

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Podracký** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **492444**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
 Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vytápění rodinného domu

Název bakalářské práce anglicky:

Heating System for a Family House

Pokyny pro vypracování:

Pro zadaný rodinný dům navrhnete tepelně-technické vlastnosti obvodových konstrukcí a otvorových výplní a porovnejte s požadavky ČSN 730540. Na základě normovaného výpočtu tepelných ztrát a řešerše různých zdrojů tepla a systémů vytápění, vyberte nejvhodnější možnost. Pozornost věnujte také větrání a kvalitě vnitřního vzduchu.

Seznam doporučené literatury:

BROŽ, Karel. Vytápění. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 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: **29.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.06.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Jindřich Boháč, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

I _____ vy baka sam v poskyt ko
 f kon ba
 _____ p _____ l st

SOUHRN

Tato bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí systému vytápění rodinného domu. Otopná soustava byla zvolena nízkoteplotní, jako způsob vytápění bylo po zvážení možností navržena kombinace podlahových otopných ploch a trubkových otopných těles s elektrickou topnou patronou. Jako zdroj tepla bylo vybráno tepelné čerpadlo vzduch-voda. Větrání bylo řešeno instalací centrální vzduchotechnické jednotky se zpětným získáváním tepla a předběžným návrhem vzduchotechnické sítě domu. Závěr práce pojednává o potřebě energie na vytápění domu po provedení rekonstrukce v průběhu roku.

SUMMARY

This bachelor's thesis deals with the reconstruction solution for the heating system of a detached house. The heating system was chosen as low temperature, after considering other forms it was designed as combination of floor heating surfaces and tubular radiators with electric heating cartridges. As a source of heat was selected a heat pump. Ventilation system was solved by installing a central air handling unit with heat recovery and preliminary air-conditioning network design of the house. The conclusion evaluates total power consumption for heating during the year.

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

V Praze 29. 6. 2022

Martin Podracký

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Jindřichu Boháčovi, Ph.D. za vedení, připomínky, rady a trpělivost během konzultací.

OBSAH

1.	ÚVOD.....	15
2.	SKLADBA KONSTRUKCE OBJEKTU.....	16
2.1.	Součinitel prostupu tepla.....	16
3.	TEPELNÉ ZTRÁTY	19
3.1.	Výpočet celkového návrhového tepelného výkonu budovy	19
3.1.1.	Návrhová tepelná ztráta vstupem vytápěného prostoru	20
3.1.2.	Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru.....	20
3.2.	Celkové tepelné ztráty jednotlivých místností	23
4.	TYPY OTOPNÝCH SOUSTAV	24
4.1.	Dělení podle prostorového uspořádání soustavy.....	25
4.1.1.	Dle vzájemného propojení těles	25
4.1.2.	Dle umístění hlavního rozvodu	26
4.1.3.	Dle vedení přípojek k tělesům.....	27
4.2.	Dle pracovní teploty teplotnosné látky.....	28
4.2.1.	Nízkoteplotní otopná soustava	28
4.2.2.	Teplovodní otopná soustava.....	29
4.2.3.	Horkovodní tepelná soustava	29
4.3.	Dle konstrukce expanzní nádoby	29
4.3.1.	Otevřená soustava.....	29
4.3.2.	Uzavřená soustava.....	29
4.4.	Dle oběhu otopné vody	29
4.4.1.	S přirozeným oběhem.....	29
4.4.2.	S nuceným oběhem	29
4.5.	Dle materiálu rozvodu.....	29
4.5.1.	Ocelové potrubí	30
4.5.2.	Měděné potrubí.....	30
4.5.3.	Plastové potrubí.....	30
4.5.4.	Vícevrstvé potrubí	31
5.	DRUHY OTOPNÝCH PLOCH	31
5.1.	Otopná tělesa	31
5.1.1.	Článeková otopná tělesa.....	31
5.1.2.	Desková otopná tělesa	32
5.1.3.	Trubková otopná tělesa	32
5.1.4.	Konvektory	32

5.2.	Sálavé vytápění	33
5.2.1.	Velkoplošné vytápění	33
6.	VOLBA KONCEPCE OTOPNÉ SOUSTAVY	38
7.	NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ	38
7.1.	Návrh podlahové konstrukce.....	38
7.2.	Výpočet podlahových ploch.....	39
7.2.1.	Výpočet parametrů podlahového vytápění.....	39
7.2.2.	Souhrn parametrů podlahových otopných ploch.....	42
7.2.3.	Přídavný výkon otopnými tělesy	43
8.	NÁVRH ZDROJE TEPLA	44
8.1.	Volba zdroje tepla	44
9.	Příprava teplé vody	47
9.1.	Časy odběru teplé vody	47
9.2.	Grafické znázornění přípravy teplé vody	47
9.3.	Návrh objemu zásobníku.....	49
10.	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY SE ZPĚTNÝM ZÍSKÁVÁNÍM TEPLA.....	49
11.	HYDRAULICKÉ VYVÁŽENÍ OTOPNÉ SOUSTAVY.....	50
11.1.	Tlakové ztráty.....	50
11.1.1.	Tlakové ztráty třením	51
11.1.2.	Tlakové ztráty místními odpory	53
11.2.	Výpočet tlakových ztrát jednotlivých smyček	53
11.3.	Hydraulické vyvážení smyček	54
11.3.1.	Rozdělovač	54
11.3.2.	Souhrn hydraulického vyvážení smyček	56
11.4.	Návrh spojovacího potrubí a hydraulické vyvážení rozdělovačů	56
11.4.1.	Návrh potrubí metodou ekonomických rychlostí.....	56
11.4.2.	Hydraulické vyvažování rozdělovačů	57
11.5.	Oběhové čerpadlo.....	57
11.5.1.	Oběhové čerpadlo Grundfos UPM 25-75.....	57
12.	NÁVRH ZABEZPEČOVACÍHO ZAŘÍZENÍ	58
12.1.	Výpočet expanzní nádoby	59
13.	POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE A NÁVRATNOST	60
13.1.	Vytápění	60
13.2.	Ohřev teplé vody	60
13.3.	Větrací jednotka s rekuperací.....	60

13.4. Potřeby energie během roku.....	61
13.5. Návratnost investice do tepelného čerpadla.....	61
14. ZÁVĚR	62
15. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
16. SEZNAM PŘÍLOH.....	67

Soupis použitého značení

$A_{env,build}$	plocha obálky budovy	[m ²]
$A_{env,i}$	obálka místnosti ve styku s venkovním prostředím	[m ²]
$A_{env,z}$	plocha obálky zóny	[m ²]
A_g	plocha stavební částí, která je v přímém kontaktu se zemínou	[m ²]
A_k	plocha stavební částí	[m ²]
A_p	plocha podlahové desky	[m ²]
D_{tr}	vnější průměr potrubí	[m]
$H_{T,ia}$	měrný tepelný tok prostupem tepla do sousedních vytápěných prostor	[W/K]
$H_{T,iaBE}$	měrný tepelný tok prostupem tepla do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu	[W/K]
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem tepla do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy	[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]
K_v	průtokový součinitel	[m ³ /h]
K_{vs}	průtokový součinitel při plném otevření armatury	[m ³ /h]
O_p	obvodová hranice otopného hadu	[m]
P	nechráněný obvod podlahové desky	[m]
Q	Objemový průtok	[m ³ /h]
Q_c	celkový výkon otopného hadu	[W]
Q_{erf}	příkon potřebný k pokrytím zdrojem tepla	[W]
Q_o	tepelný výkon okrajové zóny	[W]
Q_{PC}	příkon otopného hadu	[W]

$Q_{V,env,i}$	tepelná ztráta obálkou budovy	[W]
$Q_{V,sup,i}$	tepelná ztráta nuceným větráním	[W]
$Q_{V,transfer,i}$	tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti	[W]
Q_{WW}	přídavný výkon na osobu na spotřebu TV	[W]
Q_z	tepelná ztráta vytápěné místnosti	[W]
Q_{2p}	celkové množství tepla pro přípravu TV za jeden den	[kWh/den]
Q_{2t}	potřeba tepla pro přípravu TV	[kWh/den]
Q_{2z}	teplo ztracené při přípravě a distribuci TV	[kWh/den]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S_p	plocha ohraničená otopným hadem	[m ²]
S_{PP}	potřebná plocha vymezená kraji otopného hadu	[m ²]
S_n	plocha nábytku na nízkých nohou	[m ²]
$U_{equiv,k}$	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí v kontaktu se zemí	[W/m ² .K]
U	součinitel prostupu tepla stavební částí	[W/m ² .K]
V_{build}	vnitřní objem vzduchu budovy	[m ³]
$V_{env,50}$	objemový průtok vzduchu obálkou budovy při rozdílu tlaků 50 Pa	[m ³ /h.m ²]
V_{ex}	expanzní objem (navýšení vodního objemu soustavy)	[m ³]
$V_{v,leak,i}$	průtok venkovního vzduchu netěsnostmi	[m ³ /h]
$V_{v,leak,z}$	průtok vzduchu netěsnostmi do zóny	[m ³ /h]
V_{system}	celkový vodní objem otopné soustavy	[m ³]
$V_{v,sup,i}$	průtok nuceně trvale přiváděného vzduchu	[m ³ /s]
$V_{v,transfer,ij}$	objem převáděného vzduchu	[m ³ /s]
$V_{wr,min}$	vodní rezerva	[m ³]

V_Z	objem zásobníku TV	[m ³]
V_{2p}	celková potřeba TV za den	[m ³ /den]
b	tloušťka jednotlivých konstrukcí	[m]
$c_{p,air}$	měrná tepelná kapacita vzduchu	[J/kg.K]
c_{TV}	měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku	[J/kg.K]
c_0	součinitel sálání absolutně černého tělesa	[W/m ² K ⁴]
d_i	vnitřní průměr trubky	[m]
e	součinitel zvětšení objemu	[-]
f	součinitel přídatného výkonu kvůli blokacím vysokého tarifu	[-]
$f_{dir,z}$	činitel orientace zóny	[-]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{ig,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{GW,k}$	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot	[-]
$f_{qv,z}$	součinitel objemového průtoku v závislosti na typu zástavby	[-]
$f_{\theta,ann}$	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku	[-]
g	tíhové zrychlení	[m ² /s]
h	výška vodního sloupce nad střední rovinou expanzní nádoby	[m]
k	ekvivalentní drsnost stěny	[m]
l	rozteč trubek	[m]
l_h	délka otopného hadu	[m]
m	charakteristické číslo podlahy	[1/m]

n	počet osob žijících v objektu	
p_{fin}	nejvyšší provozní přetlak	[Pa]
p_0	nejnižší dovolený přetlak	[Pa]
q	měrný tepelný tok podlahové plochy	[W/m ²]
q'	měrný tepelný tok z místnosti nad stropem	[W/m ²]
r	šířka okrajové zóny	[m]
s	tloušťka vrstvy materiálu	[m]
t_i	vnitřní výpočtová teplota místnosti	[°C]
t'_i	teplota místnosti pod podlahou	[°C]
t_m	střední teplota otopné vody	[°C]
t_p	střední povrchová teplota podlahové plochy	[°C]
t_1	teplota studené vody	[°C]
t_2	teplota teplé vody	[°C]
w	střední rychlost proudění	[m/s]
z	poměrná ztráta při ohřevu a distribuci	
z_g	hloubka horní hrany podlahové desky pod úrovní zeminy	[m]
ΔQ_{max}	maximální nevyužitá dodávka tepla	[kWh]
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² .K]
Δp	celková tlaková ztráta úseku	[Pa]
Δp_C	dopravní tlak oběhového čerpadla	[Pa]
Δp_{zO}	celková tlaková ztráta okruhu	[Pa]
Δp_ξ	tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
Δp_λ	tlaková ztráta třením	[Pa]

Δp_p	účinný tlak v okruhu	[Pa]
Δt	ochlazení vody v otopném hadu	[K]
Λ_a	tepelná propustnost vrstev konstrukce nad střední rovinou potrubí	[W/m ² .K]
Λ_b	tepelná prostupnost vrstev konstrukce pod střední rovinou potrubí	[W/m ² .K]
$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru (i)	[W]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i)	[W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i)	[W]
$\Phi_{gain,i}$	trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i)	[W]
α_e	součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce	[W/m ² .K]
α_i	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce	[W/m ² .K]
α_p	celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy	[W/m ² .K]
α'_p	celkový součinitel přestupu tepla na stropu	[W/m ² .K]
ε_{pod}	emisivita povrchu podlahy	[-]
$\eta_{rec,z}$	účinnost zpětného získávání tepla	[-]
θ_e	venkovní výpočtová teplota	[°C]
$\theta_{e,m}$	průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
$\theta_{exh,z}$	teplota odváděného vzduchu	[°C]
$\theta_{e,0}$	venkovní výpočtová teplota snížena o 3 až 5 °C	[°C]
$\theta_{inti,i}$	vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C]	[°C]
$\theta_{rec,z}$	teplota vzduchu za výměníkem	[°C]
$\theta_{transfer,ij}$	teplota převáděného vzduchu	[°C]
λ	součinitel tlakové ztráty třením	[-]
λ_i	součinitel tepelné vodivosti materiálu	[W/m.K]

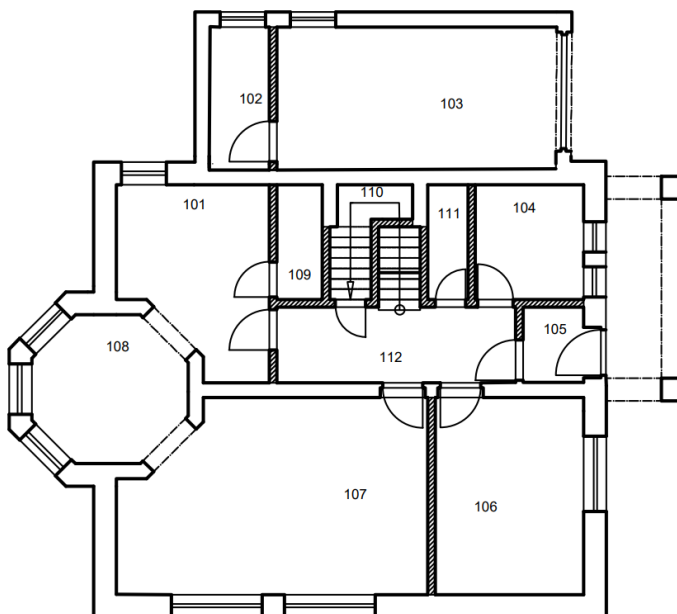
λ_a	součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev konstrukce	[W/m.K]
λ_b	součinitel tepelné vodivosti jednotlivých vrstev konstrukce	[W/m.K]
λ_d	součinitel tepelné vodivosti materiálu, ve kterém je potrubí zalito	[W/m.K]
ν_w	kinematická viskozita vody	[m ² /s]
ξ	součinitel ztráty místními odpory	
ρ_{TV}	hustota vody při střední teplotě zásobníku	[kg/m ³]
ρ_{air}	hustota vzduchu	[kg/m ³]
ρ_w	hustota vody	[kg/m ³]

1. ÚVOD

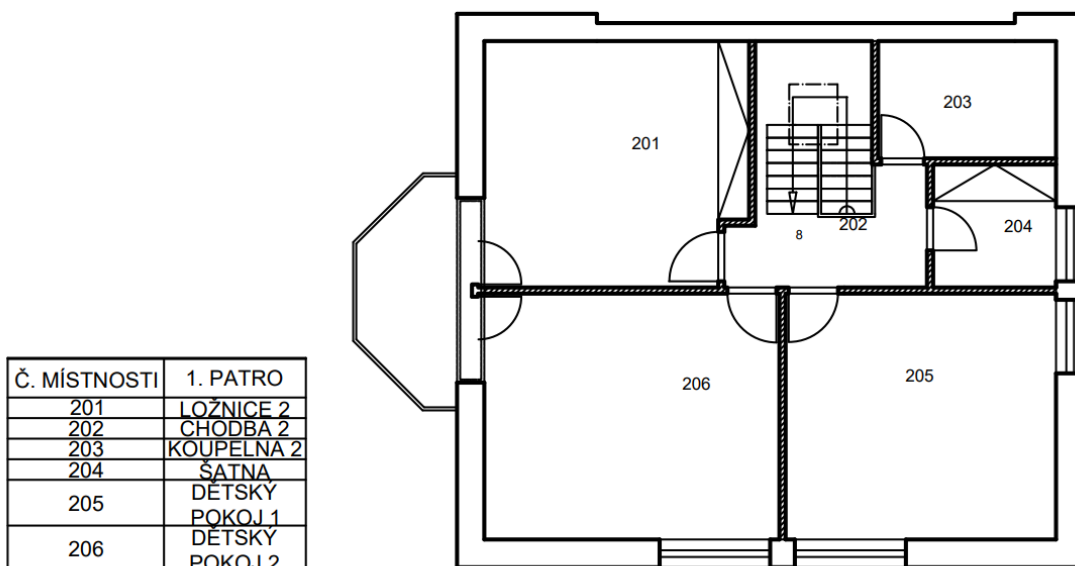
Bakalářská práce se zabývá rekonstrukcí systému vytápění rodinného domu. Dům se nachází v lokalitě Šestajovice (okres Praha-východ) a byl postaven v roce 1997 a je k dispozici kompletní technická dokumentace. Dům o rozloze 120 m² se nachází na parcele o rozloze 644 m², s dostatečnou vzdáleností od okolních budov pro možné akustické nároky tepelného čerpadla (nabízí se možnost instalace venkovní jednotky tepelného čerpadla za technickou místnost, kde vzdálenost od překážek ve směru výfuku přesahuje 10 m).

Objekt se skládá z obytného prostoru a garáže, kde se nachází technická místnost. Obytný prostor je dvoupodlažní. V přízemí se nachází předsíň, obývací pokoj, ložnice, kuchyň, jídelna, spíž, koupelna a toaleta. Podlaží jsou spojena chodbou se schodištěm, pod kterým je vestavěn skladový prostor. V prvním patře jsou dva dětské pokoje, ložnice, šatna a koupelna. Dům má sedlovou střechu s podkrovím, které je od obytného prostoru odděleno stropem, který byl zaizolován pomocí izolace ISOVER UNI 160 mm již při předchozí rekonstrukci.

Č. MÍSTNOSTI	PRÍZEMÍ
101	KUCHYŇE
102	TECHNICKÁ
103	MÍSTNOST
104	GARÁŽ
105	KOUPELNA 1
106	PŘEDSÍŇ
107	LOŽNICE 1
108	OBYVACÍ
109	POKŮJ
110	JIDELNA
111	SPÍŽ
112	SKLAD
113	TOALETA
114	CHODBA 1



Obr 1-1 Přízemí objektu



Obr 1-2 1. Patro objektu

Původní vytápění bylo realizováno deskovými a trubkovými otopnými tělesy s plynovým kotlem Protherm 24 KTO 12-24 kW jako zdrojem tepla a plynovým zásobníkem TV.

Q 8 40 NADS FJU 100 l. Tepelná ztráta objektu je 16,3 kW. Roční potřeba plynu je dle technické zprávy 4900 m³.

2. SKLADBA KONSTRUKCE OBJEKTU

2.1. Součinitel prostupu tepla

U je součinitel prostupu tepla pro skladbu konstrukce dle vztahu:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (2.1)$$

kde

$\alpha_i = \frac{1}{R_{\text{int}}}$ je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [W/m².K]

$\alpha_e = \frac{1}{R_{\text{ext}}}$ je součinitel přestupu tepla na vnější straně konstrukce [W/m².K]

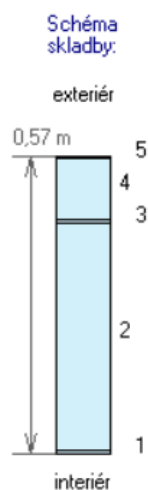
s je tloušťka vrstvy materiálu [m]

λ_i je součinitel tepelné vodivosti materiálu [W/m.K]

Součinitel prostupu tepla musí splňovat podmínky normy ČSN 73 0540-2:201 [1]. Pro příklad bude nyní uveden návrhový výpočet a porovnání součinitele prostupu tepla zatepleného obvodového zdiva obytného prostoru budovy:

Tab. 2-1 Struktura konstrukce obvodové stěny

	Materiál stěny	Tloušťka vrstvy s [m]	Součinitel tep.vodivosti λ [W/m.K]
1	Malta vápenocementová	0,005	0,97
2	Porotherm 44	0,44	0,1818
3	Malta vápenocementová	0,005	0,97
4	ISOVER EPS 70F	0,12	0,039
5	Vyrovnávací stěrka MULTI	0,003	0,45



Obr 2-1 Skladba obvodového zdiva vytvořená v aplikaci Teplo 2017 EDU

Součinitel prostupu tepla vypočteme pomocí vztahu (2.1):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{R_{\text{int}} + \frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2} + \frac{s_3}{\lambda_3} + \frac{s_4}{\lambda_4} + \frac{s_5}{\lambda_5} + R_{\text{ext}}} =$$

$$= \frac{1}{0,13 + \frac{0,005}{0,97} + \frac{0,44}{0,1818} + \frac{0,005}{0,97} + \frac{0,12}{0,039} + \frac{0,003}{0,45} + 0,04} = 0,177 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Za hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla dosazujeme hodnoty dle ČSN 73 0540-3.

Součinitel prostupu tepla zdiva splňuje podmínku normy 73 0540-2:2011 pro pasivní budovy (tj. $U \leq U_{pas,20} = \langle 0,12; 0,18 \rangle \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$).

Pro splnění normy byla provedena kompletní rekonstrukce skladby: obvodové zdivo zatepleno pomocí ISOVER EPS 70F 120mm, ve styku s garáží byla použita izolace ISOVER EPS 70F 30mm. Na zateplení střechy byla použita stejná izolace jako na předchozí rekonstrukci podkroví, a to ISOVER UNI 160 mm. Na podlahu balkónu (ploché zastřešení jídelny) byla využita kvalitnější vodotěsná izolace pro splnění podmínek normy, a to ISOVER EPS GREY 100 80 mm. Skladba konstrukce podlahové plochy byla kvůli následnému typu vytápění výrazně změněna, na zateplení se podílí tepelná izolace systémových desek Varionova a zároveň dodatečná tepelná izolace ISOVER EPS 100 100 mm. Okna, vchodové dveře ($U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$), a balkónový HS portál ($U_w = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) byly zvoleny od firmy Vekra, okna konkrétně s dvojsklem typu Vekra Prima ($U_w = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$). Střešní okna v koupelně a chodbě od firmy VELUX zůstala původní, stejně tak zůstala původní vnitřní dřevěná dveře SAPELI.

Přehled splnění podmínek pro součinitel prostupu tepla uvádí následující tabulka, konkrétní výpočty mohou být nalezeny v příloze (I), řezy mohou být nalezeny podle písmenného značení ve výkresové dokumentaci budovy (III).

Tab. 2-2 Přehled součinitele prostupu tepla pro jednotlivé typy konstrukcí

Označení stěny/řezu	součinitel prostupu tepla U [W/m ² .K]	splňuje pro U [W/m ² .K]
Obvodové zdivo	0,18	pasivní budovy (0,18-0,12)
Vnitřní zdivo přízemí	1,58	doporučená hodnota (do 1,8)
Nosné zdivo	0,52	doporučená hodnota (do 1,8)
Vnitřní zdivo-garáž	0,35	doporučená hodnota (0,4-0,3)
Vnitřní zdivo - 1.patro	1,20	doporučená hodnota (do 1,8)
A-podlaha přízemí	0,22	pasivní budovy (<0,22)
B-podlaha 1.patro	0,55	požadovaná hodnota (do 0,6)
C-strop pod podkrovím	0,20	doporučená hodnota (<0,20)
F-střecha zateplená část	0,20	požadovaná hodnota (do 0,24)
J-Strop balkón	0,24	požadovaná hodnota (do 0,24)
K-střecha garáže	0,21	požadovaná hodnota (do 0,24)
E-schody	1,09	nesplňuje požadovanou hodnotu

3. TEPELNÉ ZTRÁTY

Ke stanovení potřebného výkonu otopných ploch, těles a zdroje tepla je zapotřebí zjistit celkovou tepelnou ztrátu vytápěných prostorů. Tepelná ztráta bude stanovena dle normy ČSN EN 12831-1 (platná od 1.9.2018). Objektu byla na základě polohy zvolena venkovní výpočtová teplota (nejbližší místo měření – Praha-Karlov) -12 °C a průměrná teplota pro otopné období 4,3 °C. [2]

3.1. Výpočet celkového návrhového tepelného výkonu budovy

Celkový návrhový tepelný výkon stanovíme dle rovnice ze vztahu dle ČSN EN 12831-1 [2]:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \text{ [W]} \quad (3.1)$$

kde

$\Phi_{HL,i}$ je návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru (i) [W]

$\Phi_{T,i}$ je návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru (i) [W]

$\Phi_{V,i}$ je návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) [W]

$\Phi_{hu,i}$ je volitelný dodatečný zátopový výkon vytápěného prostoru (i) [W]

$\Phi_{gain,i}$ jsou trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru (i) [W]

3.1.1. Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru

Tepelnou ztrátu vypočteme jako sumu tepelných toků v součinu rozdílu venkovní a vnitřní výpočtové teploty ze vztahu:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{inti,i} - \theta_e) \quad [W] \quad (3.2)$$

kde

$H_{T,ie}$ je měrný tepelný tok prostupem tepla do prostředí [W/K], definován dle vztahu (1.3)

$H_{T,ia}$ je měrný tepelný tok prostupem tepla do sousedních vytápěných prostor [W/K]

$H_{T,iae}$ je měrný tepelný tok prostupem tepla do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory nebo sousední nevytápěné přilehlé budovy [W/K]

$H_{T,iaBE}$ je měrný tepelný tok prostupem tepla do sousedních funkčních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu

$H_{T,ig}$ je měrný tepelný tok prostupem tepla do země [W/K]

$\theta_{inti,i}$ je vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru [°C]

θ_e je venkovní výpočtová teplota [°C]

3.1.2. Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru

Tepelná ztráta bude počítána opět dle normy ČSN 12831-1:

$$\Phi_{V,i} = Q_{V,sup,i} + Q_{V,env,i} + Q_{V,transfer,i} \quad [W] \quad (3.3)$$

kde

$Q_{V,sup,i}$ je tepelná ztráta nuceným větráním [W]

$Q_{V,env,i}$ je tepelná ztráta obálkou budovy [W]

$Q_{V,transfer,i}$ je tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti [W]

Tepelná ztráta nuceným větráním je vypočtena pomocí vztahu [3]:

$$Q_{V,sup,i} = V_{v,sup,i} \cdot \rho_{air} \cdot c_{p,air} (\theta_{int,i} - \theta_{rec,z}) \quad [W] \quad (3.4)$$

kde

$V_{v,sup,i}$ je průtok nuceně trvale přiváděného vzduchu [m^3/s]

ρ_{air} je hustota vzduchu, $\rho_{air} = 1,2 \text{ kg}/m^3$

$c_{p,air}$ je měrná tepelná kapacita vzduchu, $c_{p,air} = 1010 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{K}$

$\theta_{rec,z}$ je teplota vzduchu za výměníkem ZZT [$^{\circ}\text{C}$]

Objemové průtoky přívodu a odvodu vzduchu byly stanoveny dle ČSN EN 15665/Z1 [4] pro trvalé větrání a následně upraveny pro správnou funkci rovnotlakého větrání. Řídicí byla minimální hodnota přívodu vzduchu pro trvalé větrání $15 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu a hodnota nárazového odvodu vzduchu v koupelnách $50 \text{ m}^3/\text{h}$. V následující tabulce je uváděna celková intenzita větrání v budově:

Tab. 3-1 Přehled celkové intenzity větrání v budově

	Minimální větrání	Trvalé větrání	Nárazové větrání
Přívod/Odvod vzduchu [m^3/h]	95/95	159/159	240/240
Celková intenzita větrání [h^{-1}]	0,23	0,38	0,58

Teplota vzduchu za výměníkem se stanoví pomocí vztahu [3]:

$$\theta_{rec,z} = \theta_{e,0} + \eta_{rec,z}(\theta_{exh,z} - \theta_{e,0}) \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (3.5)$$

kde

$\theta_{e,0}$ je venkovní výpočtová teplota snížena o 3 až $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $\theta_{e,0} = \theta_e - \langle 3; 5 \rangle \text{ }^{\circ}\text{C}$

$\eta_{rec,z}$ je účinnost zpětného získávání tepla

$\theta_{exh,z}$ je teplota odváděného vzduchu [$^{\circ}\text{C}$], pro centrální jednotku se jedná o vážený průměr teplot větraných místností v budově $\theta_{exh,z} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Tepelná ztráta převodem vzduchu ze sousední místnosti

Jedná se o přísávání teplejšího/chladnějšího vzduchu netěsnostmi nebo větrací mřížkou do místností s odvodem vzduchu vytvářejícím podtlak (např. koupelny, toalety)

Je stanovena vztahem [3]:

$$Q_{v,transfer,i} = V_{v,transfer,ij} \cdot \rho_{air} \cdot c_{p,air}(\theta_{int,i} - \theta_{transfer,ij}) \quad (3.6)$$

kde

$V_{v,transfer,ij}$ je objem převáděného vzduchu [m^3/s]

$\theta_{transfer,ij}$ je teplota převáděného vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

Tepelná ztráta větráním obálkou budovy

Pro výpočet tepelné ztráty obálkou budovy je nejprve vypočten objemový průtok vzduchu obálkou budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa, a to pomocí vztahu [3]:

$$V_{\text{env},50} = \frac{I_{50} V_{\text{build}}}{A_{\text{env},\text{build}}} [\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2] \quad (3.7)$$

Kde

I_{50} je intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa [h^{-1}], průměrnou hodnotou pro nízkooenergetické domy je $I_{50} = 1,34 \text{ h}^{-1}$

V_{build} je vnitřní objem vzduchu budovy [m^3]

$A_{\text{env},\text{build}}$ je plocha obálky budovy [m^2], pro rodinné domy

Průtok vzduchu netěsnostmi do zóny

Je stanoven vztahem [3]:

$$V_{\text{v,leak},z} = V_{\text{env},50} A_{\text{env},z} f_{\text{qv},z} [\text{m}^3/\text{h}] \quad (3.8)$$

kde

$V_{\text{env},50}$ je objemový průtok vzduchu obálkou budovy [$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$]

$A_{\text{env},z}$ je plocha obálky zóny [m^2]

$f_{\text{qv},z}$ je součinitel objemového průtoku v závislosti na typu zástavby [-], pro lokalitu budovy $f_{\text{qv},z} = 0,05$

Průtok vzduchu netěsnostmi je stanoven vztahem [3]:

$$V_{\text{v,leak},i} = V_{\text{v,leak},z} \cdot \frac{A_{\text{env},i}}{A_{\text{env},z}} [\text{m}^3/\text{h}] \quad (3.9)$$

kde

$V_{\text{v,leak},z}$ je průtok vzduchu netěsnostmi do zóny [m^3/h]

$A_{\text{env},i}$ je obálka místnosti ve styku s venkovním prostředím [m^2]

$A_{\text{env},z}$ je obálka zóny ve styku s venkovním prostředím [m^2]

Z toho je vypočítána **Tepelná ztráta větráním obálkou budovy** [3]:

$$Q_{\text{V,env},i} = f_{\text{dir},z} \cdot V_{\text{v,leak},i} \cdot \rho_{\text{air}} \cdot c_{\text{p,air}} (\theta_{\text{int},i} - \theta_e) \quad (3.10)$$

kde

$f_{\text{dir},z}$ je činitel orientace zóny [-], $f_{\text{dir},z} = 2$

$V_{\text{v,leak},i}$ je průtok venkovního vzduchu netěsnostmi [m^3/h]

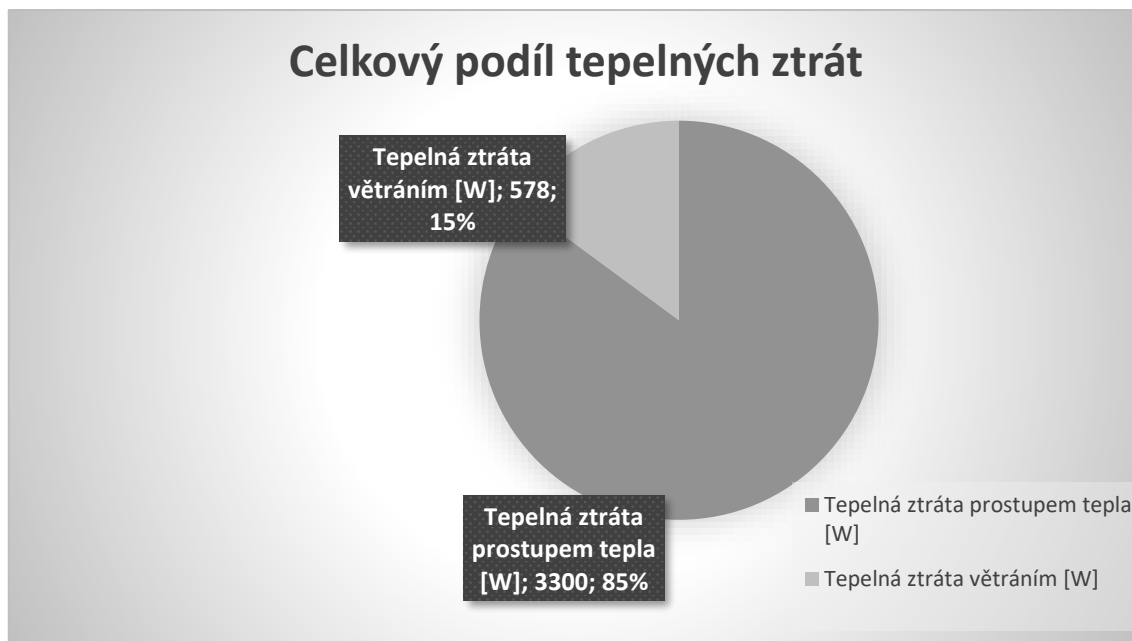
3.2. Celkové tepelné ztráty jednotlivých místností

Tepelná ztráta objektu klesla po zateplení z 16,3 kW na 3,9 kW. Následující tabulka a graf uvádějí souhrn tepelných ztrát prostupem tepla a větráním:

Výpočet je uveden v příloze (I)

Tab. 3-2 Souhrn tepelných ztrát

č. místnosti	Název	Tepelná ztráta prostupem tepla [W]	Tepelná ztráta větráním [W]	Celková tepelná ztráta [W]
101	Kuchyně	256	40	295
102	Koupelna 1	314	33	347
105	Předsíň	-16	-19	-35
106	Ložnice 1	311	60	371
107	Obývací pokoj	503	84	587
108	Jídelna	358	56	414
111	Toaleta	-12	0	-12
112	Chodba 1	120	0	120
201	Ložnice 2	255	64	318
202	Chodba 2	121	11	132
203	Koupelna 2	236	77	313
204	Šatna	115	13	128
205	Dětský pokoj 1	369	76	444
206	Dětský pokoj 2	371	83	454
	Souhrn	3300	578	3878

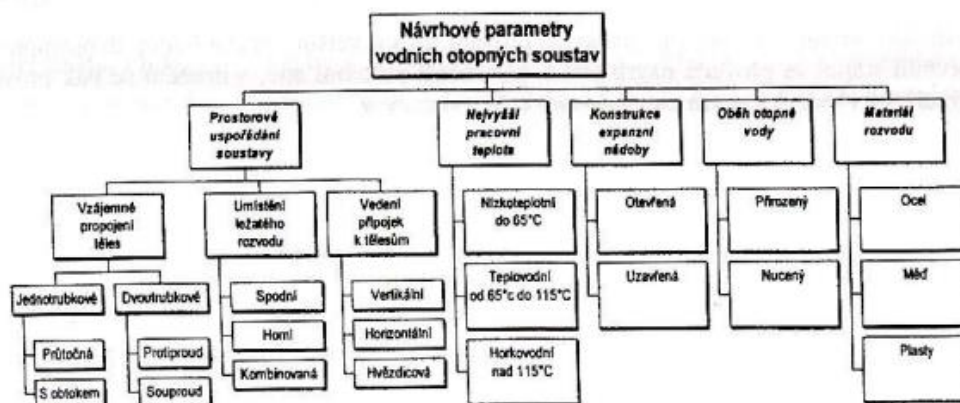


Obr 3-1 Grafické znázornění podílů tepelných ztrát objektu

4. TYPY OTOPNÝCH SOUSTAV

Otopná soustava je složena ze zdroje tepla a spotřebičů tepla propojených potrubní sítí. Parametry soustavy jsou závislé na výchozích podmínkách stavby (účel objektu, umístění, konstrukce) a na finančních možnostech investora. [4]

Typy otopných soustav lze rozdělit dle geometrických, teplotních, tlakových a materiálových návrhových kritérií [4], viz obrázek 2-1.



Obr 4-1 Návrhové parametry vodních otopných soustav [4]

4.1. Dělení podle prostorového uspořádání soustavy

Prostorové uspořádání soustavy je voleno z hlediska nejsnadnějšího konstrukčního řešení pro daný objekt tak, aby byla zajištěna správná funkce z hlediska tepelné pohody, vypouštění teplotné látky, odvzdušnění a aby nebyl výrazně narušen vzhled interiéru. [4] [5]

4.1.1. Dle vzájemného propojení těles

Soustavy lze rozdělit podle počtu vedoucích potrubí k jednotlivým tělesům.

Dvoutrubková soustava

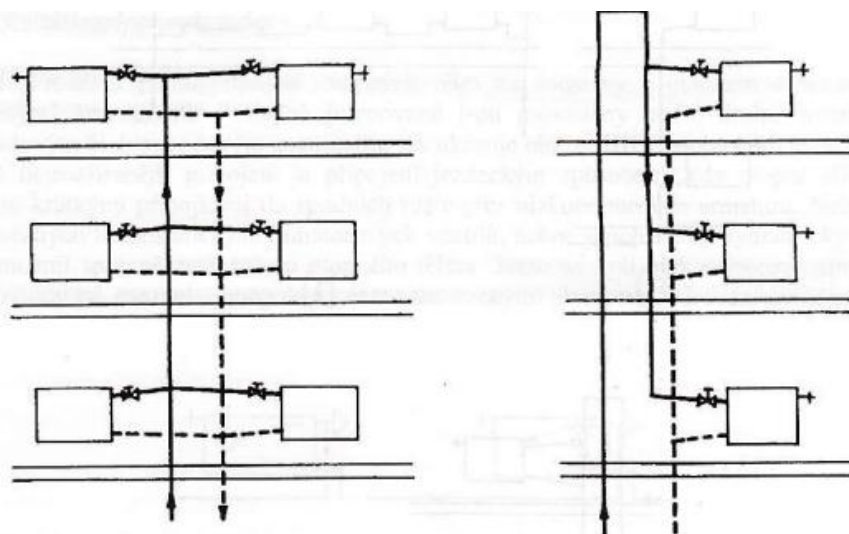
V případě dvoutrubkové soustavy je přívodní voda vedena k tělesům samostatným potrubím a ochlazená voda vedena potrubím vratným zpět ke zdroji tepla. Dvoutrubková soustava je dále rozlišována protiproudá a souproudá (Tichelmann). [4] [5]

Protiproudé

U protiproudého vedení je vratné potrubí vedeno stejnou trasou jako potrubí přívodní, médium proudí opačným směrem. Nevýhodou soustavy jsou významné rozdíly v délce potrubí k jednotlivým otopným tělesům a tím pádem rozdílné tlakové ztráty třením pro jednotlivé okruhy. [4] [5]

Souproudé

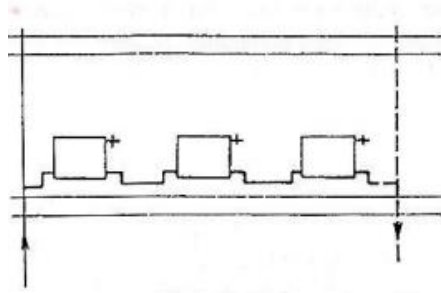
Souproudé vedení eliminuje problém rozdílných tlakových ztrát, kdy přívodní i vratné potrubí vedou souběžně. Nevýhodou jsou delší rozvody a tím i investičně nákladnější řešení. [4] [5]



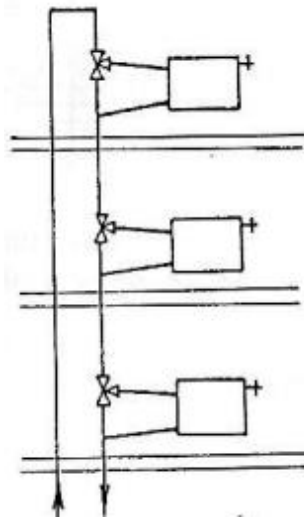
Obr 4-2 Schéma souproudého a protiproudého zapojení [4]

Jednotrubková

V jednotrubkové soustavě vede přívodní voda postupně ke každému otopnému tělesu, kde se postupně ochlazuje, je tedy zapotřebí vyššího dopravního tlaku a nižšího teplotního spádu na tělese. Příkladem jednotrubkové horizontální soustavy je průtočné zapojení nebo s obtokem také nazývané jezdecké, s clonkou, se zúžením kmenové trubky s fitinkem na zpětné přípojce, jezdecké zapojení s čtyřcestnou směšovací armaturou je ještě rozlišována jednobodová a dvoubodová. [4] [5]



Obr 4-3 Schéma průtočného zapojení [4]



Obr 4-4 Schéma zapojení s obtokem [4]

4.1.2. Dle umístění hlavního rozvodu

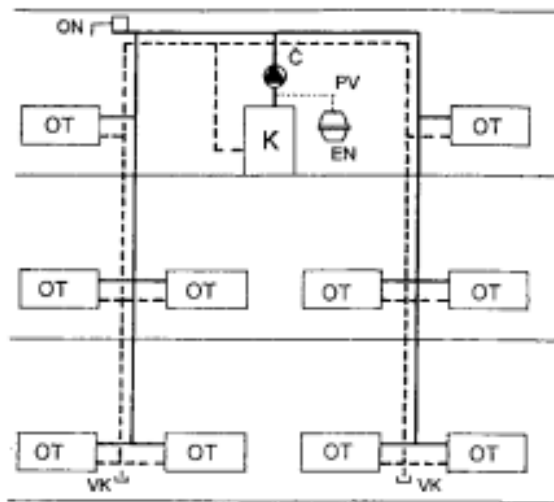
Lze rozlišit soustavy s horním a spodním rozvodem podle umístění hlavního horizontálního potrubí.

Se spodním rozvodem

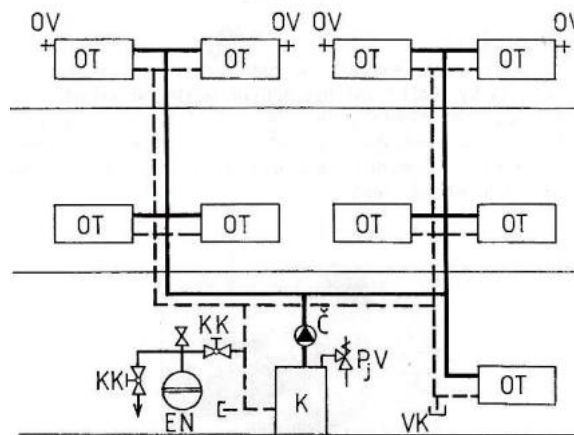
V případě spodního rozvodu a možnosti umístění zdroje tepla, bývá hlavní rozvod položen pod stropem nejnižšího patra nebo v podlaze přízemí (podsklepená budova). [4] [5]

S horním rozvodem

Horní rozvod může být veden pod stropem nejvyššího podlaží, popřípadě v podkroví. Je konstrukčně a investičně náročnější než soustava s rozvodem spodním. [4] [5]



Obr 4-5 Schéma otopné soustavy s horním ležatým rozvodem [4]



Obr 4-6 Schéma otopné soustavy s dolním rozvodem [4]

Také lze navrhnout rozvod kombinovaný v nejvyšším i nejnižším podlaží.

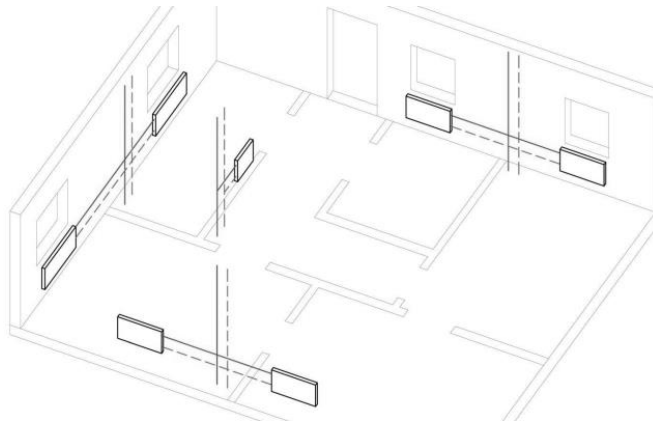
4.1.3. Dle vedení přípojek k tělesům

Lze rozlišit tři typy – vertikální, horizontální a hvězdicovou soustavu.

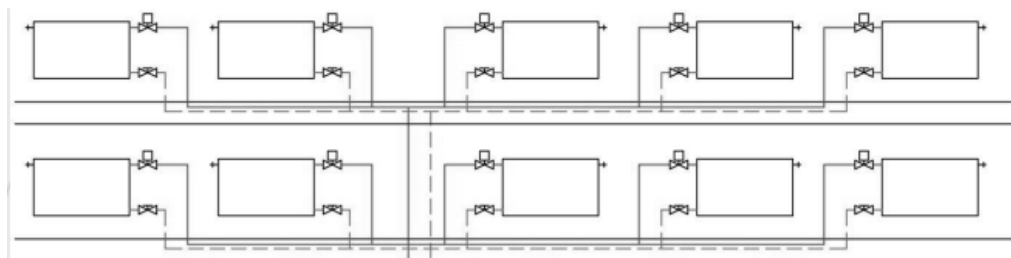
Vertikální soustava je způsob zapojení malého množství otopných těles pomocí krátkých přípojek v každém patře na „stoupačky“, typ je ideální pro bytové budovy.

Horizontální soustava je napojení většího množství otopných těles pomocí horizontálního potrubí na „stoupačky“ jejichž počet je v objektu navrhován minimální. Speciálním typem horizontální soustavy je soustava etážová, kdy je zdroj tepla, rozvod i otopná tělesa ve stejném patře. [4] [5]

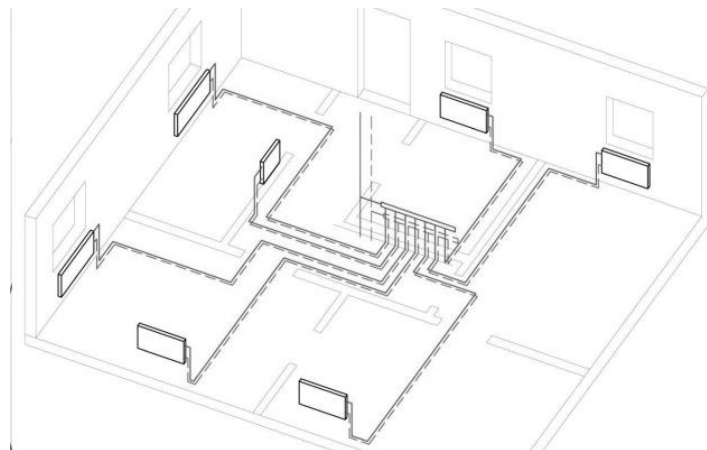
Hvězdicová soustava je horizontálně orientovaná soustava, kdy je každé těleso samostatně napojeno na patrový rozdělovač a sběrač. Tato soustava je často navrhována s plastovou rozvodnou sítí, kdy je přednostně před délkou potrubí minimalizován počet plastových spojů, které jsou nákladné a náchylné k poruše. [4] [5]



Obr 4-7 Schéma vertikálního rozložení otopné soustavy [6]



Obr 4-8 Schéma horizontálního rozložení otopné soustavy [6]



Obr 4-9 Schéma hvězdicovitého rozložení otopné soustavy [6]

4.2. Dle pracovní teploty teplotnosné látky

Soustavy lze dělit dle pracovní teploty média, která je závislá na vyžadované teplotě média na vstupu, typu expanzní nádoby a omezená maximální výstupní teplotou média na zdroji tepla. Existují tři druhy:

4.2.1. Nízkoteplotní otopná soustava

Typický teplotní spád soustavy činí 10 až 25 K, výstupní teplota je maximálně 65 °C, kdy vyšší spád je využíván u soustav s přirozeným oběhem, nízký je doplňován oběhovým čerpadlem. [4] [5]

4.2.2. Teplovodní otopná soustava

Maximální výstupní teplota ze zdroje tepla je 110 °C (pro otevřené soustavy maximálně 95 °C).

4.2.3. Horkovodní tepelná soustava

Týká se výstupní teploty ze zdroje vyšší než 110 °C.

4.3. Dle konstrukce expanzní nádoby

Jsou známa konstrukční řešení zabezpečovacího zařízení mezi tlakovou expanzní nádobou (uzavřená soustava) a otevřenou expanzní nádobou (otevřená soustava).

4.3.1. Otevřená soustava

Otevřená expanzní nádoba se umísťuje do nejvyššího bodu otopné soustavy, přetlak zajišťuje hydrostatický tlak. Slouží jako zabezpečovací i pojistné zařízení. Nevýhodou hladiny ve styku s atmosférou je syčení vody kyslíkem a možná koroze, maximální teplota otopné vody 95 °C (aby nebyla ve varu) a možné zamrzání hladiny nebo odpařování vody z expanzní nádoby. [4] [5]

4.3.2. Uzavřená soustava

Uzavřená soustava je konstruována s tlakovou expanzní nádobou, kdy přetlak zajišťuje oběhové čerpadlo, při zvýšení objemu vody je nadbytečná voda natlačována do membrány nádoby, při snížení teploty (tlaku) plyn stlačuje membránu a vodu zpět. V uzavřené soustavě jsou možné vyšší provozní tlaky. [4] [5]

4.4. Dle oběhu otopné vody

Dle způsobu oběhu otopné vody v síti jsou rozlišovány soustavy s přirozeným a s nuceným oběhem.

4.4.1. S přirozeným oběhem

Soustavy s přirozeným oběhem fungují na principu rozdílných hustot média, kdy chladnější vratná voda s vyšší hustotou a vyšším tlakem způsobí pohyb média v okruhu zdroj-otopné těleso-zdroj. Větší výškový rozdíl navíc způsobuje větší rozdíl hydrostatických tlaků. Výhodná je také malá horizontální rozlehlost soustavy ke snížení tlakových ztrát k tělesům. Soustava není závislá na pohonu oběhového čerpadla poháněné elektřinou. Pro dostatečný vztlak (rozdíl hustot) je volen vyšší tlakový spád (až 25 °C). Nevýhodou jsou také vyšší výpočtové průměry potrubí, z čehož plyne opatrná volba armatur pro nízké tlakové ztráty. [4] [5]

4.4.2. S nuceným oběhem

Soustava s nuceným oběhem je uvedena do pohybu pomocí vřazeného oběhového čerpadla buď na zpátečku, nebo přívod (pro vysokou trvalou provozní teplotu oběhového čerpadla). Výhodou je snížení investičních nákladů na materiál, lze volit vyšší rychlosti proudění a nižší výpočtové průměry potrubí. Dopravní tlak čerpadla překoná vyšší tlakové ztráty. Nevýhodou jsou provozní náklady – spotřeba elektrické energie oběhového čerpadla. Další nevýhodou je nutnost návrhu takového, aby byl minimální podtlak v soustavě a bylo tak zamezeno vnikání vzduchu. [4] [5]

4.5. Dle materiálu rozvodu

Nejčastější je využití tří materiálů pro výrobu potrubních rozvodů – ocel, měď a plast.

4.5.1. Ocelové potrubí

Potrubí rozvody pro vytápění se v ČR vyrábí z trubek bezešvých nebo svařovaných – bezešvé se vyrábí válcováním za tepla (ČSN 42 5715) nebo za studena (ČSN 42 6710). Trubky se vyrábí z oceli 11. až 16. třídy ve vnějších průměrech 20 mm až 508 mm a tloušťkách 2,6-36 mm za tepla a ve vnějších průměrech 20 mm až 140 mm a tloušťkách 2 mm až 12,5 mm za studena. [5]

Spoje jsou prováděny rozebíratelné (přírubové, se závitovými šroubeními) a nerozebíratelné (svařované, závitové).

Výhodou ocelového potrubí je vysoká nosnost (možnost zavěšení pod strop s malým průhybem) a relativně k ostatním používaným materiálům nejnižší součinitel délkové teplotní roztažnosti (0,0115 mm/m.mK [7]).

Nevýhodou je nízká korozivzdornost (sycení materiálu kyslíkem z otopné vody) a vysoká ekvivalentní drsnost potrubí ($k=0,02$ až $0,06$ mm [5]).

4.5.2. Měděné potrubí

Potrubí je vyráběno z poloušlechtilého kovu, které se vyznačuje svou korozivzdorností (největší vliv na korozi má rychlost a teplota proudícího média), ničivým účinkem k bakteriím. Má vysokou pevnost a k tomu relativně nízkou měrnou hmotnost. Délková teplotní roztažnost mědi je $0,0165$ mm/m.mK [7]. Ekvivalentní drsnost měděného potrubí se pohybuje od $0,001$ do $0,002$ mm [5]. Trubky jsou vyráběny z fosforové dezoxidované kyslíku prosté mědi. Rozdělit je můžeme na měkké, polotvrdé a tvrdé lišící se v pevnosti v tahu a ohebností. [4] [5]

Spoje jsou opět prováděny rozebíratelné (pomocí šroubení a svěracích kroužků) a nerozebíratelné (pájením, svařováním a přírubovými spoji)

Nevýhodou je nutnost tvorby dilatačních kompenzací proti tepelné roztažnosti mědi (teplotní roztažnost až o 40 % vyšší než u oceli). Dále je zapotřebí zajistit pH vody vyšší než 6, aby nedocházelo ke korozi. Také je třeba zabránit styku s kyselými omítkami, které mají silný korozivní účinek (sádra). [4] [5]

4.5.3. Plastové potrubí

Pro výrobu plastového potrubí se nejčastěji využívají termoplasty:

- síťovaný polyetylen (PE-X, VPE)
- polybutylen (PB)

A další již méně užívané (statický polypropylen PP-R, PP-RC, PP-3, chlorovaný polyvinylchlorid C-PVC).

Dále se vyrábí vícevrstvá potrubí s kombinací plastu a kovu.

Spoje jsou prováděny rozebíratelné (svěrnými kroužky pomocí závitů a přírub) a nerozebíratelné (svařováním, lisováním a lepením).

Mezi hlavní výhody plastových rozvodů patří nízká hmotnost, nízká tepelná vodivost, odolnost proti korozi a difuzi kyslíku, hygienická nezávadnost, nízká obtížnost montáže, má významný útlum zvuku a nízkou ekvivalentní drsnost ($0,002$ až $0,007$ mm [5]), díky které jsou nižší tlakové ztráty třením. [4] [5]

Nevýhodou je stárnutí plastového potrubí ovlivněné teplotou média a tlakem média. Další nevýhodou je vysoká teplotní roztažnost – je nutná kompenzace tepelné roztažnosti, která je až 0,258 mm/m.mK [7].

Plastového potrubí je hojně využíváno právě v nízkoteplotních otopných soustavách při využití podlahových otopných ploch a to převážně z materiálu PE-X (zesíťovaný polyetylen). Zapojení se provádí hvězdicovité, kdy jsou jednotlivé okruhy vedeny do rozdělovače a je tak možné samostatně regulovat každý okruh. Výhodou je nízká drsnost a tím nižší tlakové ztráty třením pro dlouhé okruhy, dobrý útlum zvuku a velmi snadná montáž. [4] [5]

4.5.4. Vícevrstvé potrubí

Vícevrstvé potrubí zajišťuje kombinaci výhod dvou materiálů, příkladem může být vícevrstvé potrubí PE-X-Al, kdy hliník zabraňuje teplotní roztažnosti plastu a udržuje tvarovou a tlakovou stabilitu a plast garantuje hygienickou nezávadnost, odolnost proti korozi a odolnost proti difuzi kyslíku. [4] [5]

5. DRUHY OTOPNÝCH PLOCH

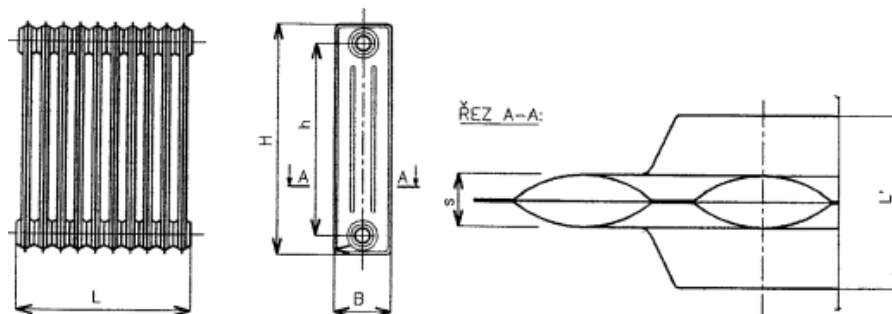
Otopné plochy jsou prvky otopné soustavy sloužící jako výměníky tepla mezi teplonosnou látkou a vytápěným prostorem, převážně sdílením tepla konvekcí a radiací (sáláním) v různém podílu. Cílem návrhu otopných ploch do vytápěného prostoru je mimo jiné dosažení tepelné pohody. [8]

5.1. Otopná tělesa

Účinnost sdílení tepla otopným tělesem neovlivňuje pouze velikost teplosměnné plochy, ale také její tvar, který výrazně ovlivňuje cirkulaci vzduchu a poměr konvektivní a sálavé složky vytápění. V případě otopných těles větší podíl přenosu tepla zajišťuje konvekce. [8]

5.1.1. Článeková otopná tělesa

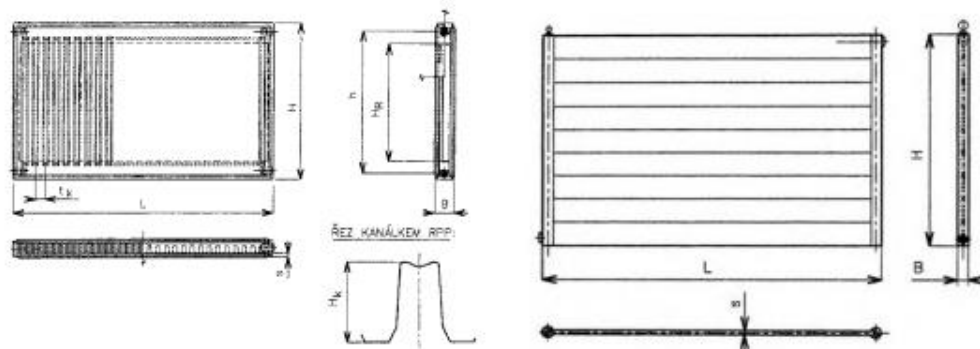
Článeková otopná tělesa jsou složena ze článků vyráběných z litiny (s lupínkovým grafitem), ocelových plechů nebo slitin hliníku (odlitky AlSi9Cu nebo výlisky AlMgSi) pomocí vsuvek, závitových kroužků, lisováním nebo odporovým tlakovým svařováním. Tělesa mají dlouhou životnost a nízký hydraulický odpor. Nevýhodou je dlouhý interval zátopy kvůli velkému vodnímu objemu tělesa. Přenos tepla probíhá majoritně konvekcí, přenos tepla sáláním se u článkových těles pohybuje od 20 do 40 %. Připojení se využívá boční levé nebo pravé. [4] [5] [8]



Obr 5-1 Článekové ocelové otopné těleso [5]

5.1.2. Desková otopná tělesa

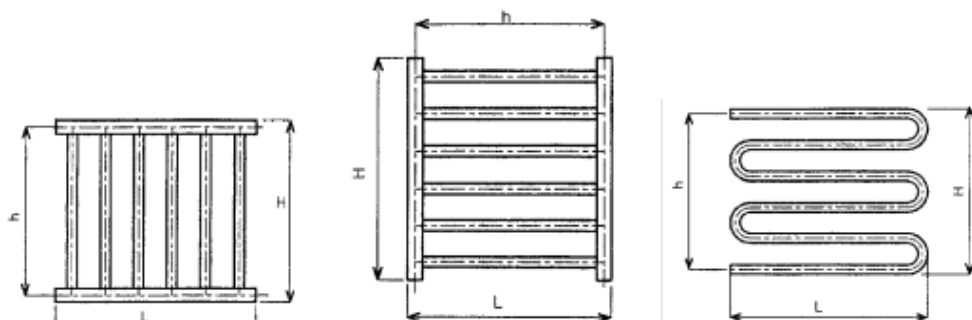
Desková otopná tělesa se skládají z desek z lisovaného ocelového plechu, ve kterém jsou tvořeny horizontální a vertikální prolisy tvořící topné kanálky. Vyráběny jsou jednořadá, dvouřadá a třířadá. Podíl přenosu tepla na sálání se pohybuje v závislosti na počtu desek od 20 do 60 % s nejvyšším podílem mající jednořadá deskové otopné těleso. Díky nízkému vodnímu objemu reaguje těleso rychle na změnu potřeby tepla. Napojení na rozvodnou síť se provádí z levé nebo pravé boční strany, nebo zprava, zleva nebo středu zespodu. [4] [5] [8]



Obr 5-2 Deskové otopné těleso s rozšířenou přestupní plochou [5]

5.1.3. Trubková otopná tělesa

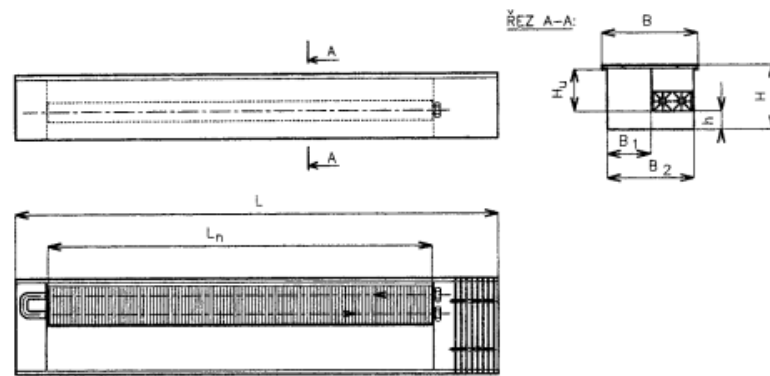
Trubková tělesa jsou dělena podle uspořádání do trubkových registrů vodorovných a svislých, trubkových meandrů nebo kombinací předchozích variant. Vyrábí se z ocelových hladkých a žebrových trubek, které spojují rozvodnou a sběrnou komoru tělesa. Využívají se v koupelnách, šatnách atd. Tělesa se v současnosti vybavují i elektrickou topnou patronou, které je výhodné využít především při nízkoteplotní otopné soustavě, kdy by na pokrytí tepelné ztráty např. koupelen bylo zapotřebí trubkové těleso s rozsáhlou výměnnou plochou. [4] [5] [8]



Obr 5-3 Typy trubkových těles (vodorovné, svislé, meandr) [5]

5.1.4. Konvektory

Konvektory jsou otopná tělesa skládající se z plechové uzavřené obálky s výměníkem ve spodní části a mřížkou na vrcholu a za pomoci přirozeného nebo nuceného oběhu vzduchu pomocí ventilátoru dochází k cirkulaci ohřátého vzduchu. Konvektory mohou být stěnové nebo vestavěné do podlahy. [4] [5] [8]



Obr 5-4 Podlahový konvektor [5]

5.2. Sálavé vytápění

Sálavé vytápění znamená, že větší podíl tepelného toku se sdílí do vytápěného prostoru sáláním a od sálajících a osálaných ploch se ohřívá okolní vzduch. Důležitý znak sálavého vytápění jsou vysoké povrchové teploty sálajících konstrukcí vzhledem k teplotě vzduchu. [7]

Sálavé vytápění se dělí na velkoplošné, vytápění zavěšenými sálavými panely a vytápění tmavými a světlými plynovými zářiči. Vytápění sálavými panely a zářiči nepatří mezi formy rezidenčního vytápění, a tak nebude v práci dále rozváděno. [7]

5.2.1. Velkoplošné vytápění

Do velkoplošného vytápění patří vytápění podlahové, stěnové a stropní, kdy může být otopná plocha zahřívána teplou vodou, vzduchem nebo elektricky. [7]

Podlahové teplovodní vytápění

Podlahové teplovodní vytápění je ideální pro nízké tepelné ztráty (menší než 20 W/m^3). Podíl složek konvekce a sálání je téměř rovnocenný (55/45 %). [7]

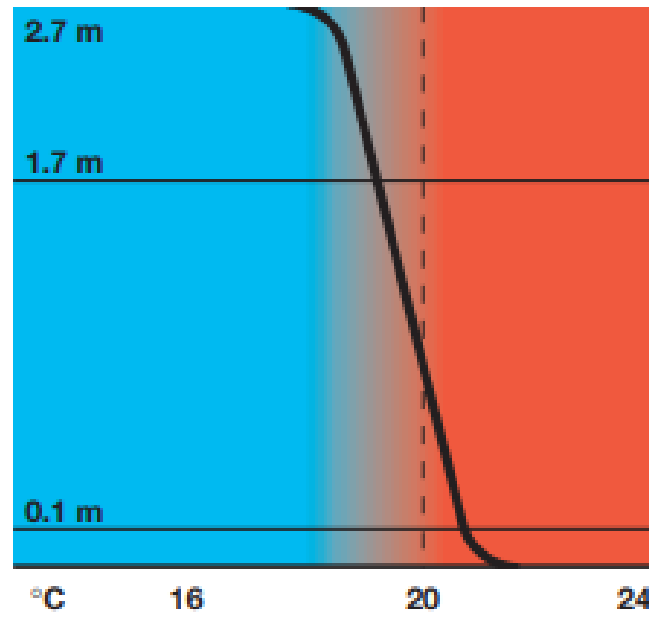
Tepelná pohoda při podlahovém vytápění

Úkolem vytápění je zajistit tepelnou pohodu ve vytápěném prostoru. Cílem je, aby se osoby cítily tepelně neutrálně. Hodnocení tepelného stavu prostředí probíhá pomocí „PMV“ (zkr. Predicted mean vote), kdy „PPD“ (zkr. Predicted percentage of dissatisfied) menší než 15 % je považován za akceptovatelný. Podmínka tepelné neutrality musí být splněna pro každou část těla, aby nevznikala lokální nepohoda. [6] [7]

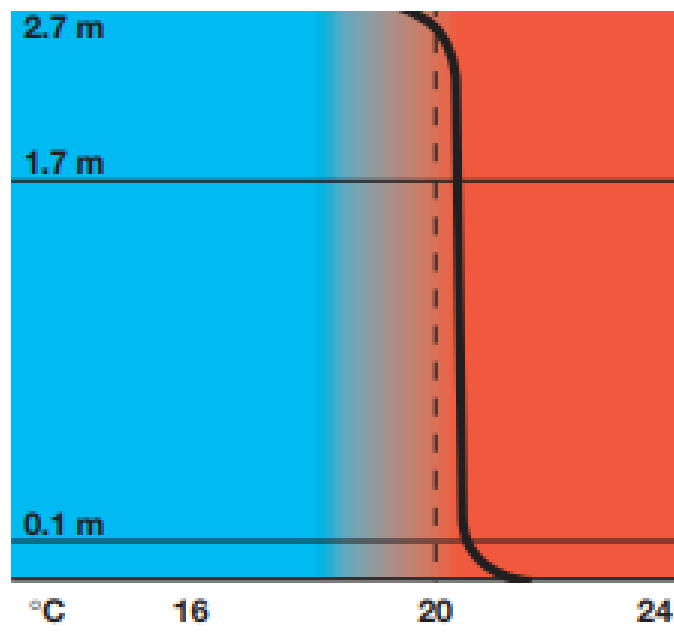
K lokální nepohodě u podlahového vytápění dochází především v kontaktu nohou s povrchem podlahy, povrchová teplota podlahy tedy hraje důležitou roli při stanovení tepelné pohody. Optimální teplota povrchu podlahy se pro sedící obuté osoby pohybuje na hodnotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro stojící osoby $23 \text{ }^\circ\text{C}$. Z hygienického hlediska by střední povrchová teplota neměla překročit $29 \text{ }^\circ\text{C}$ u obytných místností s trvalým pobytem, 30 až $32 \text{ }^\circ\text{C}$ u pomocných místností (chodby) a 32 až $34 \text{ }^\circ\text{C}$ v prostorách, kde člověk chodí převážně bos (koupelny). [7]

Vertikální průběh teplot je díky nízké povrchové teplotě podlahové otopné plochy blízký se ideálu (teplota vzduchu u oblasti hlavy maximálně o $2 \text{ }^\circ\text{C}$ vyšší než u kotníků [7]). Horizontální průběh teploty je rovnoměrný, pouze u ochlazovaných zdí se teplota

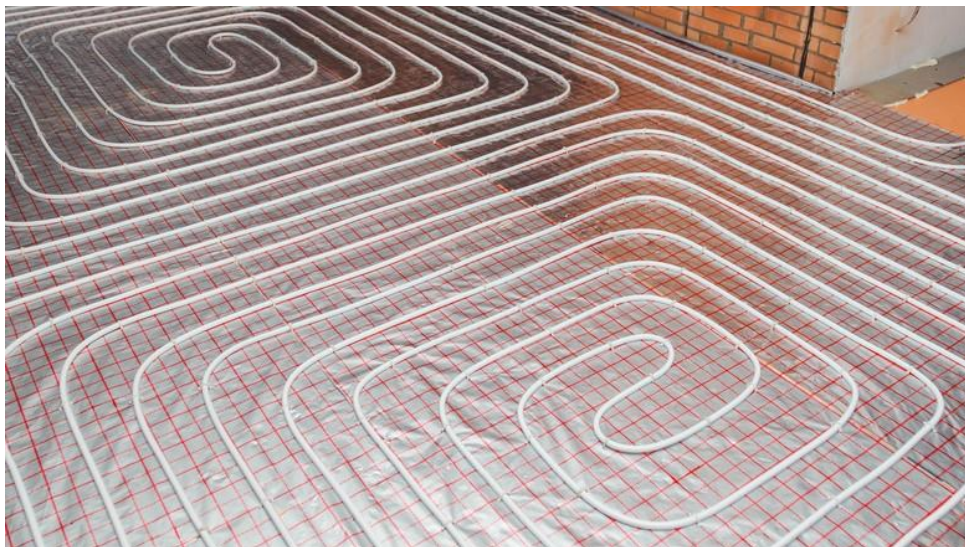
snižuje. To lze kompenzovat vytvořením tzv. intenzivní okrajové zóny, kdy snížíme rozteč pokládání otopného hadu.



Obr 5-5 Ideální rozložení teploty ve vertikálním profilu [9]



Obr 5-6 Rozložení teploty ve vertikálním profilu při podlahovém plošném vytápění [9]



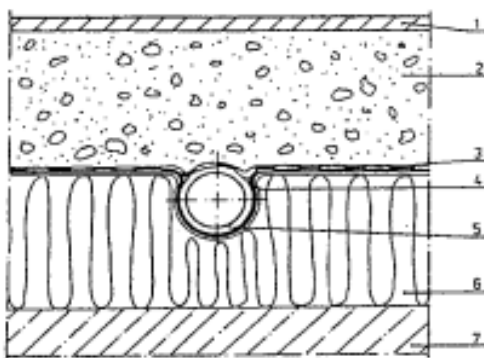
Obr 5-7 Podlahové vytápění [10]

Konstrukci podlahového vytápění lze provést několika způsoby [7]:

- Suchým způsobem
- Mokřým způsobem
- Pomocí modulových klima-desek
- Pomocí kapilárních rohoží

Suchý způsob

Při suchém způsobu konstrukce je potrubí uloženo do roznášecí lamely a od cementového potěru/potěru z anhydritu je odděleno hydroizolační fólií tzn. mokřý proces nanášení mazaniny nebude v přímém kontaktu s potrubím podlahového vytápění. Podlahy vytvořené na suchý způsob jsou vhodné v objektech s nižšími potřebnými tepelnými výkony nebo k rekonstrukci vytápění z důvodu nízké konstrukční výšky podlahy. [7]



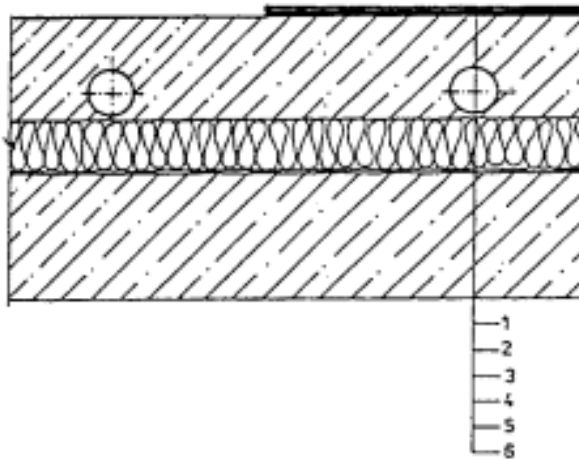
Obr 5-8 Konstrukce podlahového vytápění na suchý způsob,

Legenda:

1- Podlahová krytina 2- Cementový potěr 3- Hydroizolační fólie 4- fólie 5- Otopný had
6- tepelná izolace 7-nosná podlaha [5]

Mokrý způsob

Při tomto způsobu je otopný had položen přímo v betonové vrstvě. Přívodní teploty vody otopné vody do otopné plochy se pohybují níže než u suchého způsobu pokládky (35-55 °C).



Obr 5-9 Mokrý způsob konstrukce podlahového vytápění,
Legenda: 1- podlahová krytina 2 -cementový potěr 3- otopný had 4- tepelná izolace
5- hydroizolace 6- nosná podlaha [5]

Modulové klima-podlahy

Modulové klima-podlahy jsou duté desky nebo pásy s kapilárami, které jsou kladeny na tepelnou izolaci a jsou propojovány. [7]

Kapilární rohože

Kapilární rohože jsou sítě tenkých plastových trubiček z polypropylenu propojující sběrnou a rozvodnou trubku [16]. Umisťují se do slabé vrstvy mazaniny, pod omítku nebo i přímo na stěnu. Jsou vhodné pro nízkoenergetická řešení domu, používají se nízké teploty a nízké teplotní spády. Nevýhodou je absence ochrany proti difuzi kyslíku přes stěnu trubek. [7] [11]

Elektrické podlahové vytápění

Elektrické podlahové vytápění je realizováno pomocí elektrických topných kabelů, popřípadě elektrických topných rohoží nebo fólií v podlahové konstrukci, kde tloušťka hladiny betonové akumulární vrstvy závisí na účelu otopné plochy (akumulární, poloakumulární nebo přímotopný pracovní režim). [7]



Obr 5-10 Konstrukce elektrického podlahového vytápění [11]

Stěnové a stropní teplovodní vytápění

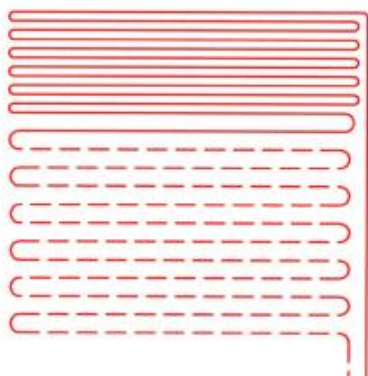
Stěnové vytápění je tvořeno obdobně jako podlahové vytápění, otopné plochy se montují na vnitřní ochlazované stěny a strop. [7]

Způsoby pokládání otopného hadu

Nejčastější způsoby kladení otopného hadu jsou dva – do meandru a do plošné spirály. Meandrový způsob dokáže výhodně kompenzovat ochlazované stěny, kdy je otopný had nejprve přiveden k ochlazované konstrukci a teplota tedy klesá od konstrukce do středu objektu. Nevýhodou je nutnost použití menšího průměru trubek, aby bylo možno je ohýbat do 180° kolen. Způsob plošné spirály nabízí rovnoměrné rozložení teplot na ploše, nevýhodou je pokles teplot od středu k ochlazovaným stěnám, což lze minimálně redukovat vytvořením intenzivní okrajové zóny.



Obr 5-11 Příklad plošné spirály s intenzivní okrajovou zónou [9]



Obr 5-12 Příklad meandru s intenzivní okrajovou zónou [9]

6. VOLBA KONCEPCE OTOPNÉ SOUSTAVY

Na základě nízké tepelné ztráty, horizontálním rozložením objektu a dostupnosti energií v lokalitě byla zvolena nízkoteplotní soustava s nuceným oběhem a plastovým potrubím pro podlahové vytápění a měděným rozvodným potrubím. Velkoplošné sálavé vytápění pomocí podlahových otopných ploch bude doplněno v koupelnách trubkovými otopnými tělesy s elektrickou topnou patronou. V celém objektu je užíváno pokládání otopného hadu do meandru, bez intenzivní okrajové zóny, s umístěním první smyčky k ochlazené stěně. Zvolená rozteč je dostatečně vysoká (min. 100 mm) tak, aby bylo možné dosáhnout žádaného poloměru ohybu potrubí.

7. NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ

7.1. Návrh podlahové konstrukce

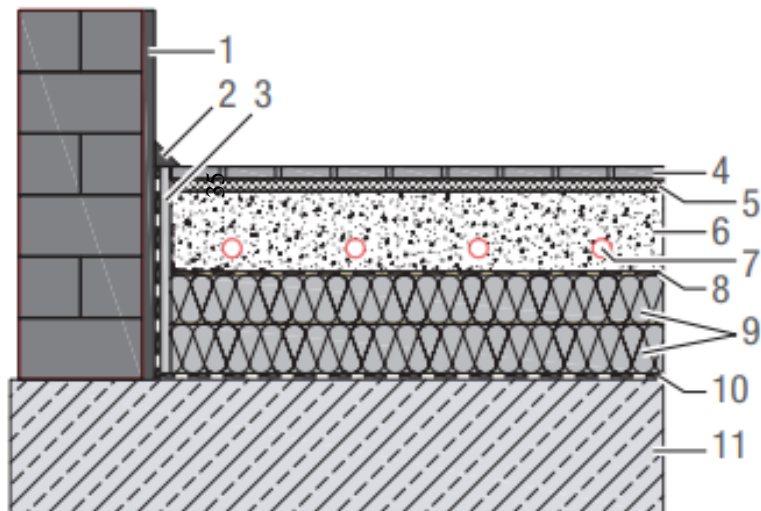
Řešení podlahového vytápění bylo navrženo na mokrý způsob. Mokrý způsob umožňuje nižší přívodní teplotu otopné vody, a tedy vyšší topný faktor tepelného čerpadla, zároveň pomáhá řešit problém vysoké střední povrchové teploty podlahového vytápění, které není v souladu s hygienickými podmínkami a je možné rozložit otopný had po celé ploše místnosti. V místnostech, kde je plocha nedostatečná (koupelny), je k podlahovému vytápění navrženo dodatečné trubkové těleso s elektrickou topnou patronou.

K uchycení potrubí jsou použity systémové desky Varionova, jejíž součástí je i kročejová izolace KNAUF 30 mm a dodatečná tepelná izolace EPS 30 mm. Otopný had lze uchycovat s roztečí v násobcích 5 cm. Pod deskou bude položena hydroizolace. [9]

Trubky byly zvoleny RAUTHERM S 14x1,5 mm, dle katalogu je přípustný ohybový poloměr trubek při 0 °C 70 mm (5x D) a při ohřátí na 130 °C 42 mm (3x D). [9]

Pro desku Varionova a průměr trubek 14 mm je doporučená výška potěru z anhydritu 49 mm, výška mazaniny byla zvolena 50 mm. [9]

Jako podlahová krytina byly pro vytápěné chodby, koupelnu a toaletu vybrány keramické dlaždice uložené na maltovém loži dle katalogu [9] o tepelném odporu $R = 0,031 \text{ m}^2\text{K/W}$. Zbylé vytápěné obytné prostory budou pokryty PVC o tepelném odporu $0,02 \text{ m}^2\text{K/W}$. Obě krytiny vyhovují požadavku $R \leq 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$.



Obr 7-1 Řez podlahovou konstrukcí při použití systémové desky Varionova [18],
 Legenda: 1- Vnitřní omítka 2- Krycí podlahová lišta 3- Okrajová diletanční páska 4-
 Podlahová krytina 5- Maltové lože/lepící hmota 6- Anhydritová mazanina
 7- RAUTHERM S 14x1,5 8- Krycí fólie 9- Tepelná a kročejová izolace
 10- Hydroizolační vrstva 11- Stavební konstrukce

7.2. Výpočet podlahových ploch

7.2.1. Výpočet parametrů podlahového vytápění

Výpočet vychází z předpokladu, že plocha o dané střední povrchové teplotě pokryje tepelnou ztrátu prostoru. Teplo je předáváno vnitřnímu vzduchu převážně pomocí sálání, dále pak konvekcí.

m je **charakteristické číslo podlahy** a vyjadřuje tepelně technické vlastnosti podlahy a závisí na intenzitě ochlazování na obou stranách za respektování válcového tvaru zdrojů [12]:

$$m = \sqrt{2 \cdot \frac{\Lambda_a + \Lambda_b}{\pi^2 \cdot \lambda_d \cdot D_{tr}}} \text{ [1/m]} \quad (7.1)$$

kde

Λ_a je tepelná propustnost vrstev konstrukce nad střední rovinou potrubí [$\text{W/m}^2\text{K}$]

Λ_b je tepelná propustnost vrstev konstrukce pod střední rovinou potrubí [$\text{W/m}^2\text{K}$]

λ_d je součinitel tepelné vodivosti materiálu, ve kterém je potrubí zalito [W/m.K]

D_{tr} je vnější průměr potrubí

Střední povrchová teplota

Rovnice obsahuje více neznámých (při dopočtu součinitele přestupu tepla). Je tedy zapotřebí předběžně zvolit hodnotu střední povrchové teploty podlahové plochy a následně dopočítat součinitel přestupu tepla a znovu dosadit pro skutečnou hodnotu střední povrchové teploty podlahy. [7] Je vypočtena ze vztahu :

$$t_p = t_i + \frac{\frac{A_a}{\alpha_p} (t_m - t_i) \operatorname{tgh}\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)}{m \cdot \frac{l}{2}} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (7.2)$$

kde

t_i je vnitřní výpočtová teplota místnosti [°C]

α_p je celkový součinitel přestupu tepla na povrchu otopné plochy [W/m²K]

t_m je střední teplota otopné vody [°C]

l je rozteč trubek [m]

Součinitel přestupu tepla na povrchu podlahy se skládá z přenosu tepla konvekcí a sáláním. Pro výpočet bývá používána hodnota $\alpha_p = 12 \text{ W/m}^2\text{K}$. My součinitel přestupu tepla dopočítáme, vypočtený součinitel bude nižší a vznikne tedy rezerva pro případ odchylky. Vypočteme jej [13]:

$$\begin{aligned} \alpha_p &= \alpha_k + \alpha_s = & (7.3) \\ &= \varepsilon_{\text{pod}} \cdot \frac{c_0 \left[\left(\frac{t_p + 273,15}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_i + 273,15}{100} \right)^4 \right]}{t_p - t_i} + 2(t_p - t_i)^{0,33} \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

kde

c_0 je součinitel sálání absolutně černého tělesa, $c_0 = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2\text{K}^4$

ε_{pod} je emisivita povrchu podlahy (pro výpočet $\varepsilon_{\text{pod}} = 0,95$)

t_i je vnitřní výpočtová teplota místnosti [°C]

t_p je střední povrchová teplota podlahové plochy [°C]

Tepelná propustnost vrstev konstrukce nad střední rovinou potrubí je stanovena vztahem [12]:

$$\Lambda_a = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_p} + \sum \frac{b}{\lambda_a}\right)} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]} \quad (7.4)$$

kde

b je tloušťka jednotlivých konstrukcí [m]

λ_a je součinitel tepelné vodivosti jednotlivých konstrukcí [W/m.K]

Tepelná propustnost vrstev konstrukce pod střední rovinou potrubí je vypočtena [12]:

$$\Lambda_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \sum \frac{b}{\lambda_b}} \text{ [W/m}^2 \text{K]} \quad (7.5)$$

kde

α'_p je celkový součinitel přestupu tepla na stropu, $\alpha'_p = 8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, popř. převrácená hodnota tepelného odporu zeminy

$$\alpha'_p = \frac{1}{R} = \frac{1}{1,1} = 0,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K},$$

λ_b je součinitel tepelné vodivosti jednotlivých konstrukcí [W/m.K]

Měrný tepelný tok směrem nahoru (měrný tepelný tok podlahy) je poté dán vztahem [12]:

$$q = \alpha_p (t_p - t_i) \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad (7.6)$$

a **měrný tepelný tok směrem dolů** (měrný tepelný tok stropem / spodní konstrukcí podlahy) je dán vztahem [12]:

$$q = \frac{\alpha'_p \cdot \Lambda_b}{\Lambda_a} (t_p - t_i) + \Lambda_b (t_i - t'_i) \text{ [W/m}^2 \text{]} \quad (7.7)$$

kde

t'_i je teplota místnosti pod podlahou (pokud $t'_i = t_i$ $\Lambda_b (t_i - t'_i) = 0$) [°C]

Měrný tepelný tok směrem dolů by v případě kontaktu se zeminou nebo nevytápěným prostorem neměl překročit 10 % měrného tepelného výkonu směrem do vytápěné místnosti. V případě styku s vytápěnou místností by měrný tepelný tok neměl překročit 15 % tohoto výkonu. [12]

Potřebná plocha pro realizaci podlahové otopné plochy (bez účinku okrajové zóny) je následně vypočtena [12]:

$$S_{PP} = \frac{Q_z}{q + q'} \text{ [m}^2 \text{]} \quad (7.8)$$

kde

Q_z je tepelná ztráta vytápěné místnosti [W]

q je měrný tepelný tok podlahové plochy [W/m^2]

q' je měrný tepelný tok z místnosti nad stropem [W/m^2]

Vypočtená plocha musí být volná k využití. Využitelná plocha je redukována o plochu nábytku se soklem a o okrajovou zónu r . U nábytku s nízkými nohami předpokládáme snížení výkonu otopné plochy o 50 %. **Okrajová zóna** je stanovena vztahem [12]:

$$r = \frac{2,3}{m} \text{ [m]} \quad (7.9)$$

kde

m je charakteristické číslo podlahy [$1/m$]

Dodatečný výkon okrajové zóny dopočteme dle vztahu [13]:

$$Q_o = Q_p \cdot \frac{O_p}{S_p} \cdot \frac{0,448l}{\operatorname{tgh}\left(\frac{l}{2} \cdot m\right)} \text{ [W]} \quad (7.10)$$

kde

O_p je obvodová hranice otopného hadu [m]

S_p je obsah plochy ohraničené otopným hadem [m^2]

Celkový výkon vypočteme jako [14]:

$$Q_c = S_p \left(q + q' + \frac{Q_o}{S_p} - \frac{S_n}{S_p} \cdot 0,5 \cdot q \right) \text{ [W]} \quad (7.11)$$

kde

S_n je plocha nábytku na nízkých nohou [m^2]

Následně dopočítáme **příkon otopné plochy** [12]

$$\dot{Q}_{PC} = (q + q') \cdot S_p \text{ [W]} \quad (7.12)$$

7.2.2. Souhrn parametrů podlahových otopných ploch

Souhrn parametrů otopných ploch jednotlivých místností je uveden v tab. 7-1, detailní výpočty mohou být nalezeny v příloze (I)

Tab. 7-1 Parametry podlahových otopných ploch

č.	Název	Střední povrchová teplota [°C]	Zvolená rozteč [m]	Otopná plocha [m ²]	Tepelná ztráta [W]	Příkon [W]	Tepelný výkon [W]
101	Kuchyně	25,49	0,15	5,35	296	285	305
102	Koupelna 1	27,30	0,10	3,90	382	124	120
105	Předsíň				-34		0
106	Ložnice 1	25,85	0,10	7,55	372	432	418
107	Obývací pokoj	24,24	0,30	14,60	587	587	595
108	Jídelna	25,85	0,10	7,07	415	404	445
111	Toaleta				-11		
112	Chodba 1	24,92	0,20	2,00	120	92	124
201	Ložnice 2	24,18	0,30	10,69	319	420	406
202	Chodba 2	25,59	0,10	1,60	133	87	115
203	Koupelna 2	27,27	0,10	3,68	314	114	105
204	Šatna	25,86	0,10	2,00	129	120	131
205	Dětský pokoj 1	24,18	0,30	12,24	445	481	463
206	Dětský pokoj 2	24,18	0,30	13,54	455	532	512

Teplotní spád byl zvolen 32/27 °C, a to nestandardně nízký za účelem zajištění dostatečného hmotnostního průtoku pro následné hydraulické vyvážení soustavy. Nízká střední teplota otopné vody zároveň umožňuje rozložení otopného hadu na rozsáhlejší plochu s nízkou roztečí tak, aby střední povrchová teplota podlahy nepřekračovala hygienické podmínky (optimální střední povrchová teplota podlahy v obytných prostorách pro sedící osoby s obuví je 25 °C) [7]

Rozteč trubek byla zvolena maximálně 0,3 m, aby nedocházelo k citelným rozdílům v teplotě podlahy.

Za účelem proveditelnosti hydraulického vyvážení otopné soustavy byl v každém patře vytvořen okruh podlahového vytápění skládající se z otopné smyčky v koupelně a chodbě, konkrétně okruh A1 v místnostech 104 a 112 v přízemí a okruh B1 v místnostech 202 a 203 v prvním patře. Každý okruh pak disponuje vyšším objemovým průtokem a tlakovou ztrátou, které lze následně doškrcovat.

7.2.3. Přídavný výkon otopnými tělesy

Jak je vidět, výkon otopného hadu v koupelnách je nedostačující, a to z důvodu nedostatečné plochy pro realizaci podlahového vytápění. Vzhledem k tomu, že byla použita již velmi nízká rozteč, bude tepelná ztráta částečně hrazena položením otopného

hadu až k okrajům místnosti. Dodatečně bylo také navrženo trubkové otopné těleso s elektrickou topnou patronou do obou koupelen:

Tab. 7-2 Doplnková otopná tělesa

	Tepelná ztráta, kterou nelze hradit podlahovým vytápěním [W]	Max výkon el. Topného tělesa
Koralux Rondo Max E 700-600	262	400
Koralux Rondo Max E 700-600	209	400

8. NÁVRH ZDROJE TEPLA

V této práci nebudou rozváděny jednotlivé druhy zdrojů tepla. Z důvodu volby nízkoteplotní otopné soustavy s podlahovým vytápěním, tepelné ztráty pod 50 W/m² a nízkého teplotního spádu bylo jako zdroj tepla zvoleno tepelné čerpadlo, kdy elektrická energie dodávaná zdroji může být v budoucnu alternativně dodávána fotovoltaickými panely.

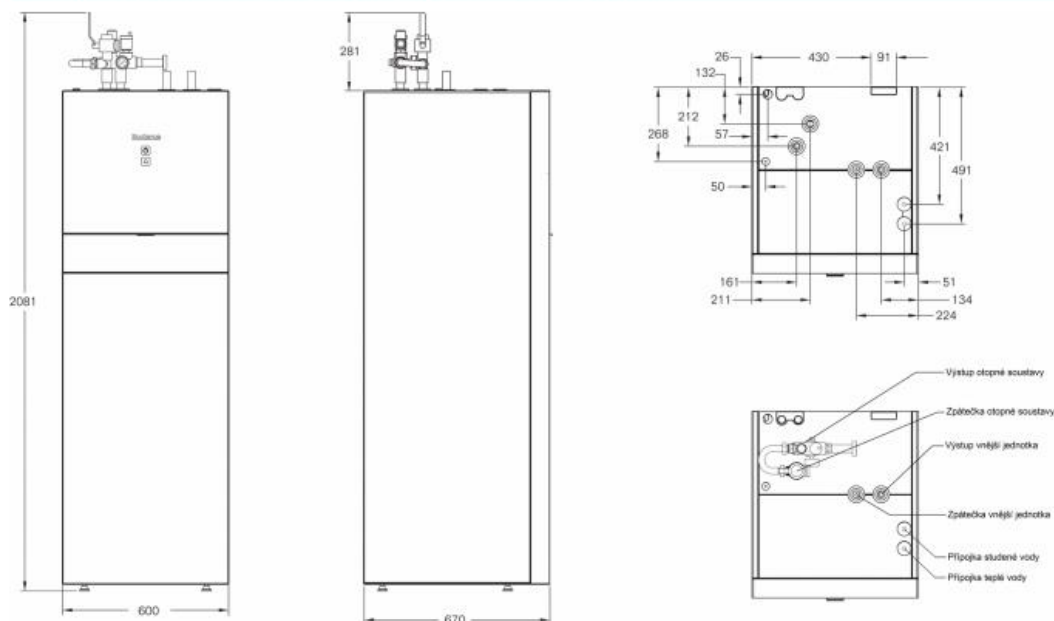
8.1. Volba zdroje tepla

Jako zdroj tepla bylo zvoleno tepelné čerpadlo vzduch-voda WLW 196-4 AR S+ od firmy Buderus skládající se z vnější a vnitřní jednotky.

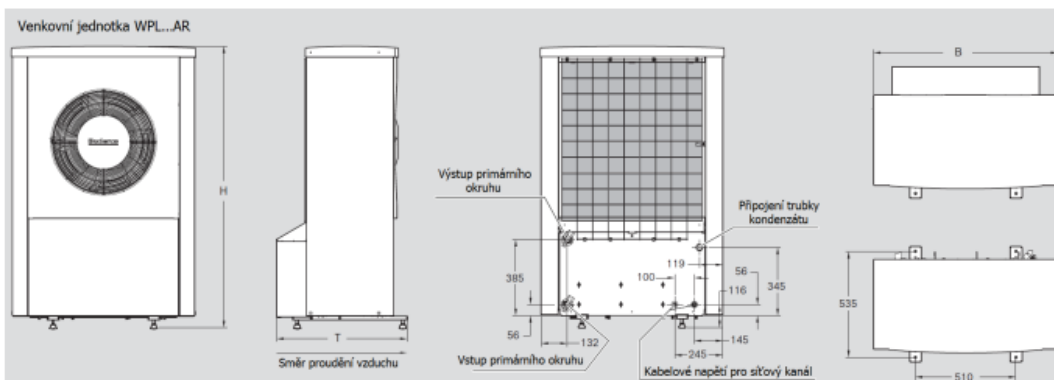
Logatherm WLW196i AR S+

5

■ Technická data vnitřní jednotky Logatherm WLW196i AR S+ T190 Comfort



■ Technická data Logatherm WLW196i AR s+ venkovní jednotka



Obr 8-1 Vnitřní a Vnější jednotka WLW 196i-4 AR S+ [15]

Jednotka byla zvolena na základě předběžného výpočtu dle katalogu [15]:

$$\dot{Q}_{erf} = f \cdot \left(\sum \dot{Q}_{PC} + n \cdot \dot{Q}_{WW} \right) \quad (8.1)$$

kde

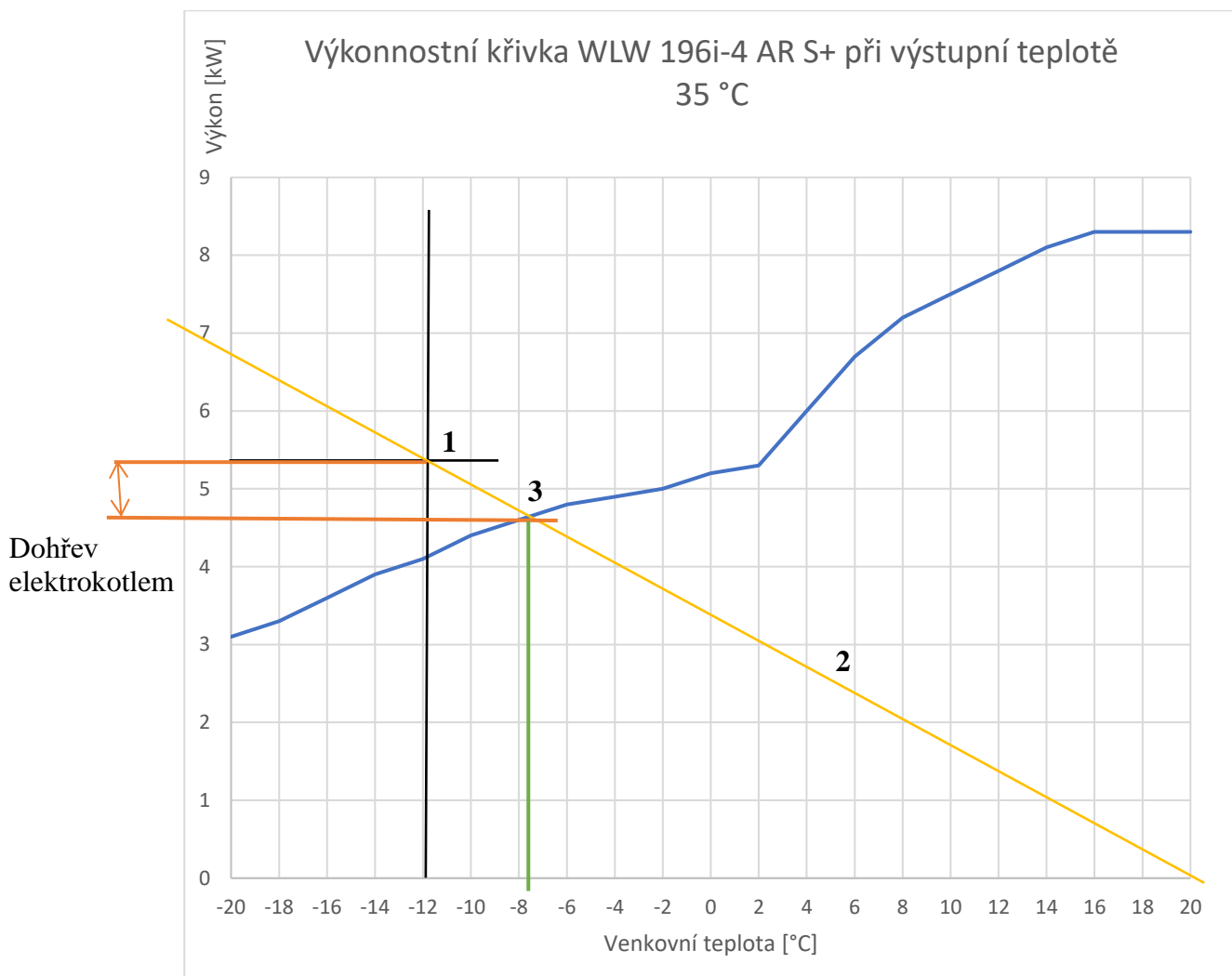
\dot{Q}_{erf} je příkon potřebný k pokrytí zdrojem tepla při výpočtové teplotě [W]

f je součinitel přidavného výkonu kvůli blokacím vysokého tarifu

\dot{Q}_{PC} je příkon otopné plochy [W]

n je počet osob žijících v objektu

\dot{Q}_{WW} je přídatný výkon na osobu na spotřebu TV, $\dot{Q}_{WW} = 200 \text{ W}$



Obr 8-2 Graf výkonnostní křivky tepelného čerpadla Buderus sestaven dle hodnot z [15] Legenda: Výkonnostní křivka WLW196i-4AR S+ (modrá)

Nejprve byl zkonstruován bod 1, jedná se o potřebný výkon zdroje tepla k pokrytí příkonu otopné soustavy. Následovně byla bodem proložena přímka 2, kdy tepelná ztráta objektu bude při 20 °C přibližně nulová. Průnik přímky a křivky výkonu tepelného čerpadla (bod č. 3) označuje, jaká bude teplota, kdy dojde k sepnutí elektrických topných tyčí k dohřevu.

Z obr. 8-2 vychází předběžná volba tepelného čerpadla WLW 196i-4 AR S+ se spínáním integrovaného elektrokotle (s postupně zapínaným výkonem 2, 4, 6 a až 9 kW), a to od -8 °C, aby byla pokryta tepelná ztráta.

Nucený oběh otopné vody umožňuje integrované oběhové čerpadlo, dále komentované v kapitole 11.5. Vnitřní jednotka je dále vybavena pojistným vypouštěcím ventilem, manometrem a expanzní nádobou o objemu 10 l. Akustický výkon nebude v práci řešen, jelikož u tohoto výrobku se pohybuje na hodnotě 50 dB(A), a díky rozlehlosti pozemku bez překážek budou nároky na hlučnost zařízení bez problému splněny - samotné tepelné čerpadlo disponuje protihlukovou ochranou Silent Plus,

které umožňuje splnění nároků na hladinu akustického výkonu již do 3 metrů od venkovní jednotky.

9. Příprava teplé vody

Příprava teplé vody bude probíhat v zásobníku ohříváním tepelným čerpadlem. Časy odběru teplé vody uvažujeme dle normy ČSN 15 316-3-1 [16]:

9.1. Časy odběru teplé vody

- 0-6 hodin = 0 % z celkového množství teplé vody
- 6-9 hodin = 35 % z celkového množství teplé vody
- 9-19 hodin = 15 % z celkového množství teplé vody
- 19-22 hodin = 40 % z celkového množství teplé vody
- 22-24 hodin = 10 % z celkového množství teplé vody

Následně bude vypočteno celkové množství tepla pro ohřev na jeden den pro objekt, a to ze vzorce podle normy ČSN 06 0320 [17]:

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = \quad (9.1)$$

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

kde

Q_{2t} je teplo na přípravu TV [kWh/den]

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

z je poměrná ztráta při přípravě a distribuci

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

ρ_{TV} je hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m^3]

c_{TV} je měrná tepelná kapacita vody při střední teplotě zásobníku [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]

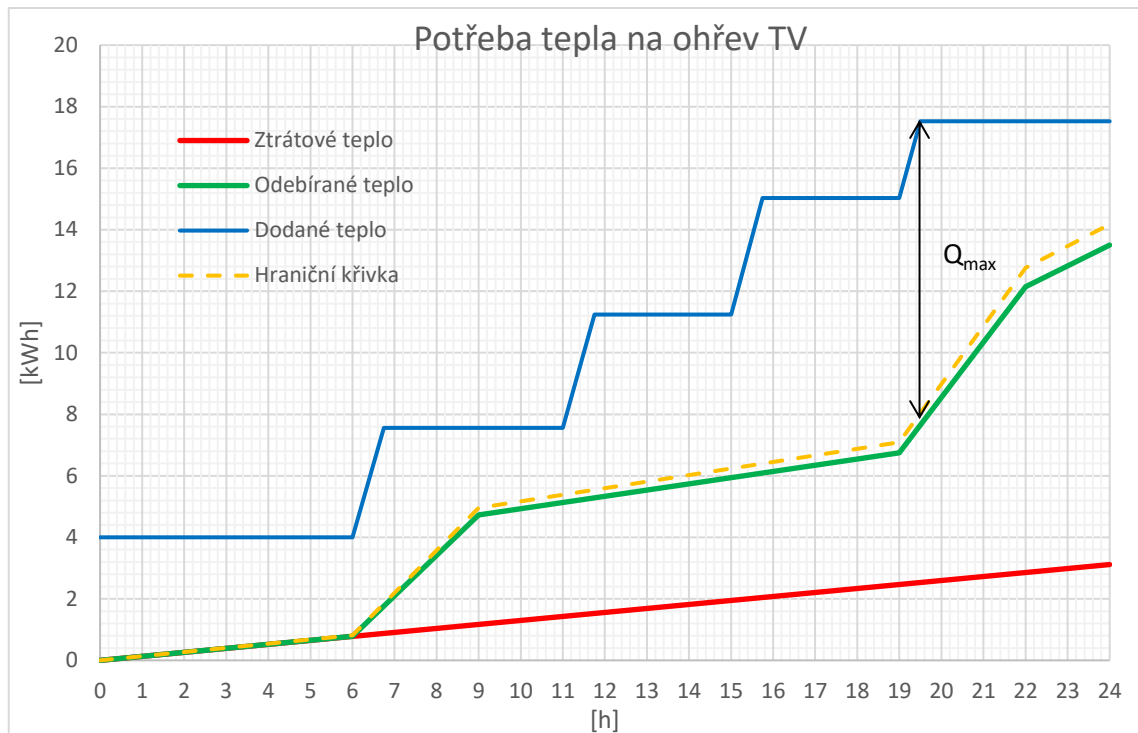
t_2 je teplota teplé vody [$^{\circ}\text{C}$]

t_1 je teplota studené vody [$^{\circ}\text{C}$]

Spotřeba vody na osobu je dle ČSN 06 0320 [17] 82 l na osobu na den, na doporučení vedoucího práce jsem spotřebu snížil na hodnotu bližší reálné spotřebě, a to na 40 l na osobu na den. Hodnotu poměrné ztráty při ohřevu a distribuci volíme pro objekt $z = 0,3$. Ohřev bude uvažován z teploty studené vody 10°C na teplotu 55°C . Vztahem (9.1) je dopočítána celková denní potřeba tepla $Q_{2p} = 13,5 \text{ kWh/den}$.

9.2. Grafické znázornění přípravy teplé vody

Na základě hodnoty celkové denní potřeby tepla a časů odběru teplé vody [27] vytvoříme křivku odběru:



Obr 9-1 Grafické znázornění denní potřeby tepla na ohřev TV

Křivka dodaného tepla byla sestrojena tak, že tepelné čerpadlo bude mít nabíjecí cykly, tzn. na interval přestane být ohřívána otopná voda a veškerý výkon bude směřován na ohřev teplé vody. Výkon tepelného čerpadla WLW 196i-4 AR S+ na ohřev TV je v křivce modulován dle nejchladnějšího dne roku 2022 (7.1.2022 [18]) – křivka je konstruována s dostatečnou rezervou tak, aby spínání zdroje na ohřev TV bylo dostatečné i při nižších teplotách. Bude uvažováno s akumulací dodané vody během dne až 30 % z celkové dodávky tepla. Cyklů bylo nastaveno celkem pět:

Od 6:00 do 6:45

Od 11:00 do 11:45

Od 15:00 do 15:45

Od 17:00 do 17:45

Od 19:00 do 19:30

Dlouhé nabíjecí intervaly byly zvoleny z důvodu vytápění podlahovým vytápěním, jehož doba dosažení 63,2 % jmenovitého výkonu při chladnutí (τ_{n63}) je až 306,3 minuty. [19] Z toho důvodu je maximální nabíjecí interval 45 minut. Nabíjecí intervaly probíhají od 6:00 do 19:30, převážně při vyšších denních teplotách, kdy je topný faktor čerpadla vysoký, zároveň nedochází k velkému odběru teplé vody a z důvodu vyšší teploty je snížena potřeba tepla pro otopnou soustavu. Výjimečně v případech extrémně nízkých teplot může doohřev zajišťovat integrovaný elektrokotel dodatečným výkonem až 9 kW. [20] Kompletní výpočet křivky lze nalézt v příloze (I).

9.3. Návrh objemu zásobníku

Objem zásobníku je vypočten pomocí vztahu dle ČSN 06 0320 [21]:

$$V_Z = \frac{\Delta Q_{\max}}{(\rho_{TV} \cdot c \cdot (t_2 - t_1))} \cdot 1000 \cdot 3600 \text{ [m}^3\text{]} \quad (6.3)$$

kde

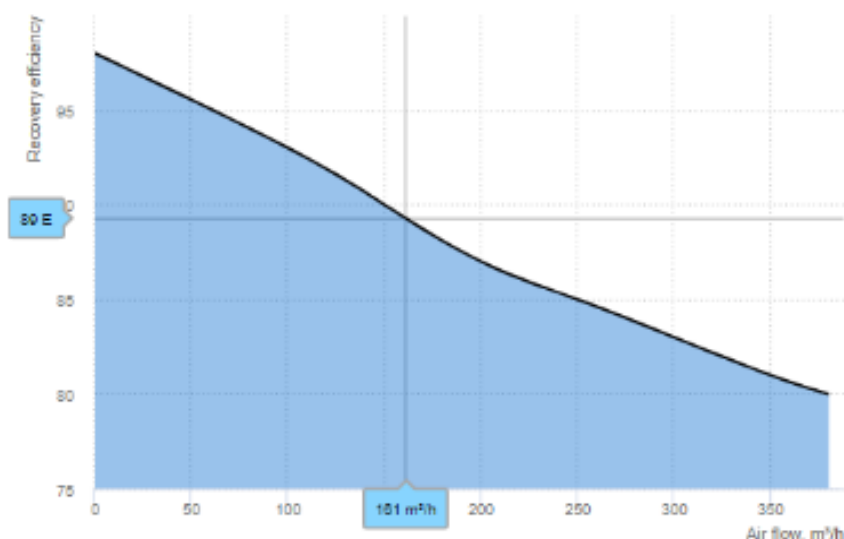
ΔQ_{\max} maximální nevyužitá dodávka tepla (maximální rozdíl mezi křivkou dodávky a odběru tepla) [kWh]

Objem zásobníku byl vypočten 183,4 litrů, volbou je nejbližší vyšší řada, a to zásobník s objemem 190 litrů. Tepelná čerpadla Buderus WLW 196i-4 AR S+ jsou dodávána v sestavě právě s integrovaným zásobníkem 190 l.

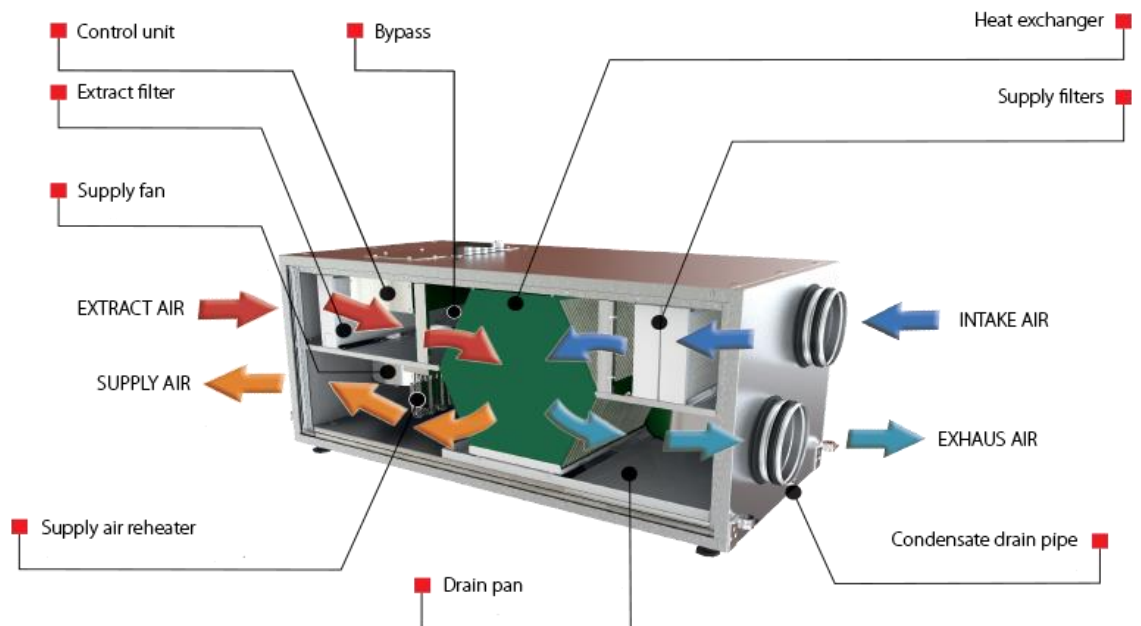
10. NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTKY SE ZPĚTNÝM ZÍSKÁVÁNÍM TEPLA

Vzduchotechnická jednotka byla zvolena se zpětným získáváním tepla bez elektrického doohřevu a má za úkol hradit část tepelných ztrát větráním. Dimenzována byla na maximální průtok vzduchu při nárazovém větrání 240 m³/h.

Vybrána byla horizontální vzduchotechnická jednotka VENTS VUT HB EC A21 s maximálním průtočným objemem vzduchu 380 m³/h a účinností až 98 %. Konkrétní účinnost (89 %) můžeme pro jednotku odečíst z grafu na obrázku 10-1. Výměník je protiproudý z polystyrenu, vzduch je vháněn ventilátory poháněných elektricky komutovanými synchronními motory s maximálním výkonem 182 W a maximálními otáčkami 2100 ot/min.



Obr 10-1 Graf účinnosti ZTZ vzduchotechnické jednotky VENTS VUT 300 HB EC A21 [35]



Obr 10-2 Schéma vzduchotechnické jednotky se ZTZ VENTS VUT 300 HB EC A21 [35]

Minimální teplota přiváděného vzduchu ohřátého zpětným získáváním tepla se stanoví vztahem (3.5):

$$\theta_{rec,z} = \theta_{e,0} + \eta_{rec,z}(\theta_{exh,z} - \theta_{e,0}) = -12 - 5 + 0,89[20 - (-12 - 5)] \doteq 16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

11. HYDRAULICKÉ VYVÁŽENÍ OTOPNÉ SOUSTAVY

Otopná soustava je hydraulicky vyvážována z důvodu rovnoměrné distribuce topné vody do otopných ploch a těles. Hydraulické vyvážení znamená doškrcení tlakových ztrát o nižších hodnotách k okruhu s nejvyšší tlakovou ztrátou. Tlaková ztráta jednotlivých smyček se rovná tlakové ztrátě třením a místními odpory. Tyto ztráty jsou závislé na kvadratické rychlosti proudění, které je vypočteno z tepelného příkonu otopných těles a ploch.

11.1. Tlakové ztráty

Střední rychlost proudění je získána ze vzorce [7]:

$$w = \frac{4 \cdot Q_{PC}}{c \cdot \Delta t \cdot \rho_w \cdot \pi \cdot d_i^2} \text{ [m/s]} \quad (11.1)$$

kde

Q_{PC} je příkon otopného hadu [W]

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

Δt je ochlazení vody v otopném hadu [K]

ρ_w je hustota vody [kg/m³]

d_i je vnitřní průměr trubky [m]

Celkové tlakové ztráty vypočteme:

$$\Delta p = \sum (\Delta p_\lambda + \Delta p_\xi) \text{ [Pa]} \quad (11.2)$$

kde

Δp_λ je tlaková ztráta třením [Pa]

Δp_ξ je tlaková ztráta místními (vřazenými) odpory [Pa]

11.1.1. Tlakové ztráty třením

Tlaková ztráta třením je vypočtena dle vztahu

$$\Delta p_\lambda = \frac{\lambda}{d_i} \frac{\rho_w w^2}{2} \cdot l_h \text{ [Pa]} \quad (11.3)$$

kde

λ je součinitel tření [-]

l_h je délka úseku potrubí sítě [m]

Tlaková ztráta třením je závislá mimo jiné na charakteru proudění (laminární, přechodné, turbulentní) a na drsnosti potrubí. Charakter proudění je zjišťován pomocí Reynoldsova čísla.

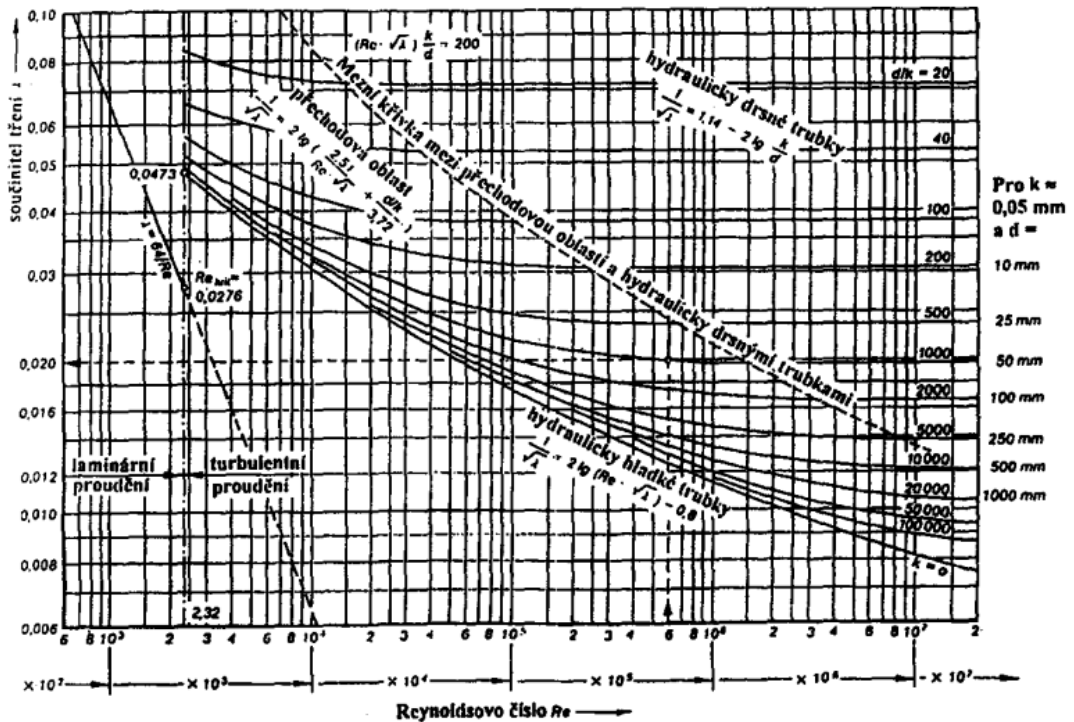
Reynoldsovo číslo je vypočteno dle vztahu:

$$Re = \frac{w d_i}{\nu_w} \text{ [-]} \quad (11.4)$$

kde

ν_w je kinematická viskozita vody [m²/s]

Pomocí Reynoldsova čísla a relativní drsnosti potrubí se již lze orientovat v Moodyho diagramu pro zjištění součinitele třecích ztrát.



Obr 11-1 Moodyho diagram [22]

Oblast laminárního proudění je pro potrubí kruhového průřezu omezena pro $Re \leq 2320$, oblast turbulentního proudění je omezena pro $Re \geq 4000$. V oblasti pro $2320 < Re < 4000$ dochází k proudění přechodnému, které je obtížně dopočítáváno, v práci je řešeno interpolací mezi mezními hodnotami.

Pro oblast laminárního proudění platí:

$$\lambda = 64/Re \quad (11.5)$$

Pro oblast turbulentního proudění bude používána Colebrookova rovnice [23]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\left(\frac{k}{d} \right)^{1/4} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (11.6)$$

Pro oblast přechodného proudění je užito interpolace pomocí vzorce [23]:

$$\lambda = \lambda_{2320} + \frac{\lambda_{4000} - \lambda_{2320}}{4000 - 2320} (Re - 2320) \quad (11.7)$$

Pro účel práce byl vytvořen kód v programu MatLab pro výpočet součinitele tření z rovnic (11.4,11.5,11.6) viz příloha (II).

11.1.2. Tlakové ztráty místními odpory

Místní tlakové ztráty jsou vypočítávány pomocí vzorce [7]:

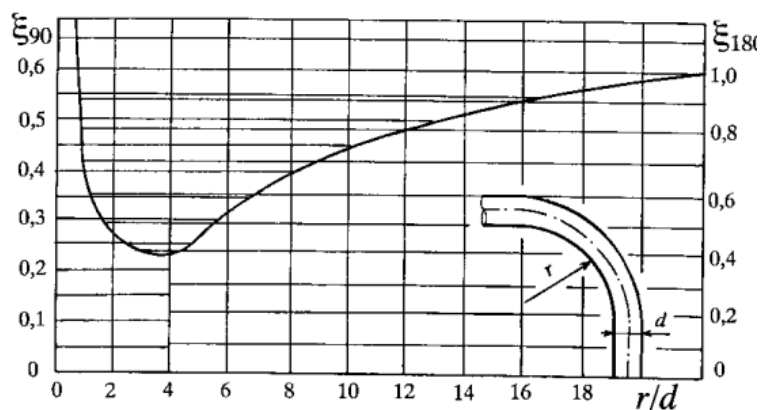
$$\Delta p_{\xi} = \sum \xi \cdot \rho_w \cdot \frac{w^2}{2} \text{ [Pa]} \quad (11.8)$$

kde

ξ je součinitel místního odporu [-]

Součinitel místní ztráty se liší pro vybrané armatury a zapojení otopných těles, pro kolena podlahového vytápění lze odečíst hodnotu z grafu viz obr 6-2.

V praxi se tlakové ztráty místními odpory v otopném hadu zanedbávají [7], v této práci je na tlakové ztráty místními odpory u podlahového vytápění přidána přírážka 10 %.



Obr 11-2 Tlakové ztráty místními odpory [12]

Tlakové ztráty vřazenými odpory (kolena, náhlá zúžení, T-kusy, rozdělovače, sběrače) pro spojovací potrubí bude odečítáno z tabulek [8], popřípadě z katalogu výrobce.

11.2. Výpočet tlakových ztrát jednotlivých smyček

V objektu na každé patro připadá 5 smyček, každá vytápěná místnost má svou vlastní otopnou smyčku, výjimkou jsou chodby (místnosti 112 a 202) a koupelny (místnosti 104 a 203), kde jedna smyčka sjednocuje v každém patře vždy 1 koupelnu a 1 chodbu. Otopné hady budou pokládány do meandru s dodržáním okrajové zóny, kromě koupelen, kde kvůli nedostatku plochy bude okrajová zóna zanedbána. Spotřeba trubek bude přibližně spočítána dle informací od výrobce [9]. V tabulce 11-1 lze vidět souhrn tlakových ztrát jednotlivých smyček. Rozložení otopných ploch a jejich zapojení je vidno v příloze (IV).

Tab. 11-1 Tlakové ztráty jednotlivých smyček otopného hadu

č. místnosti a smyčky	tlaková ztráta místními odpory a třením [Pa]
104+112 - A1	1354
101 - A2	3931
108 - A3	8585
107 - A4	8082
106 - A5	8527
202+203 - B1	1336
204- B2	717
205 - B3	5488
206 - B4	7083
201 - B5	4738

11.3. Hydraulické vyvážení smyček

Smyčky budou vůči sobě vyvažovány regulačními armaturami. Regulační armatury jsou zařízení, které v závislosti na požadavcích upravují průtok tekutiny změnou zdvihu armatury. Armatury mají hydraulický odpor, který je závislý na průřezu, tj. světlosti potrubí DN. Pro charakteristiku je využíván průtokový součinitel K_v [m^3/h] který značí průtok armaturou při jmenovitých podmínkách (tlakové ztrátě 1 bar, teplota vody 15 °C ...) [24]

Součinitel K_v vypočteme [24]:

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}} \quad [m^3/h] \quad (11.9)$$

kde

Q je objemový průtok armaturou [m^3/h]

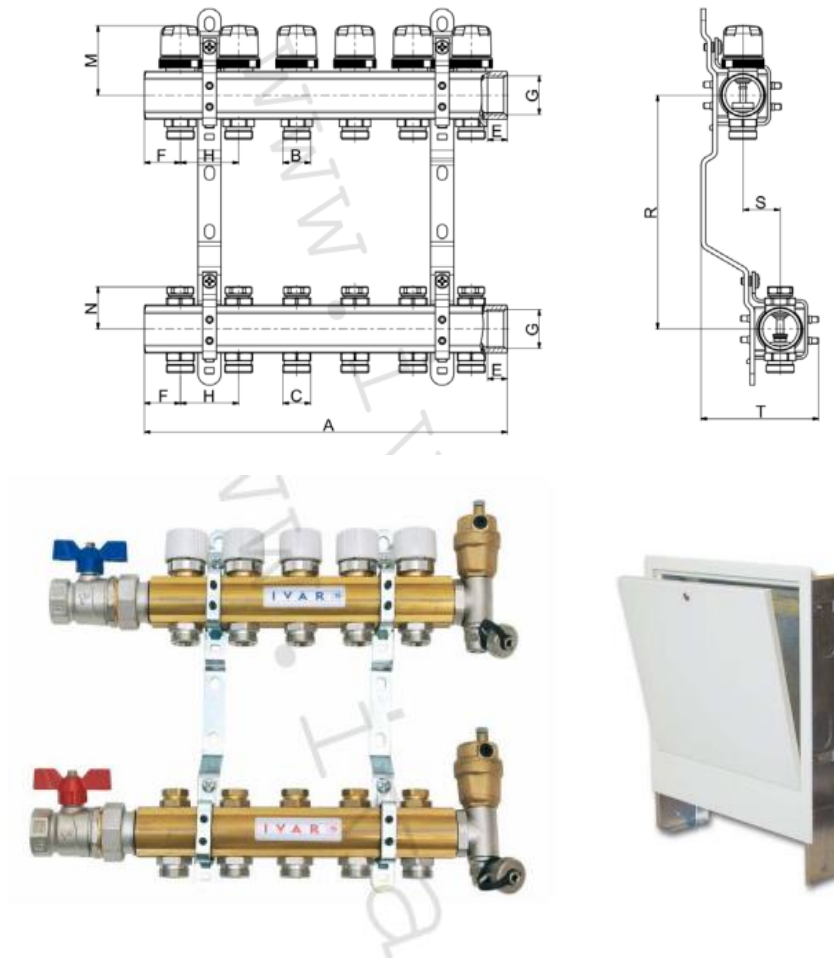
Δp je tlaková ztráta potrubního úseku [bar]

Hodnota při úplném otevření armatury je značena K_{vs} . [24]

Smyčky budou doškrcovány ke smyčce s nejvyšší tlakovou ztrátou, která bude mít všechny instalované armatury otevřené na maximum.

11.3.1. Rozdělovač

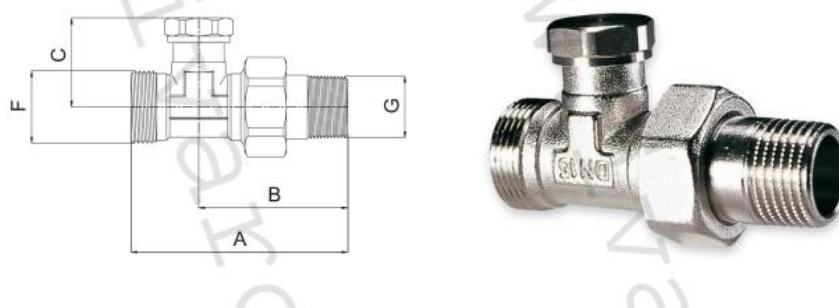
Obě patra budou osazena skříní s rozdělovačem a sběračem, konkrétně 5 - cestné rozdělovače. Celá sestava je již od dodavatele osazena kulovými uzávěry, odvodušňovacími ventily a vypouštěcími ventily. Rozdělovač je osazen integrovanými regulačními šroubeními a sběrač integrovanými uzavíracími ventily.



Obr 11-3 Schéma patrového rozdělovače se skříní [25]

Přímá regulační šroubení

Dodatečně budou na sběrač namontována přímá regulační šroubení pro přídavné škrcení průtoku. Šroubení budou pouze na smyčkách, kde je to nutné.



Obr 11-4 Schéma přímého regulačního šroubení IVAR.DD305/DN15 [26]

11.3.2. Souhrn hydraulického vyvážení smyček

V přízemí budou doškrcovány smyčky k otopnému hadu A3 (místnost č. 108) a v prvním patře k otopnému hadu B4 (místnost č. 206). Hydraulické vyvažování bylo provedeno tak, aby se v každém patře hodnoty tlakových ztrát smyček blížily smyčce s nejvyšší tlakovou ztrátou.

Souhrn je zobrazen na tabulce 11-2, podrobný výpočet v příloze (I).

Tab. 11-2 Hydraulické vyvažování otopných smyček

č.místnosti a smyčky	Tlaková ztráta místními odpory + třením [Pa]	Tlaková ztráta sběrače [Pa]	Tlaková ztráta rozdělovače [Pa]	Tlaková ztráta PRŠ [Pa]	Tlaková ztráta celkem [Pa]
104+112 - A1	1354	22	140	7161	8678
101 - A2	3931	39	1778	2533	8281
108 - A3	8585	78	73	0	8736
107 - A4	8082	165	425	0	8672
106 - A5	8527	89	102	0	8719
202+203 - B1	1336	19	2739	3020	7115
204- B2	717	7	3552	2193	6468
205 - B3	5488	111	1141	694	7435
206 - B4	7083	136	126	0	7344
201 - B5	4738	85	1959	530	7311

Nejvyšší rozdíl tlakových ztrát byl vypočten v druhém patře (13 %), a to mezi smyčkami B3 a B2, rozdíl je považován za vyhovující.

11.4. Návrh spojovacího potrubí a hydraulické vyvážení rozdělovačů

Veškerá rozvodná potrubí byla navržena z mědi metodou ekonomických rychlostí, do výpočtu byly zahrnuty tlakové ztráty místními odpory (kolena, náhlá zúžení, T-kusy). Rozvodné potrubí bude izolováno v souladu s požadavky vyhlášky č. 193/2007 Sb. [27]

11.4.1. Návrh potrubí metodou ekonomických rychlostí

Rozsah rychlostí proudění v potrubí metodou ekonomických rychlostí je pro teplovodní otopné soustavy s nuceným oběhem udávána 0,2 až 1 m/s [23]. Pro výpočet byla zvolena ekonomická rychlost proudění 0,6 m/s, vypočten průměr potrubí a zvolena nejbližší řada, následně byla přepočtena skutečná rychlost proudění. Tlakové ztráty třením a místními odpory byly vypočteny pomocí (11.3) a (11.8) a součinitel třecích ztrát opět pomocí přílohy (II). Potrubí bylo rozděleno na tři úseky:

- Spojovací potrubí č. 1 od rozbočení k rozdělovači v prvním patře
- Spojovací potrubí č. 2 mezi zdrojem a rozbočením mezi patrové rozdělovače
- Spojovací potrubí č. 3 od rozbočení k rozdělovači v přízemí

11.4.2. Hydraulické vyvažování rozdělovačů

Běžně bývají vyvažovány jednotlivé rozdělovače vůči sobě pomocí vyvažovacích ventilů, při výpočtu byl ale zjištěn rozdíl tlakových ztrát mezi patrovými rozdělovači 76 Pa (I). Takto nízký rozdíl není zapotřebí vyvažovat.

Přehled tlakových ztrát podlaží lze vidět v tabulce 11-3, podrobný výpočet v příloze (I).

Tab. 11-3 Hydraulické vyvažování rozdělovačů

	Tlaková ztráta podlaží [Pa]
Přízemí	12977
1. patro	13053
Rozdíl tlakových ztrát podlaží	76

11.5. Oběhové čerpadlo

Pro dopravní tlak oběhového čerpadla platí [22]:

$$\Delta p_{ZO} = \Delta p_C + \Delta p_\rho \text{ [Pa]}$$

Kde

Δp_{ZO} je celková tlaková ztráta okruhu [Pa]

Δp_C je dopravní tlak oběhového čerpadla [Pa]

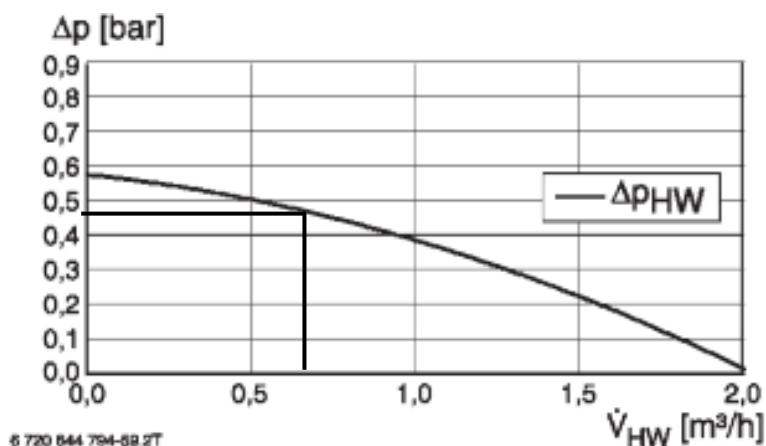
Δp_ρ je účinný vztlak v okruhu [Pa]

Vzhledem k výběru návrhu otopné soustavy nucené s nízkým teplotním spádem je malý rozdíl hustot a horizontálního rozložení (malý rozdíl výšek) je účinný vztlak několikanásobně nižší než dopravní tlak čerpadla, a tak uvažujeme hodnotu účinného tlaku v okruhu $\Delta p_\rho = 0 \text{ Pa}$ [22]

V této práci pouze zhodnotíme parametry oběhového čerpadla, které je integrované ve zvoleném tepelném čerpadle.

11.5.1. Oběhové čerpadlo Grundfos UPM 25-75

Tepelné čerpadlo je dodáváno s integrovaným oběhovým čerpadlem Grundfos UPM 25-75. Čerpadlo bude pouze zkontrolováno, zda je schopno dosáhnout dopravního tlaku dostatečného pro tlakovou ztrátu naší otopné soustavy. K tomu bude využit graf závislosti zbytkového dopravního tlaku na průtočném množství média [15]:



Obr 11-5 Graf pro odečtení zbytkového dopravního tlaku pro tepelné čerpadlo WLW 196i-4 AR S+ [15]

Pro průtokné množství 0,637 m³/h je z grafu odečtena hodnota zbytkového dopravního tlaku 0,46 bar (46 kPa), což je více než dostatečné pro pokrytí tlakové ztráty otopné soustavy o hodnotě 18,75 kPa. Čerpadlo je elektronicky regulováno na konstantní tlak.

12. NÁVRH ZABEZPEČOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Návrh expanzní nádoby bude proveden pomocí normy ČSN 12828/2014 [29]. Přestože je expanzní nádoba o objemu 10 l integrována v tepelném čerpadle, bude vypočten minimální objem expanzní nádoby a posouzeno, zda je integrovaná nádoba dostačující. V případě nedostačujícího objemu bude nainstalována nádoba dodatečná. Výpočet je prováděn pro tlakovou membránovou expanzní nádobu.

Pro výpočet je nejdříve zapotřebí spočítat objem otopné soustavy – potrubí, otopných hadů podlahového vytápění, trubkových otopných těles dle katalogu.

Následně bude určen expanzní objem dle vztahu [29]:

$$V_{ex} = V_{system} \cdot e \quad [m^3] \quad (12.1)$$

kde

V_{system} je celkový vodní objem otopné soustavy [m³]

e je součinitel zvětšení objemu, určí se pomocí rozdílu teploty maximální a minimální v otopné soustavě, minimální teplota je u teplovodní soustavy obvykle 10 °C, na základě rozdílu teploty je následně dle rozdílu hustot zjištěn součinitel zvětšení objemu [8]

Nejmenší jmenovitý objem expanzní nádoby se stanoví vztahem [29]:

$$V_{N,min} = (V_{ex} + V_{wr,min}) \cdot \frac{p_{fin} + 1}{p_{fin} - p_0} \quad [m^3] \quad (12.2)$$

kde

V_{ex} je expanzní objem z rovnice (12.1) [m³]

$V_{wr,min}$ je vodní rezerva, nádoby pod 15 l musí být navrženy s rezervou 20 % z expanzního objemu, nádoby nad 15 l s rezervou nejméně 0,5 % celkového vodního objemu soustavy, minimálně v obou případech 3 litry [m³]

p_{fin} je nejvyšší provozní přetlak, lze jej určit jako otevírací přetlak pojistného ventilu snížený o 50 kPa [kPa]

p_0 je nejnižší dovolený přetlak, tj. hydrostatický tlak vodního sloupce nad střední rovinou expanzní nádoby [kPa]

Nejnižší dovolený přetlak bude vypočten ze vztahu [29]:

$$p_0 = 1,1 \cdot \frac{\rho_w g h}{1000} [kPa] \quad (12.3)$$

kde

ρ_w je hustota otopné vody [kg/m³]

g je tíhové zrychlení [m²/s], $g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$

h je výška vodního sloupce nad střední rovinou expanzní nádoby [m]

12.1. Výpočet expanzní nádoby

Nejnižší dovolený přetlak je vypočten pro výšku 3,5 m vztahem (8.3)

$$p_0 = 1,1 \cdot \frac{991,26 \cdot 9,81 \cdot 3,5}{1000} = 37,44 \text{ kPa} \quad (12.4)$$

Nejvyšší provozní přetlak bude určen z otevíracího přetlaku pojistného ventilu, který je dle katalogu tepelného čerpadla [15] 3 bar = 300kPa. Nejvyšší provozní přetlak tedy bude navolen na 250 kPa.

Expanzní objem bude určen ze vztahu (12.1), součinitel zvětšení objemu bude zvolen pro maximální rozdíl teplot vody (55 °C a 10 °C):

$$V_{ex} = V_{system} \cdot e = 0,05928 \cdot 0,00401 = 0,2378 \text{ l}$$

Je předpokládána expanzní nádoba pod 15 l, je přidána tedy vodní rezerva 3 litry.

Výsledný minimální objem expanzní nádoby bude dopočítán dle vztahu (12.2):

$$V_{N,min} = (V_{ex} + V_{wr,min}) \cdot \frac{p_{fin} + 1}{p_{fin} - p_0} = (0,0002378 + 0,003) \cdot \frac{250 + 1}{250 - 37,44} = 3,83 \text{ l}$$

Objem nádoby vyšel výrazně nižší než objem integrované expanzní nádoby (10 l), do systému tedy nemusí být dokupována externí expanzní nádoba.

13. POTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE A NÁVRATNOST

V této části bude řešeno snížení ročních nákladů na vytápění. Pro řešení bude linearizována závislost příkonu podlahového vytápění a stupeň využití elektrických topných patron v otopných trubkových tělesech na venkovní teplotě a výkon tepelného čerpadla v závislosti na venkovní teplotě.

Průběh venkovní teploty během roku byl odečten z normy ČSN EN 730331-1 [34], která znázorňuje četnost teplot během kalendářních měsíců. Pro jednotlivé teploty byl určen topný faktor a výkon při výstupní teplotě z tepelného čerpadla 35 a 55 °C. Výpočet je proveden v příloze (I).

13.1. Vytápění

Potřeba elektrické energie tepelným čerpadlem byla řešena dle TNI 73 0351 [30]. Následně bylo určeno, zda je výkon tepelného čerpadla při dané venkovní teplotě dostatečný pro dodání příkonu otopné soustavě. V případě, že je výkon dostatečný, byl podělen topným faktorem při dané teplotě pro zjištění příkonu tepelného čerpadla (potřeby elektrické energie). V opačném případě byl k příkonu čerpadla připočten dodatečný příkon elektrokotle. K celkové potřebě byla také připočtena potřeba elektrické energie na provoz trubkových otopných těles s elektrickou patronou, modulovaných regulací pouze na dodávání chybějícího výkonu. Potřeba elektrické energie oběhového čerpadla není samostatně řešena, poměrná část příkonu je dle normy DIN EN 14825 [15] započtena v topném faktoru tepelného čerpadla WLW 196i-4 AR S+.

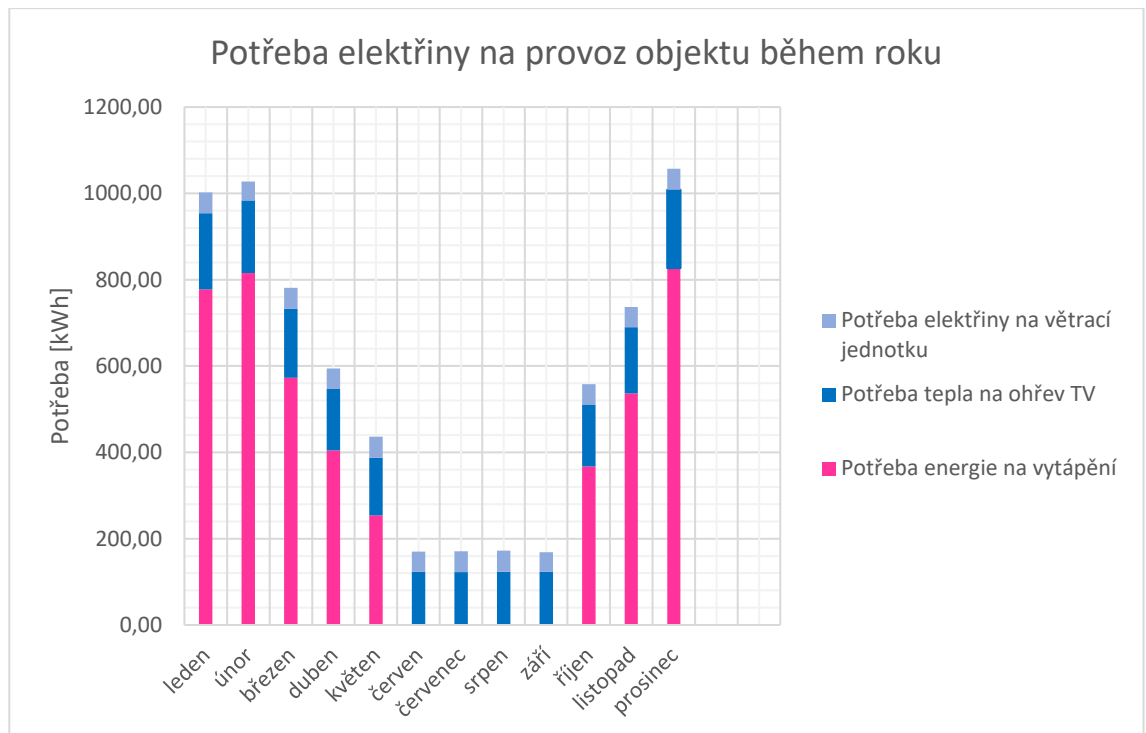
13.2. Ohřev teplé vody

U ohřevu teplé vody nelze zjistit spínání elektrokotle, jelikož nejsou dostupné přesné údaje o průběhu teplot během dne, a tedy ani teploty při spínání zdroje k ohřevu teplé vody. Bude uvažováno, že je denní ohřev vody na 55 °C rozložen do celého dne a že je potřeba vody konstantní po celý rok.

13.3. Větrací jednotka s rekuperací

Větrací jednotka s rekuperací je bez elektrického doohřevu, její příkon tedy tvoří pouze ventilátory. Z dat výrobce je příkon při maximálních otáčkách ventilátorů 182 W spotřeba ventilátorů je určena měrným příkonem ventilátoru SFP. V práci bude z charakteristiky výrobce uvažován SFP 1W/l/s, tedy příkon při nízké tlakové ztrátě 45 W a doba provozu celoroční.

13.4. Potřeby energie během roku



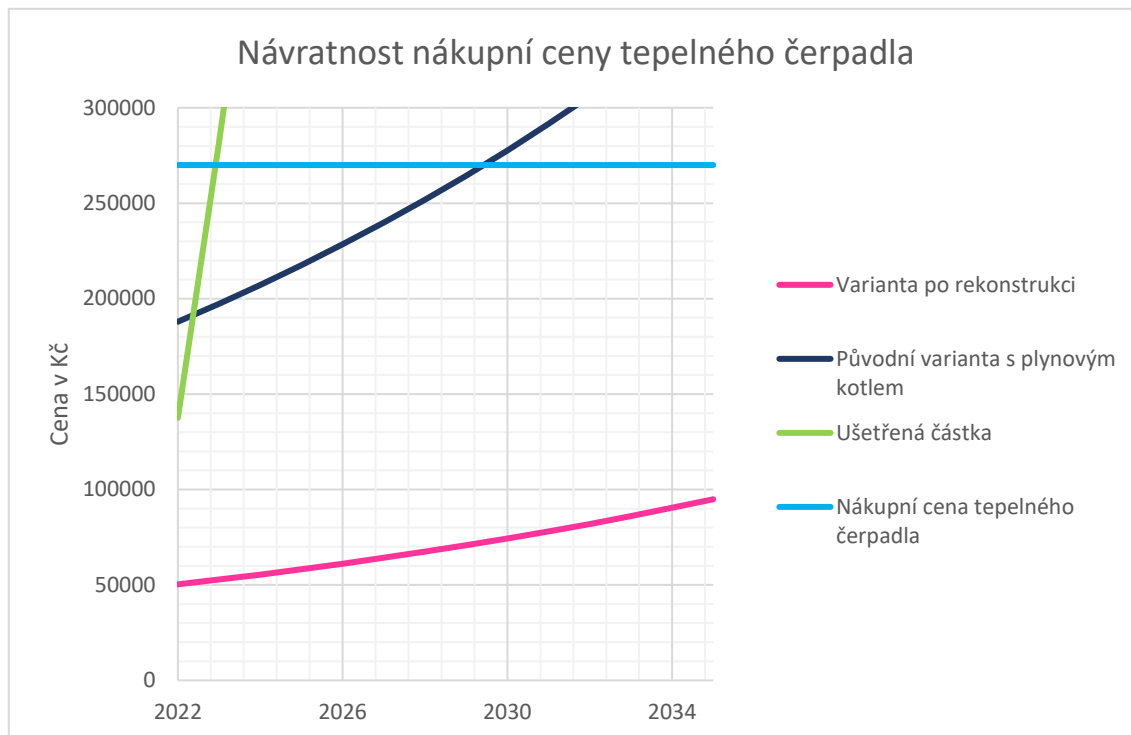
Obr 13-1 Grafické znázornění potřeby energie na vytápění a větrání během roku

Celková potřeba elektrické energie se pohybuje na hodnotě 6874 kWh. Hodnotu je stále zapotřebí brát s rezervou – nejsou brány v potaz tepelné ztráty v rozvodech pro vytápění, přepínání zdroje mezi vytápěním a ohřevem teplé vody, změna potřeby teplé vody během roku, setrvačnosti náběhu a chladnutí otopných ploch, zvýšení výkonu ventilátorů při nárazovém větrání...

13.5. Návratnost investice do tepelného čerpadla

Návratnost bude řešena vzhledem k původnímu sestavení otopného systému před rekonstrukcí, tj. objektu bez izolace s původními okny a dveřmi, bez centrální větrací jednotky, s deskovými a trubkovými otopnými tělesy a plynovým kotlem s plynovým zásobníkem TV.

Celková roční potřeba zemního plynu byla 4900 m³, tj. 51695 kWh na vytápění i ohřev teplé vody za celý rok. Oproti tomu je na navržené řešení potřeba 6874 kWh elektrické energie. Dle lokace objektu budou odečteny ceny energií z ceníku ČEZ se smlouvou na 3 roky [31] [32], pro elektřinu konkrétně tarif D56d. Bude předpokládán roční nárůst cen o 5 %. Do celkové ceny budou zahrnuty poplatky za distribuci, jističe. V potaz nebude brán pokles ceny elektřiny v nízkém tarifu.



Obr 13-2 Grafické znázornění růstu ceny roční potřeby energie a návratnost nákupní ceny tepelného čerpadla WLW 196i-4 AR S+

Graf vyobrazuje růst ročních nákladů variant před rekonstrukcí a po rekonstrukci (černá a růžová křivka) a rozdílovou roční částku ušetřenou variantou po rekonstrukci (zelená křivka). Po rekonstrukci by náklady na energie klesly až o 70 %. Návratnost čistě kupní ceny tepelného čerpadla by byla do 2 let (průnik křivky roční ušetřené částky a nákupní ceny tepelného čerpadla). To samozřejmě nezahrnuje celkovou rekonstrukci, která bude přesahovat částku 1000 000 Kč. S návratností celkové investice bychom mohli počítat do 10 let, nápomocna tomu bude i „Nová zelená úsporám“, o kterou je možno pro objekt zažádat, a to v oblastech zateplení objektu, výměny zdroje tepla a zřízení větrání s rekuperací.

14. ZÁVĚR

Pro práci byl vybrán objekt, k němuž byly přepracovány výkresy s aktualizovanou strukturou konstrukce tak, aby byly splněny nároky na tepelné ztráty dle normy ČSN 73 0540-2. Cílem bylo snížení tepelných ztrát tak, aby klesly náklady na potřebu energií vzhledem k předchozímu řešení, a to bylo také provedeno. Tepelná ztráta objektu klesla z 16,3 kW na 3,9 kW. Včetně tepelných ztrát bylo také navrženo nucené větrání s centrální rekuperační jednotkou. V práci byly popsány různá řešení rozložení potrubní sítě, materiály potrubí, otopná tělesa a otopné plochy a způsoby jejich zapojení. Na základě nízkých tepelných ztrát (3,9 kW) bylo navrženo vytápění podlahovými otopnými plochami na mokrý způsob v kombinaci s trubkovými otopnými tělesy s topnou patronou s nízkoteplotním zdrojem tepla – tepelným čerpadlem vzduch-voda. U podlahového vytápění nebude navrženo směšování vody v rozdělovačích – je počítáno s konstantním teplotním spádem a střední teplotou otopné vody – 32/27 °C a střední teplotou 29,5 °C. Díky tomu se pohybuje střední povrchová teplota podlahy při nízké rozteči v obytných

prostorách mezi 25 a 26 °C a v koupelnách kolem 27 °C a bylo možné rozložit otopnou plochu po celých místnostech. Nízký teplotní spád byl zvolen mj. také proto, aby vzrostl hmotnostní průtok jednotlivých otopných smyček a bylo možné snadněji škrtit hmotnostní průtoky jednotlivých okruhů. Přesto bylo velmi obtížné vyrovnat okruhy v jednotlivých patrech, konkrétně koupelny, a tak jsou tyto okruhy nestandardně spojeny s otopnými smyčkami na chodbách. Toto řešení usnadnilo závěrečné doškrcování vzhledem k okruhu s nejvyšší tlakovou ztrátou v každém patře. Řešení tlakových ztrát třením proběhlo ve výpočetním programu MatLab, tlakové ztráty místními odpory u otopných hadů nebyly řešeny, u spojovacího potrubí byly připočteny dle tabulek a katalogů výrobce. Na základě příkonů otopných hadů bylo dle výrobce Buderus vybráno tepelné čerpadlo vzduch-voda WLW 196i-4 AR S+. Jedná se o tepelné čerpadlo s nejnižším výkonem (4,1 kW při -12 °C) od tohoto výrobce. Tepelné čerpadlo bude zprostředkovávat také ohřev teplé vody pro domácnost, a to spínáním ohřevem na 55 °C. Spínání ohřevu bude probíhat pomocí trojcestného směšovacího ventilu, a to v intervalech tak, aby pokryl denní odběr teplé vody převzatý z normy ČSN 15 316-3-1. Křivka byla navržena s rezervou tak, aby byla funkční i při nižších teplotách a bylo tak sníženo spínání elektrických topných tyčí integrovaných v tepelném čerpadle pro doohřev. Integrovaný zásobník 190 l se dle výpočtu jeví jako dostačující. Dále byla zkontrolována integrovaná expanzní tlaková nádoba na objem vody v soustavě a vyvozen závěr, že expanzní nádoba o objemu 10 l je pro soustavu více než dostatečná. V poslední řadě došlo na hodnocení oběhového čerpadla, které je schopno na svou zbytkovou dopravní výšku 46 kPa s velkou rezervou fungovat (tlaková ztráta otopné soustavy 18,75 kPa). Na závěr byla vypracována roční potřeba elektřiny na provoz otopné soustavy a rekuperace. Analýza byla provedena dle četnosti teplot v jednotlivých dnech, na kterých bude tepelné čerpadlo provozováno. Započteno bylo jak spínání koupelnových otopných těles s elektrickou topnou patronou, tak i integrovaného elektrokotle a spotřeba ventilátorů rekuperační jednotky. Hodnoty topných faktorů a výkonu čerpadla byly linearizovány, potřeba teplé vody na ohřev byla počítána konstantní po celý rok, stejně tak využití výkonu ventilátorů z větrací jednotky. Celková spotřeba byla vypočtena na 7 MWh elektrické energie, rekonstrukcí objektu tak bylo docíleno výrazného poklesu potřeb energie. Využití čistě elektrické energie na provoz domácnosti umožňuje výběr výhodnějšího tarifu pro odběr elektřiny a budoucí možné napojení systému na fotovoltaické panely vedoucího k vyšší soběstačnosti budovy.

15. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov: Výpočet tepelného výkonu*. 2018. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [2] ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [3] ZMRHAL, Vladimír. *Tepelná ztráta větráním podle ČSN EN 12831-1: Oborový projekt II*. Dostupné také z: <http://users.fs.cvut.cz/vladimir.zmrhal/language/cs/vyuka/oborovy-projekt-ii/>
- [4] BAŠTA, Jiří a Karel KABELE. *Otopné soustavy teplovodní*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2001. ISBN 80-02-01426-X.
- [5] BAŠTA, Jiří. *Topenářská příručka: 120 let topenářství v Čechách*. Praha: GAS, 2001. ISBN 80-861-7681-9.
- [6] BAŠTA, Jiří. *Technika prostředí: Prezentace z předmětu*. ČVUT, 2021.
- [7] BAŠTA, Jiří a Ondřej HOJER. *Sálavé a průmyslové vytápění*. Praha: ČVUT, 2021. ISBN 978-80-01-06814-4.
- [8] BAŠTA, Jiří. *Otopné plochy - otopná tělesa*. 2. přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05943-2.
- [9] DUFKA, Jaroslav. *Základy podlahového vytápění a chlazení. Část 1. Typické vlastnosti a zdroje tepla. Vytápění TZB-info [online]*. 2019, 2019 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/19093-zaklady-podlahoveho-vytapani-a-chlazení-cast-1-typicke-vlastnosti-a-zdroje-tepla#:~:text=Doporu%C4%8Duje%20se%2C%20aby%20podlahov%C3%A9%20vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD,a%C5%BE%2080%20kWh%2Fm2>.
- [10] BOHÁČ, Jindřich. *Základy sálavého vytápění, podlahová otopná plocha - část 1*.
- [11] REHAU, S.R.O. *Plošné vytápění/chlazení-technické informace: Rehau*. Rehau, 2015. Dostupné také z: <https://www.rehau.com/downloads/752370/plosne-vytapani-chlazení.pdf>
- [12] VAVŘIČKA, Roman. *Použité vzorce pro výpočty programu PV_1.1 [online]*. [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/index.html>
- [13] BOHÁČ, Jindřich. *Základy sálavého vytápění, podlahová otopná plocha - část 3- Návrh*.
- [14] BAŠTA, Jiří. *Podlahové vytápění (III). Vytápění TZB-info [online]*. 2006, 2006 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/3449-podlahove-vytapani-iii>

- [15] Planungsunterlage für den Fachmann. *Https://productsat.buderus.com* [online]. Buderus, 2017, 2017 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: https://productsat.buderus.com/buderus/productsat.buderus.com/zusatzliche-dokumente/planungsunterlage_wlw196i.pdf
- [16] VAVŘIČKA, Roman. Potřeba tepla pro přípravu teplé vody. *Vytápění TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/9395-potreba-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [17] VAVŘIČKA, Roman a Matěj MAZUR. Příprava teplé vody v obytných budovách. *Vytápění TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/14864-priprava-teple-vody-v-obytnych-budovach>
- [18] *IN POČASÍ: archiv* [online]. 2022 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/archiv/>
- [19] BARTUSEK, Jiří. *DYNAMIKA TOPNÝCH PLOCH A TĚLES VČETNĚ REGULAČNÍCH VENTILŮ*. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce JOSEF ŠTĚTINA.
- [20] VAVŘIČKA, Roman. Tepelné čerpadlo a příprava teplé vody. *Vytápění TZB-info* [online]. 2015, 2015 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13610-tepelne-cerpadlo-a-priprava-teple-vody>
- [21] VAVŘIČKA, Roman. Metody návrhu zásobníku teplé vody. *Vytápění TZB-info* [online]. 2011 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/#:~:text=Skute%C4%8Dn%C3%A9%20mno%C5%BEstv%C3%AD%20pot%C5%99eby%20TV%20na,m3%2Fosoba%E2%88%99den>.
- [22] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2808-9.
- [23] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK. *Výpočtové tabulky pro vytápění, vztahy a pomůcky*. Praha: STP, 2001.
- [24] DOUBRAVA, Jiří, Vlastimil DYTRT, Vladimír MAREK, Oldřich NOVOTNÝ, Tomáš SUCHÁNEK a Milan ŠALDA. *Regulační armatury*. Čtvrté upravené vydání. Česká Třebová: LDM, spol. s r.o., 2006.
- [25] *IVAR CS: SESTAVA ROZDĚLOVAČ/SBĚRAČ - VČETNĚ SKŘÍNĚ* [online]. IVAR CS spol. s r.o., 2018 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/katalog/vytapani-ivartrio/sestava-rozdelovac-sberac-vcetne-skrine-p139911/>
- [26] *IVAR CS: REGULAČNÍ ŠROUBENÍ PŘÍMÉ* [online]. IVAR CS, spol. s r.o., 2020 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/katalog/vytapani-ivartrio/regulacni-sroubeni-prime-p139487/>
- [27] ČR. Vyhláška, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. In: *Sbírka zákonů*. Praha, 2007, ročník 2007, 193/2007.

[28] IVAR CS - VYVAŽOVACÍ VENTIL: IVAR CS [online]. IVAR CS, spol. s r.o., 2020 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.ivarcs.cz/katalog/vytapeni-ivartrio/vyvazovaci-ventil-p140102/>

[29] BAŠTA, Jiří. Návrh tlakové membránové expanzní nádoby podle ČSN EN 12828/2014. *Vytápění TZB-info* [online]. 2020 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/20865-navrh-tlakove-membranove-expanzni-nadoby-podle-csn-en-12828-2014>

[30] MATUŠKA, Tomáš. *Technické normalizační informace* [online]. RP2 – Energetické systémy budov Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, 2014, 2014 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/5393335-Technicke-normalizacni-informace-tni-73-0302-revize-2014-solarni-soustavy-tni-73-0351-nova-2014-tepelna-cerpadla.html>

[31] ČEZ PLYN: CENÍK [online]. In: 2022 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/firmy/cs/plyn.html>

[32] ČEZ ELEKTRINA: CENÍK [online]. In: 2022 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/firmy/cs/elektrina.html>

[33] ČSN 15665/Z1. *Stanovení výkonných kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Praha: ÚNMZ, 2009.

[34] BAŠTA, Jiří. Otopné plochy - úvod do problematiky. *Vytápění-TZB info* [online]. 2006, 2006 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>

[35] *Ventillation systems: VENTS VUT 300 HBE EC A21* [online]. [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://ventilation-system.com/product/vents-vut-300-hb-ec-a21>

[36] *Kapilární rohože v praktických aplikacích* [online]. 2009 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/5574-kapilarni-rohoze-v-prakticky-ch-aplikacich>

[37] *Plošné vytápění a chlazení REHAU: systémová deska VARIONOVA (I)* [online]. 2012 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: [https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapeni/8809-plosne-vytapeni-a-chlazení-rehau-systemova-deska-varionova-i#:~:text=Plo%C5%A1n%C3%A9%20vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD%20a%20chlazen%C3%AD%20REHAU%20%2D%20syst%C3%A9mov%C3%A1%20deska%20VARIONOVA%20\(I\),-11.7.20](https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapeni/8809-plosne-vytapeni-a-chlazení-rehau-systemova-deska-varionova-i#:~:text=Plo%C5%A1n%C3%A9%20vyt%C3%A1p%C4%9Bn%C3%AD%20a%20chlazen%C3%AD%20REHAU%20%2D%20syst%C3%A9mov%C3%A1%20deska%20VARIONOVA%20(I),-11.7.20)

[38] ČSN 73 0331-1. *Energetická náročnost budov: Typické hodnoty pro výpočet - Část 1: Obecná část a měsíční výpočtová data*. ÚNMZ, 2011.

[39] WEALE, John, Peter RUMSEY, Dale SARTOR a Lee ENG LOCK. *Low pressure HVAC design for laboratories* [online]. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2007 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: https://www.i2sl.org/documents/toolkit/bp_lowpressure_508.pdf

[40] ISOVER EPS 70F: Saint-Gobain Insulation Products. In: *Saint-Gobain Insulation Products* [online]. 2019 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/en/products/isover-eps-70f>

[41] ISOVER EPS 100: Saint-Gobain Insulation Products. In: *Saint-Gobain Insulation Products* [online]. 2019 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/en/products/isover-eps-100#descriptions>

[42] ISOVER Uni: Saint-Gobain Insulation Products. In: *Saint-Gobain Insulation Products* [online]. 2019 [cit. 2022-06-23]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/en/products/isover-uni>

16. SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I Výpočtový excel

Příloha II Výpočtový program součinitele třecích ztrát

Příloha III Stavební výkresová dokumentace budovy

Příloha IV Výkresová dokumentace vytápění

Příloha V Rozvinuté schéma

Příloha VI Schéma technické místnosti

Příloha VII Výkresová dokumentace větrání budovy (předběžný návrh)