ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

MATĚJ KOUDELA 9-BS-2016

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

REVIZE SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ REKREAČNÍHO OBJEKTU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

MATĚJ KOUDELA 9-BS-2016

Souhrn

Bakalářská práce je zaměřena na revizi a případný návrh rekonstrukce vytápění rekreačního domu. Cílem je navrhnout optimálnější a komfortnější řešení. Navržena bude horizontální dvoutrubková protiproudá uzavřená nízkoteplotní otopná soustava se spodním nuceným oběhem vody. Otopná tělesa kromě koupelen budou navržena desková s co největším podílem sálavé složky. Do koupelen pak budou zvolena trubková otopná tělesa. Objekt bude vytápěn zemním plynem za pomoci plynového kondenzačního kotle s nepřímo ohřívaným zásobníkem teplé vody.

Summary

This bachelor thesis is focused on the revision and prospective project of reconstruction of heating in a recreational property. The aim of the thesis is to design preferable and more comfortable solution of the heating system. Horizontal two-pipe counter flow low-temperature heating with a lower forced circulation of water will be designed for the house. The board heaters with the biggest possible percentage of radiant component will be proposed for all rooms, with the exception of bathrooms. The bathrooms will be heated with pipe heating units tubular radiators. The whole building will be heated using a condensing gas boiler with an indirectly heated hot water tank.

Prohlášení

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

V Praze dne 1. 5. 2016 Matěj Koudela

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Jindřichu Boháčovi, Ph.D. za trpělivost a lidský přístup, který po celou dobu mé bakalářské práce měl, za jeho rady a čas. A také bych rád poděkoval celé své rodině za podporu a možnost studovat.

Praha, červen 2016 Matěj Koudela

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH SYMBOLŮ, VELIČIN A JEDNOTEK 7

1 ÚVOD 10

2 POPIS OBJEKTU 11

2.1 STÁVAJÍCÍ KONSTRUKCE OBJEKTU 13
2.2 STÁVAJÍCÍ SYSTÉM VYTÁPĚNÍ 14
2.3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT 17

3 NAVRHOVANÁ OTOPNÁ SOUSTAVA 21

3.1 VOLBA OTOPNÉ SOUSTAVY 21
3.2 VOLBA TEPLOTNÍHO SPÁDU 24
3.3 NOVÉ UMÍSTĚNÍ OTOPNÝCH TĚLES 24
3.4 NÁVRH OTOPNÝCH TĚLES 26
3.5 TLAKOVÉ ZTRÁTY NOVĚ NAVRŽENÉ POTRUBÍ SÍTĚ 33
3.6 HYDRAULICKÉ VYVÁŽENÍ OTOPNÉ SOUSTAVY 36

4 ZDROJ TEPLA 38

4.1 VOLBA PALIVA 38
4.2 NÁVRH VÝKONU ZDROJE 38
4.2.1 Stanovení velikosti a výkonu ohřívače TV 38
4.2.2 Stanovení potřebného výkonu 40
4.3 VOLBA ZDROJE TEPLA 41

5 POJISTNÉ A ZABEZPEČOVACÍ ZAŘÍZENÍ 43

5.1 NÁVRH TLAKOVÉ EXPANZNÍ NÁDOBY 43

6 OBĚHOVÉ ČERPADLO 45

6.1 NÁVRH OBĚHOVÉHO ČERPADLA 45

7 ROČNÍ NÁKLADY NA PALIVO 47

7.1 POTŘEBA TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ 47
7.2 POTŘEBA TEPLA PRO PŘÍPRAVU TV 48
7.3 POTŘEBA PALIVA 49

8 REGULACE 50

9 INVESTIČNÍ NÁKLADY 51

ZÁVĚR 52

POUŽITÉ ZDROJE: 55

SEZNAM PŘÍLOH: 57

Přehled použitých symbolů, veličin a jednotek

Veličina	Jednotka	Význam
c	[-]	teplotní podílový součinitel
c_{voda}	[J/kg.K]	měrná tepelná kapacita vody
c_{vzd}	[J/kg.K]	měrná tepelná kapacita vzduchu
d	[m]	průměr potrubí
d	[den]	počet dnů v otopném období
d_L	[den]	počet dní přípravy TV v létě
d_Z	[den]	počet dní přípravy TV v zimě
e_d	[-]	opravný součinitel na zkrácení doby provozu
e_i	[-]	opravný součinitel na nesouměrnost přirážek
e_t	[-]	opravný součinitel na smíšení vnitřní teploty
f	[-]	opravné součinitele
f_n	[-]	opravný součinitel na počet článku
f_o	[-]	opravný součinitel na úpravu okolí OT
f_p	[-]	opravný součinitel na umístění ve vytápěném prostoru
$f_{\Delta T}$	[-]	opravný součinitel na teplotní rozdíl
$f_{\delta t}$	[-]	opravný součinitele na ochlazení vody
g	[m/s^2]	tíhové zrychlení
l	[m]	délka potrubí
h	[m]	výška vod. sloupce od EN do nejvyššího místa OT
$\dot{m}$	[kg/h]	hmotnostní průtok
n	[-]	teplotní exponent otopného tělesa
n	[1/h]	intenzita větrání
n	[-]	součinitel zvětšení objemu
p_1	[-]	přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn
p_2	[-]	přirážka na urychlení zátopu
p_3	[-]	přirážka na světovou stranu
p	[-]	přirážka na teplené ztráty v rozvodu
p_B	[kPa]	barometrický tlak
$p_{d,dov,A}$	[kPa]	nejnižší dovolený absolutní tlak
$p_{h,dov,A}$	[kPa]	nejvyšší dovolený absolutní tlak
s_i	[m]	tloušťka konstrukce
t_1	[°C]	teplota vstupní vody do zásobníku TV
t_2	[°C]	teplota výstupní vody ze zásobníku TV
$t_{2,léto}$	[°C]	teplota studené vody v létě
$t_{2,zima}$	[°C]	teplota studené vody v zimě

t_e	[°C]	venkovní výpočtová teplota
t_{es}	[°C]	průměrná venkovní teplota za otopné období
t_i	[°C]	vnitřní výpočtová teplota
t_{is}	[°C]	průměrná vnitřní teplota objektu
t_{w1}	[°C]	teplota vstupní vody
t_{w2}	[°C]	teplota výstupní vody
w	[m/s]	střední průtoková rychlost
z	[-]	součinitel ztráty vedením tepla
B	[$Pa^{0,67}$]	charakteristické číslo budovy
DN	[mm]	světlost potrubí
H	[m]	dopravní výška čerpadla
H_u	[MJ/m^3]	výhřevnost paliva
M	[-]	charakteristické číslo místnosti
N	[dny]	počet dnů v roce
Q	[W]	přenášený tepelný výkon
Q	[W]	celková tepelná ztráta
Q_0	[W]	základní tepelná ztráta
Q_{1p}	[kWh/den]	potřeba tepla během dne
Q_{2p}	[kWh/den]	celkový odběr tepla
Q_{2Z}	[kWh/den]	ztráta vedením tepla
$Q_{d,celk}$	[J/rok]	celková roční potřeba tepla
$Q_{d,skut}$	[J]	skutečná potřeba tepla
$Q_{d,teor}$	[J]	teoretická potřeba tepla na vytápění za otop. období
$Q_{d,TV}$	[MJ/rok]	potřeba tepla na přípravu TV za rok
$Q_{d,TV,den}$	[MJ/rok]	potřeba tepla na přípravu TV za den
Q_k	[kW]	potřebný výkon kotle
Q_{max}	[kW]	maximální potřebná teplota
$Q_{n,OT}$	[W]	nominální výkon otopného tělesa
Q_p	[W]	tepelná ztráta prostupem
$Q_{sk,OT}$	[W]	skutečný výkon tělesa
$Q_{těleso}$	[W]	výkon tělesa
Q_C	[kW]	potřebný výkon
Q_{TV}	[kW]	potřebný výkon zásobníku
Q_V	[W]	tepelná ztráta větráním
Q_{VYT}	[kW]	potřebný výkon na pokrytí tepelné ztráty
R	[Pa/m]	měrná tlaková ztráta
S_j	[m^2]	povrch všech stěn obklopujících místnost
U	[$W/m^{2.}K$]	součinitel prostupu tepla

U_c	[W/m^2.K]	souč. přestupu tepla dané místnosti
$U_{d,celk}$	[m^3/rok]	celková roční potřeba paliva
U_d	[m^3/rok]	roční potřeba paliva na vytápění
$U_{d,TV}$	[m^3/rok]	roční potřeba paliva na přípravu TV
V_{2p}	[m^3/den]	celková potřeba teplé vody
$\dot{V}$	[m^3/s]	objemový průtok větracího vzduchu
V_m	[m^3]	objem vzduchu v místnosti
V_z	[l]	objem zásobníku teplé vody
V_{EN}	[m^3]	objem tlakové expanzní nádoby
V_{OS}	[m^3]	objem vody v otopné soustavě
Z	[Pa]	tlaková ztráta místními odpory
α_e	[W/m^2.K]	souč. přestupu tepla na venkovní straně
α_i	[W/m^2.K]	souč. přestupu tepla na vnitřní straně
ε	[-]	relativní drsnost
ε	[-]	korekční součinitel
ξ	[-]	Součinitel místního odporu
η	[-]	stupeň využití expanzní nádoby
η_K	[-]	účinnost kotle
η_O	[-]	účinnost obsluhy
η_R	[-]	účinnost rozvodů energie
λ	[-]	součinitel tření
λ_i	[W/m.K]	součinitel tepelné vodivosti
ρ	[kg/m^3]	hustota tekutiny
ρ_{voda}	[kg/m^3]	hustota vody
ρ_{vzd}	[kg/m^3]	hustota vzduchu
Δp_c	[Pa]	celková tlaková ztráta
$\Delta p_č$	[Pa]	dopravní tlak čerpadla
Δp_{mz}	[Pa]	místní tlaková ztráta
Δp_{zt}	[Pa]	tlaková ztráta třením
Δp_{ZO}	[Pa]	celková tlaková ztráta okruhu
Δp_ρ	[Pa]	účinný vztlak okruhu
Δt	[K]	skutečný (projektovaný) rozdíl teplot
Δt_n	[K]	jmenovitý rozdíl teplot
ΔQ_{max}	[kWh]	maximální potřeba tepla

1 Úvod

Oheň byl pro člověka odjakživa důležitý pro zahřátí, aby v zimě neumrzl. V dnešním světě umíme oheň ovládat a s jeho pomocí můžeme své bydlení udělat tepelně pohodlné a příjemné. Dnes nám k tomu slouží otopné soustavy, které jsou složeny ze zdroje tepla, otopných těles, potrubí, teplonosné látky, čerpadla, pojistného a zabezpečovacího zařízení. Zdroj tepla je část otopné soustavy, kde nám může být oheň dobrým sluhou. Nesmíme ale zapomínat, že umí být i špatný pán. A proto při projektování nesmíme nic podcenit nebo zanedbat. Následky mohou být katastrofální.

Cílem bakalářské práce je zrevidovat a zlepšit vytápění rekreačního objektu. Navrhnout takové řešení, které by majiteli nejvíce vyhovovalo. V práci bude na začátku každé problematiky teoretický úvod a pak ukázka změny nebo informační tabulka či obrázek pro představu, co se v dané problematice vyřešilo. Popis jednotlivých kroků ukáže, jak lze daného cíle dosáhnout.

2 Popis objektu

Obr. 2.1: Řešený objekt

Objektem je rekreační dům (chalupa), který slouží k volným chvílím majitelů. Osoby jsou tedy přítomny hlavně o víkendech, svátcích, prázdninách a dovolených. Objekt se nachází nedaleko Kolína a je orientován na sever, venkovní výpočtová teplota je -12 °C. Délka otopného období je 226 dní a průměrná venkovní teplota za otopné období je 4,4 °C. Charakteristické číslo budovy je 4 – Osaměle stojící budova v nechráněné poloze v normální krajině. Dříve to byl malý objekt, který byl postaven pouze z vepřovic a který měl jen přízemí. Dohromady měl dvě světnice plus malou koupelnu a kuchyň s předsíňkou. Objekt se v roce 2004 rekonstruoval. Zůstaly pouze dvě malé světnice z vepřovic v přízemí. Zbytek objektu byl přistaven z keramických tvárnic. Objekt má nyní podlahovou plochu 210 m^2 a je postaven do tvaru písmene L. Má relativně nízkou stropní výšku - cca 2,2 m. V přízemí najdeme ložnici a malý obývací pokoj. V obývacím pokoji je krbová vložka. Tyto místnosti jsou pozůstatek bývalého objektu. Dále se zde nachází koupelna s toaletou, kuchyň a velká vstupní hala, kde je umístěna druhá krbová vložka a kde se obyvatelé pohybují nejvíce. Poslední místnost

v přízemí je technická. Když vyjdeme schodištěm nahoru do prvního patra, ocitneme se v malé chodbě, která není vytápěna přímo vlastním OT. Zbytek prvního patra tvoří dvě ložnice, pracovna, velký obývací pokoj a koupelna. Dohromady má objekt 12 místností, z toho 2 jsou nevytápěné. To je technická místnost a koupelna v prvním patře, která ještě není dokončena. Krbové vložky jsou nezávislé na otopné soustavě. Obě dvě jsou v přízemí a slouží jako zpříjemňující prvek a k vytápění zmíněné chodby. Každá má 14 kW, takže mohou částečně nahradit otopnou soustavu. Slouží i k rychlému zátopu. Nejmenší hygienická intenzita výměny vzduchu 0,5 1/h je zajištěna přirozeným větráním a infiltrací.

2.1 Stávající konstrukce objektu

Objekt je postaven na základové betonové desce s tloušťkou 500 mm, ne však objekt celý, pouze jeho nová část. Tato část má pod sebou ještě štěrkopískový násyp. Stará část domu má jen betonové patky a základ pod podlahu tvoří násyp štěrku, hlíny a asfaltové škváry. Dohromady má tato vrstva 150 mm. Venkovní stěny domu jsou postaveny z vepřovic resp. pálených keramických tvárnic. Tloušťka vepřovic je 600 mm a keramická tvárnice je 400 mm silná. Téměř všechny stěny domu, až na jednu, jsou izolovány polystyrenem o tloušťce 50 mm. Neizolovaná je severní stěna, která tvoří hranici pozemku. Poslední vnější vrstva je perlitová omítka. Vnitřní stěny jsou v přízemí tvořeny z keramických tvárnic nebo pálených cihel. V prvním patře jsou tvořeny sádrokartonem. Střecha je zaizolována minerální vlnou o tloušťce 50 mm, hydroizolací a je osazena taškami Bramac. Objekt má dřevěná okna s dvojsklem a dřevěné vchodové dveře vyrobené truhlářem. Pro kompletní představu o technických parametrech budovy nám poslouží tabulka 2.1, která porovnává skutečný stav s hodnotami požadovanými normou ČSN 73 0540-2. Požadované hodnoty byly zvoleny vzhledem k rekreačnímu charakteru objektu.

Tabulka 2.1: Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce

Konstrukce	U [W/m^{2}K]	
	Reálné	Požadované
Venkovní stěna z vepřovic s polystyrenem	0,544	0,38
Venkovní stěna z vepřovic bez polystyrenu	1,378	0,38
Venkovní stěna z keramický tvárnic s polystyrenem	0,231	0,38
Nová podlaha	0,606	0,6
Původní podlaha	0,588	0,6
Vnitřní stěna z pálených cihel	2,257	1,3
Střecha	0,651	0,38
Okna	2,4	1,2
Vchodové dveře	4	1,2

Jednotlivé hodnoty prostupu tepla byly počítány podle vzorce:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_1^n \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (2.1),$$

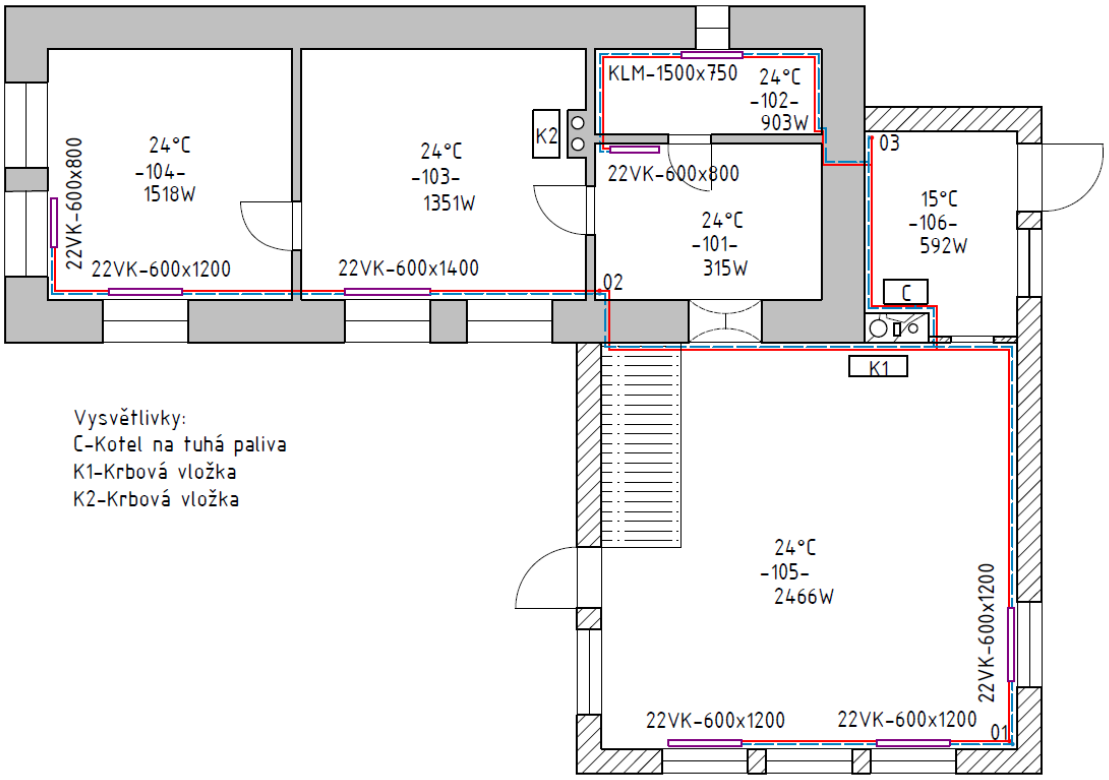
kde: α_i [W/m^2.K] je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně;
α_e [W/m^2.K] součinitel přestupu tepla na venkovní straně;
s_i [m] tloušťka konstrukce;
λ_i [W/m.K] součinitel tepelné vodivosti.

Majitel objektu v současné době ani v blízké budoucnosti neuvažuje o zlepšení technických vlastností obálky objektu. Tepelné ztráty budou počítány s reálnými vlastnostmi, které v současné době objekt má. Na konci práce je pak uvedeno doporučení a opatření pro zlepšení tepelně-technických vlastností objektu.

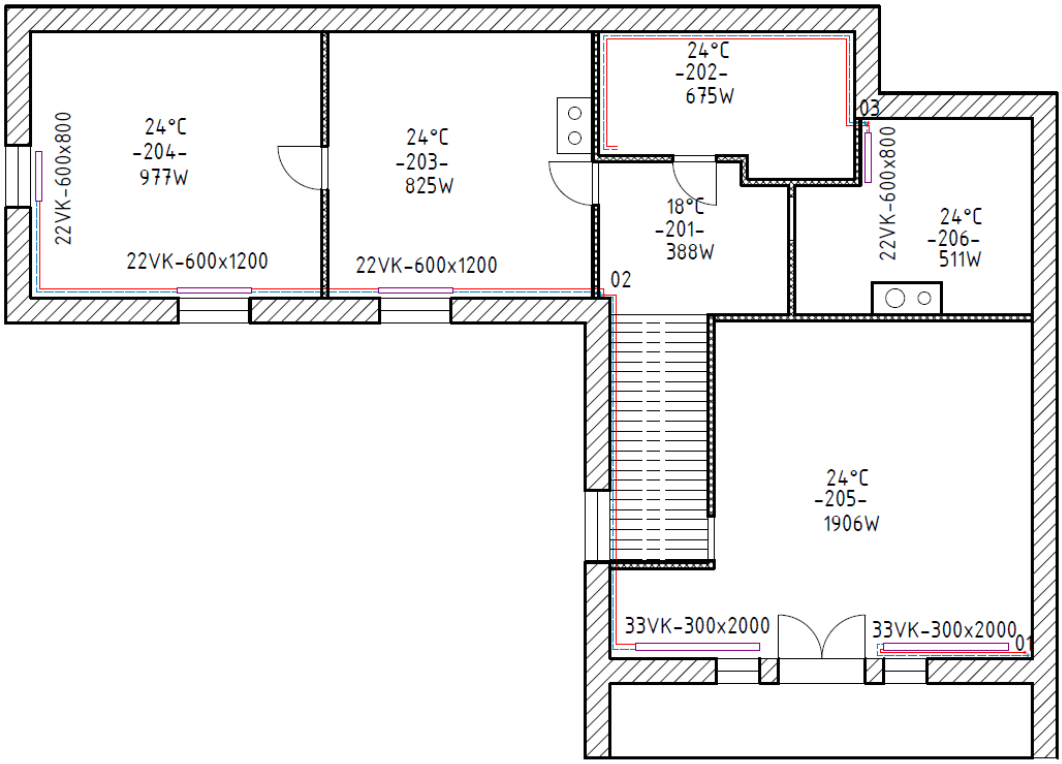
2.2 Stávající systém vytápění

Stávající systém vytápění je zbytečně předimenzovaný. Tvoří ho kotel na tuhá paliva pro kombinaci dřevo-uhlí o jmenovitém výkonu 24 kW výrobce Dakon. Je zde i možnost nepřímého ohřevu TV. Zásobník pro TV je kombinovaný. Tato možnost však není majitelem vůbec využívána a TV se připravuje pouze za pomocí elektrické energie. Tato možnost není využívaná z důvodů málo častého provozu kotle. Majitel v otopném období vytápí převážně krbovými vložkami, kdy každá má nominální výkon 14 kW. Důvodem je nechuť topit v kotli, možné znečištění pramenící z manipulace s uhlím a také rychlejší náběh krbových vložek, což je vhodné, když majitel přijede pouze na víkend a chce strávit večer v klidu a ne u kotle. V kotli zatápí pouze, když přijede v zimním období na delší dobu. Proto budu navrhovat do tohoto objektu kondenzační kotel na zemní plyn, který bude možné aktivovat na dálku za pomoci mobilního telefonu. Vyřeším tím tak oba problémy. S tímto předchozí projektant nepočítal a s přirážkou na zátop zvolil zbytečně velký výkon kotle. V tab. 2.2 a v obr. 2.2, obr. 2.3 je znázorněna stávající situace tepelných ztrát v jednotlivých místnostech a navržená otopná tělesa. Je pravděpodobné, že otopná tělesa jsou předimenzována. Otopná soustava má nyní teplotní spád 70/60 °C. Potrubí bylo zvoleno měděné. Stávající rozměry potrubí jsou uvedené na obr. 2.4. Otopná tělesa jsou typu

ventil kompakt, kromě koupelny a obývacího pokoje v první patře jsou všechny typu 22 a výšky 600 mm. Délka je pak shodná s délkou oken. V obývacím pokoji jsou z důvodů velkých balkonových oken otopná tělesa typu 33 a výšky 300 mm. Pro názornost viz. obr. 2.4, kde můžeme vidět absenci jednoho tělesa. Toto těleso by mělo být v koupelně v první patře. Koupelna nebyla ještě realizována. Dále je zde vidět rozmístění otopných těles v jednotlivých místnostech. V technické místnosti se nachází již zmiňovaný kotel na tuhá paliva a pojistné a zabezpečovací zařízení. Pojistný ventil je dimenzovaný na otvírací přetlak 350 kPa a expanzní nádoba má velikost 50 l. Schéma technické místnosti je vidět na obr. 2.5. Chybí zde kulový ventil u expanzní nádoby pro revize, který bych doplnil, a dále bych zařadil další kulové ventily na jednotlivé větve od kotle, kdyby bylo nutné v budoucnosti zasahovat do otopné soustavy, aby se předešlo k vypouštění celé otopné soustavy. Soustava je horizontální, protiproudá dvoutrubková, se spodním rozvodem a nuceným oběhem vody.



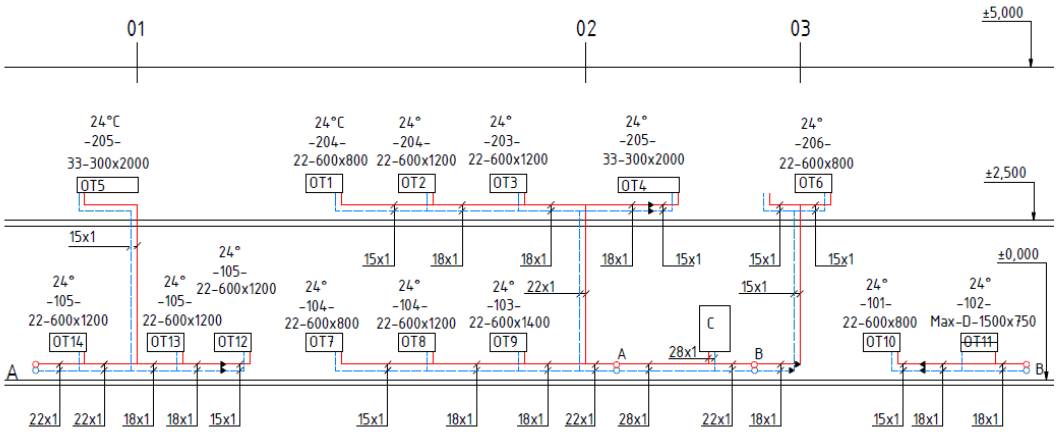
Obr. 2.2: Stávající situace tepelných ztrát a rozmístění OT v přízemí



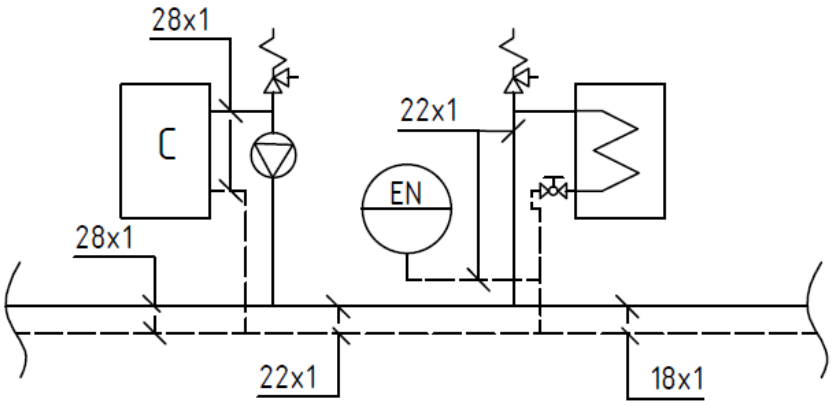
Obr. 2.3: Stávající situace tepelných ztrát a rozmístění OT v prvním patře

Tab. 2.2: Výkon původních otopných těles v jednotlivých místnostech

Místnost	Původní otopná tělesa 70/60 °C				$Q_{S,OT}$
	Počet OT	Typ	Výška [mm]	Délka [mm]	[W]
101	1	22	600	800	1035
102	1	meandr	1500	750	894
103	1	22	600	1400	1813
104	2	22	600	1200/800	2589
105	3	22	600	1200	4660
201	Chodba bez OT				
202	OT není v místnosti nainstalováno				
203	1	22	600	1200	1553
204	2	22	600	1200/800	2589
205	2	33	300	2000	4253
206	1	22	600	800	1035
Původní kotel			Dakon 24 [kW]		20 422



Obr. 2.4: Rozvinuté schéma původního projektu



Obr. 2.5: Schéma původní technické místnosti

2.3 Výpočet tepelných ztrát

Zvolil jsem výpočet starou, dnes již neplatnou normou ČSN 06 0210. Tuto starší normu jsem zvolil proto, že objekt byl postaven v době, kdy ještě platila a podle této normy byly tehdy počítány tepelné ztráty. Norma ČSN 06 0210 také necílí, na rozdíl od ČSN EN 12 831, na optimalizované tepelné mosty.

Než se pustím do výpočtu samotné normy, musím si zjistit vstupní údaje. Vstupní údaje jsou klimatické a technické vlastnosti budovy. U klimatických to je venkovní výpočtová teplota. Náš objekt se nachází nedaleko Kolína, kde je venkovní výpočtová teplota -12 °C. Tuto hodnotu zvolím i pro moji oblast. Nejvíce ochlazovaná konstrukce

(neizolovaná stěna) objektu je postavena směrem na sever. To znamená, že zvolím přirážku na světovou stranu. Z technických informací si musím zjistit veškeré rozměry objektu, abych byl schopen vypočítat objemy místností a plochy stěn, jednotlivé vlastnosti materiálu, ze kterých dokážu poté vypočítat součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí a zvolím si vnitřní výpočtovou teplotu jednotlivých místností. Převažující vnitřní výpočtová teplota je dle přání majitele 24 °C.

Uváděné vzorce a popisky veličin v celé kapitole 2.3 jsou přejaty ze zdroje [1].

Celková tepelná ztráta

Celková tepelná ztráta je součet ztráty prostupem tepla a ztráty větráním, případně odečtením trvalých zisků. Ty ale zvažovat nebudu a celkovou tepelnou ztrátu tedy určím jen součtem ztráty prostupem tepla a ztráty větrání.

$$Q = Q_\mathrm{p} + Q_\mathrm{v} \qquad (2.1),$$

kde	Q	[W]	je celková tepelná ztráta;
	Q_p	[W]	tepelná ztráta prostupem;
	Q_v	[W]	tepelná ztráta větráním.

Tepelná ztráta prostupem Q_p

Vypočtu jí za pomoci základní tepelné ztráty, která je korigována přirážkami p_1, p_2 a p_3.

$$Q_\mathrm{p} = Q_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \qquad (2.2),$$

kde	Q_p	[W]	je ztráta prostupem;
	Q_0	[W]	základní tepelná ztráta;
	p_1	[-]	přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn;
	p_2	[-]	přirážka na urychlení zátopu;
	p_3	[-]	přirážka na světovou stranu.

Základní tepelnou ztrátu vypočtu za pomocí reálných součinitelů prostupu tepla uvedených v tab. 2.1. Jednotlivé přirážky jsem zvolil takto: Přirážka na vyrovnání vlivu

chladných stěn u jednotlivých místností vyšla 0,19 až 0,92. Přirážku na urychlení zátopu nezvažuji. Budu navrhovat kondenzační kotel, který lze sepnout na dálku pomocí mobilního telefonu, díky čemuž je možné vytopit objekt dopředu. Přirážku na světovou stranu volím +0,1. Jediná neizolovaná stěna je na sever. Tepelná ztráta prostupem vyšla po zaokrouhlení 9 300 W.

Tepelná ztráta větráním Q_v

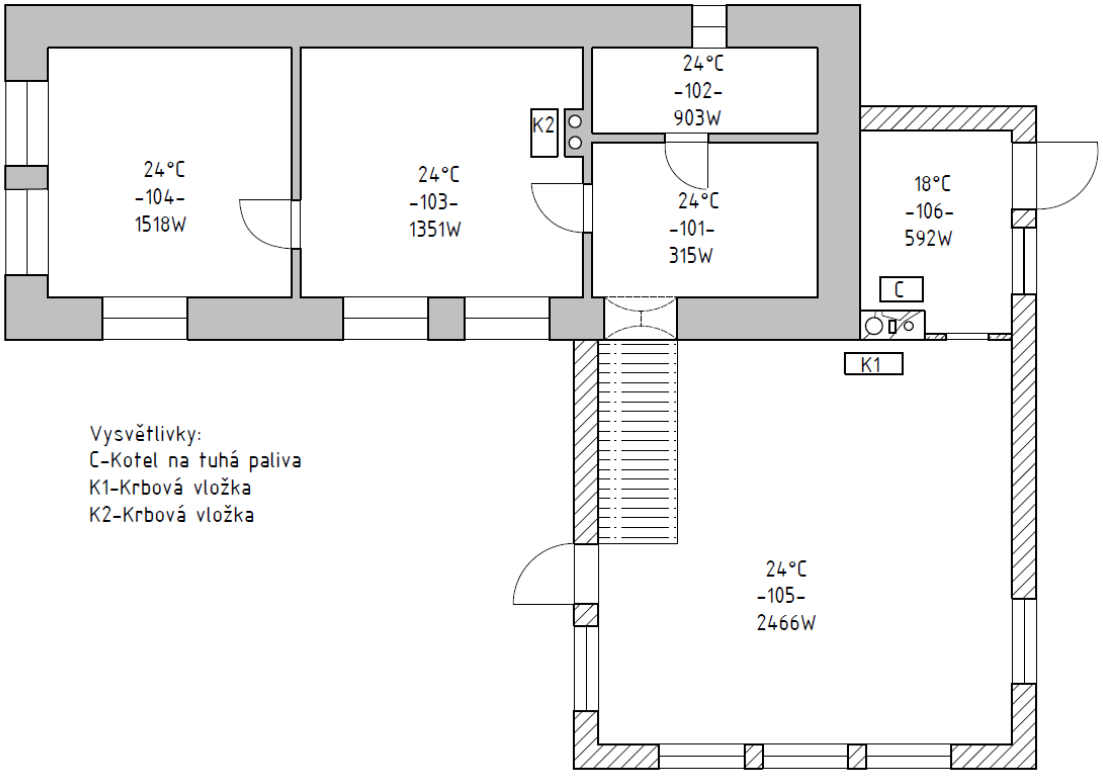
Tepelná ztráta větráním vzniká potřebou ohřátí větracího vzduchu. Při splnění požadavku na zajištění minimální předepsané výměny vzduchu, kterou jsem zvolil pro obytné místnosti 0,5 a v koupelně 1, lze tuto ztrátu vypočítat z následujících vztahů.

$$Q_{\mathrm{v}} = \dot{V} \cdot \rho_{\mathrm{vzd}} \cdot c_{\mathrm{vzd}} \cdot (t_{\mathrm{i}} - t_{\mathrm{e}}) \qquad (2.3),$$

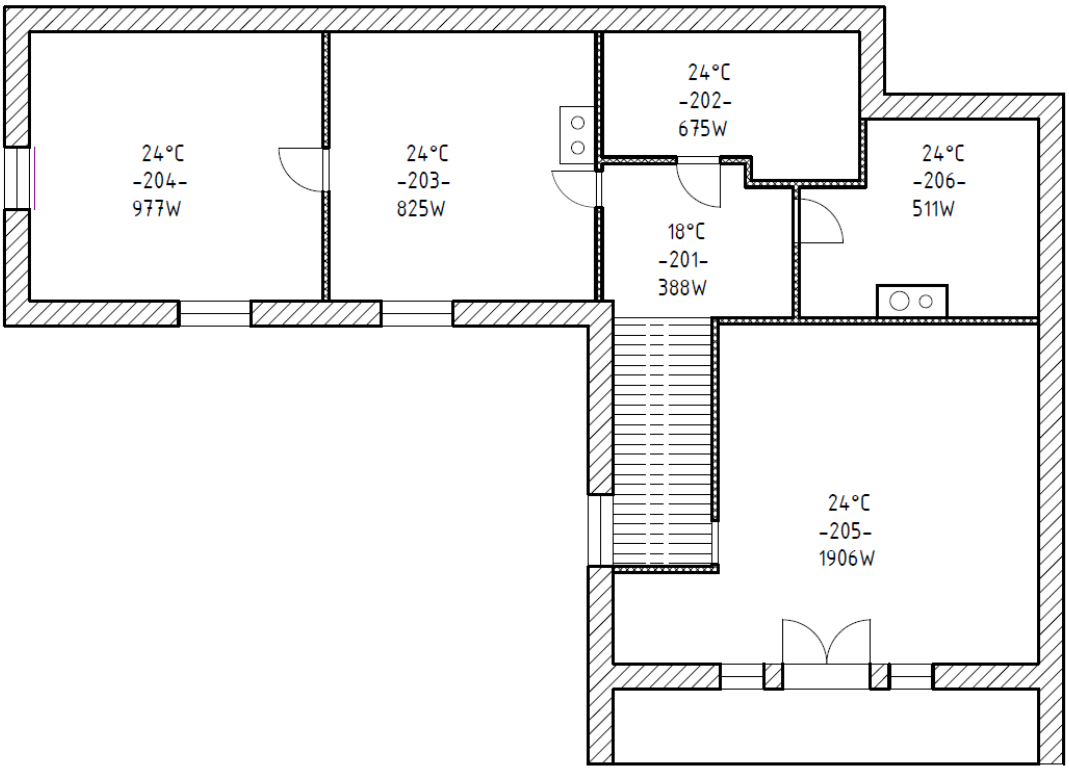
kde	$\dot{V}$	[m^3/s]	je objemový průtok větracího vzduchu určený z požadovaného násobku výměny vzduchu za hodinu n [1/h] nebo infiltrací;
	t_{i}	[°C]	vnitřní výpočtová teplota;
	t_{e}	[°C]	venkovní výpočtová teplota;
	ρ_{vzd}	[kg/m^3]	hustota vzduchu;
	c_{vzd}	[J/kg.K]	měrná tepelná kapacita vzduchu.

Infiltrací není zajištěn dostatečný průtok čerstvého vzduchu. Tepelná ztráta větráním je vypočtena dle minimálního požadavku výměny vzduchu. Tepelná ztráta větráním vyšla po zaokrouhlení 3 130 W.

Celková tepelná ztráta dle normy ČSN 06 0210 byla stanovena po zaokrouhlení na 12 500 W. Výpočty tepelných ztrát jednotlivých místností jsou přiloženy na přiloženém CD. Výsledné hodnoty tepelných ztrát na obr. 2.6 resp. 2.7 se shodují s hodnotami uvedenými na obr. 2.2 a resp. 2.3. Je to dáno tím, že v původním projektu nebyl nalezen žádný výpočet tepelných ztrát. Aktuálně vypočtené tepelné ztráty tedy zároveň považuji i za původní hodnoty, protože tepelně technické vlastnosti se od rekonstrukce v roce 2004 nezměnily.



Obr. 2.6: Výpočet tepelných ztrát v přízemí



Obr. 2.7: Výpočet tepelných ztrát pro první patro

3 Navrhovaná otopná soustava

Otopná soustava slouží k rozvodu teplonosné látky od zdroje tepla k jednotlivým otopným tělesům, které předávají teplo do jednotlivých místností. Teplonosnou látkou je voda, do které se občas přidávají aditiva. Například proti zamrznutí vody, když se nevytápí kontinuálně.

Otopná soustava se skládá ze zdroje tepla, potrubní sítě, pojistného a zabezpečovacího zařízení, armatur, čerpadel, otopných ploch a regulačních zařízení. [2]

Navrhování vodovodních otopných soustav se provádí jako u většiny prvků budov dvoustupňově. V prvním stupni se provede návrh tras a parametrů potrubní sítě, v druhém se pak provede hydraulický výpočet a návrh zregulování celé soustavy. [2]

Otopná soustava by měla mít vhodné prostorové uspořádání potrubní sítě. To je základní předpoklad k její dobré funkci a k jejímu splynutí se stavbou. Dobře navržená otopná soustava zajišťuje tepelnou pohodu, ale zároveň by neměla narušovat interiér ani konstrukci budovy. [2]

3.1 Volba otopné soustavy

Otopná soustava je definována parametry geometrickými, teplotními, tlakovými a materiálovými. Převážně konvekční teplovodní otopné soustavy lze rozdělit podle několika hledisek.[2]

Podle oběhu vody,
kde jsou soustavy s nuceným nebo přirozeným oběhem vody. Já budu volit soustavu s nuceným oběhem vody, kde mohu volit malé světlosti potrubí oproti přirozenému oběhu vody. To je dáno dispozičním tlakem čerpadla, které je schopno překonat mnohonásobně větší tlakové ztráty [2]. Jsem sice závislý na elektrické energii, kterou musím dodávat do čerpadla, a při výpadku proudu by mohl nastat problém a soustava by nefungovala, to se však dá vyřešit náhradním zdrojem elektrické energie, který bude připojen na soustavu a při výpadku elektrické energie poběží čerpadlo na náhradní zdroj.

Podle provedení hlavního rozvodu otopný vody.
Zde se jedná o soustavy se spodním nebo s horním rozvodem vody. Jelikož mám jednopatrový objekt s technickou místností v přízemí, volím soustavu se spodním rozvodem vody. Hlavní ležatý rozvod tedy bude veden v nejnižším podlaží u podlahy a na něj budou napojeny jednotlivé vertikální větve [2].

Podle rozvodu otopné vody k jednotlivým otopným tělesům.
Soustavy můžou být vertikální, horizontální, hvězdicovité a smíšené. Soustava vertikální má na jedné větvi od vertikální větve (stoupačky) připojeno jedno, maximálně dvě otopná tělesa, a proto se vyznačuje hojným počtem vertikálních větví (stoupaček). Horizontální soustava má naopak od vertikální větve (stoupačky) připojena minimálně tři otopná tělesa, a tak má vertikálních větví (stoupaček) málo. Hvězdicovitá soustava je v principu horizontální soustava s velmi dlouhými přípojkami. Uprostřed místnosti je umístěn rozdělovač [2]. Volit budu horizontální otopnou soustavu.

Podle způsobu přívodu a odvodu otopné vody z/k otopným tělesům.
Soustavy se dělí na dvoutrubkové protiproudé, souproudé, jednotrubkové bez obtoků otopných těles, nebo jednotrubkové s obtoky otopných těles. Mě bude zajímat dvoutrubková protiproudá soustava. Tato soustava se vyznačuje stejnou délkou přívodního a odvodního potrubí teplonosné látky. *Délka jednotlivých okruhů otopných těles se mění v závislosti na vzdálenosti umístění jednotlivých otopných těles. Jednotlivé paralelní větve mají vždy stejnou tlakovou ztrátu. Ale my potřebujeme, aby tato ztráta nastala při námi požadovaných průtocích vody. Z toho plyne, že musíme potrubní síť hydraulicky vyvážit (zregulovat). Vyžaduje tedy největší úsilí na dosažení tlakového vyvážení ze všech způsobů.[2]*

Podle propojení s atmosférou.
Soustava může být otevřená nebo uzavřená. Otevřená soustava má otevřenou expanzní nádobu, která je propojená s atmosférou. Toto řešení má tu výhodu, že zajišťuje pojistné a zabezpečovací zařízení. Nevýhodou je sycení vody kyslíkem a nutnost umístění v nejvyšším místě otopné soustavy. Soustava uzavřená má tlakovou expanzní nádobu. Soustava není propojená s atmosférou a tak nedochází k sycení otopné vody kyslíkem.

Expanzní nádoba nemusí byt v nejvyšším místě, a tak může být v technické místnosti. Není ovšem pojistným i zabezpečovacím zařízením, je pouze zabezpečovacím zařízením. Volím uzavřenou soustavu s expanzní nádobou pro její výhody oproti otevřené soustavě.

Podle dělení teploty teplonosné látky.
Soustavy nízkoteplotní do 65 °C, soustavy teplovodní do 115 °C a soustavy horkovodní nad 115 °C teplonosné látky. Volím soustavu nízkoteplotní. Z důvodu instalace kondenzačního kotle a snaze navrhnout otopná tělesa s co největší přestupnou plochou, která bude možná.

Podle materiálu potrubního rozvodu.
Soustavy můžou být vedeny v ocelovém, měděném, plastovém nebo vícevrstvém potrubí. Ocelové potrubí má výhody samonosnosti a odolnosti proti korozi. Nevýhodou je větší hmotnost, časově náročná instalace, potřeba zkušených topenářů na svařování a povrchová úprava. Volím měděné potrubí, které má menší nosnost než ocelové. Nosnost je menší přibližně o půlku, ale i tak je dostačující. Měděné potrubí má nepřeberné množství fitinek, s jejichž pomocí můžu lehce dosáhnout potřebné instalace. Instalace je jednoduchá oproti ocelovému potrubí, kde potrubí k sobě lisujeme nebo kapilárně pájíme. Měděné potrubí ovšem nesmí přijít do styku se sádrou, protože pak dochází k bodové korozi. Plastové potrubí nemá samonosnost a má velkou délkovou roztažnost. Spojuje se lisováním. Vícevrstvé potrubí je složeno ze tří vrstev: plast, hliník a plast. Kde si potrubí ponechá délkovou roztažnost hliníku. Je tedy daleko menší než u plastu. [2]

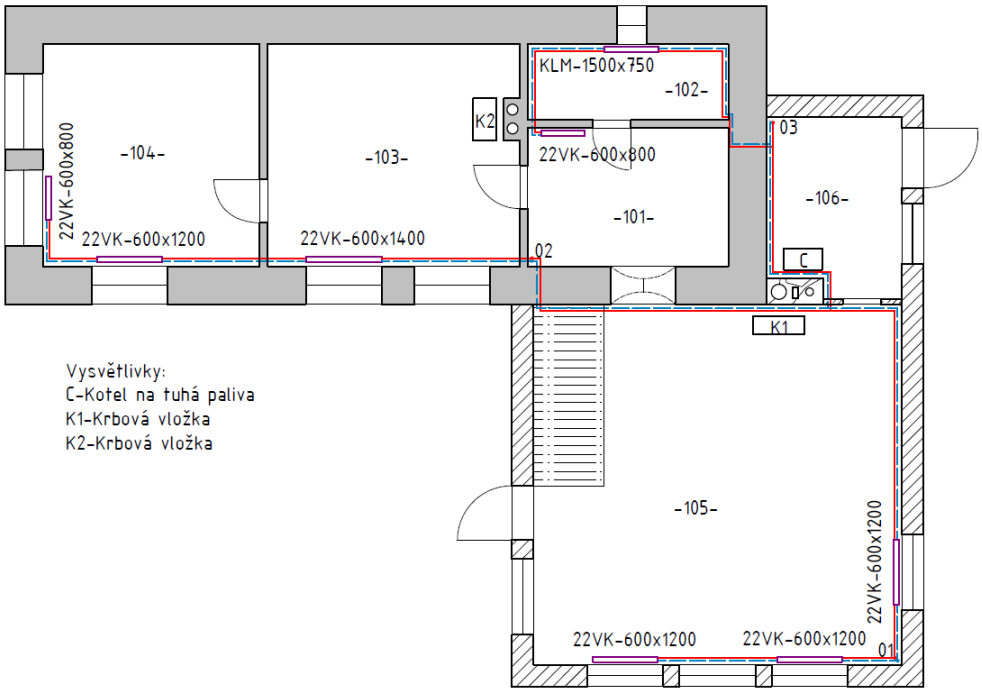
Vedení potrubí stávající otopné soustavy je v konstrukci domu uloženo dobře.
V kapitole 2.3 na obr. 2.1 a obr. 2.3 je tento stav vidět. Potrubí je vedeno v mědi, spojováno pájením a soustava je horizontální protiproudá dvoutrubková, se spodním rozvodem a nuceným oběhem vody. Rozvod je veden u podlahy na stěně. Soustava tedy není izolovaná, protože se počítá, že tepelné ztráty potrubím jsou odváděny do místností, které vytápíme. Vedení potrubní sítě tedy zanecháme stejné jen s menšími úpravami. Změna se bude týkat především dimenzování a rozmístění otopných těles a pravděpodobně světlostí potrubní sítě. Viz další kapitoly.

3.2 Volba teplotního spádu

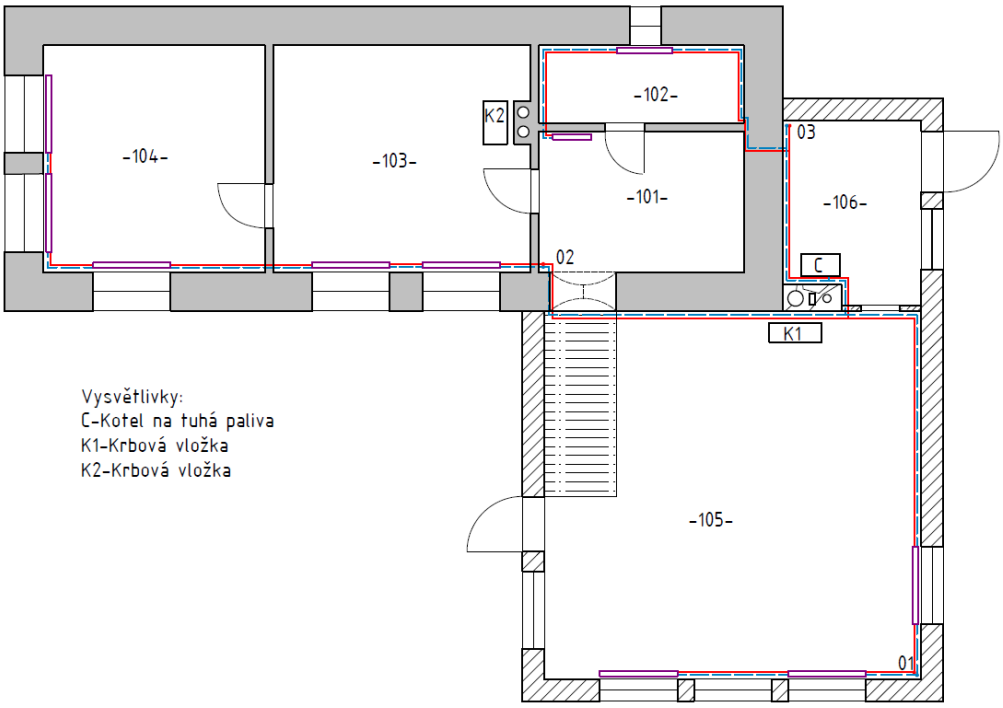
Teplotní spád je spojen s průtokem teplonosné látky. Ovlivňuje průtok celé otopné soustavy. Důsledkem volby bude velikost potrubí, tlakové ztráty a velikost otopných těles. Při návrhu otopné soustavy volíme teplotní spád podle typu otopné soustavy, otopných ploch a zdroje tepla. Teplotní spád u nízkoteplotních a teplovodních soustav se volí v rozmezí 10K až 25K, kde obvyklé teplotní spády u nízkoteplotní soustavy jsou 55/45, 45/35, 35/25 °C. a u teplovodních soustav je 80/60, 75/65, 70/55, 70/60 °C [2]. Při návrhu chci dosáhnout, aby délka otopného tělesa se co nejvíce blížila délce okna a tím se zabránilo nepříznivému vlivu chladných proudů od okna, které snižují tepelný komfort. Protože budu navrhovat plynový kondenzační kotel a budu mít velké otopné plochy, naše soustava bude nízkoteplotní s teplotním spádem 55/40 °C.

3.3 Nové umístění otopných těles

Srovnání původního a nově navrženého umístění otopných těles je vidět na obr. 3.1, obr. 3.2, obr. 3.3 a obr. 3.4.

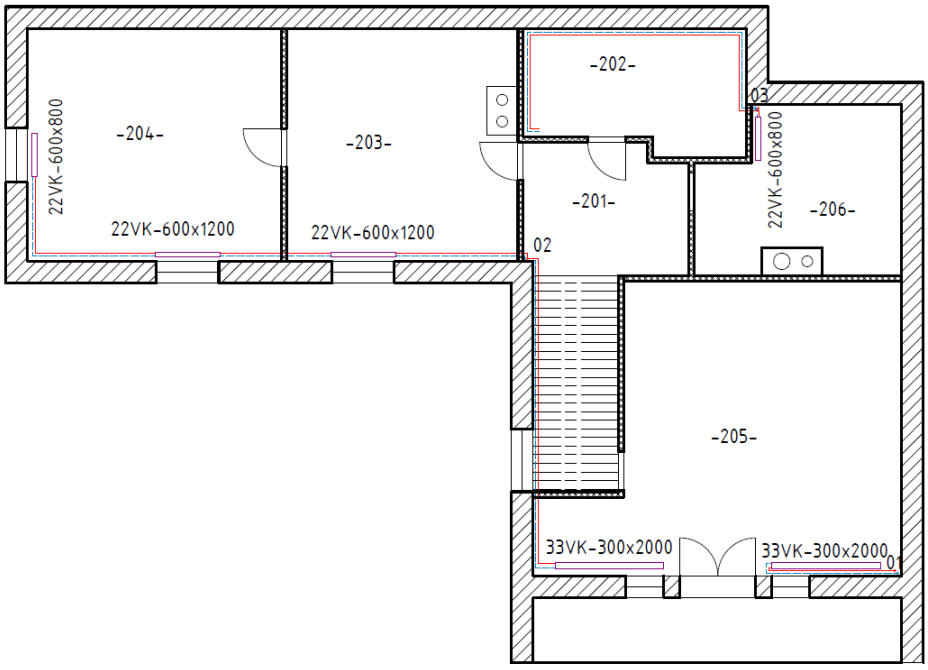


Obr. 3.1:Původní umístění otopných těles v přízemí

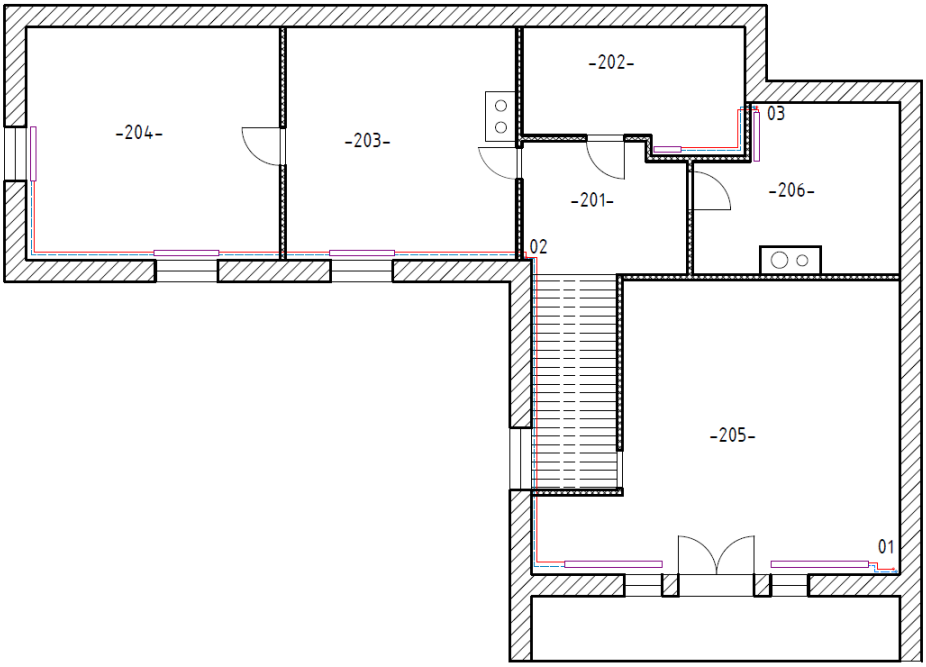


Obr. 3.2:Nově navržené umístění otopných těles v přízemí

Na obr. 3.1 je absence otopných těles pod okny v místnostech 104 a 103. Na obr. 3.2 byly doplněny, aby se zvýšil tepelný komfort. V místnosti 105 doplňovat otopná tělesa pod okna nebudu z důvodu umístění nábytku, který je instalován přímo pod okny. Výpočty a typy jednotlivých těles budou uvedeny v navazujících kapitolách.



Obr. 3.3:Původní umístění otopných těles v prvním patře



Obr. 3.4: Nově navržené umístění otopných těles v prvním patře

V prvním patře zůstanou otopná tělesa na stávajících místech. Doplní se jen otopné těleso do koupelny (202). Zde budu navrhovat trubkové těleso s přídatnou elektrickou patronou. Dále zde bude změna ve vedení potrubí v místnosti 202 a 205 viz obr. 3.3. V místnosti 205 se jedná o lepší napojení tělesa. U místnosti 202 se jedná a lepší umístění tělesa. Výpočty a typy jednotlivých těles budou uvedeny v navazujících kapitolách.

3.4 Návrh otopných těles

Otopné těleso musí zajišťovat správnou funkčnost. Otopná tělesa se dávají na ochlazované plochy (stěny obvodového pláště, okna). Musí pokrýt tepelnou ztrátu dané místnosti a nesmí docházet k padání chladných proudů vzduchu po jejich stranách k podlaze, aby byla zajištěna tepelná pohoda uživatele. Toho docílím délkou otopného tělesa, které bude stejné nebo delší než je délka okna. V druhé řadě musí splnit i estetický dojem.

Desková otopná tělesa

V objektu, kromě místnosti 205, je všude výška pod okny minimálně 0,9 m. Zde budu volit desková otopná tělesa, která budou stejně dlouhá nebo o něco delší než okna.

Otopná tělesa se budu snažit navrhnout s co největším podílem sálavé složky, protože tak lépe docílím tepelné pohody uživatele. Budu se tedy snažit volit v katalogu výrobce tělesa typu 10 až 20, kde je podíl sálavé složky největší. Pro dobrou dokumentaci a podklady výrobce jsem zvolil otopná tělesa Radik VK od firmy Korado a.s.
Model Radik VK je deskové otopné těleso v provedení Ventil kompakt, které umožňuje pravé spodní připojení na otopnou soustavu s nuceným oběhem. Ze zadní strany jsou přivařeny dvě horní a dolní příchytky, otopná tělesa o délce 1800 mm a více mají navařených šest příchytek [3]. Výška byla zvolena 0,5 m.

Trubková otopná tělesa

Trubková tělesa byla zvolena do koupelen pro jejich praktické využití k sušení ručníků. Výrobce je stejný jako u deskových otopných těles. Tedy firma Korado a.s. Typ tělesa byl zvolen Koralux Linear Max-M. *Trubková otopná tělesa Koralux linear Max-M jsou vyrobena z uzavřených ocelových profilů s průřezem ve tvaru "D" a z rovných profilů s kruhovým průřezem. Těleso je upravené pro spodní středové připojení s připojovací roztečí 50 mm. Otopná tělesa jsou dodávaná se sadou pro upevnění na stěnu včetně odvzdušňovací a zaslepovací zátky* [4]. Tělesa budou doplněna elektrickou patronou a výkonu až 900 W.

Výpočet skutečného výkonu otopných těles:

Výrobce ve svých podkladech udává výkon otopného tělesa pro jmenovitý teplotní spád 75/65/20 °C. Tento teplotní spád je nutné přepočítat na můj zvolený spád 55/40 °C a příslušnou teplotu v dané místnosti – převažující vnitřní výpočtová teplota má být 24 °C. Teplota byla zvolena vyšší, kvůli majitelem požadovanému teplenému komfortu. Přepočet výkonů uděláme podle následujícího postupu [1][5].

Skutečný výkon tělesa se spočítá ze vzorce:

$$Q_{\mathrm{sk,OT}} = Q_{\mathrm{N,OT}} \cdot f_{\Delta \mathrm{T}} \cdot f_{\delta t}\,(f_{\mathrm{m}}) \cdot f_{\mathrm{x}} \cdot f_{\mathrm{o}} \cdot f_{\mathrm{n}} \cdot f_{\mathrm{p}} \qquad (3.1),$$

kde	$Q_{\mathrm{sk,OT}}$	[W]	skutečný tepelný výkon tělesa;
	$Q_{\mathrm{N,OT}}$	[W]	tepelný výkon otopného tělesa pro jmenovité podmínky;
	f	[-]	opravné součinitele;

$f_{\Delta T}$	[-]	na teplotní rozdíl (t_{w1}, t_{w2}, t_i);
$f_{\delta t}$	[-]	na ochlazení vody (tzn. změnu průtoku);
f_x	[-]	na připojení OT k otopné soustavě;
f_o	[-]	na úpravu okolí OT (různé zákryty, parapety apod.);
f_n	[-]	na počet článků OT;
f_p	[-]	na umístění ve vytápěném prostoru.

Otopná tělesa jsou vždy připojena jmenovitě a jsou vždy umístěna pod okny bez zákrytu. Vzorec se mi tím zjednoduší do tvaru (3.2).

Zjednodušený vzorec:

$$Q_{sk,OT} = Q_{N,OT} \cdot f_{\Delta T} \tag{3.2},$$

Součinitel $f_{\Delta T}$ se vypočítá ze vztahu:

$$f_{\Delta T} = \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right)^n \tag{3.3},$$

kde	Δt	[K]	skutečný (projektovaný) rozdíl teplot;
	Δt_n	[K]	jmenovitý rozdíl teplot;
	n	[-]	teplotní exponent otopného tělesa.

Před výpočtem opravného součinitele na teplotní rozdíl $f_{\Delta T}$ se musí nejprve vypočítat teplotní podílový součinitel c:

$$c = \left(\frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \right) \tag{3.4},$$

kde	c	[-]	teplotní podílový součinitel;
	t_{w2}	[°C]	teplota výstupní vody;
	t_{w1}	[°C]	teplota vstupní vody;

t_i [°C] vnitřní výpočtová teplota.

Pro ≥ 0,7 použijeme aritmetický rozdíl teplot:

$$\Delta t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{2} - t_i \quad (3.5),$$

Pro ≤ 0,7 požijeme logaritmický rozdíl teplot:

$$\Delta t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \quad (3.6),$$

Příklad výpočtu:

V místnosti 203 byla vypočtena tepelná ztráta 825 W. Tuto hodnotu musím přepočítat na jmenovitý výkon a jmenovitý rozdíl teplot, které udává výrobce ve svých podkladech.

První krok je určení podílového součinitele pro projektovaný teplotní spád (3.4):

$$c = \frac{40 - 24}{55 - 24} = 0{,}516$$

Podílový součinitel vyšel menší než 0,7. Dál počítáme logaritmický rozdíl teplot (3.6):

$$\Delta t = \frac{55 - 40}{\ln \frac{55 - 24}{40 - 24}} 22{,}67\ °C \qquad \Delta t_n = \frac{75 - 65}{\ln \frac{75 - 20}{65 - 20}} = 49{,}83\ °C$$

Dalším krokem je zjištění teplotního exponentu tělesa. Ten byl zjištěn u výrobce v katalogu. U zvoleného tělesa Radik VK typ 22 je roven 1,3.

Hodnoty dosadíme do upraveného vzorce (3.2):

$$Q_{\mathrm{N,OT}} = \frac{Q_{\mathrm{sk,OT}}}{\left(\frac{\Delta t}{\Delta t_{\mathrm{n}}}\right)^{n}} = \frac{825}{\left(\frac{22{,}67}{49{,}83}\right)^{1{,}3}} = 2295 \text{ W}$$

Podle této hodnoty v katalogu hledám otopné těleso, které má jmenovitý výkon 2295 W nebo vyšší za jmenovitých podmínek 75/65/20 °C. Otopná tělesa byla zvolena ve výšce 0,5 m. V katalogu hledám těleso, které splňuje tyto podmínky a které tedy bude stejně dlouhé nebo o něco delší než okno a jmenovitý výkon bude nejméně 2295 W. Tyto podmínky splňuje těleso typu 22, výšky 0,5 m, délky 1,6 m a jmenovitého výkonu 2323 W. Dále je třeba přepočítat zvolený jmenovitý výkon na projektovaný teplotní spád (3.2):

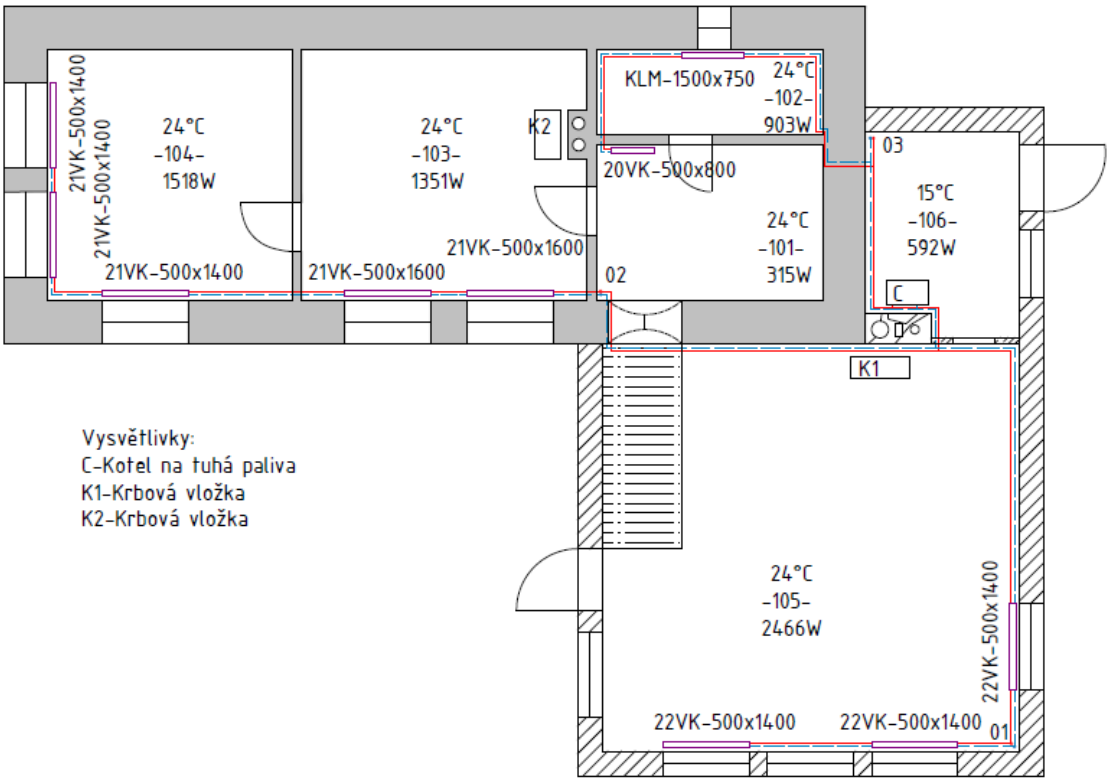
$$Q_{\mathrm{sk,OT}} = 2323 \cdot 0{,}359 = 835 \text{ W}$$

S touto hodnotou bude dál počítáno. Zbylé výpočty otopných těles jsou přiloženy na CD.

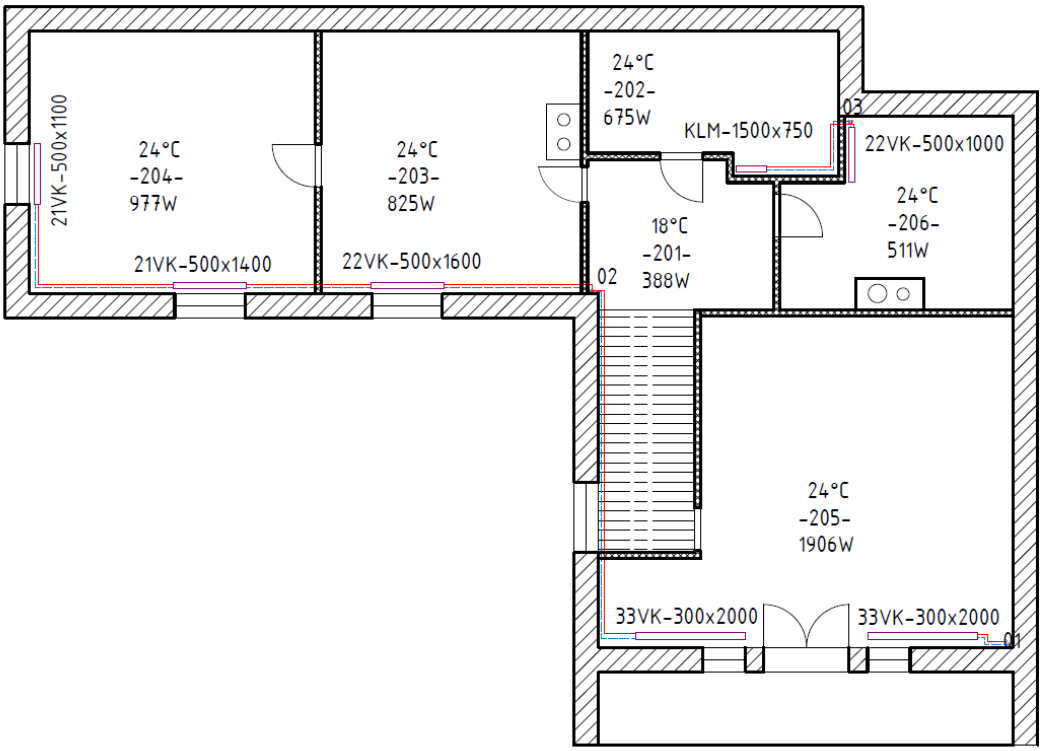
V tab. 3.1 na další straně jsem shrnul informace o nových otopných tělesech. Je zde vidět, že v místnostech 101, 102, 103 a 105 je tepelná ztráta o trochu větší než výkon navržených těles. Tato situace by se neměla stát a výkon tělesa by měl být vždy stejný nebo větší než tepelná ztráta místnosti. Já jsem tento stav připustil především proto, že ve dvou místnostech je instalovaná krbová vložka, nezávislá na otopné soustavě s jmenovitým výkonem 14 kW. Největší rozdíl je v místnosti 105, kde tato hodnota dosahuje 274 W. Podobná situace je v místnosti 103. Zbylé rozdíly jsou v jednotkách wattů.
Z tohoto důvodu bude tepelný komfort zachován a ponechám takto navržená tělesa. Na obr. 3.5 a obr. 3.6 pak jsou vidět jednotlivá tělesa a jejich umístění. V tab. 3.2 je porovnání původních otopných těles s novými otopnými tělesy na novém teplotní spádu a původní otopná tělesa na novém teplotním spádu.

Tab. 3.1: Navrhovaná nová otopná tělesa

Místnost	Navržená otopná tělesa 55/40 °C				$Q_{sk,OT}$	Tepelná ztráta
	Počet OT	Typ	Výška [mm]	Délka [mm]	[W]	[W]
101	1	20	500	800	301	315
102	1	meandr + el. patr.	1500	750	900	903
103	2	21	500	1600	1284	1351
104	3	21	500	1400	1686	1518
105	3	22	500	1400	2192	2466
202	1	meandr + el. patr.	1500	750	900	675
203	1	22	500	1600	835	825
204	2	21	500	1400/1100	1004	977
205	2	33	300	2000	1982	1906
206	1	22	500	1000	522	511



Obr. 3.5: Nově navržená otopná tělesa v přízemí



Obr. 3.6: Nově navržená otopná tělesa v první patře

Tab. 3.2: Porovnání těles

Místnost	Tep. ztráta [W]	Počet OT	Původní OT $Q_{S,OT}$	Počet OT	Nové OT $Q_{S,OT}$	Počet OT	Původní OT $Q_{S,OT}$
101	315	1	1035	1	301	1	483
102	903	1	894	1	900	1	900
103	1351	1	1813	2	1284	1	845
104	1518	2	2589	3	1686	2	1207
105	2466	3	4660	3	2192	3	2172
201	388	-	-	-	-	-	-
202	675	0	není inst.	1	900	1	900
203	825	1	1553	1	835	1	724
204	977	2	2589	2	1004	2	1207
205	1906	1	4253	1	1982	1	1982
206	511	2	1035	2	522	2	483
Celk. TZ.	12 500		20 422		11 606		10 902

Je zde vidět, že i původní tělesa na novém teplotním spádu 55/40 °C se tolik neliší od tepelné ztráty a s menšími úpravami by šlo také dosáhnout dobrého výsledku a ušetřit

investiční náklady na výměnu všech otopných těles. Přesto však doporučuji vyměnit všechny OT za nová.

3.5 Tlakové ztráty nově navržené potrubí sítě

Navrhované potrubní sítě slouží k dopravě teplonosné látky od zdroje tepla k otopným tělesům a zpět. Teplonosná látka je voda. Dimenzování potrubní sítě se počítá pomocí hydraulických výpočtů. Cílem je navrhnout takové dimenze potrubí a jmenovité světlosti armatur, aby celková tlaková ztráta byla maximálně rovná dispozičnímu tlaku. Můj dispoziční tlak bude tlak oběhového čerpadla. Celkové tlakové ztráty jsou součtem místních a třecích ztrát. Místní tlakové ztráty jsou dány místními odpory. Například tvarovkami, armaturami, náhlým zúžení nebo rozšíření. Třecí ztráty vznikají na celé délce potrubí a rostou s jeho délkou. Výpočet bude prováděn metodou ekonomických rychlostí. Výpočet začíná určením nejvzdálenější větve okruhu. Zde se předpokládá největší tlaková ztráta okruhu. K této ztrátě potom budou hydraulicky vyváženy ostatní větve okruhu v následující kapitole. První krok pro výpočet je stanovit hmotnostní průtok tělesa [2] [6]. To vyjádříme ze vztahu pro výpočet tepelného výkonu otopného tělesa:

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_{\text{voda}} \cdot (t_{\text{w1}} - t_{\text{w2}})} \qquad (3.7),$$

kde

Q	[W]	přenášený tepelný výkon;
$\dot{m}$	[kg/s]	hmotnostní průtok;
c_{voda}	[J/kg.K]	měrná tepelná kapacita vody;
t_{w1}	[°C]	teplota přívodní otopné vody;
t_{w2}	[°C]	teplota vratné otopné vody.

Tlakové ztráty lze spočítat, či s výhodou využít tabulek ze sešitu Projektanta, viz příloha [č.1] [7]. Podle vypočteného hmotnostního průtoku potrubí hledáme v tabulce pro měděné potrubí takovou jeho dimenzi, ve které se rychlost proudění teplonosné látky pohybuje optimálně okolo 0,6 m/s. Pro ukázku na obr. 3.7 je výřez tabulky, kde lze nalézt skutečnou měrnou tlakovou ztrátu příslušné dimenze potrubí pro danou rychlost proudění.

L P	TLAKOVÁ ZTRÁTA Cu POTRUBÍ TŘENÍM M = [kg/h] R = [Pa/m] t_H = 40 °C w = [m/s] k = 0.0063	210 - 1

D/t [mm/mm]	6.0/1.00		8.0/1.00		10.0/1.00		12.0/1.00		15.0/1.00		18.0/1.00		22.0/1.00	
d [mm]	4.00		6.00		8.00		10.00		13.00		16.00		20.00	
M	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w
100					680	0.56	235	0.36	68.0	0.21	19.5	0.14	5.40	0.09
110					800	0.60	275	0.40	80.0	0.24	26.5	0.15	6.90	0.10
125					1005	0.71	345	0.45	99.5	0.26	37.0	0.17	10.0	0.11
140					1225	0.80	420	0.50	120	0.30	45.0	0.19	14.5	0.12
160					1550	0.90	530	0.56	150	0.34	57.0	0.22	20.0	0.14

obr. 3.7: Výřez tabulky tlakové ztráty pro Cu potrubí třením

Následujícím krokem je určení celkových tlakových ztrát. Ty se skládají z tlakové ztráty třením a místní tlakové ztráty. Tlaková ztráta třením vzniká na celé délce potrubí a vzrůstá s délkou potrubí ve směru proudění kapaliny. Vzniká třením jednotlivých vrstev kapaliny mezi sebou a třením kapaliny o vnitřní stěnu potrubí. Tlaková ztráta v kruhovém potrubí stálého průměru se určí podle Weisbachova vztahu [6], pokud se již nevyužilo tabulky resp. postupu uvedeného výše.

Weisbachův vztah:

$$\Delta p_{zt} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \qquad (3.8),$$

kde	Δp_{zt}	[Pa]	tlaková ztráta třením;
	λ	[-]	součinitel tření;
	l	[m]	délka potrubí;
	d	[m]	průměr potrubí;
	ρ	[kg/m^3]	hustota tekutiny;
	w	[m/s]	střední průtoková rychlost.

Součinitel třecích ztrát λ závisí na Reynoldsově čísle *Re* a relativní drsnosti $\varepsilon = k/d$ stěn potrubí. Reynoldsovo číslo dává do poměru setrvačné a vazké síly.

Místní tlaková ztráta je způsobena rozvířením tekutiny v místech, kde dochází ke změně geometrie (průřezu potrubí) nebo změně směru proudění. Místa, kde k tomu dochází,

jsou například kolena, oblouky, armatury, kotel, výměník, náhlá zúžení nebo rozšíření [6]. Místní tlakovou ztrátu počítáme podle vztahu:

$$\Delta p_{\mathrm{mz}} = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot w^2}{2} \qquad (3.9),$$

kde	Δp_{mz}	[Pa]	místní tlaková ztráta;
	ξ	[-]	součinitel místního odporu;
	ρ	[kg/m^3]	hustota tekutiny;
	w	[m/s]	střední průtoková rychlost.

Součinitel třecí ztráty ξ se zjišťuje převážně experimentálně. Je závislý na geometrii daného tělesa. V laminární a přechodové oblasti proudění také na Reynoldsově čísle [6].

Celkovou ztrátu zjistím součtem tlakové ztráty třením a místními odpory. Tento vztah vypadá takto:

$$\Delta p_{\mathrm{c}} = \Delta p_{\mathrm{zt}} + \Delta p_{\mathrm{mz}} = R \cdot l + Z \qquad (3.10).$$

V tab. 3.3 jsou ukázány jednotlivé úseky pro výpočet nejvzdálenějšího otopného tělesa v otopné soustavě s největší tlakovou ztrátou, ke které se ostatní tělesa budou hydraulicky vyvažovat. V tab. 3.4 jsou pro porovnání vidět původní a nové dimenze potrubí. Z toho vyplývá, že potrubní síť bude muset být předělána celá.

Tab. 3.3: Tlaková ztráta pro nejvzdálenější otopné těleso

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\zeta$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT1= 442 [W]									
1	611	0,7	22x1	204	0,55	2,6	143	388	531
2	516	1	22x1	153	0,47	2,5	153	266	419
3	333	5,3	18x1	204	0,47	3,5	1081	379	1460
4	162	2,6	12x1	542	0,59	1,5	1409	254	1663
5	106	3,5	12x1	259	0,38	1,5	907	107	1014
6	58	3,3	12x1	65	0,21	2,5	215	53	268
7	25	5,1	12x1	18,5	0,09	1	94	4	98
8	25	5,1	12x1	18,5	0,09	1	94	4	98
9	58	3,3	12x1	65	0,21	3	215	64	278
10	106	3,5	12x1	259	0,38	2	907	143	1049
11	162	2,6	12x1	542	0,59	2	1409	338	1747
12	333	5,3	18x1	204	0,47	3,5	1081	379	1460
13	516	1	22x1	153	0,47	2,5	153	266	419
14	611	0,7	22x1	204	0,55	2,6	143	388	531
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT1-Δp_{potr1}									11037

Tab. 3.4: Porovnání dimenzí potrubí

Úsek č.	1	2	3	4	5	6	7
Původní *DN* [mm]	28x1	28x1	22x1	22x1	18x1	18x1	15x1
Nové *DN* [mm]	22x1	22x1	18x1	12x1	12x1	12x1	12x1
Úsek č.	8	9	10	11	12	13	14
Původní *DN* [mm]	15x1	18x1	18x1	22x1	22x1	28x1	28x1
Nové *DN* [mm]	12x1	12x1	12x1	12x1	18x1	22x1	22x1

Výsledky všech vypočítaných úseků potrubní sítě jsou přiloženy na CD a v příloze [č. 2].

3.6 Hydraulické vyvážení otopné soustavy

Aby otopná soustava správně pracovala, musí se hydraulicky vyvážit. To znamená, že každá větev musí mít stejnou tlakovou ztrátu. Tohoto cíle dosáhnu za pomocí regulačního šroubení a termostatického ventilu. Vždy začínám s regulací u regulačního šroubení. Čím více zaškrtím regulační šroubení, o to méně budu škrtit (regulovat) na termostatickém ventilu a nebudu mu snižovat jeho regulační rozsah. Ani u jedné armatury by se ale nemělo dosáhnout stavu téměř zavřeno, tedy poloha 1 nebo 2. Mohlo

by docházet k hlukovým projevům, příliš rychlému opotřebení apod. K postupu lze použít diagramy od výrobce, kde zvolím přímo jednu ze skloněných přímek, což mi na svisle ose udá, jakou tlakovou ztrátu armatura bude mít. I plně otevřená armatura má svojí tlakovou ztrátu a je třeba s ní počítat. Součet tlakových ztrát obou armatur musí být +/- 10 % od vypočítané hodnoty. Nastavení termostatického ventilu pro hodnotu tlakové ztráty (podle zbytku pro regulaci na regulačním šroubení) může pro daný průtok vyjít i mezi přímky v diagramu (Termostatický ventil v závislosti na teplotě pracuje. Má na rozdíl od pevně nastaveného regulačního šroubení pracovní rozsah)[5].

Zvolená otopná tělesa Radik VK jsou vybavena termostatickým ventilem. K nim dodám regulační šroubení. Zvolil jsem regulační šroubení Vekoluxivar přímý dvoutrubkový systém typu Ivar.DD 343 od výrobce Ivar.CS s připojovací roztečí 50 mm. U trubkových otopných těles Koralux Linear Max-M jsem zvolil termostatický regulační ventil Danfoss RA-N10 a regulační šroubení Vekoluxivar Ivar.DD 305. Poslední regulace je automatický regulační a vyvažovací ventil koncových zařízení typu Ivar.CIM 788 od výrobce Ivar.CS, který škrtí hned za výstupem třetí stoupačku, protože otopná tělesa jsou oproti nejvzdálenějšímu tělesu blízko a nelze je zregulovat pouze pomocí termostatického ventilu a regulačního šroubení.

Hodnoty tlakových ztrát po nastavení termostatických ventilů a regulačních šroubení pro jednotlivé OT jsou uvedeny v příloze [č. 2] a výkresové dokumentaci, kde je zřejmé konečné nastavení armatur. Dále jsou vloženy na přiložené CD.

4 Zdroj tepla

Zdroj tepla muže být centrální nebo decentralizovaný. Centrální zdroj tepla je společný pro více objektů a teplo je do objektu dovedeno pomocí soustav CZT. Zdrojem tepla jsou výtopny a teplárny. Decentralizované zdroje tepla můžou být individuální topidla, které jsou zdrojem tepla pro jednu místnost. Etážové vytápění má jeden zdroj tepla pro jeden byt. Domovní kotelny mají jeden zdroj tepla pro jeden dům. Já volím decentralizovaný zdroj tepla pro jeden dům [13].

4.1 Volba paliva

Paliva jsou tuhá, kapalná nebo plynná. Mě bude zajímat palivo plynné, konkrétně zemní plyn. Toto palivo volím z důvodu volby kondenzačního kotle. Vesnice je plynofikovaná, takže nemusím řešit prostory pro uskladnění paliva. Vytápění plynem je komfortní a čisté. Je vhodné do projektovaného objektu, kde bude majitel moci začít vytápět například od pátku ráno a večer přijet do vyhřáté chalupy. Nebude také muset řešit zásobování palivem, jako by tomu bylo u ostatních paliv. Jedinou nevýhodou je cena paliva, ale vzhledem k tomu, že jde o rekreační objekt a nebude se vytápět neustále, náklady by nemusely být až tak vysoké.

4.2 Návrh výkonu zdroje

Tepelný zdroj musí pokrýt tepelnou ztrátu objektu a potřebu tepla na přípravu TV.

4.2.1 Stanovení velikosti a výkonu ohřívače TV

Vzorce a teoretický základy přejaty z [8],[9].

Příprava teplé vody pro čtyři osoby při uvažování teoretické potřeby teplé vody 40 l/os.den.

$$V_{2p} = 0{,}04 \cdot 4 = 0{,}16\ m^3/den \qquad (4.1),$$

Stanovení denní potřeby tepelné energie pro ohřátí vody z 10 °C na 55 °C.

$$Q_{2p} = V_{2p} \cdot \rho \cdot (t_2 - t_1) = 0{,}16 \cdot 1000 \cdot 1{,}163 \cdot (55 - 10) = 8{,}37\ kWh/den \qquad (4.2);$$

Přidání ztrát vedením tepla v potrubí. Ztráta je volena 20 %.

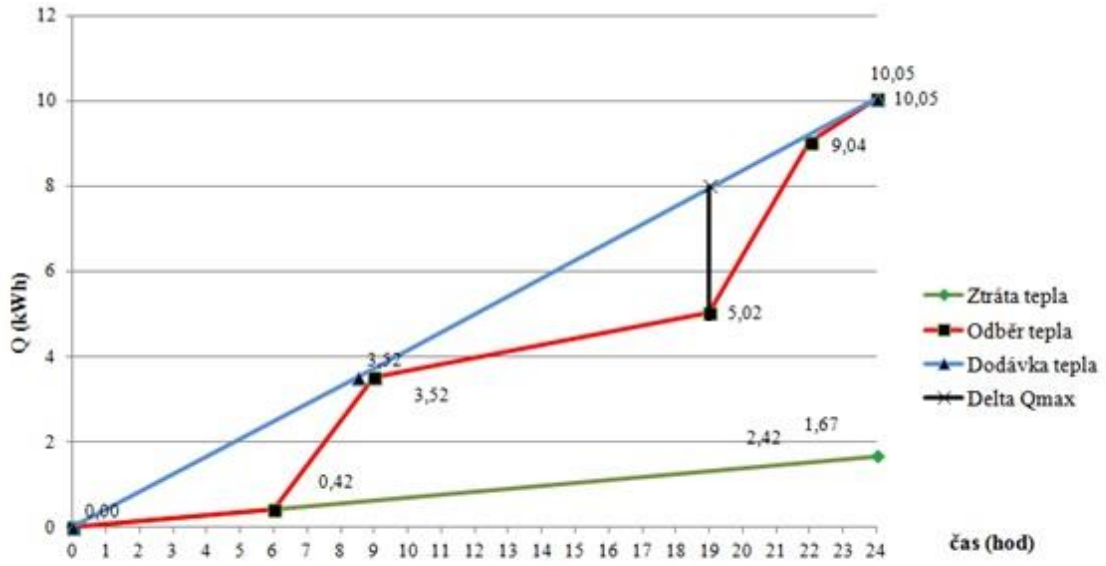
$$Q_{2z} = Q_{2p} \cdot z = 8{,}37 \cdot 0{,}2 = 1{,}67\ kWh/den \quad (4.2);$$

Křivka dodávky tepelné energie je součet denní potřeby tepelné energie a ztráty vedením tepelné energie v potrubí.

$$Q_{1p} = Q_{2p} + Q_{2z} = 8{,}37 + 1{,}67 = 10{,}04\ kWh/den \quad (4.3);$$

Celkový potřeba tepelné energie pro přípravu tepla pro ohřev 160 l vody bude 8,37 kWh/den. Po přičtení ztráty vedením tepla v potrubí je potřeba tepelné energie 10,04 kWh/den.

Křivka odběru a dodávky tepelné energie.
Jsou do ní zanesené všechny výše vypočtené hodnoty. Z teto křivky určím maximální potřebu tepla Q_{max}, pomoci které navrhuji objem zásobníku TV.



Obr. 4.1: Křivka odběru a dodávky tepla

Hodnoty odběru tepla určeny z normy ČSN EN 806. Jsou pouze orientační.:

- od 0. do 6. hodin vytížení 0 %
- od 6. do 9. hodin vytížení 35 %
- od 9. do 19. hodin vytížení 15 %
- od 19. do 22. hodin vytížení 40 %
- od 22. do 24. hodin vytížení 10 %

Na obr. 4.1 je největší rozdíl tepla v 19. hodin. Hodnota ΔQ_{max} po odečtení z grafu je 2,92 kWh.

Z návrhu zásobníku teplé vody nejprve určím objem zásobníku, který se vypočte ze vztahu:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{\max}}{c_{\text{voda}} \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{2{,}92}{1{,}163 \cdot (55 - 10)} = 0{,}0557 \text{ m}^3 = 56 \text{ l} \qquad (4.4).$$

Minimální požadovaný výkon zásobníku je určen rozdělením celkové dodávky tepla za den na jednotlivé úseky, tedy hodiny. Z výrobní řady zásobníku volím Buderus Logalux S120/5 o objemu 120 *l*. Jedná se o nepřímo ohřívaný zásobník TV.

$$Q_{\text{TV}} = \frac{Q_{1\text{p}}}{\tau} = \frac{10{,}04}{24} = 0{,}42\ kW \qquad (4.4).$$

4.2.2 Stanovení potřebného výkonu

Výkon stanovím pro přednostní přípravu teplé vody. Vypočtu ho tedy ze vzorce:

$$Q_{\text{c}} = 0{,}8 \cdot Q_{\text{VYT}} + Q_{\text{TV}} \qquad (4.5),$$

kde Q_C [kW] potřebný výkon;
Q_{VYT} [kW] potřebný výkon na pokrytí tepelné ztráty;
Q_{TV} [kW] potřebný výkon k přípravě teplé vody.

Vzorec (4.5) je spjat s podmínkou, která určuje jeho použití.

podmínka: $Q_c \geq Q_{VYT}$ jinak $Q_{VYT} = Q_c$

Po dosažení dostávám:

$$Q_c = 0{,}8 \cdot 12{,}5 + 0{,}42 = 10{,}42\ kW$$

Takže platí:

$$Q_{VYT} = Q_c = 12{,}5\ kW$$

K této hodnotě musím ještě započítat přirážku na ztrátu v rozvodu teplonosné látky. Stanový se ze vzorce:

$$Q_k = Q_{OT} \cdot (1 + p) \qquad (4.6),$$

kde Q_k [kW] potřebný výkon kotle;
p [-] přirážka na tepelné ztráty v rozvodu.

Po dosazení:

$$Q_k = 12{,}5 \cdot (1 + 0{,}05) \doteq 13{,}2\ kW$$

Kotel musí mít minimální jmenovitý výkon 13,2 kW.

4.3 Volba zdroje tepla

Hledaný kotel bude kondenzační plynový o minimálním jmenovitém výkonu 13,2 kW s možností připojení nepřímo ohřívaného zásobníku teplé vody.

Kondenzační kotel je zvolen pro jeho velkou účinnost. Kotel využívá latentního tepla, a dokáže tak využít energii uvolňovanou kondenzací vodních par ve spalinách. Výrobci

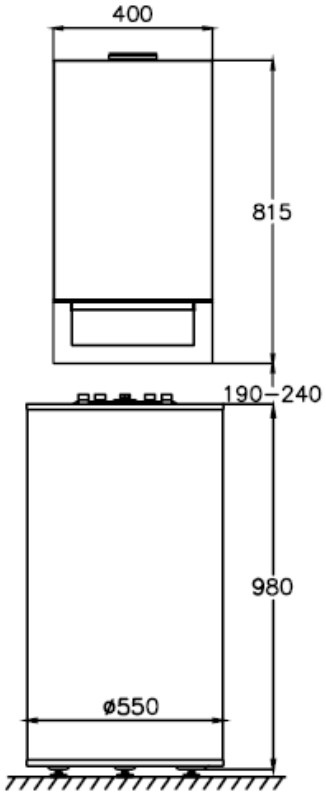
uvádějí normovaný stupeň využití kondenzačního kotle až 109 %. Platí to ovšem pro ideální podmínky kondenzace a nízkého přebytku vzduchu.

Zvolil jsem kotel od výrobce Buderus typ Logamax plus GB062-14 s nepřímo ohřívaným zásobníkem TV typu Logalux S120/5. Viz obr. 4.2.

Jmenovitý výkon kotle je 14 kW. Výkon je modulovatelný od 3,3 do 14 kW.

Normovaný stupeň využití je 109 %. Výměník tepla je ze slitiny Al-Si. Kotel je vybaven integrovaným kohoutem pro vypouštění a pojístným ventilem pro vytápění (3 bary), membránovou expanzní nádobou o objemu 8 l a tlakoměrem pro měření tlaku vody. Třícestným přepínacím ventilem na ohřev TV a úsporným oběhovým čerpadlem. Podrobné informace o kotly jsou přiloženy v příloze [č. 8].

Odvod spalin je do nově vyvložkovaného komína. Průměr splaninového potrubí kotle je 80/125 mm. Trvalý přívod spalovacího vzduchu bude zajištěn speciální větrací mřížkou v rámu okna.



Obr.4.2: Schéma kotle Buderus GB062-14 a nepřímo ohřívaného zásobníku TV Buderus S120/5 [17]

Expanzní nádoba bude kontrolována v navazující kapitole.

5 Pojistné a zabezpečovací zařízení

Pojistné zařízení jistí zdroje tepla proti překročení nejvyššího dovoleného přetlaku $P_{h,dov}$. Zabezpečovací zařízení zabezpečuje otopnou soustavu proti náhlým změnám teploty a potažmo tlaků v rámci tepelné roztažnosti otopné vody v soustavě [10]. Pojistné zařízení je pojistný ventil, který automaticky otevře při překročení nastaveného přetlaku v otopné soustavě. Kotel pojistné zařízení obsahuje a je nastaven na otevírací přetlak 300 kPa. Kotel obsahuje i zabezpečovací zařízení ve formě tlakové expanzní nádoby. Budu kontrolovat zda vyhovuje.

5.1 Návrh tlakové expanzní nádoby

Postupoval jsem podle [10], [2], [12].

Výpočet provedu podle vzorce:

$$V_{EN} = 1{,}3 \cdot V_{OS} \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} \qquad (5.1),$$

kde	V_{EN}	[m^3]	objem tlakové expanzní nádoby;
	1,3	[-]	bezpečnostní součinitel;
	V_{OS}	[m^3]	objem vody v otopné soustavě;
	n	[-]	součinitel zvětšení objemu;
	η	[-]	stupeň využití expanzní nádoby.

Stupeň využití expanzní nádoby η je ovlivněn otevíracím přetlakem pojistného ventilu $p_{h,dov} = p_{ot}$ a umístěním expanzní nádoby v otopné soustavě. Ve výpočtu musím vždy dosazovat v absolutních tlacích. Nejnižší dovolený absolutní přetlak je dán součtem nejnižšího dovoleného přetlaku a barometrického tlaku [2].

$$p_{d,dov,A} = 1{,}1 \cdot \rho_{voda} \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_B \qquad (5.2),$$

kde	ρ_{voda}	[kg/m^3]	hustota vody;
	g	[m/s^2]	tíhové zrychlení;
	h	[m]	výška vodního sloupce od středu EN do nejvyššího místa; otopné soustavy;

p_B	[kPa]	barometrický tlak;
1,1	[-]	bezpečnostní součinitel pro plné zavodnění soustavy.

Stupeň využití expanzní nádoby η je závislost mezi nejvyšším dovoleným absolutním tlakem v otopné soustavě a nejnižším absolutním dovoleným tlakem. Je dán:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} \quad (5.3),$$

kde	$p_{h,dov,A} = p_{ot,A}$	[kPa]	nejvyšší dovolený absolutní tlak = otevírací absolutní tlak pojistného ventilu;
	$p_{d,dov,A}$	[kPa]	nejnižší dovolený absolutní tlak.

Zjištěné hodnoty dosazená do vzorce (5.1) a (5.3):

$$V_{EN} = \frac{1{,}3 \cdot 189 \cdot 0{,}01413}{0{,}655} = 5{,}3\,l$$

Nádoba vyhovuje. Expanzní nádoba v kotli je o velikosti 8 l.

6 Oběhové čerpadlo

Za pomoci oběhového čerpadla je dodávána teplonosná látka k topným tělesům, kde je ochlazovaná a vrací se zpět do kotle. Čerpadlo musí mít dostatečný dispoziční tlak, aby překonalo tlakové ztráty otopné soustavy.

6.1 Návrh oběhového čerpadla

$$\Delta p_{č} = \Delta p_{ZO} - \Delta p_{ρ} \quad (6.1);$$

kde	$\Delta p_{č}$	[Pa]	dopravní tlak čerpadla;
	Δp_{ZO}	[Pa]	celková tlaková ztráta okruhu;
	$\Delta p_{ρ}$	[Pa]	účinný tlak okruhu.

U nízkých budov do tří pater se účinný tlak okruhu zanedbává, protože je několikanásobně menší než celková tlaková ztráta okruhu. Budu zvažovat pouze:

$$\Delta p_{č} = \Delta p_{ZO}$$

Dopravní výška čerpadla se určí ze vztahu:

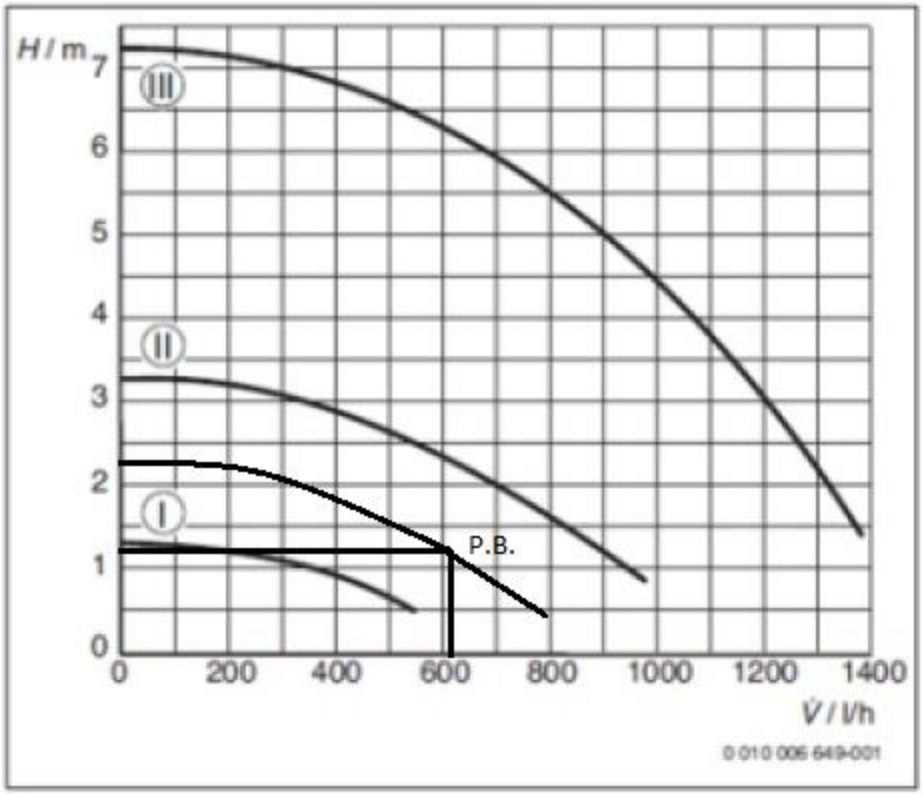
$$H = \frac{\Delta p_{č}}{\rho \cdot g} \quad (6.2),$$

kde	ρ	[kg/m^3]	hustota teplonosné látky
	g	[m/s^2]	tíhové zrychlení

Po dosazení celkové ztráty okruhu, hustoty teplonosné látky a tíhového zrychlení mi vyšla dopravní výška čerpadla:

$$H = \frac{11703}{1000 \cdot 9{,}81} = 1{,}19\ m$$

Pomocí charakteristiky čerpadla na obr. 6.1 od výrobce Buderus, který má ve svých podkladech ke zvolenému kotli pracovní bod dle charakteristiky potrubní sítě, na kterou lze čerpadlo nastavit pomocí plynulé změny otáček přepínače pro čerpadlo. Čerpadlo tak vyhovuje.



Obr. 6.1.: Charakteristiky čerpadla v kotli typu Logamax plus GB062-14

7 Roční náklady na palivo

Náklady na palivo vypočtu denostupňovou metodou.

7.1 Potřeba tepla pro vytápění

Potřeba tepla je nehmatatelná. Je to projekční stav. Potřeba tepla je teoretická a skutečná. Teoretickou vypočtu denostupňovou metodou. Skutečnou vypočtu dělením teoretické potřeby tepla účinností kotle, účinností obsluhy a účinností rozvodu tepelné energie.

Výpočet teoretické potřeby denostupňovou metodou vypadá tedy [5]:

$$Q_{\mathrm{d,teor}} = 24 \cdot 3600 \cdot Q_{\mathrm{c}} \cdot \frac{d \cdot (t_{\mathrm{is}} - t_{\mathrm{es}})}{t_{\mathrm{is}} - t_{\mathrm{e}}} \cdot e_{\mathrm{t}} \cdot e_{\mathrm{d}} \cdot e_{\mathrm{i}} \qquad (7.1);$$

kde	$Q_{\mathrm{d,teor}}$	[J]	teoretická potřeba tepla na vytápění za otopné období;
	Q_{c}	[W]	celková tepelná ztráta objektu;
	d	[dny]	počet dnů v otopném období;
	t_{is}	[°C]	průměrná vnitřní teplota v objektu (volím 23 °C);
	t_{es}	[°C]	průměrná venkovní teplota za otopné období;
	t_{e}	[°C]	venkovní výpočtová teplota;
	e_{t}	[-]	opravný součinitel na snížení vnitřní teploty;
	e_{d}	[-]	opravný součinitel na zkrácení doby provozu;
	e_{i}	[-]	opravný součinitel na nesoučasnost přirážek.

Po dosazení do vzorce (7.1):

$$Q_{\mathrm{d,teor}} = 24 \cdot 3600 \cdot 12500 \cdot \frac{226 \cdot (23 - 4{,}4)}{23 + 12} \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}8 = 40\,677\ GJ$$

Skutečná potřeba tepla je pak vypočtena:

$$Q_{\mathrm{d,skut}} = \frac{Q_{\mathrm{teor}}}{\eta_{\mathrm{K}} + \eta_{\mathrm{R}} + \eta_{\mathrm{O}}} \quad (7.2),$$

kde	$Q_{\mathrm{d,skut}}$	[J]	skutečná potřeba tepla;
	η_{K}	[-]	účinnost kotle;
	η_{R}	[-]	účinnost rozvodů energie;
	η_{O}	[-]	účinnost obsluhy.

Po dosazení:

$$Q_{\mathrm{d,skut}} = \frac{40{,}6}{0{,}96 \cdot 0{,}97 \cdot 0{,}99} = 44\,040 \text{ MJ}$$

7.2 Potřeba tepla pro přípravu TV

Postup je ze zdroje [5].

Potřeba tepla pro přípravu vody za jeden den byla stanovena v kapitole 4.2 a je 10,04 kWh/den.Po přepočtu je 36,14 MJ. Výpočet pro roční potřebu tepla na přípravu teplé vody podle denostupňové metody je:

$$Q_{\mathrm{d,TV}} = Q_{\mathrm{d,TV,den}} \cdot d_{\mathrm{Z}} + 0{,}8 \cdot Q_{\mathrm{d,TV,den}} \cdot \frac{t_{w1} - t_{2,\mathrm{léto}}}{t_{\mathrm{w1}} - t_{2,\mathrm{zima}}} \cdot d_{\mathrm{L}} \quad (7.3),$$

kde	$Q_{\mathrm{d,TV}}$	[MJ/rok]	potřeba tepla na přípravu teplé vody za rok;
	$Q_{\mathrm{d,TV,den}}$	[MJ/den]	potřeba tepla na přípravu teplé vody za den;
	d_{Z}	[dny]	počet dní přípravy TV v zimě;
	d_{L}	[dny]	počet dní přípravy TV v létě;
	0,8	[-]	součinitel zohledňující snížení potřeby TV v létě;
	$t_{2,\mathrm{léto}}$	[°C]	teplota studené vody v létě;
	$t_{2,\mathrm{zima}}$	[°C]	teplota studené vody v zimě;
	t_{w1}	[°C]	teplota teplé vody.

Po dosazení:

$$Q_{\mathrm{d,TV}} = 36{,}14 \cdot 90 + 0{,}8 \cdot 36{,}14 \cdot \frac{55-15}{55-5} \cdot 110 = 5\,796\ MJ$$

7.3 Potřeba paliva

Celkovou potřebu tepla dostanu po sečtení skutečné potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody:

$$Q_{\mathrm{d,celk}} = Q_{\mathrm{d,skut}} + Q_{\mathrm{d,TV}} \qquad (7.4),$$

kde $Q_{\mathrm{d,celk}}$ [J/rok] celková roční potřeba tepla na vytápění a přípravu TV.

Výpočet celkové roční potřeby paliva pak určím ze vzorce:

$$U_{\mathrm{d,celk}} = U_{\mathrm{d}} + U_{\mathrm{d,TV}} = \frac{Q_{\mathrm{d,skut}}}{Hu} + \frac{Q_{\mathrm{d,TV}}}{Hu} \qquad (7.5),$$

kde $U_{\mathrm{d,celk}}$ [m^3/rok] celková roční potřeba paliva;
Hu [MJ/m^3] výhřevnost použitého paliva (tranzitní ruský plyn).

Po dosazení:

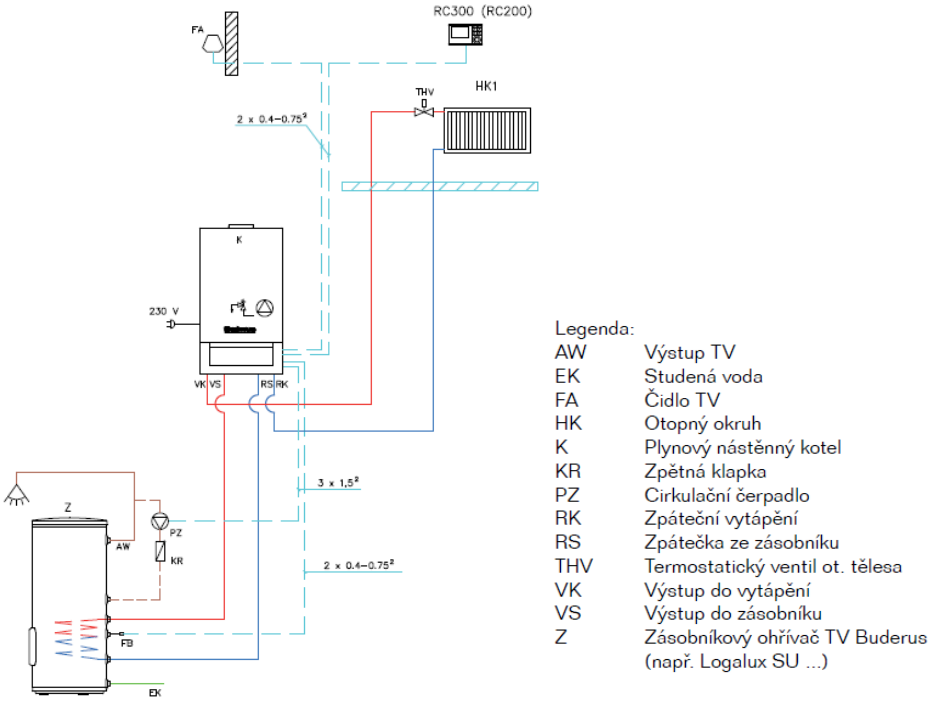
$$U_{\mathrm{d,celk}} = U_{\mathrm{d}} + U_{\mathrm{d,TV}} = \frac{44040}{35{,}9} + \frac{5\,796}{35{,}9} = 1388\ m^3 / rok$$

Cena za 1 388 m^3/rok může být v navrhované lokalitě 16 021 Kč/rok [11].

8 Regulace

Regulace slouží k optimálnímu vytápění objektu. Během otopného dochází ke změnám venkovní teploty. Ta je svázaná s tepelnými ztrátami objektu. Regulace může být podle venkovní nebo vnitřní teploty.

U každého otopného tělesa je instalovaný termostatický ventil osazený termostatickou hlavicí, tím je zajištěna místní regulace. K této regulaci bude ještě přidána regulace od firmy Buderus-přístroj Logamic RC300, která zajistí regulaci zdroje tepla podle venkovní teploty. Pomocí teto regulace si otopnou soustavu můžu rozdělit až na čtyři otopné okruhy. To mi zajistí nepřetápění místností, kde jsou umístěny krbové vložky. Na obr. 8.1 je vidět orientační schéma zapojení s RC300 [14].



Obr. 8.1: Regulace pomocí RC300

Systém bude ještě doplněn o aplikaci Buderus EasyControl ve spojení s modulem Lagamatic web KM200. Za pomocí tohoto systému bude vytápění říditelné na dálku za pomocí mobilního telefonu.

9 Investiční náklady

Investiční náklady na pořízení nových prvku za výměnu starý jsou uvedeny v tab. 9.1 a tab. 9.2. Tato cena je jen za materiál. Cena montážních prací pouze odhaduji na přibližně 80.000 Kč.

Tab. 9.1: Náklady na nové prvky otopné soustavy

Výrobek	Počet [-]	Cena/kus	Cena
20VK-500x800	1	3 108 Kč	3 108 Kč
21VK-500x1100	1	4 025 Kč	4 025 Kč
21VK-500x1400	4	4 535 Kč	18 140 Kč
21VK-500x1600	2	4 873 Kč	9 746 Kč
22VK-500x1000	1	4 570 Kč	4 570 Kč
22VK-500x1400	3	5 469 Kč	16 407 Kč
22VK-500x1600	1	5 921 Kč	5 921 Kč
33VK-300x2000	2	7 172 Kč	14 344 Kč
KLM-1500x750	2	2 901 Kč	5 802 Kč
IVAR.DD 343	15	357 Kč	5 355 Kč
ARMATURA HM	2	999 Kč	1 998 Kč
Logamax plus GB062	1	40 051 Kč	40 051 Kč
Logalux S120/5	1	12 500 Kč	12 500 Kč
Log. RC300-EMS-plus	1	4 990 Kč	4 990 Kč
El. topná patrona	2	1 074 Kč	2 148 Kč
Logamatic KM200	1	5 300 Kč	5 300 Kč
Suma			154 405 Kč

Tab. 9.2.: Náklady na nové potrubí

Potrubí [mm]	Délka	Cena/metr	Cena
DN 12x1	108	72 Kč	7 798 Kč
DN 15x1	21	81 Kč	1 695 Kč
DN 18x1	11	102 Kč	1 122 Kč
DN 22x1	4	127 Kč	508 Kč
Suma			11 122 Kč

Celkové investiční náklady jsou tedy přibližně 245 527 Kč.

Závěr

Bakalářská práce byla zaměřena na revizi systému vytápění rekreačního objektu. Objekt je chalupa rekonstruovaná v roce 2004 s ponechanými dvěma původními světnicemi.

Nové změny tepelně-technických vlastností objektu nebyly na přání majitele prováděny. Já zde na konci uvedu doporučení, která by se dala udělat v zájmu zlepšení stavu a v zájmu dodržení hodnot požadovaných v ČSN 73 0540.

Výpočet tepelných ztrát byl proveden starou, dnes už neplatnou normou ČSN 06 0210. Tato volba byla provedena z důvodu rekonstrukce objektu v roce 2004, kdy tato norma platila a tepelné ztráty byly podle ní počítány i před tím. Tepelná ztráta objektu po zaokrouhlení vyšla 12,5 kW.

V objektu byla před revizí dvoutrubková protiproudá horizontální uzavřená otopná soustava se spodním rozvodem a nuceným oběhem teplonosné látky. Typ otopné soustavy jsem ponechal.

Potrubní síť v otopné soustavě byla však změněna. Změna se týkala nejvíce světlosti potrubí a nepatrná změna byla provedena v rozvodu sítě. Bylo zvoleno měděné potrubí vedené u podlahy po povrchu stěn. Proto nebylo izolováno a počítá se s tím, že ztráty potrubí jsou uvolňovány do vytápěných místností.

Původní kotel byl na tuhá paliva pro kombinaci dřevo-uhlí o jmenovitém výkonu 24 kW na teplotní spád 70/60 °C. Dále v objektu byly instalovány dvě krbové vložky. Každá vložka má výkon 14 kW.

Kotel byl zvolen kondenzační plynový od firmy Buderus o výkonu 14 kW (modulace 3,3-14 kW) na teplotní spád 55/40 °C. V kotli bylo už instalováno pojistné a zabezpečovací zařízení od výrobce. Expanzní nádoba s velikostí 8 l vyhovovala mým požadavků. Kotel obsahoval i čerpadlo, které bylo nastaveno pomocí snížení otáček na příslušný pracovní bod (11,7 kPa / 611 kg/h). Do objektu byla kromě koupelen instalována desková otopná tělesa od firmy Korado typu Radik VK a koupelny byly

osazeny trubkovými otopnými tělesy firmy Korado typu Korolux Rondo Max-M. Krbové vložky budou v objektu ponechány za účelu zvýšení tepelného komfortu.

Hydraulické vyvážení topné soustavy bylo uděláno za pomoci regulačního šroubení, termostatických ventilů a jedna větev byla předškrcená ventilem IVAR.CIM 788.

Příprava teplé vody je uskutečněna v nepřímo ohřívaném zásobníku teplé vody od firmy Buderus typu Logalux S120/5 o objemu 120 l. Návrh přípravy teplé vody byl proveden pro čtyři osoby. Příprava teplé vody bude krátkodobě upřednostňována před vytápěním.

Potřeba tepla na vytápění vyšla 44 040 MJ. Potřeba tepla na přípravu TV vyšla 5 796 MJ. Celková potřeba paliva na rok vyšla 1386 m^3. Cena za 1386 m^3 zemního plynu za rok může být v navrhované lokalitě 16 021 Kč.

Řízení otopné soustavy je provedeno za pomoci regulátoru Logalux RC300-EMS-Plus doplněného o modul Logamatic KM200 pro dálkové spouštění. Objekt lze řídit prostorově i ekvitermě. Pro místní regulaci slouží termostatické hlavice na každém otopném tělese.

Co by šlo zlepšit nebo udělat jinak?
Zlepšit by šla technická obálka budovy. Mohla by se zaizolovat poslední stěna, která tvoří hranici pozemku se sousedem a je postavena z vepřovic, Bylo by vhodné přidat minerální vaty na střechu, vyměnit nebo zaizolovat vchodové dveře. Tento problém by šel vyřešit větší realizací, která by se týkala přistavěním zádveří. Poslední úpravy by se týkaly podlah ve staré časti, kde je jen vrstva štěrku, hlíny a asfaltové škváry. U nové podlahy mi vyšel součinitel prostupu o trošku větší než u staré podlahy. Toto bych dával za vinu nedostatku informací. Řekl bych, že reálná situace bude lepší.

V mé práci jsem navrhl výměnu celé staré otopné soustavu za novou, abych si shrnul své studium. V reálu by se otopná soustava spíše upravila, aby se ušetřili investice. Celá nová otopná soustava by vyšla po zaokrouhlení na 250 000 Kč. Ušetřit by se dalo na otopných tělesech. V tab. 3.2 bylo vidět, že projekt by šel vymyslet s výměnou

jen některých těles. Ušetřit by se dalo také na nepřímo ohřívaném zásobníku teplé vody, kde by se nechal původní a nekupoval se nový.

Použité zdroje:

1. BAŠTA, J.,VAVŘIČKA, R.:Otopné plochy. Cvičení. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2005. 109s., 41 obr. ISBN 80-01-03344-9

2. BAŠTA, J., KABELE, K.: *Otopné soustavy teplovodní-sešit projektanta* 3. přepracované vyd. Praha 1: STP 2008, 96 s., ISBN 978-80-0-02064-6

3. *Korado [online]*.Deskové otopné těleso. 26.6.2016. Dostupné https://www.korado.cz/produkty/radik/radik-vk.html

4. *Korado [online]*.Trubkové otopné těleso. 26.6.2016. Dostupné https://www.korado.cz/produkty/koralux/koralux-linear-max-m.html

5. Ústav techniky prostředí [online]. Osobní stránky, Základy vytápění. 7.2.2016. Dostupné z: http://jindrab.webnode.cz/skola/

6. *PDF* [online]. Dimenzování potrubí. 28.6.2016. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/ST51/5_dimenzovani_potrubi.pdf

7. LABOUTKA, K., SUCHÁNEK, T.: Výpočtové tabulky pro vytápění. Vztahy a pomůcky-sešit projektanta (pracovní podklady). Vyd. Praha 1: STP 2001, 208 s., ISBN 80-02-01466-9

8. Ústav *techniky prostředí* [online]. Osobní stránky, Základy zdravotně technických instalací. 10.5.2016. Dostupné z : http://users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/ZTI.html

9. VAVŘIČKA, R.:Základy zdravotně technických instalací. (přednáška) Praha: ČVUT, únor až květen 2016

10. BAŠTA, J.: Základy vytápění. (přednáška) Praha: ČVUT, říjen až prosinec 2015

11. *TZB-info* [online]. Porovnání cen paliva.1.7.2016. Dostupné z: http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-zemniho-plynu-porovnani-nabidek

12. *ČVUT* [online]. Zabezpečovací zařízení. 1.7.2016. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=42

13. MATUŠKA, T.: Základy zásobováním teplem. (přednáška) Praha: ČVUT, říjen až prosinec 2015

14. BUDERUS [online]. Regulace. 2.7.2016. Dostupné z: http://www.buderus.cz/files/BUD_Family_komplety_01_2016_CZ_1_CZ.pdf

15. Ivarcs.cz [online]. IVARCS. Topenářské armatury. 4.7.2016. Dostupné z: http://www.ivarcs.cz/cz/vekoluxivar-primy-dvoutrubkovy-system-ivar-dd-343-ivar-dd-345

16. Danfoss [online]. Danfoss. Ventilová tělesa. 4.7.2016. Dostupné z: http://products.danfoss.cz/productrange/heatingsolutions/termostaticke-radiatorove-ventily/termostaticke-hlavice/

17. Buderus [online]. Buderus. Kotle.7.7.2016. Dostupné z: http://www.buderus.cz/files/BUD_Family_komplety_01_2016_CZ_1_CZ.pdf

Seznam příloh:

Příloha č. 1	Tab. Výpočet tlakové ztráty Cu potrubí
Příloha č. 2	Tab. Tlakové ztráty soustavy a seřízení otopných těles
Příloha č. 3	Obr. Graf tlakových ztrát TRV integrovaného v OT Radik VK [3]
Příloha č. 4	Obr. Graf tlak. ztrát regulačního šroubení IVAR.DD 353 [15]
Příloha č. 5	Obr. Graf tlakových ztrát TVR Danfoss RA-N 10 [16]
Příloha č. 6	Obr. Graf závislosti tlakových ztrát regulačního šroubení IVAR.DD 305 [15]
Příloha č. 7	Obr. Graf tlak. ztráta vyvažovacího ventilu IVAR.CIM 788 [15]
Příloha č. 8	Tab. Technické parametry kondenzačního kotle Buderus Logamax plus GB062-14

Přílohy na přiloženém CD:

Kompletní výpočty (*.xlsx)
Výkresová dokumentace (*.dwg, *.pdf)
Textová část (*.docx, *.pdf)

Seznam výkresové dokumentace:

BP 1-01	Půdorys přízemí
BP 1-02	Půdorys prvního patra
BP 1-03	Rozvinuté schéma
BP 1-04	Schéma Kotelny

Příloha č. 1

Tab. Výpočet tlakové ztráty Cu potrubí

L P	TLAKOVÁ ZTRÁTA Cu POTRUBÍ TŘENÍM M = [kg/h] R = [Pa/m] t_H = 40 °C w = [m/s] k = 0.0063	210 - 1

D/t [mm/mm]	6.0/1.00		8.0/1.00		10.0/1.00		12.0/1.00		15.0/1.00		18.0/1.00		22.0/1.00	
d [mm]	4.00		6.00		8.00		10.00		13.00		16.00		20.00	
M	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w
10.0	290	0.22	57.5	0.10	18.0	0.06	7.45	0.04	2.60	0.02				
11.0	320	0.25	63.0	0.11	20.0	0.06	8.20	0.04	2.85	0.02				
12.5	365	0.28	72.0	0.12	22.5	0.07	9.30	0.04	3.25	0.03				
14.0	405	0.32	80.5	0.14	25.5	0.08	10.5	0.05	3.65	0.03				
16.0	465	0.36	92.0	0.16	29.0	0.09	12.0	0.06	4.15	0.03	1.80	0.02		
18.0	545	0.40	105	0.18	32.5	0.10	13.5	0.06	4.70	0.04	2.05	0.03		
20.0	685	0.45	115	0.20	36.5	0.11	15.0	0.07	5.20	0.04	2.25	0.03		
22.0	875	0.50	125	0.22	40.0	0.12	16.5	0.08	5.75	0.05	2.50	0.03		
25.0	1280	0.56	145	0.25	45.5	0.14	18.5	0.09	6.50	0.05	2.85	0.03	1.15	0.02
28.0	1855	0.63	175	0.28	51.0	0.16	21.0	0.10	7.30	0.06	3.20	0.04	1.30	0.02
32.0			235	0.32	58.0	0.18	24.0	0.11	8.35	0.07	3.65	0.04	1.50	0.03
36.0			330	0.36	68.0	0.20	27.0	0.13	9.40	0.08	4.10	0.05	1.70	0.03
40.0			460	0.40	85.0	0.22	30.0	0.14	10.5	0.08	4.55	0.06	1.85	0.04
45.0			670	0.45	115	0.25	35.0	0.16	11.5	0.09	5.10	0.06	2.10	0.04
50.0			805	0.50	155	0.28	43.5	0.18	13.0	0.11	5.70	0.07	2.35	0.04
56.0			975	0.56	230	0.32	58.0	0.20	14.5	0.12	6.35	0.08	2.60	0.05
63.0			1200	0.63	305	0.36	82.5	0.22	18.5	0.13	7.15	0.09	2.95	0.06
71.0			1475	0.71	375	0.40	120	0.25	24.5	0.15	8.25	0.10	3.30	0.06
80.0			1820	0.80	460	0.45	160	0.28	35.0	0.17	10.5	0.11	3.70	0.07
90.0			2235	0.90	565	0.50	195	0.32	51.0	0.19	14.5	0.13	4.35	0.08
100					680	0.56	235	0.36	68.0	0.21	19.5	0.14	5.40	0.09
110					800	0.60	275	0.40	80.0	0.24	26.5	0.15	6.90	0.10
125					1005	0.71	345	0.45	99.5	0.26	37.0	0.17	10.0	0.11
140					1225	0.80	420	0.50	120	0.30	45.0	0.19	14.5	0.12
160					1550	0.90	530	0.56	150	0.34	57.0	0.22	20.0	0.14
180					1910	1.00	655	0.63	185	0.38	70.0	0.25	24.5	0.16
200					2300	1.10	790	0.71	225	0.42	83.5	0.28	29.0	0.18
220							930	0.80	265	0.45	99.0	0.30	34.5	0.20
250							1170	0.90	330	0.53	125	0.34	42.5	0.22
280							1430	1.00	405	0.60	150	0.38	52.0	0.25
320							1810	1.10	515	0.67	190	0.45	65.5	0.28
360							2235	1.30	630	0.75	235	0.50	80.5	0.32
400									760	0.85	280	0.56	97.0	0.36
450									940	0.95	345	0.63	120	0.40
500									1130	1.00	415	0.71	145	0.45
560									1385	1.20	510	0.80	175	0.50
630									1715	1.30	630	0.90	215	0.56
710									2125	1.50	780	1.00	265	0.63
800											965	1.10	330	0.71
900											1190	1.30	405	0.80
1 000											1440	1.40	490	0.90
1 100											1710	1.50	580	1.00
1 250											2155	1.70	730	1.10
1 400													895	1.30
1 600													1140	1.40
1 800													1410	1.60
2 000													1705	1.80
2 200													2030	2.00

t_H= 40 °C	32 až 67 °C OTOPNÁ VODA k = 0.0063 mm	210 - 1

L P	TLAKOVÁ ZTRÁTA Cu POTRUBÍ TŘENÍM M = [kg/h] R = [Pa/m] t_H = 40 °C w = [m/s] k = 0.0063 mm	210 - 3

D/t mm(mm)	28.0/1.50		28.0/1.00		35.0/1.50		42.0/1.50		54.0/2.00		54.0/1.50		64.0/2.00	
d [mm]	25.00		26.00		32.00		39.00		50.00		51.00		60.00	
M	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w	R	w
36.0	0.70	0.02												
40.0	0.75	0.02	0.65	0.02										
5.0	0.85	0.03	0.75	0.02										
50.0	0.95	0.03	0.80	0.03										
56.0	1.05	0.03	0.90	0.03										
63.0	1.20	0.04	1.05	0.03										
71.0	1.35	0.04	1.15	0.04	0.50	0.02								
80.0	1.55	0.05	1.30	0.04	0.55	0.03								
90.0	1.70	0.05	1.45	0.05	0.65	0.03								
100	1.90	0.06	1.65	0.05	0.70	0.03								
110	2.15	0.06	1.80	0.06	0.80	0.04								
125	2.75	0.07	2.25	0.07	0.90	0.04								
140	3.70	0.08	2.95	0.07	1.00	0.05								
160	5.50	0.09	4.30	0.08	1.30	0.06	0.50	0.04						
180	8.10	0.10	6.30	0.09	1.80	0.06	0.60	0.04						
200	10.0	0.11	8.40	0.11	2.45	0.07	0.75	0.05						
220	12.0	0.13	9.90	0.12	3.30	0.08	1.00	0.05						
250	15.0	0.14	12.5	0.13	4.65	0.09	1.45	0.06						
280	18.0	0.16	15.0	0.15	5.60	0.10	2.10	0.07						
320	23.0	0.18	19.0	0.17	7.05	0.11	2.80	0.07	0.70	0.05	0.60	0.04		
360	28.0	0.21	23.0	0.19	8.65	0.13	3.40	0.08	1.00	0.05	0.90	0.05		
400	33.5	0.22	28.0	0.21	10.5	0.14	4.10	0.09	1.25	0.06	1.15	0.05		
450	41.0	0.26	34.0	0.24	12.5	0.16	5.00	0.11	1.55	0.06	1.40	0.06	0.65	0.04
500	49.5	0.28	41.0	0.26	15.5	0.17	6.00	0.12	1.85	0.07	1.70	0.07	0.80	0.05
560	60.5	0.32	50.0	0.30	18.5	0.19	7.30	0.13	2.25	0.08	2.05	0.08	0.95	0.06
630	74.0	0.36	61.5	0.34	23.0	0.22	8.95	0.15	2.75	0.09	2.50	0.09	1.15	0.06
710	91.5	0.40	76.0	0.38	28.0	0.25	11.0	0.17	3.40	0.10	3.10	0.10	1.45	0.07
800	115	0.45	93.5	0.42	34.5	0.28	13.5	0.19	4.15	0.11	3.80	0.11	1.75	0.08
900	140	0.50	115	0.48	42.5	0.32	16.5	0.21	5.10	0.13	4.65	0.12	2.15	0.09
1 000	170	0.56	140	0.53	51.5	0.34	20.0	0.24	6.15	0.14	5.60	0.14	2.60	0.10
1 100	200	0.63	165	0.60	61.0	0.38	23.5	0.26	7.25	0.16	6.60	0.15	3.05	0.11
1 250	250	0.71	205	0.67	76.0	0.45	29.5	0.30	9.05	0.18	8.25	0.17	3.80	0.12
1 400	305	0.80	250	0.75	93.0	0.48	36.0	0.32	11.0	0.20	10.0	0.19	4.65	0.14
1 600	385	0.90	320	0.85	120	0.56	46.0	0.38	14.0	0.22	12.5	0.22	5.85	0.16
1 800	480	1.00	395	0.95	145	0.63	56.5	0.42	17.0	0.26	15.5	0.25	7.20	0.18
2 000	580	1.10	480	1.00	175	0.71	68.0	0.48	20.5	0.28	19.0	0.28	8.70	0.20
2 200	685	1.30	570	1.20	210	0.75	80.5	0.53	24.5	0.32	22.5	0.30	10.5	0.22
2 500	865	1.40	715	1.30	260	0.85	100	0.60	30.5	0.36	28.0	0.34	13.0	0.25
2 800	1060	1.60	880	1.50	320	0.95	125	0.67	37.5	0.40	34.0	0.38	15.5	0.28
3 200	1355	1.80	1120	1.70	410	1.10	155	0.75	47.5	0.45	43.5	0.45	20.0	0.32
3 600	1680	2.10	1385	1.90	505	1.30	195	0.85	59.0	0.50	53.5	0.50	24.5	0.36
4 000	2035	2.20	1680	2.10	610	1.40	235	0.95	71.0	0.56	64.5	0.56	29.5	0.40
4 500			2085	2.40	760	1.60	290	1.00	87.5	0.63	79.5	0.63	36.5	0.45
5 000					920	1.70	350	1.20	105	0.71	96.0	0.67	44.0	0.50
5 600					1130	1.90	430	1.30	130	0.80	120	0.75	54.0	0.56
6 300					1400	2.20	535	1.50	160	0.90	145	0.85	66.5	0.63
7 100					1745	2.50	665	1.70	200	1.00	180	0.95	82.5	0.71
8 000					2175	2.80	825	1.90	245	1.10	225	1.10	100	0.80
9 000							1025	2.10	305	1.30	280	1.30	125	0.90
10 000							1245	2.40	370	1.40	335	1.40	155	1.00
11 000							1485	2.60	440	1.60	400	1.50	180	1.10
12 500							1875	3.00	555	1.80	505	1.70	230	1.30
14 000							2315	3.20	685	2.00	625	1.90	280	1.40
16 000									875	2.20	795	2.20	360	1.60
18 000									1090	2.60	990	2.50	445	1.80
20 000									1325	2.80	1200	2.80	540	2.00
22 000									1580	3.20	1430	3.00	645	2.20
25 000									2000	3.60	1815	3.40	820	2.50
28 000									2470	4.00	2240	3.80	1010	2.80
32 000													1290	3.20
36 000													1605	3.60
40 000													1955	4.00
45 000													2440	4.50

t_H = 40 °C	32 až 67 °C OTOPNÁ VODA k = 0.0063 mm	210 - 3

Příloha č. 2:

Tab. Tlakové ztráty soustavy a seřízení otopných těles

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT1= 442 [W]									
1	611	0,7	22x1	204	0,55	2,6	143	388	531
2	516	1	22x1	153	0,47	2,5	153	266	419
3	333	5,3	18x1	204	0,47	3,5	1081	379	1460
4	162	2,6	12x1	542	0,59	1,5	1409	254	1663
5	106	3,5	12x1	259	0,38	1,5	907	107	1014
6	58	3,3	12x1	65	0,21	2,5	215	53	268
7	25	5,1	12x1	18,5	0,09	1	94	4	98
8	25	5,1	12x1	18,5	0,09	1	94	4	98
9	58	3,3	12x1	65	0,21	3	215	64	278
10	106	3,5	12x1	259	0,38	2	907	143	1049
11	162	2,6	12x1	542	0,59	2	1409	338	1747
12	333	5,3	18x1	204	0,47	3,5	1081	379	1460
13	516	1	22x1	153	0,47	2,5	153	266	419
14	611	0,7	22x1	204	0,55	2,6	143	388	531
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT1-Δp_{potr1}									11037
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu (plně otevřen)- Δp_{TRV1}									110
Tlaková ztráta regulačního šroubení (plně otevřen) - $\Delta p_{RŠ1}$									34
Celková tlaková ztráta okruhu OT1 - Δp_{o1}									**11181**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT2= 562 [W]									
1 až 6	viz těleso OT1								5354
6T	32	0,12	12x1	24	0,12	2,5	3	17	20
9S	32	0,12	12x1	24	0,12	2,5	3	17	20
9 až 14	viz těleso OT1								5485
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT2- Δp_{potr2}									10879
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu- Δp_{TRV2}									182
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ2}$									102
Celková tlaková ztráta okruhu OT2 - Δp_{o2}									**11163**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT3= 835 [W]									
1 až 5	viz těleso OT1								5087
5T	48	0,12	12x1	40,1	0,17	2,5	5	37	42
10S	48	0,12	12x1	40,1	0,17	2,5	5	37	42
10 až 14	viz těleso OT1								5207
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT3- Δp_{potr3}									10377
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu- Δp_{TRV3}									410
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ3}$									369
Celková tlaková ztráta okruhu OT3 - Δp_{o3}									**11156**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT4= 991 [W]									
1 až 4	viz těleso OT1								4073
15	57	6,3	12x1	61,5	0,21	4,5	387	93	481
16	57	6,3	12x1	61,5	0,21	4,5	387	93	481
11 až 14	viz těleso OT1								4158
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT4- Δp_{potr4}									9192
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV4}									1000
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ4}$									903
Celková tlaková ztráta okruhu OT4 - Δp_{o4}									**11095**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT5= 991 [W]									
1 až 2	viz těleso OT1								950
43	183	6,4	15x1	191	0,39	2,5	1222	187	1409
41	141	1,15	12x1	425,5	0,51	1,5	489	190	680
39	57	5	12x1	61,5	0,21	3,5	308	73	380
40	57	5	12x1	61,5	0,21	3,5	308	73	380
42	141	1,15	12x1	425,5	0,51	1,5	489	190	680
44	183	6,4	15x1	191	0,39	2,5	1222	187	1409
13 až 14	viz těleso OT1								950
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT5- Δp_{potr5}									6838
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV5}									1000
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ5}$									3381
Celková tlaková ztráta okruhu OT5 - Δp_{o5}									**11219**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT6= 522 [W]									
1	viz těleso OT1								531
23	95	2,9	15x1	59,5	0,20	2,5	173	51	8265
25	54	2,4	12x1	53,2	0,20	2,5	128	47	174
29	30	0,5	12x1	22,5	0,11	3,5	11	20	31
30	30	0,5	12x1	22,5	0,11	3,5	11	20	31
26	54	2,4	12x1	53,2	0,20	2,5	128	47	174
24	95	2,9	12x1	215	0,34	2,5	624	145	768
14	viz těleso OT1								531
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT6- Δp_{potr6}									10507
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV6}									160
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ6}$									487
Celková tlaková ztráta okruhu OT6 - Δp_{o6}									**11154**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT7= 562 [W]									
1 až 3	viz těleso OT1								2410
21,5	171	0,8	15x1	169	0,37	1,5	135	98	233
21	134	2	12x1	390	0,48	1,5	780	172	952
19	97	3,95	12x1	223	0,35	2,5	881	150	1031
17,5	65	1,05	12x1	92	0,23	1,5	97	40	137
17	32	1,8	12x1	24	0,12	2,5	43	17	60
18	32	1,8	12x1	24	0,12	2,5	43	17	60
18,5	65	1,05	12x1	92	0,23	1,5	97	40	137
20	97	3,95	12x1	223	0,35	2,5	881	150	1031
22	134	2	12x1	390	0,48	1,5	780	172	952
22,5	171	0,8	15x1	169	0,37	1,5	135	98	233
13 až 14	viz těleso OT1								2410
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT7- Δp_{potr7}									9645
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV7}									464
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ7}$									1066
Celková tlaková ztráta okruhu OT7 - Δp_{o7}									**11175**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT7.1= 562 [W]									
1+3	viz těleso OT1								2410
21,5až17,5	viz těleso OT7								2352
17T	32	0,12	12x1	24	0,12	2,5	3	17	20
18S	32	0,12	12x1	24	0,12	2,5	3	17	20
18,5až22,5	viz těleso OT7								2352
13+14	viz těleso OT1								2410
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT7.1- $\Delta p_{potr7.1}$									9564
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - $\Delta p_{TRV7.1}$									464
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ7.1}$									1066
Celková tlaková ztráta okruhu OT7.1 - $\Delta p_{o7.1}$									**11094**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT8= 562 [W]									
1 až 3	viz těleso OT1								2410
21,5 až 19	viz těleso OT7								2215
19T	32	0,12	12x1	24	0,12	2,5	3	17	20
20S	32	0,12	12x1	24	0,12	2,5	3	17	20
20 až 22,5	viz těleso OT7								2215
12 až 14	viz těleso OT1								2410
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT8-Δp_{potr8}									9291
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV8}									709
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ8}$									1066
Celková tlaková ztráta okruhu OT8 - Δp_{o8}									**11066**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT9= 642 [W]									
1 až 3	viz těleso OT1								2410
21,5 až 21	viz těleso OT7								1185
21T	37	0,12	12x1	27,8	0,13	2,5	3	22	25
22S	37	0,12	12x1	27,8	0,13	2,5	3	22	25
22 až 22,5	viz těleso OT7								1185
12 až 14	viz těleso OT1								2410
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT9-Δp_{potr9}									7240
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV9}									421
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ9}$									3423
Celková tlaková ztráta okruhu OT9 - Δp_{o9}									**11084**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT9.1= 642 [W]									
1 až 3	viz těleso OT1								2410
21,5	viz těleso OT7								233
21,5T	37	0,12	12x1	27,8	0,13	2,5	3	22	25
22,5S	37	0,12	12x1	27,8	0,13	2,5	3	22	25
22,5	viz těleso OT7								233
12 až 14	viz těleso OT1								2410
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT9.1-$\Delta p_{potr9.1}$									5337
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu- $\Delta p_{TRV9.1}$									2829
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ9.1}$									3423
Celková tlaková ztráta okruhu OT9.1 - $\Delta p_{o9.1}$									**11589**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT10= 301 [W]									
1	viz těleso OT1								531
23	viz těleso OT6								8265
33	41	3,1	12x1	31	0,15	5,5	96	60	156
31	17	5,4	12x1	14,3	0,06	3,5	77	7	84
32	17	5,4	12x1	14,3	0,06	3,5	77	7	84
34	41	3,1	12x1	31	0,15	5,5	96	60	156
24	viz těleso OT6								768
14	viz těleso OT1								531
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT10-Δp_{potr10}									10575
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV10}									51
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ10}$									723
Celková tlaková ztráta okruhu OT10 - Δp_{o10}									**11349**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT11= 417 [W]									
1	viz těleso OT1								531
23	viz těleso OT6								8265
33	viz těleso OT10								156
33T	24	0,12	12x1	18	0,09	2,5	2	9	11
34S	24	0,12	12x1	18	0,09	2,5	2	9	11
34	viz těleso OT10								156
24	viz těleso OT6								768
14	viz těleso OT1								531
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT11-Δp_{potr11}									10430
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV11}									213
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ11}$									599
Celková tlaková ztráta okruhu OT11 - Δp_{o11}									**11242**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT12= 730 [W]									
1 až 2	viz těleso OT1								950
43 až 41	viz těleso OT5								2089
37	84	3,4	12x1	174	0,30	2,5	592	112	704
35	42	3,3	12x1	32	0,15	2,5	106	28	134
36	42	3,3	12x1	32	0,15	2,5	106	28	134
38	84	3,4	12x1	174	0,30	2,5	592	112	704
42 až 44	viz těleso OT5								2089
13 až 14	viz těleso OT1								950
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT12-Δp_{potr12}									7753
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV12}									1836
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ12}$									1836
Celková tlaková ztráta okruhu OT12 - Δp_{o12}									**11425**

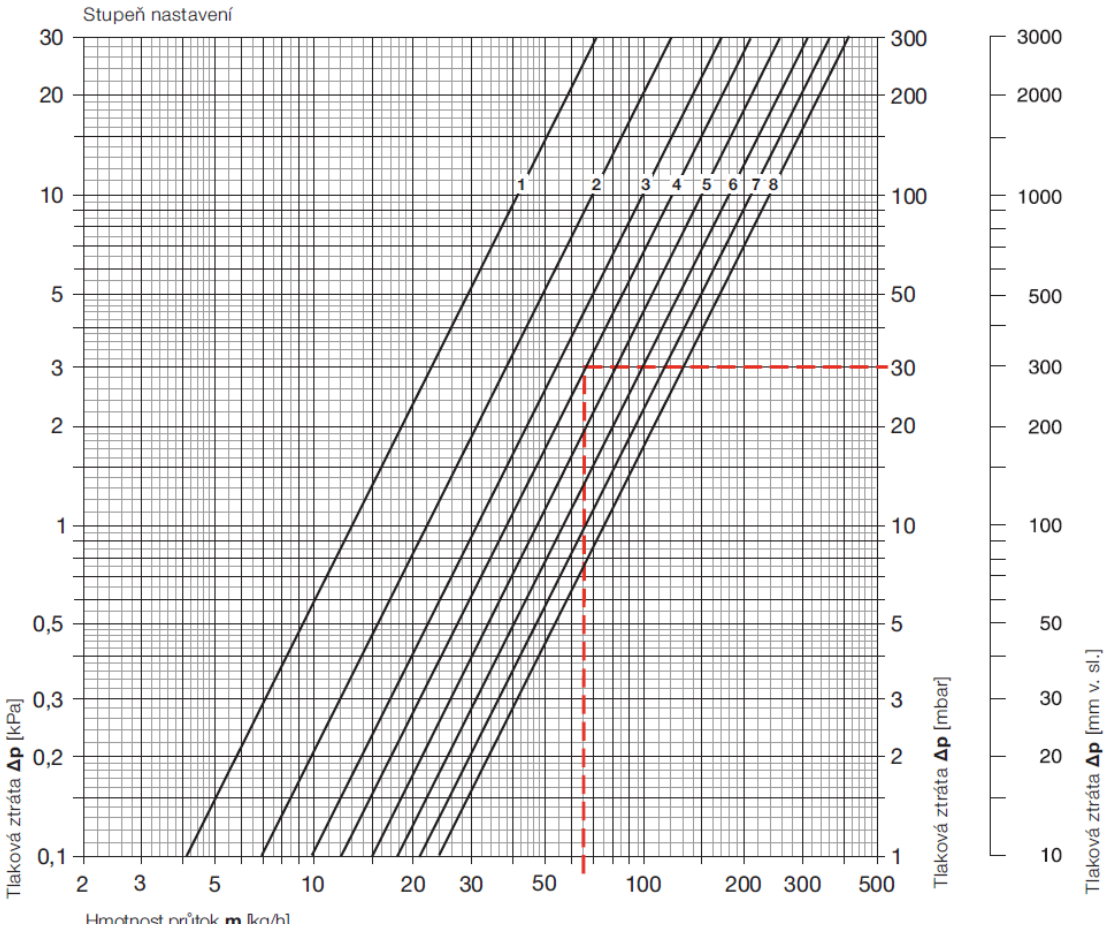
Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT13= 730 [W]									
1+2	viz těleso OT1								950
43 až 37	viz těleso OT5 a OT 12								2223
37T	42	0,12	12x1	32	0,15	2,5	4	28	32
38S	42	0,12	12x1	32	0,15	2,5	4	28	32
38 až 44	viz těleso OT5 a OT 12								2793
13 až 14	viz těleso OT1								950
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT13 Δp_{potr13}									6979
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV13}									314
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ13}$									4410
Celková tlaková ztráta okruhu OT13 - Δp_{o13}									**11703**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT14= 730 [W]									
1 až 2	viz těleso OT1								950
43	viz těleso OT5								1409
43T	42	0,12	12x1	32	0,15	2,5	4	28	32
44S	42	0,12	12x1	32	0,15	2,5	4	28	32
44	viz těleso OT5								1409
13 až 14	viz těleso OT1								950
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT14-Δp_{potr14}									4783
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV14}									1836
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ14}$									4410
Celková tlaková ztráta okruhu OT14 - Δp_{o14}									**11029**

Úsek č.	$\dot{m}$	l	DN	R	w	$\Sigma\xi$	$R.l$	Z	$\Sigma(R.l+Z)$
[-]	[Kg/h]	[m]	[mm]	[Pa/m]	[m/s]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
OT15= 417 [W]									
1	viz těleso OT1								531
23 až 25	viz těleso OT6								8439
27	24	1,7	12x1	18	0,09	4,5	30,6	17	47
28	24	1,7	12x1	18	0,09	4,5	30,6	17	47
26 až 24	viz těleso OT6								943
14	viz těleso OT1								531
Tlaková ztráta třením a místními odpory v potrubí okruhu OT15-Δp_{potr15}									10538
Tlaková ztráta termostatického regulačního ventilu - Δp_{TRV15}									102
Tlaková ztráta regulačního šroubení - $\Delta p_{RŠ15}$									599
Celková tlaková ztráta okruhu OT15 - Δp_{o15}									**11239**

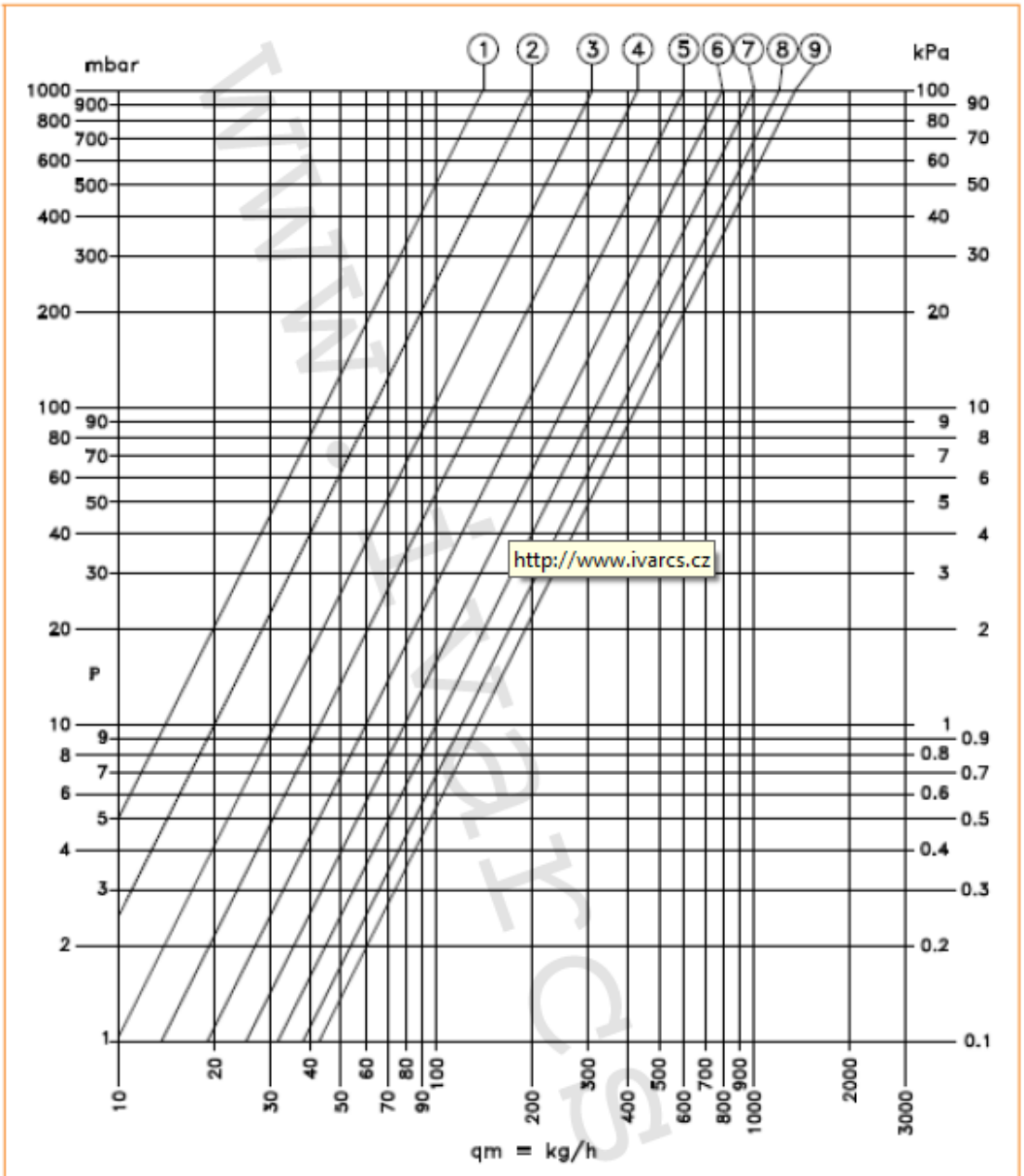
Příloha č. 3:

Obr. Graf tlakových ztrát TRV integrovaného v OT Radik VK [3]



Příloha č. 4

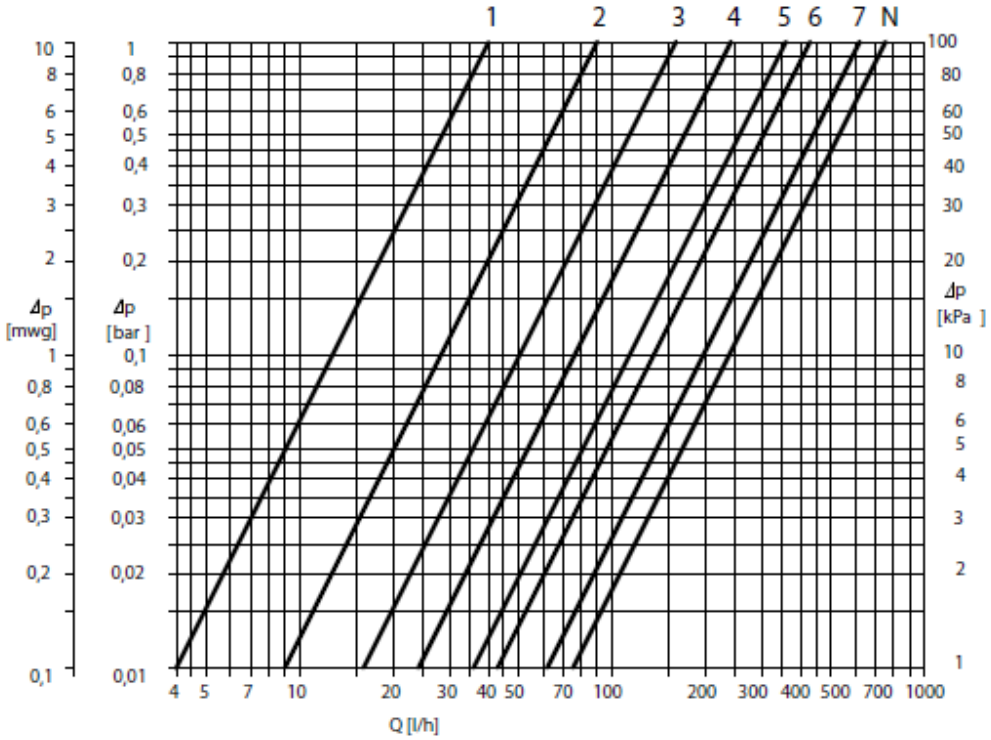
Obr. Graf tlak. ztrát regulačního šroubení IVAR.DD 353 [15]



#	1	2	3	4	5	6	7	8	9
↺	1¼	1½	1¾	2	2½	3	3½	4	Max
Kv	0.14	0.20	0.31	0.43	0.60	0.79	1.00	1.20	1.35

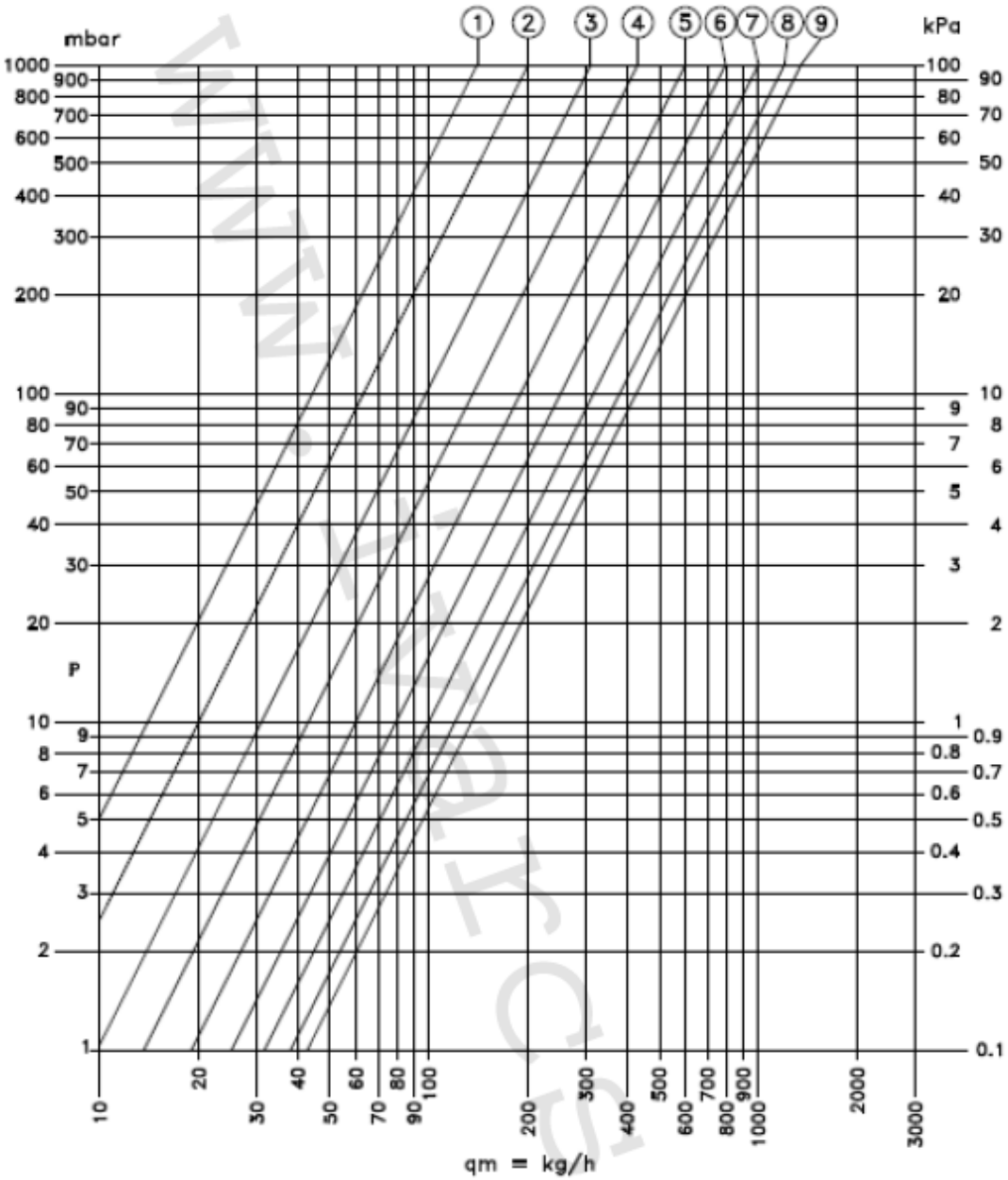
Příloha č. 5

Obr. Graf tlakových ztrát TRV Danfoss RA-N 10 [16]



Příloha č. 6

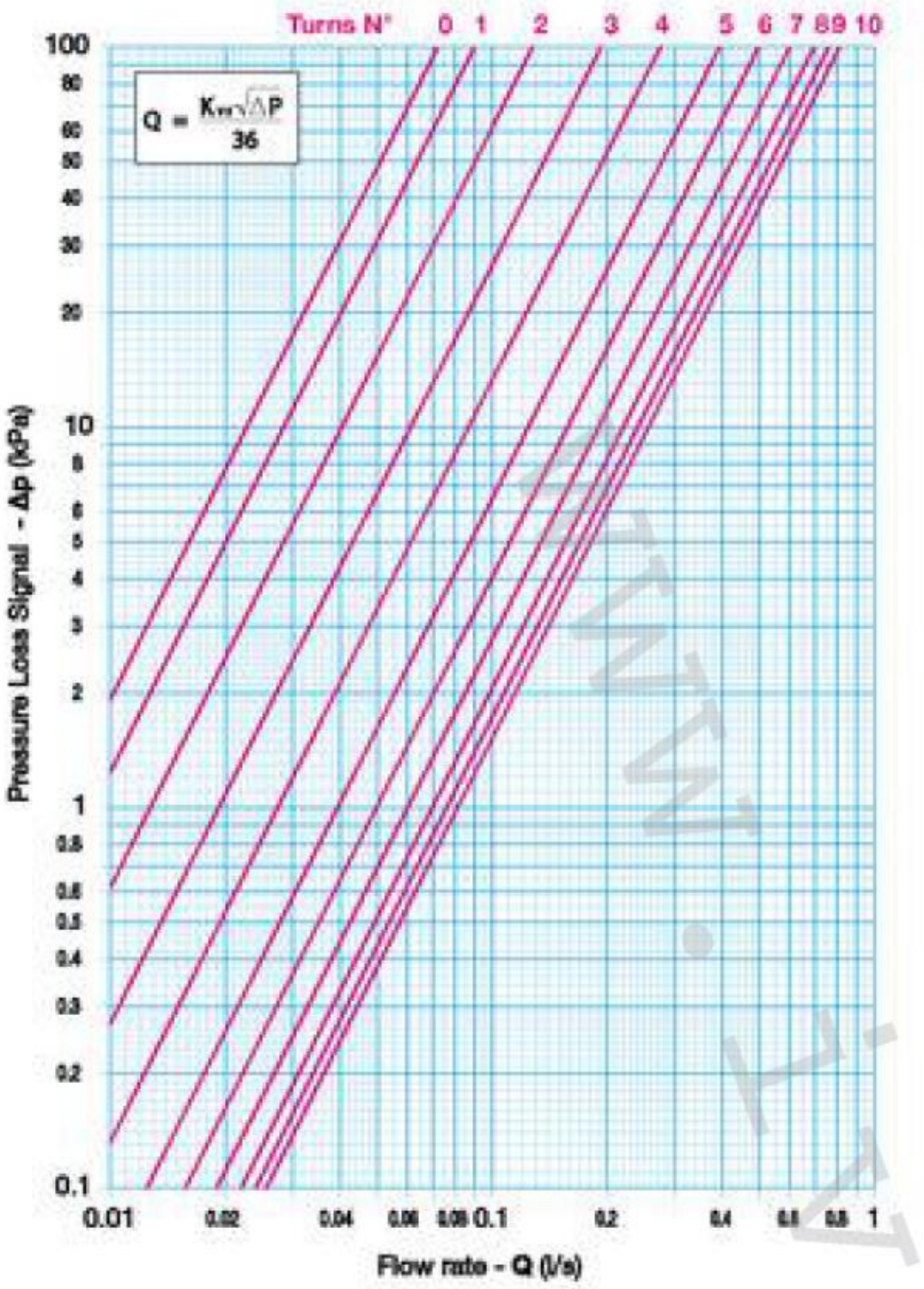
Obr. Graf závislosti tlakových ztrát regulačního šroubení IVAR.DD 305 [15]



#	1	2	3	4	5	6	7	8	9
↺	1¼	1½	1¾	2	2½	3	3½	4	Max
Kv	0.14	0.20	0.31	0.43	0.60	0.79	1.00	1.20	1.35

Příloha č. 7

Obr. Graf tlak. ztráta vyvažovacího ventilu IVAR.CIM 788 [15]



Příloha č. 8

Tab. Technické parametry kondenzačního kotle Buderus Logamax plus GB062-14[17]

			GB062-14	GB062-24	GB062-24 K
Vlastnosti kotle			14	24	24 K
Hmotnost		kg	36	36	36
Objem vody ve výměníku tepla		l	7		
Maximálně nastavitelná teplota výstupu		°C	82		
Přípustný provozní tlak		bar	3		
Spotřeba zemního plynu při H_i = 9,5 kW/h		m^3/h	1,53	3,18	3,18
Klasifikace			B_{23}, B_{33}, C_{13}, C_{33}, C_{43}, C_{53}, C_{63}, C_{83}, C_{93}		
CE označení			CE		
Emistní třída		NOx	5		
Max. množství vody		l/min	-	-	12
Výkon pro ohřev teplé vody		kW	-	-	24
Max. provozní přetlak integrovaného ohřívače vody		bar	-	-	10
Teplotní spád 80/60 °C					
Tepelný výkon (plynule modulační)	plné zatížení	kW	14	24,1	24,1
	částečné zatížení	kW	2	3	3
Tepelný příkon	plné zatížení	kW	14,4	24,7	24,7
	částečné zatížení	kW	2,1	3,1	3,1
Teplota spalin [1)]		°C	75	87	87
Obsah CO2	plné zatížení	%	9,4		
Hmotnostní tok spalin	plné zatížení	g/s	11,2		
Teplotní spád 40/30 °C					
Tepelný výkon (plynule modulační)	plné zatížení	kW	15,2	25,4	25,4
	částečné zatížení	kW	2,3	3,8	3,8
Tepelný příkon	plné zatížení	kW	14,4	24,7	24,7
	částečné zatížení	kW	2,1	3,1	3,1
Teplota spalin[1)]		°C	53	59	59
Obsah CO_2	plné zatížení	%	9,4		
Hmotnostní tok spalin	plné zatížení	g/s	11,2		
Elektrický příkon		W	85	102	102
Stupeň krytí		IP	X4D		
Hladina akustického tlaku		dB(A)	50		
Spotřeba zemního plynu		m^3/h	1,53	3,18	3,18
Jmenovitý tepelný výkon		kW	14	24	24
Deklarovaný zátěžový profil			-	-	XL