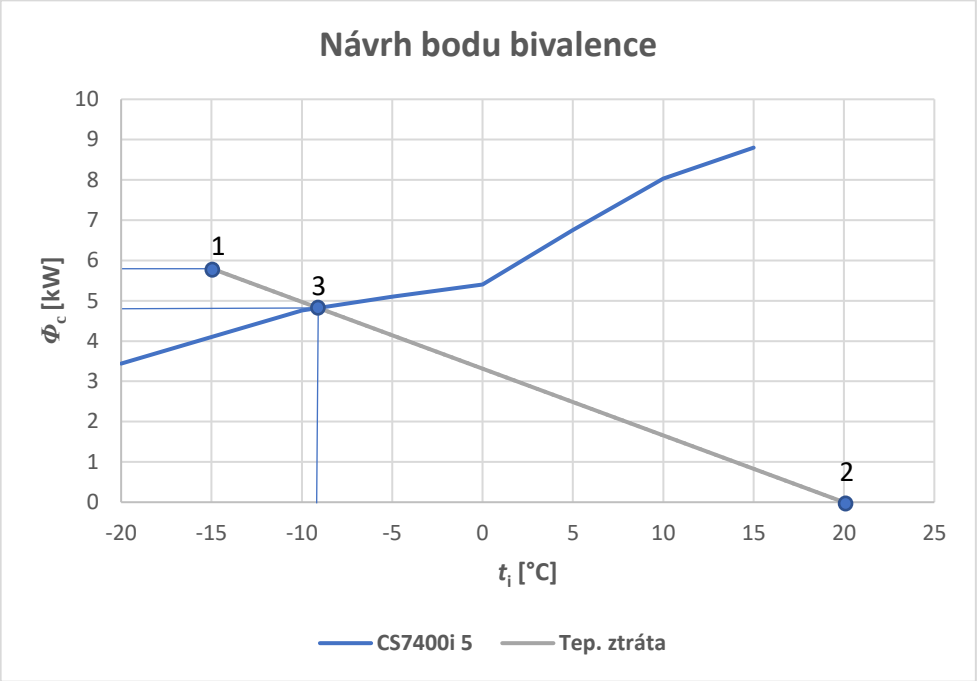
Při odebírání energie tepla z povrchových vod se využívá akumulace slunečního záření v povrchových vodách (jezera, řeky, …). Tyto instalace nejsou příliš rozšířené, protože je zde omezený přístup ke zdrojům. Plošný výměník, který odebírá teplo se instaluje na dno. Výměník by se měl nacházet na málo frekventovaných místech z důvodu poškození. [11]

Obr. 18 - Tepelné čerpadlo voda/voda (povrchové vody) [12]

5.3 Volba zdroje vytápění

Jako zdroj tepla, jsem pro zadaný objekt zvolil tepelné čerpadlo vzduch/voda Bosch Compress 7400i AW 5 ORM-S se jmenovitým výkonem 5 kW. Toto tepelné čerpadlo jsem zvolil, jelikož je zadaný objekt novostavba, ve které se o vytápění bude starat podlahové vytápění se spádem 35/30 °C, což jsou pro tepelné čerpadlo ideální podmínky. Jedná se o monoblok, to znamená, že je ve venkovní jednotce uzavřený okruh chladiva. Vnitřní jednotka má v sobě integrovaný zásobník teplé vody o objemu 190 l. Ve vnitřní jednotce je také integrovaná elektrická topná tyč, která slouží jako paralelní bivalentní zdroj. Dále je tepelné čerpadlo napojeno na 120 l akumulační zásobník. Toto tepelné čerpadlo je z výroby osazeno difuzorem na výdechu ventilátoru, z tohoto důvodu je tepelné čerpadlo velice tiché. [13]

5.3.1 Návrh bodu bivalence



Obr. 19 – Určení bodu bivalence

Pro sestrojení bodu bivalence je nejdříve vynést bod 1, který značí největší tepelnou ztrátu 5,8 kW při venkovní výpočtové teplotě θ_e = – 15 °C. Tento bod spojíme s bodem 2, který značí nulovou tepelnou ztrátu při venkovní teplotě 20 °C. V místě, kde se protne výkonová křivka tepelného čerpadla a přímka tepelné ztráty se nachází bod bivalence 3. Bod bivalence v tomto případě nastane při cca -9 °C. Při nižších teplotách než -9 °C, tedy sepne paralelní bivalentní zdroj, který je v tomto případě integrovaná elektrická topná tyč. Výkon tohoto zdroje je určen jako rozdíl výkonů bodů 1 a 3, v tomto případě je rozdíl 2 kW, proto jsem zvolil výkon bivalentního zdroje 2 kW.

Tab. 8 - Technické údaje tepleného čerpadla Compress 7400i AW 5

	Jednotka	5 OR	7 OR
Provoz vzduch/voda			
Tepelný výkon při A -10/W35[1], 100% otáčky kompresoru	kW	4,76	6,20
Odevzdaný výkon při A -7/W35[1], částečné zatížení	kW	4,24	5,66
COP při A -7/W35[1], částečné zatížení		3,02	3,08
Modulační rozsah při A -7/W35[1]	kW	1,5-5,0	1,9-6,8
Tepelný výkon při A +2/W35[1], 100% otáčky kompresoru	kW	5,48	7,29
Odevzdaný výkon při A +2/W35[1], částečné zatížení	kW	2,53	2,54
COP při A +2/W35[1], částečné zatížení		4,25	4,25
Modulační rozsah při A +2/W35[1]	kW	1,9-5,5	2,5-7,3
Odevzdaný výkon při A +7/W35[1], částečné zatížení	kW	2,82	4,01
COP při A +7/W35[1], částečné zatížení		5,01	5,01
Modulační rozsah při A +7/W35[1]	kW	2,1-7,6	4,0-7,9
Chladicí výkon při A 35/W7[1]	kW	4,44	5,66
EER při A 35/W7[1]		2,42	2,36
Chladicí výkon při A 35/W18[1]	kW	6,15	7,39
EER při A 35/W18[1]		2,98	2,86
Elektrická data			
Elektrické napájení		230 V 1N AC 50 Hz	230 V 1N AC 50 Hz
Elektrické krytí IP		IP X4	IP X4
Velikost pojistek při napájení tepelného čerpadla přímo z domovní přípojky[2]	A	16	16
Maximální příkon	kW	3,2	3,6
Teplonosná látka			
Minimální průtok	l/s	0,33	0,43
Vnitřní pokles tlaku	kPa	7,8	10,5
Vzduch a hluk			
Max. výkon motoru ventilátoru (DC převodník)	W	240	240
Maximální proud vzduchu	m^3/h	3400	3400
Hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 1 m, zatěžovací bod podle 2013/811/EU	dB(A)	42	42
Akustický výkon[3]	dB(A)	50	50
Max. akustický výkon A7/W55	dB(A)	54	55
Max. akustický výkon "Tichý provoz" A7/W55	dB(A)	49	51
Max. akustický výkon A7/W35	dB(A)	55	55
Max. akustický výkon "Tichý provoz" A7/W35	dB(A)	47	48
Max. akustický výkon včetně tonality	dB(A)	53 + 3[4]	55 + 3[4]
Max. akustický výkon včetně tonality "Tichý provoz"	dB(A)	49 + 0[4]	51 + 0[4]
Všeobecné údaje			
Chladivo[5]		R410A	R410A
Množství chladiva	kg	1,75	2,35
CO_2(e)	Tuna	3,65	4,91
Maximální teplota výstupu, pouze tepelné čerpadlo	°C	62	62
Nadmořská výška instalace		do 2000 m nad hladinou moře	
Rozměry (Š x V x H)	mm	940x1380x600	940x1380x600
Hmotnost bez stěn a horního krytu	kg	89	96
Hmotnost se stěnami a horním krytem	kg	113	120

5.3.2 Kontrola objemu expanzní nádoby

Přestože je tepelné čerpadlo osazeno integrovanou 10 l expanzní nádobou již z výroby, je třeba její objem zkontrolovat. Pokud nebude tento objem dostatečný bude potřeba tepelné čerpadlo doplnit o externí expanzní nádobu o dostatečném objemu

1. Nejnižší dovolený absolutní tlak [14]:

$$p_{\mathrm{d.dov,A}} = 1{,}1 \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_{\mathrm{B}}\ [kPa] \tag{5.1}$$

kde: ρ [kg/m^3] hustota vody

g [m/s^2] tíhové zrychlení

h [m] výška vodního sloupce nad EN

p_{B} [kPa] barometrický tlak = 100 kPa

2. Nejvyšší dovolený absolutní tlak [14]:

$$p_{\mathrm{h,dov,A}} = p_{\mathrm{ot}} + p_{\mathrm{B}}\ [kPa] \tag{5.2}$$

kde: p_{ot} [kPa] otevírací přetlak pojistného ventilu

3. Stupeň využití EN [14]:

$$\eta = \frac{p_{\mathrm{h,dov,A}} - p_{\mathrm{d,dov,A}}}{p_{\mathrm{h,dov,A}}}\ [-] \tag{5.3}$$

4. Objem expanzní tlakové nádoby [14]:

$$V_{\mathrm{et}} = 1{,}3 \cdot V_{\mathrm{o}} \cdot n \cdot \frac{1}{\eta}\ [m^3] \tag{5.4}$$

kde: V_{o} [m^3] objem vody v celé otopné soustavě včetně zdroje tepla

n [-] součinitel zvětšení objemu = 0,00554

1. Výpočet nejnižšího dovoleného přetlaku pomocí rovnice 5.1:

$$p_{\mathrm{d.dov,A}} = 1{,}1 \cdot 997 \cdot 9{,}81 \cdot 2 \cdot 10^{-3} + 100 = 122\ kPa$$

2. Výpočet nejvyššího dovoleného přetlaku pomocí rovnice 5.2:

$$p_{\mathrm{h,dov,A}} = 300 + 100 = 400\ kPa$$

3. Výpočet stupně využití EN pomocí rovnice 5.3:

$$\eta = \frac{400 - 122}{400} = 0{,}7$$

4. Výpočet objemu expanzní nádoby pomocí rovnice 5.4:

$$V_{\mathrm{et}} = 1{,}3 \cdot 0{,}281 \cdot 0{,}00554 \cdot \frac{1}{0{,}7} = 0{,}0029\ m^3 = 2{,}9\ l$$

Pomocí výpočtu bylo zjištěno, že potřebný objem expanzní nádoby pro navrženou otopnou soustavu činí 2,9 l. Z toho vyplývá, že objem integrované expanzní nádoby je pro potřeby této otopné soustavy dostatečný a není tak třeba doplnění externí expanzní nádoby.

6 PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

Teplá voda slouží pro potřeby lidí na mytí a úklid. Název teplá voda (TV) může být zaměňován s výrazem teplá užitková voda (TUV), která slouží pro technologické potřeby. Správný návrh potřeby tepla pro ohřev teplé vody je důležitý pro určení celkové potřeby elektrické energie. Jelikož se v dnešní době vyrovnává potřeba tepla na vytápění i potřeba tepla na ohřev teplé vody. [15]

6.1 Návrh zásobníku teplé vody dle ČSN 06 0320

1. Potřeba tepla odebraného z ohřívače TV za danou periodu [16]:

$$Q_{2\mathrm{p}} = Q_{2\mathrm{t}} + Q_{2\mathrm{z}} = (1+z)\cdot Q_{2\mathrm{t}} = \frac{(1+z)\cdot V_{2\mathrm{p}}\cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600\cdot 1000} \tag{6.1}$$

kde: Q_{2p} [kWh/den] teplo odebrané z ohřívače TV

Q_{2t} [kWh/den] teoretické teplo odebrané z ohřívače TV

Q_{2z} [kWh/den] teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV

z [-] poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci

V_{2p} [m^3/den] celková potřeba teplé vody

ρ [kg/m^3] hustoty vody při střední teplotě zásobníku

c [J/kg.K] měrná tepelná kapacita vody

t_1 [°C] teplota studené vody

t_2 [°C] teplota teplé vody

Pomocí hodnoty Q_{2p} následně sestrojím křivku odběru tepla a křivku dodávky tepla, pomocí kterých určím objem zásobníku a výkon potřebný pro ohřev teplé vody.

2. Výpočet objemu zásobníku [16]:

$$V_{\mathrm{z}} = \frac{\Delta Q_{\max}}{\rho \cdot c \cdot (t_1 - t_2)} \cdot 3600 \cdot 1000\ [m^3] \tag{6.2}$$

kde: ΔQ_{max} [kWh] maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky Q_1 a odběru tepla Q_2.

3. Výpočet tepelného výkonu zdroje tepla [16]:

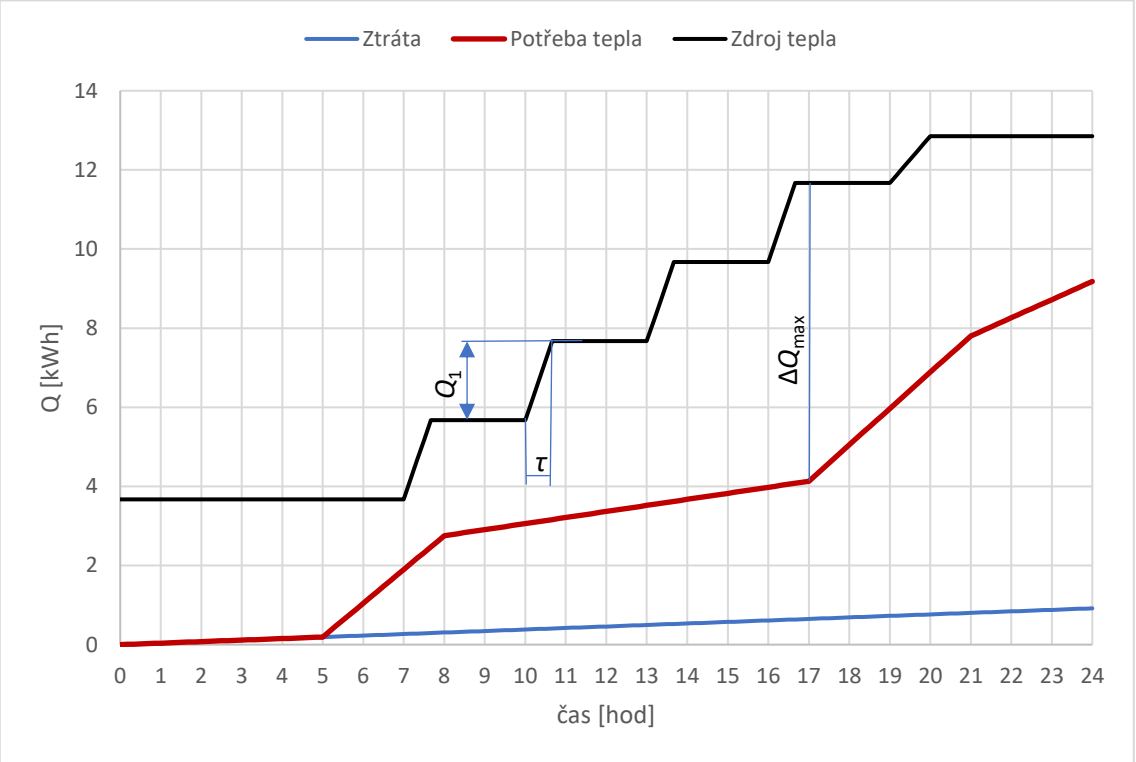
$$P_z = \left(\frac{Q_1}{\tau}\right)_{max} \quad [W] \tag{6.3}$$

kde: τ [h] doba ohřevu

6.2 Výpočet zásobníku teplé vody

1. Výpočet tepla odebraného z ohřívače pomocí rovnice 6.1

$$Q_{2p} = \frac{(1+0{,}1)\cdot 4\cdot 40\cdot 997\cdot 4187\cdot (55-10)}{3600\cdot 1000} = 9{,}18\ kWh/den$$



Obr. 20 - Křivka odběru a dodávky tepla

Časové rozložení jsem zvolil:

- Od 5 do 8 hodin = 30 % z celkového množství TV
- Od 8 do 17 hodin = 15 % z celkového množství TV
- Od 17 do 21 hodin = 40 % z celkového množství TV
- Od 21 do 24 hodin = 15 % z celkového množství TV

2. Výpočet objemu zásobníku pomocí rovnice 6.2:

$$V_{\mathrm{z}} = \frac{7{,}592}{1{,}163 \cdot (55 - 10)} = 0{,}145\ m^3$$

3. Výpočet tepelného výkonu zdroje tepla pomocí rovnice 6.3

$$P_{\mathrm{z}} = \left(\frac{2}{\frac{4}{6}}\right)_{max} = 3\ kW$$

Potřebný objem zásobníku je 145 l, integrovaný zásobník ve vnitřní jednotce tepelného čerpadla má objem 190 l, čili je tento objem vyhovující. Potřebný výkon zdroje tepla pro ohřev teplé vody činí 3 kW. Výkonová křivka zdroje tepla byla navržena s ohledem na navržený zdroj tepla zdroj tepla a zvolený způsob vytápění. Pokud je výkonová křivka zdroje tepla ustálena na konstantní hodnotě, zdroj tepla je používán pouze pro vytápění.

7 HYDRAULICKÉ VYVÁŽENÍ OTOPNÉ SOUSTAVY

Hydraulické vyvážení otopné soustavy slouží pro správný chod a také pro nastavení požadovaných výkonů jednotlivých otopných hadů.

7.1 Tlakové ztráty potrubí

Celková tlaková ztráta potrubí Δp_Z se stanoví jako součet tlakové ztráty třením Δp_λ a tlakové ztráty místními odpory Δp_ξ. Při návrhu jednotlivých otopných hadů je snaha navrhnout délky otopných hadů přibližně stejně. Podobná délka umožňuje zjednodušení vyvážení otopné soustavy. Zároveň by délka jednoho otopného hadu neměla přesáhnout 120 m. Pokud by délka jednoho otopného vyšla delší je třeba otopný okruh rozdělit na více okruhů. [5]

Nejdříve je třeba pomocí kalorimetrické rovnice určit požadovaný hmotnostní průtok jednotlivých otopných hadů. [5]

$$M = \frac{Q_{PC}}{c \cdot \Delta t} \; [kg/s] \tag{7.1}$$

kde: Q_{PC} [W] celkový příkon otopného hadu,

c [J/kg.K] měrná tepelná kapacita teplonosné látky,

Δt [K] ochlazení vody v otopného hadu.

7.1.1 Tlaková ztráta třením

$$\Delta p_\lambda = R \cdot l_p \; [Pa] \tag{7.2}$$

kde: l_p [m] délka trubek otopného hadu,

R [Pa/m] měrná tlaková ztráta. [5]

Délku otopného hadu je možné stanovit pomocí vzorců pro jednotlivé způsoby pokládky. Nebo je možné využít přepočet pomocí spotřeby trubek l_p, který je vztačen na m^2 otopné plochy.

$$l_p = x \cdot S_p \; [m] \tag{7.3}$$

Tab. 9 - Potřebné množství trubky vztažené na plochu [17]

Rozteč trubek [cm]	10	15	20	25	30
***x* [m/m^2]**	10	6,7	5	4,1	3,3

Měrná tlakovou ztrátu potrubí je možno vypočítat pomocí vzorce [5]:

$$R = \frac{\lambda_t}{d_i} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \; [Pa/m] \tag{7.4}$$

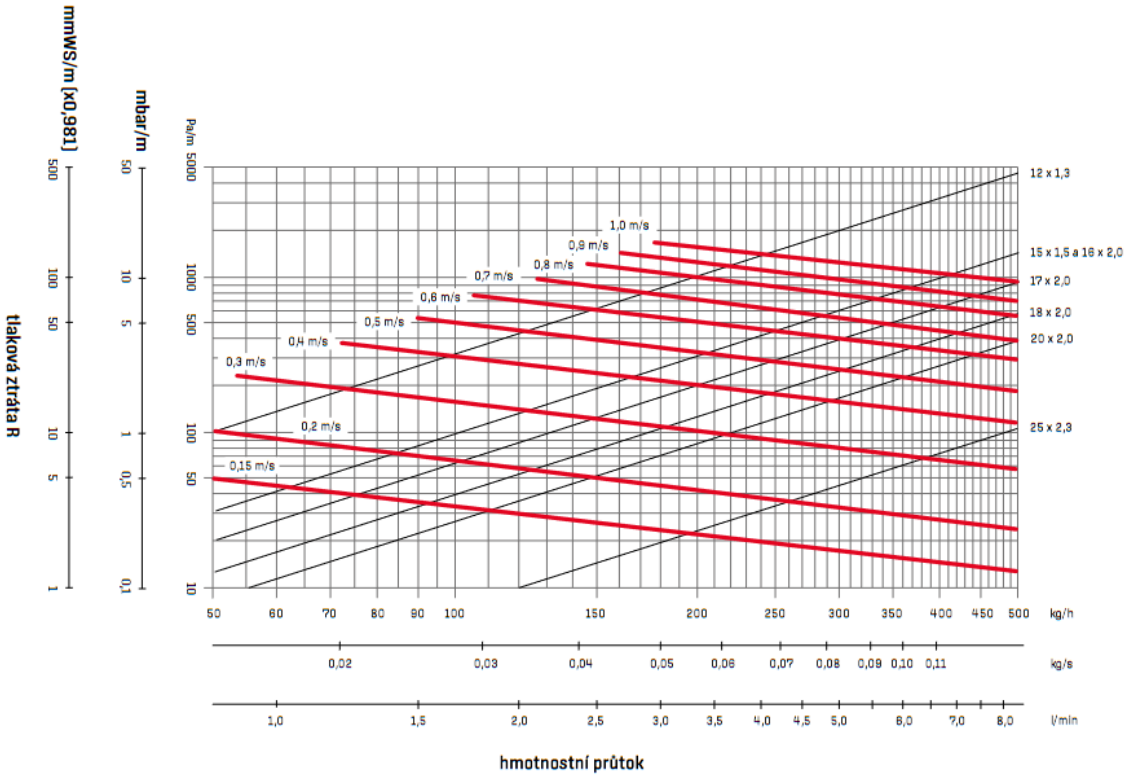
kde: λ_t [-] součinitel tlakové ztráty,

w [m/s] rychlost proudění,

d_i [m] vnitřní průměr potrubí,

ρ [kg/m^3] hustota teplonosné látky.

Nebo je možné určit měrnou tlakovou ztrátu graficky pomocí diagramu tlakových ztrát, který je k dispozici v technických listech daného výrobce viz příloha II.



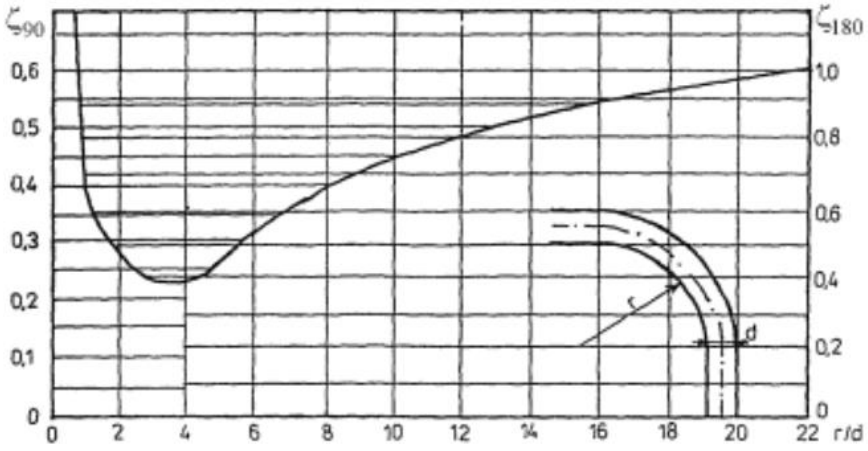
Obr. 21 - Diagram tlakových ztrát trubek Gabotherm [18]

7.1.2 Tlaková ztráta místními odpory

$$\Delta p_{\mathrm{Z}} = \Sigma\xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \; [Pa] \tag{7.5}$$

kde: ξ [-] součinitel místních ztrát.

U podlahového vytápění se místní odpory uvažují pouze v obloucích otopného hadu. Součinitel místního odporu pro úhel 90° je závislý na poloměru zakřivení r a na úhlové míře φ. [5]



Obr. 22 - Součinitel místního odporu pro oblouk 90 a 180° [5]

Suma místních odporů otopného hadu se určí [5]:

- pro plošnou spirálu

$$\Sigma\xi = \left(n_{\mathrm{p}} - 1\right) \cdot \xi_{\varphi} \; [-] \tag{7.6}$$

- pro meandr

$$\Sigma\xi = 2 \cdot \left(n_{\mathrm{p}} - 1\right) \cdot \xi_{\varphi} \; [-] \tag{7.7}$$

kde: n_{p} [-] počet řad trubek otopného hadu,

ξ_{φ} [-] součinitel místního odporu oblouku o úhlu φ.

7.2 Vyvážení otopné soustavy zadaného objektu

Při výpočtu tlakových ztrát podlahové otopné plochy byla uvažována pouze tlaková ztráta třením. Tlaková ztráta místními odpory byla tedy zanedbána.

Otopný had je napojený na sestavu rozdělovač/sběrač IVAR.CS 553 VP, která je zabudovaná do instalační skříně dodávané výrobcem. Rozdělovač je osazen regulačními průtokoměry. Na sběrači jsou nainstalovány uzavírací ventily, které je možné nahradit

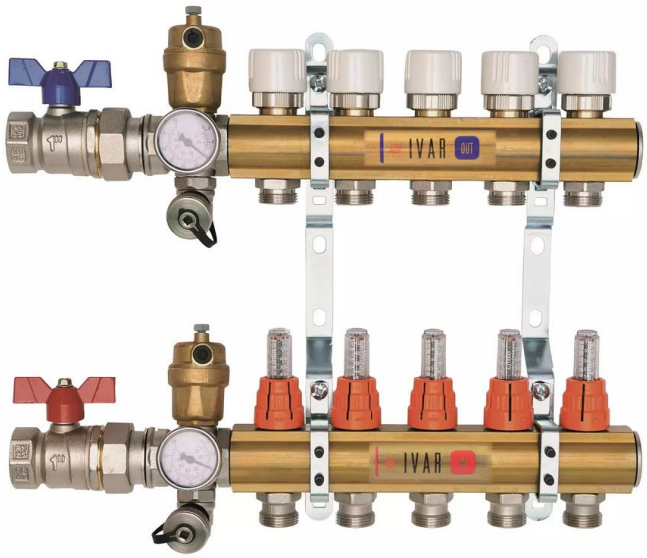
elektrotermickými hlavicemi. V prvním nadzemním patře je umístěn 5-cestný rozdělovač/sběrač a ve druhém nadzemním patře je 6-cestný rozdělovač/sběrač.

Při vyvažování soustavy regulačními armaturami se používá průtokový součinitel *Kv*, jehož vztah s vodou, jakožto teplonosnou látkou je:

$$Kv = \frac{\dot{V}}{\sqrt{\Delta p}} \; [m^3/h] \tag{7.8}$$

kde: $\dot{V}$ [m^3/h] objemový průtok,

Δp [bar] tlaková ztráta armatury. [19]



Obr. 23 - Sestava rozdělovač/sběrač pro podlahové vytápění [20]

Pokud nebude rozsah regulačního šroubení na rozdělovači dostatečný, bude potrubí doplněno o přídavné regulační šroubení, které zajistí požadovanou tlakovou ztrátu.

Obr. 24 - Přídavné regulační šroubení IVAR.CS [21]

Jelikož jsou v zadaném objektu dvě nadzemní patra je potřeba jednotlivé otopné okruhy vůči sobě vyvážit. Toto vyvážení bude provedeno pomocí vyvažovacího ventilu STAD – PN 25.

Obr. 25 - Vyvažovací ventil STAD – PN 25 [22]

7.2.1 Tlakové ztráty třením otopných hadů

Měrná tlaková ztráta potrubí *R* byla odečtena z obrázku 21.

Tab. 10 - Tlaková ztráta třením otopných hadů

Úsek č.	*Q* [W]	*V* [m³/h]	*R* [Pa/m]	l_p [m]	$R.l_p$ [Pa]
A1 (102)	945	0,163	140	66,9	9366
A2 (102)	749	0,130	100	50	5000
A3 (103+104)	617	0,107	65	51,72	3362
A4 (105)	242	0,042	18	48,4	871
A5 (105)	288	0,050	20	63,2	1264
B1 (202+203)	608	0,105	63	44,6	2810
B2 (204)	498	0,086	48	50,3	2414
B3 (201+205)	504	0,087	48	33,8	1622
B4 (206)	269	0,047	19	48,4	920
B5 (206)	218	0,038	17	65	1105
B6 (207+208)	500	0,086	48	36,8	1766

7.2.2 Celková tlaková ztráta otopných hadů

Při vyvažování otopné soustavy se snažíme nastavit stejnou tlakovou ztrátu na všech otopných hadech. Tlaková ztráta, která se nastavuje pomocí již zmíněných regulačních šroubení, případně pomocí termostatického vyvažovacího ventilu, je určena pomocí největší tlakové ztráty otopného okruhu. V tomto případě tlakovou ztrátu určují otopné hady A1 v 1. nadzemním patře a B1 v 2. nadzemním patře.

Tab. 11 - Celkové tlakové ztráty otopných hadů (RS – tl. ztráta rozdělovače; RŠ – tl. ztráta regulačním šroubením; PRŠ – tl. ztráta přídavným regulačním šroubením; Σp – celková tlaková ztráta otopného hadu)

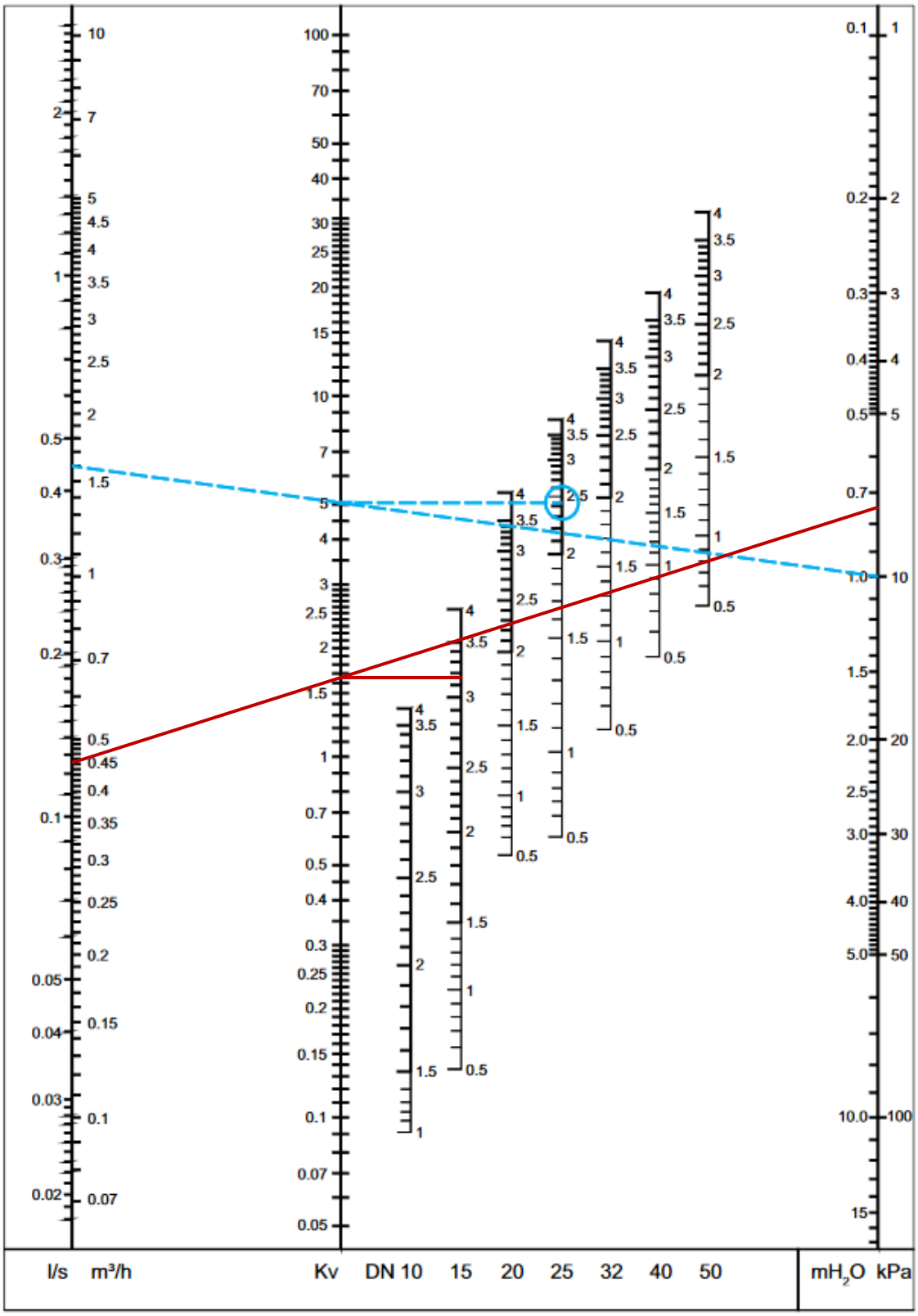
Úsek č.	$\dot{V}$ [m³/h]	$R.l_p$ [Pa]	RS [Pa]	$RŠ$ [Pa]	$PRŠ$ [Pa]	p_z [Pa]	V_p [m³/h]
A1 (102)	0,163	9366	428	1400	-	11194	0,157
A2 (102)	0,130	5000	269	4750	1100	11119	0,151
A3 (103+104)	0,107	3362	182	6000	1800	11344	0,116
A4 (105)	0,042	871	28	7500	1800	10199	0,046
A5 (105)	0,050	1264	40	10100	-	11404	0,048
B1 (202+203)	0,105	2810	177	720	-	3707	0,110
B2 (204)	0,086	2414	119	1000	-	3533	0,092
B3 (201+205)	0,087	1622	122	1900	-	3644	0,087
B4 (206)	0,047	920	35	1800	550	3304	0,049
B5 (206)	0,038	1105	23	2800	-	3928	0,037
B6 (207+208)	0,086	1766	120	1900	-	3786	0,087

V tabulce 11. můžeme vidět, že u otopných hadů A2, A3, A4 a B4 bylo třeba k vyvážení použít přídavné regulační šroubení. Dále je třeba zkontrolovat, zdali je rozdíl teoretického objemového průtoku $\dot{V}$ a skutečného objemového průtoku V_p maximálně 15 %. Tato podmínka byla u všech otopných hadů splněna.

Dále bylo třeba vyvážit vůči sobě oba otopné okruhy pomocí vyvažovacího ventilu.

Tab. 12 - Celkové tlakové ztráty otopných hadů

	p_z [Pa]
Otopný okruh A	11194
Otopný okruh B	3707
Rozdíl tlaků otopných okruhů	7487



Obr. 26 - Diagram vyvažovacího ventilu STAD – PN 25 [22]

Pomocí diagramu na obrázku 26 jsem určil požadovaný rozměr a hodnotu nastavení vyvažovacího ventilu *Kv* = 1,65 m^3/h. Křivka, pomocí které byla tato hodnota je určena pomocí požadované tlakové ztráty a požadovaného průtoku otopného okruhu.

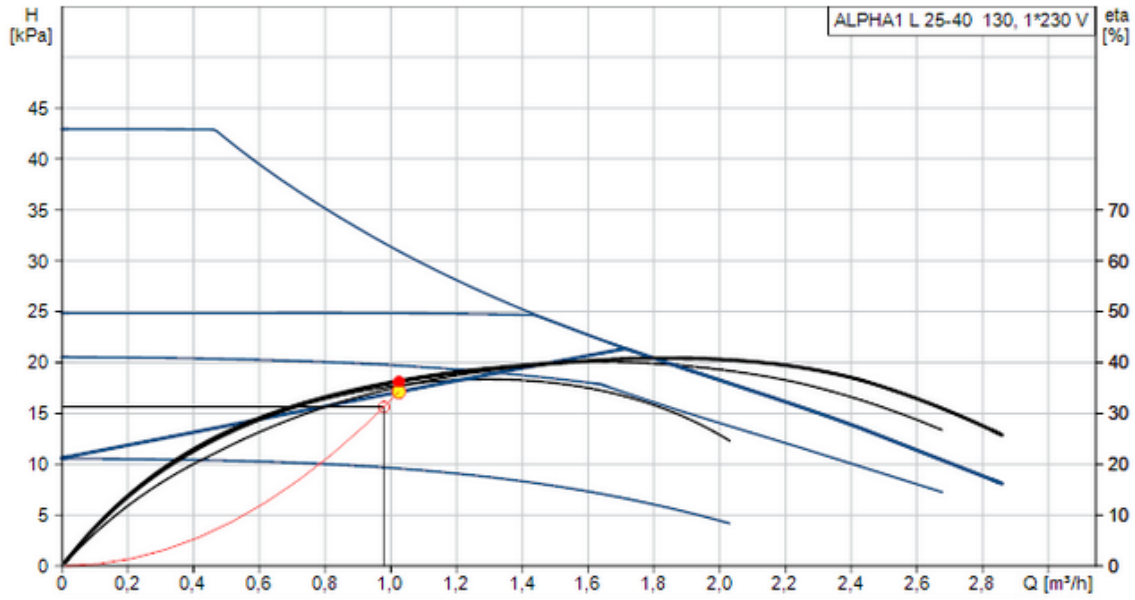
7.2.3 Návrh oběhového čerpadla

Přestože je tepelné čerpadlo osazeno integrovaným oběhovým čerpadlem, je třeba navrhnout oběhové čerpadlo pouze pro otopný okruh, jelikož integrované čerpadlo slouží k čerpání média mezi venkovní a vnitřní jednotkou. K návrhu oběhového čerpadla bylo třeba dopočítat tlakovou ztrátu potrubí, které spojuje akumulační nádobu a rozdělovače. Toto potrubí bylo navrženo pomocí metody rychlostí, která by se měla pohybovat okolo 0,5 m/s. Pro toto potrubí jsem zvolil měděné potrubí o rozměru 28x1,5 mm.

Tab. 13 - Tlakové ztráty potrubí v tech. místnosti

	M **[kg/h]**	***L*** **[m]**	d_i **[m]**	***R*** **[Pa/m]**	***w*** **[m/s]**	***Σξ*** **[-]**	***R.L*** **[Pa]**	***Z*** **[Pa]**	***Σ(R.L+Z)*** **[Pa]**
Přívodní potrubí	973	8	0,025	146	0,55	7,2	1168	1098	2266
Vratné potrubí	973	8	0,025	146	0,55	7,2	1168	1098	2266
									4532

Po přičtení této tlakové ztráty k tlakové ztrátě otopných hadů, je celková tlaková ztráta potřebná pro návrh oběhového čerpadla 15,7 kPa. Pro pokrytí této tlakové ztráty jsem zvolil oběhové čerpadlo GRUNDFOS ALPHA1 L 25-40 130, jehož výkonovou křivku můžeme vidět na obrázku 27.

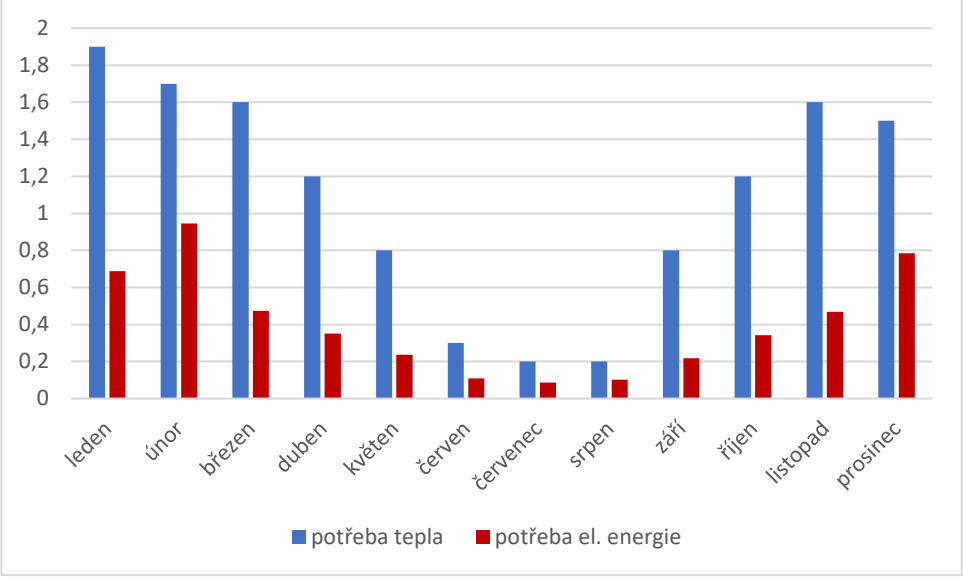


Obr. 27 - Výkonová křivka oběhového čerpadla GRUNDFOS ALPHA1 L 25-40 130 [23]

8 ENERGETICKÉ HODNOCENÍ PROVOZU TEPELNÉHO ČERPADLA

Energetické hodnocení provozu tepelného čerpadla bylo provedeno pomocí intervalové metody, která využívá princip výpočtu dle ČSN EN 15316-4-2. Tato metoda využívá klimatické údaje uvedené v technické informační informaci TNI 73 0351, které mohou být rozděleny po měsících nebo jsou stanoveny pro celý rok. Pokud bychom chtěli zpřesnit výpočet pro danou lokalitu, můžeme tak učinit pouze pokud jsou pro lokalitu k dispozici hodinové údaje o venkovní teplotě. Hlavním principem intervalové metody je bilance energetických toků v teplotních intervalech, kde každý jeden interval má rozmezí 1 K. Interval je určen střední venkovní teplotou a dobou trvání. [24]

K výpočtu intervalové metody byl použit výpočetní nástroj vytvořený doc. Ing. Tomášem Matuškou, Ph.D. [25] Do nástroje je třeba zadat základní informace o budově pro určení potřeby tepla pro vytápění a potřeby tepla pro ohřev teplé vody. Dále je třeba do nástroje zadat jednotlivé výkony a topné faktory tepelného čerpadla závislé na teplotě výparníku a kondenzátoru.



Obr. 28 - Měsíční potřeba tepla a el. energie

Po zadání hodnot do výpočetního nástroje je roční potřeba tepla Q_p = 13,3 MWh, potřeba elektrické energie E_{sys} = 4,8 MWh, sezónní topný faktor *SPF* = 2,8 a doba provozu tepelného čerpadla τ_{TC} = 1044 h, při pokrytí potřeby tepla 92 %. Pokud budeme počítat roční náklady na provoz domu s navrženým zdrojem tepla s cenou 6 Kč/kWh elektrické energie, vyjdou celkové náklady 28 812 Kč/rok.

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo u zadaného objektu navrhnout vhodnou otopnou soustavu, a zdroj tepla, který bude pokrývat potřebu tepla na vytápění a ohřev teplé vody. Prvním krokem bylo, navrhnout vhodné konstrukce zdí, podlah a střechy, tak aby vyhovovali součinitelům prostupu tepla uvedeným v normě ČSN 73 0540-2:2011. Pro objekt jsem zvolil stavební systém Porotherm Profi, okna byla zvolena plastová s izolačním dvojsklem a vchodové dveře byly zvoleny taktéž plastové. Dále bylo potřeba vypočítat tepelné ztráty objektu dle normy ČSN EN 12 831-1. Nejdříve však bylo potřeba stanovit venkovní výpočtovou teplotu, jelikož jsem objekt umístil v okrese Příbram je venkovní výpočtová teplota θ_e = -15 °C. Dle ČSN EN 12 831-1. Po zjištění venkovní jsem vypočítal tepelné ztráty prostupem a větráním. U tepelné ztráty větráním bylo počítáno s přirozeným větráním. Po součtu tepelných ztrát prostupem a větráním činí celková tepelná ztráta 5,8 kW. Pro nahrazení tepelné ztráty bylo třeba navrhnout vhodnou otopnou soustavu. Pro vytápění jsem vybral podlahové vytápění. Tento způsob jsem zvolil, jelikož se jedná o novostavbu s relativně nízkou tepelnou ztrátou, a tak by klasická otopná tělesa vycházela příliš rozměrově malá. Při návrhu otopné plochy jsem musel do místností 105 a 206 přímotopné trubkové otopné těleso, protože využitelné plocha těchto místností vycházela menší než potřebná plocha podlahového vytápění. Pro podlahové vytápění jsem zvolil pětivrstvé polybutenové potrubí Gabotherm hetta PB-R 17x2, které má dle normy DIN 4726 hodnotu prostupu kyslíku trubkami s kyslíkovou bariérou 0,0014 g/m^3. Podlahové vytápění bude položeno mokrou pokládkou do meandru s teplotním spádem 35/30 °C. Zdroj tepla, který bude hradit potřebu tepla pro vytápění a také pro ohřev teplé vody, bude tepelné čerpadlo vzduch-voda. Zvolil jsem tepelné čerpadlo Bosch Compress 7400i AW 5 ORM-S, jehož jmenovitý tepelný výkon činí 5 kW. Toto tepelné čerpadlo má ve vnitřní jednotce integrovaný zásobník teplé vody o objemu 190 l. Dále je v tepelném čerpadle integrovaná elektrická tyč o výkonu 2 kW, která bude krýt tepelnou ztrátu za bodem bivalence, který je -9 °C. Otopný okruh je také napojen na 120 l akumulační zásobník. Tepelné čerpadlo je také osazeno integrovanou expanzní nádobou o objemu 10 l. Pro otopnou soustavu bylo potřeba zkontrolovat, zda je tento objem dostatečný. Po výpočtu vyšel požadovaný objem expanzní nádoby 2,9 l čili je objem integrované expanzní nádoby vyhovující. Podle normy ČSN 06 0320 jsem provedl návrh zásobníku na teplou vodu. Zde bylo potřeba nejdříve určit teplo odebrané ze zásobníku. Tato hodnota je pro čtyřčlennou rodinu se spotřebou 40 l/den, 9,18 kWh/den. Dále jsem

sestavil křivku odběru tepla a křivku dodávky tepla, která byla sestrojena s ohledem na zvolený zdroj tepla a způsob vytápění. Z těchto křivek jsem odečetl hodnoty potřebné pro výpočet objemu zásobníku a výkonu zdroje tepla. Po výpočtu vyšel potřebný výkon zdroje tepla 3 kW a potřebný objem zásobníku 145 l. Z tohoto objemu jsem mohl usoudit, že zásobník teplé vody integrovaný ve vnitřní jednotce tepelného čerpadla je vyhovující. Pro správnou funkci otopné soustavy je třeba hydraulické vyvážení. Toto vyvážení bylo provedeno vždy k otopnému hadu s největší tlakovou ztrátou na příslušném okruhu. K vyvážení byly použity regulační šroubení, kterými je osazen rozdělovač a u 4 okruhů bylo potřeba použít přídavné regulační šroubení. Dále bylo mezi sebou nutné vyvážení okruhů pomocí vyvažovacího ventilu. Pro oběh otopné vody v otopné soustavě jsem navrhl oběhové čerpadlo GRUNDFOS ALPHA1 L 25-40 130, které pokrývá dopravní výšku 15 kPa a dopravuje 0,979 m^3/h vody. Na závěr jsem pomocí výpočetního nástroje na intervalovou metodu, zhodnotil energetický provoz tepelného čerpadla. Po tomto zhodnocení je roční potřeba tepla Q_p = 13,3 MWh, potřeba elektrické energie E_{sys} = 4,8 MWh, sezónní topný faktor SPF = 2,8 a doba provozu tepelného čerpadla τ_{TC} = 1044 h, při pokrytí potřeby tepla 92 %. Po zjištění celkové potřeby jsem mohl stanovit roční náklady na provoz, které činí 28 812 Kč/rok.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] „Normové hodnoty součinitele prostupu tepla UN,20 jednotlivých konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky - TZB-info". 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 (viděno 16. duben 2023).

[2] „Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit - TZB-info". https://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit (viděno 13. květen 2023).

[3] „BAŠTA, Jiří. Podklady k přednáškám ze Základů vytápění.".

[4] „BAŠTA, Jiří. Otopné plochy. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02365-6.".

[5] „BAŠTA, Jiří. Velkoplošné sálavé vytápění: podlahové, stěnové a stropní vytápění a chlazení. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3524-5.".

[6] „Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů - TZB-info". https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu (viděno 18. květen 2023).

[7] „Plynové kondenzační kotle v nerekonstruovaných otopných soustavách rodinných domů a bytů | TOPIN". https://www.topin.cz/clanky/plynove-kondenzacni-kotle-v-nerekonstruovanych-otopnych-soustavach-rodinnych-domu-a-bytu-detail-3281 (viděno 18. květen 2023).

[8] „Princip tepelného čerpadla – Tepelná čerpadla IVT". https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/princip-tepelnych-cerpadel (viděno 18. květen 2023).

[9] „Tepelná čerpadla vzduch/voda – Tepelná čerpadla IVT". https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda (viděno 18. květen 2023).

[10] „Tepelná čerpadla vzduch/vzduch – Tepelná čerpadla IVT". https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch (viděno 18. květen 2023).

[11] „MATUŠKA, Tomáš. ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE: (učební texty). Praha, 2009.".

[12] „Druhy tepelných čerpadel – Tepelná čerpadla IVT". https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel (viděno 18. květen 2023).

[13] „Compress 7400i AW | Tepelná čerpadla | BOSCH Termotechnika". https://www.bosch-homecomfort.com/cz/cs/ocs/rodinne-domy-a-byty/compress-7400i-aw-18869041-p/ (viděno 19. květen 2023).

[14] „Návrh tlakové expanzní nádoby - TZB-info". https://vytapeni.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/1156-navrh-expanzni-nadoby (viděno 24. květen 2023).

[15] „Ohřev vody, aneb příprava teplé vody, I. díl - TZB-info". https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/17724-ohrev-vody-aneb-priprava-teple-vody-i-dil (viděno 23. květen 2023).

[16] „Metody návrhu zásobníku teplé vody - TZB-info". https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody (viděno 7. červen 2023).

[17] „Výpočet množství potrubí na vytápěnou plochu Velkoobchod - podlahové topení svépomocí". https://www.1-topeni-levne.cz/technicke-informace/vypocet-mnozstvi-potrubi-na-vytapenou-plochu (viděno 25. květen 2023).

[18] „Dokumenty ke stažení | Gabotherm CZ". https://www.gabotherm.cz/profi/dokumenty-ke-stazeni/ (viděno 25. květen 2023).

[19] „DOUBRAVA, Jiří, Vlastimil DYTRT, Michal KLIMEŠ, Vladimír MAREK, Oldřich NOVOTNÝ, Tomáš SUCHÁNEK a Milan ŠALDA. REGULAČNÍ ARMATURY. 4. upravené a doplněné vydání. Česká Třebová: LDM, spol. s r.o., 2006.".

[20] „SESTAVA ROZDĚLOVAČ/SBĚRAČ - PRO PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ VČETNĚ SKŘÍNĚ | IVAR CS : komponenty pro vodu, vytápění a plyn". https://www.ivarcs.cz/katalog/vytapeni-ivartrio/sestava-rozdelovac-sberac-pro-podlahove-vytapeni-vcetne-skrine-p140064/ (viděno 30. květen 2023).

[21] „REGULAČNÍ ŠROUBENÍ - PŘÍMÉ | IVAR CS : komponenty pro vodu, vytápění a plyn". https://www.ivarcs.cz/katalog/vytapeni-ivartrio/regulacni-sroubeni-prime-p139487/ (viděno 30. květen 2023).

[22] „STAD – PN 25". https://www.imi-hydronic.com/cs/product/stad-pn-25 (viděno 30. květen 2023).

[23] „ALPHA1 L 25-40 130 - 99160578 | Grundfos". https://product-selection.grundfos.com/cz/products/alpha/alpha1-l/alpha1-l-25-40-130-99160578?pumpsystemid=2119116219&tab=variant-sizing-results (viděno 8. červen 2023).

[24] „Výpočet ročního provozu tepelného čerpadla intervalovou metodou podle TNI 73 0351 | TOPIN". https://www.topin.cz/clanky/vypocet-rocniho-provozu-tepelneho-cerpadla-intervalovou-metodou-podle-tni-73-0351-detail-4913 (viděno 30. květen 2023).

[25] „Bilance TC – Tomáš Matuška". http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/?page_id=161 (viděno 7. červen 2023).

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I – Výpočtový excel tepelných ztrát a hydraulického vyvážení

Příloha II – Projekční a montážní dokumentace Gabotherm

Příloha III – Půdorys otopné soustavy 1. NP

Příloha IV – Půdorys otopné soustavy 2. NP

Příloha V – Rozvinuté schéma otopné soustavy