

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**NÁVRH VYTÁPĚNÍ NOVOSTAVBY  
RODINNÉHO DOMU S VARIANTNÍM  
ŘEŠENÍM POTRUBNÍ SÍTĚ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



## Souhrn

V této bakalářské práci byly řešeny návrhy otopných soustav pro novostavbu rodinného domu. Nejprve byly navrženy tepelně technické parametry stavebních konstrukcí tak, aby splňovaly normu ČSN 73 0540-2. Dále byly vypočítány tepelné ztráty podle normy ČSN EN 12831-1. Následně se přistoupilo k návrhu tří vhodných otopných soustav, respektive tří rozdílných uspořádání potrubní sítě. Tyto soustavy byly porovnány z hlediska nákladů, délky rozvodů a náročnosti vyvážení, poté byla vybrána nejvhodnější varianta. Na závěr se tato práce zabývá volbou vhodného zdroje tepla. Příprava teplé vody není součástí této práce.

## Summary

In this bachelor's thesis the designs of heating systems intended for new family houses were discussed. At the beginning, technical parameters of building constructions were designed, so they comply with the ČSN 73 0540-2 standard. Next, the heat loss was calculated according to the ČSN EN 12831-1 standard. Subsequently, we have proceeded to the designs of three appropriate heating systems. These systems were compared with each other from different point of views and the best suited option was selected. At the end, the thesis focuses on the selection of suitable heat source. The preparation of warm water is not included in this thesis.

## Prohlášení o samostatném vypracování práce

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

V Praze 14.6.2023

Tomáš Uhlíř

## Obsah

Seznam použitého značení.....	7
1 Úvod .....	10
2 Tepelná pohoda.....	11
3 Stanovení tepelně technických vlastností konstrukcí domu .....	12
4 Tepelné ztráty .....	14
4.1 Využitá teorie ČSN EN 12831-1 .....	14
4.1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla do vytápěného prostoru.....	14
4.1.2 Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru .....	17
4.2 Popis vstupních hodnot .....	18
4.3 Výsledky výpočtu tepelných ztrát .....	19
5 Otopná tělesa .....	20
5.1 Dimenzování a princip přepočtu tepelného výkonu otopných těles .....	20
5.2 Výpočet otopných těles .....	21
6 Otopné soustavy .....	23
6.1 Teoretická část.....	23
6.1.1 Soustavy s nuceným oběhem .....	24
6.1.2 Dvoutrubkové otopné soustavy .....	25
6.1.3 Hvězdicová soustava.....	26
7 Návrh potrubní sítě metodou ekonomických rychlostí .....	27
7.1 Metody návrhu potrubních sítí.....	27
7.1.1 Metoda přímé volby čerpadla .....	27
7.1.2 Metoda ekonomických rychlostí.....	27
7.1.3 Metoda ekonomického tlakového spádu.....	27
7.1.4 Metoda využití ekvivalentních délek .....	27
7.2 Výpočet tlakových ztrát .....	28
7.3 Hydraulické vyvážení.....	29
8 Protiproudá otopná soustava vedená v měděném potrubí .....	30
8.1 Schematické zobrazení.....	30
9 Souproudá otopná soustava vedená v měděném potrubí.....	35
9.1 Schematické zobrazení.....	35
10 Hvězdicová otopná soustava.....	39
10.1 Schématické zobrazení.....	39
11 Porovnání soustav .....	43

11.1	Náročnost hydraulického vyvážení .....	43
11.2	Délka rozvodů .....	43
11.3	Investiční náklady .....	44
11.3.1	Protiproudá otopná soustava .....	45
11.3.2	Souproudá otopná soustava .....	46
11.3.3	Hvězdicová soustava.....	47
12	Zdroj tepla.....	48
12.1	Expanzní nádoba .....	49
12.2	Čerpadlo .....	51
13	Závěr .....	53
14	Seznam literatury .....	55
	Seznam příloh .....	56
	Přílohy na CD.....	56
	Seznam výkresové dokumentace .....	56

## Seznam použitého značení

$\Phi_{HL,i}$	Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,i}$	Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{hu,i}$	Volitelný dodatečný zátopový výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{gain,i}$	Trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[W]
$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok do sousedních vytápěných prostor	[W/K]
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory	[W/K]
$H_{T,iaBE}$	Měrný tepelný tok do sousedních funkčních částí budovy	[W/K]
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok do zeminy	[W/K]
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$\theta_e$	Vnější výpočtová teplota	[°C]
$A_k$	Plocha stavební části	[m <sup>2</sup> ]
$U_k$	Součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> K]
$f_{U,k}$	Opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy	[-]
$f_{ie,k}$	Teplotní opravný součinitel	[-]
$\Delta U_{TB}$	Přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m <sup>2</sup> K]
$U_K$	Součinitel prostupu tepla	[W/m <sup>2</sup> K]
$\lambda_s$	Součinitel tepelné vodivosti	[W/m K]
$s$	Tloušťka stěny	[m]
$R_e$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější části	[m <sup>2</sup> K/W]
$R_i$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní části	[m <sup>2</sup> K/W]
$f_{ia,k}$	Teplotní opravný součinitel	[-]
$\theta_{ia}$	Teplota v místnosti, vůči které se tok počítá	[°C]
$f_{\theta ann}$	Opravný součinitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku	[-]

$U_{equiv,k}$	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou	[W/m <sup>2</sup> K]
$f_{ig,k}$	Teplotní opravný součinitel	[-]
$f_{GW,k}$	Opravný součinitel zohledňující vliv spodní vody	[-]
$\theta_{e,m}$	Průměrná venkovní teplota za otopné období	[°C]
$A_G$	Plocha podlahové desky	[m <sup>2</sup> ]
$P$	Nechráněný obvod podlahové desky	[m]
$\rho$	Hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c_p$	Měrná tepelná kapacita vzduchu	[Wh/kg K]
$q_{v,min,i}$	Minimální objemový průtok vzduchu místnosti	[m <sup>3</sup> /h]
$n_{min,i}$	Minimální intenzita větrání místnosti	[h <sup>-1</sup> ]
$V_i$	Vnitřní objem místnosti	[m <sup>3</sup> ]
$c$	Teplotní podílový součinitel	[-]
$t_{w1}$	Vstupní teplota vody	[°C]
$t_{w2}$	Výstupní teplota vody	[°C]
$\Delta t$	Aritmetický/Logaritmický rozdíl teplot	[-]
$f_{\Delta t}$	Opravný součinitel pro teplotní rozdíl	[-]
$\Delta t_N$	Jmenovitý rozdíl teplot	[K]
$n$	Teplotní exponent otopného tělesa	[-]
$\dot{m}$	Hmotnostní průtok	[kg/s]
$c_v$	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kg K]
$\Delta t_w$	Teplotní spád otopné soustavy	[K]
$\Delta p_t$	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$R$	Měrná tlaková ztráta	[Pa/m]
$l$	Délka úseku potrubí	[m]
$\Delta p_m$	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\xi$	Součinitel místního odporu	[-]
$w$	Rychlost proudění vody	[m/s]
$\rho_v$	Hustota vody	[Kg/m <sup>3</sup> ]
$\Delta p_{R\check{S},TRV}$	Tlaková ztráta RŠ nebo TRV	[Pa]
$V_{OT}$	Objemový průtok teplonosné látky pro těleso	[m <sup>3</sup> /h]



$k_v$	Jmenovitý průtok armaturou – hodnota udávaná výrobcem	[m <sup>3</sup> /h]
$p_{d,dov,A}$	Nejnižší dovolený absolutní tlak	[kPa]
$g$	Tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	Výška vodního sloupce	[m]
$p_{h,dov,A}$	Nejvyšší dovolený absolutní tlak	[kPa]
$\eta$	Stupeň využití expanzní nádoby	[-]
$V_{et}$	Objem tlakové expanzní nádoby	[l]
$V_o$	Objem vody v otopné soustavě	[l]
$n_e$	Součinitel zvětšení objemu	[-]

# 1 Úvod

Příroda umí být krutá a nehostinná. To lidstvo pocítuje odjakživa. Ve své nadřazenosti si však velmi brzy uvědomilo, že jeho schopnost adaptace na rychlé změny podnebí, nebo počasí je jednou z jeho největších slabin. Proto začalo využívat svoji jedinou přednost – mozek, aby uniklo své likvidaci nebo alespoň značnému strádání. Začalo vytvářet a vyhledávat malé uzavřené prostory. Ty byly schopné výkyvy počasí omezovat a bylo zde možné, po mnoha tisících let, dosáhnout příjemných podmínek pro život. Dnes pro ně máme termín tepelná pohoda.

Pro dosažení tepelné pohody je zapotřebí aktivně kompenzovat vlivy okolí a vytápění je jeden z nejčastějších způsobů. V dnešní době znalosti v tomto oboru natolik pokročily, že máme širokou škálu možností, jak vytvořit funkční otopnou soustavu i s vhodným zdrojem tepla. A právě touto problematikou se zabývá tato bakalářská práce. Jejím cílem je vytvořit 3 funkční typy otopných soustav charakterizované rozdílným uspořádáním potrubní sítě pro konkrétní rodinný dům. Pro účely této práce byly zvoleny dvoutrubkové otopné soustavy, a to sice souproudá, protiproudá a hvězdicová, jelikož jsou v objektech tohoto typu běžně využívány.

Cílem je tyto soustavy hydraulicky vyvážit a poté zhodnotit jejich výhody a nevýhody. Jako kritéria, která se budou hodnotit, byla zvolena: náročnost hydraulického vyvážení, délka rozvodů a investiční náklady na zhotovení dané sítě.

## 2 Tepelná pohoda

Obvykle se tepelná pohoda definuje jako stav, kdy člověku není ani příliš zima a ani příliš teplo a cítí se tzv. tepelně neutrálně. Tudiž je to situace, již se chce v místnosti dosáhnout. Aby bylo možné takovou situaci monitorovat, je nutné připustit, že tento stav má jak objektivní, tak i subjektivní složku. Proto se využívají dvě metody vyhodnocování. První z nich je měření fyziologických změn, jako je třeba pocení. Druhá metoda využívá dotazník, ve kterém lidé v místnosti subjektivně popisují jak se cítí neboli jak na ně působí daná teplota nebo vlhkost vzduchu. [1]

Do tepelné pohody se promítá více faktorů. Obecně se dělí do tří skupin. První z nich je skupina, ve které se vyskytují faktory vnitřního prostředí, jako jsou teplota vzduchu, střední radiační teplota, vlhkost vzduchu a rychlost proudění vzduchu. Do druhé patří osobní faktory, jako jsou tepelný odpor oděvu a hodnota metabolismu. Ve třetí jsou pak doplňující faktory jako pohlaví, podkožní tuk, tělesná postava, aklimace a aklimatizace, jídlo a pití. [1]

Tato bakalářská práce se z hlediska tepelné pohody blíže věnuje především vnitřní teplotě a zajištění výměny vzduchu v místnostech, což jsou faktory z první skupiny.

### 3 Stanovení tepelně technických vlastností konstrukcí domu

Pro zajištění tepelných podmínek, je nutné stanovit tepelně technické vlastnosti budovy. Stěžejními hodnotami jsou tloušťky stěn a součinitele tepelné vodivosti. V tabulce 1 jsou vidět typy stěn které se v objektu vyskytují. Je zde zobrazeno, z jakých materiálů jsou složeny a jaké mají vlastnosti.

Tab. 1 Složky konstrukce domu

Složka	$\lambda_s$ [W/m K]	s [m]
<b>Vnější stěna</b>		
Izolace – KNAUFINSULATION Nobasil MPE	0,035	0,05
Cihla broušená Porotherm 38 Profi P10/P8 380x248x249 mm	0,113	0,38
<b>Vnitřní nosná stěna</b>		
Cihla pálená	0,73	0,3
<b>Příčka</b>		
Cihla pálená	0,73	0,15
<b>Strop do nevytápěného prostoru</b>		
MIAKO 19/62,5	0,3097	0,19
Beton C20	1,3	0,04
Izolace – KNAUFINSULATION Nobasil MPE	0,035	0,14
<b>Podlaha</b>		
Podlahovina	0,09	0,01
Betonová mazanina	1,3	0,045
Izolace – KNAUFINSULATION Nobasil MPE	0,035	0,14
Vodotěsná izolace	0,02	0,002
Betonová mazanina	1,3	0,06
Beton C20	1,3	0,5
<b>Strop mezi patry</b>		
MIAKO 19/62,5	0,3097	0,19
Beton C20	1,3	0,04

Výpočtem, případně přímo z katalogu výrobce, byl určen součinitel prostupu tepla všech prvků a konstrukcí, které se v domě vyskytují. Vlastní výpočet viz Příloha 1 na CD. Skladba jednotlivých konstrukcí a výběr otvorových výplní byly voleny tak, aby byly splněny doporučené hodnoty normy ČSN 73 0540-2. Následující tabulka obsahuje porovnání vypočítaných součinitelů prostupu tepla s touto normou.

Tab. 2 Seznam prvků stavby

<b>Prvek</b>	<b><math>U_{\text{VYPOČÍTANÉ}} [\text{W/m}^2 \text{K}]</math></b>	<b><math>U_{\text{ČSN 73 0540-2}} [\text{W/m}^2 \text{K}]</math></b>
Stěna vnější	0,20	0,20
Nosná stěna vnitřní	1,51	1,80
Příčka	2,20	1,80 (požadované 2,20)
Podlaha	0,20	0,30
Strop mezi patry	1,18	1,45
Strop pod střechou	0,20	0,20
Okna	1,20	
Dveře vnitřní	3,50	
Dveře vnější	1,60	

Jako vhodný typ oken byl zvolen typ PKS Okna Deceuninck Elegant se stavební hloubkou 76 mm. Vchodové dveře jsou typu STALPRODUKT 55, G/S34.

Všechny konstrukce budovy vyhovují doporučeným hodnotám s výjimkou vnitřní příčky, která splňuje pouze hodnotu požadovanou. Z hlediska celkových tepelně technických vlastností domu je to však nevýznamné. K dosažení těchto hodnot se využilo především izolace, a to v různých tloušťkách, viz tab. 1. Na vnějších stěnách se využilo vlastností cihel Porotherm, které samy dobře izolují. Pro konstrukci vnitřních stěn a příček byly zvoleny obyčejné pálené cihly bez izolace, jelikož všechny místnosti jsou vytápěné. Byla také zvolena okna s dvojsklem, protože jejich tepelné vlastnosti byly dostačující.

## 4 Tepelné ztráty

Při výpočtu tepelných ztrát bylo postupováno v souladu s normou ČSN EN 12831-1. Využitý obsah normy je stručně nastíněn v následující kapitole.

### 4.1 Využitá teorie ČSN EN 12831-1

Tato norma se zabývá výpočtem tepelného výkonu pro vytápění, respektive tepelných ztrát  $\Phi_{HL,i}$ . [2]

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \quad (1)$$

$\Phi_{HL,i}$	Návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{T,i}$	Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,i}$	Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{hu,i}$	Volitelný dodatečný zátopový výkon vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{gain,i}$	Trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru	[W]

#### 4.1.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla do vytápěného prostoru

$$\Phi_{HL,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig})(\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (2)$$

$H_{T,ie}$	Měrný tepelný tok do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ia}$	Měrný tepelný tok do sousedních vytápěných prostor	[W/K]
$H_{T,iae}$	Měrný tepelný tok do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory	[W/K]
$H_{T,iaBE}$	Měrný tepelný tok do sousedních funkčních částí budovy	[W/K]
$H_{T,ig}$	Měrný tepelný tok do zeminy	[W/K]
$\theta_{int,i}$	Vnitřní výpočtová teplota	[°C]
$\theta_e$	Vnější výpočtová teplota	[°C]

***Měrný tepelný tok prostupem přímo do venkovního prostředí***

$$H_{T,ie} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] \quad (3)$$

$A_k$	Plocha stavební části	$[m^2]$
$U_k$	Součinitel prostupu tepla	$[W/m^2 K]$
$f_{U,k}$	Opravný součinitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy	$[-]$
$f_{ie,k}$	Teplotní opravný součinitel	$[-]$
$\Delta U_{TB}$	Přirážka na vliv tepelných vazeb	$[W/m^2 K]$

Součinitel prostupu tepla se určí podle následující rovnice:

$$U_K = \frac{1}{R_i + \sum \frac{s}{\lambda_s} + R_e} \quad (4)$$

$U_K$	Součinitel prostupu tepla	$[W/m^2 K]$
$\lambda_s$	Součinitel tepelné vodivosti	$[W/m K]$
$s$	Tloušťka stěny	$[m]$
$R_e$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnější části	$[m^2 K/W]$
$R_i$	Tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní části	$[m^2 K/W]$

***Měrný tepelný tok prostupem tepla do nebo přes sousední prostory***

$$H_{T,ia} = \sum_k [A_k \cdot U_K \cdot f_{U,k} \cdot f_{ia,k}] \quad (5)$$

$f_{ia,k}$	Teplotní opravný součinitel	$[-]$
------------	-----------------------------	-------

Teplotní opravný součinitel pro tepelný tok přes sousední prostory se určí podle vztahu (6).

$$f_{ia,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (6)$$

$\theta_{ia}$  Teplota v místnosti, vůči které se tok počítá [°C]

### ***Měrný tepelný tok prostupem tepla do zeminy***

$$H_{T,ig} = f_{\theta_{ann}} \cdot \sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k} \quad (7)$$

$f_{\theta_{ann}}$  Opravný součinitel zohledňující vliv změny venkovní teploty [-]  
v průběhu roku

$U_{equiv,k}$  Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části [W/m<sup>2</sup> K]  
v kontaktu se zeminou

$f_{ig,k}$  Teplotní opravný součinitel [-]

$f_{GW,k}$  Opravný součinitel zohledňující vliv spodní vody [-]

Teplotní opravný součinitel se určí obdobně jako v případě tepelného toku přes sousední prostory.

$$f_{ia,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{e,m}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (8)$$

$\theta_{e,m}$  Průměrná venkovní teplota za otopné období [°C]

Pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla se využívá empirického vzorce (9).

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + \acute{B})^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d \quad (9)$$

Tab. 3 Přehled hodnot pro podlahu k výpočtu ekvivalentního součinitele prostupu tepla

a	b	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	d
0,9671	-7,455	10,76	9,773	0,0265	0,5532	0,6027	-0,9296	-0,0203



Parametry, které v tabulce nejsou, jsou z, které je nula, jelikož dům není podsklepen a  $\dot{B}$ , což je geometrický parametr podlahové desky a je možné ho vypočítat ze vztahu (10).

$$\dot{B} = \frac{A_G}{0,5 \cdot P} \quad (10)$$

$A_G$	Plocha podlahové desky	[m <sup>2</sup> ]
$P$	Nechráněný obvod podlahové desky	[m]

#### 4.1.2 Návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru

Jelikož není uvažováno nucené větrání, je možné tepelnou ztrátu větráním určit ze vztahu (11).

$$\Phi_{V,i} = \rho \cdot c_p \cdot q_{v,min,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (11)$$

$\rho$	Hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$c_p$	Měrná tepelná kapacita vzduchu	[Wh/kg K]
$q_{v,min,i}$	Minimální objemový průtok vzduchu místnosti	[m <sup>3</sup> /h]

Kde minimální objemový průtok vzduchu místnosti je určen rovnicí (12). [3]

$$q_{v,min,i} = n_{min,i} \cdot V_i \quad (12)$$

$n_{min,i}$	Minimální intenzita větrání místnosti	[h <sup>-1</sup> ]
$V_i$	Vnitřní objem místnosti	[m <sup>3</sup> ]

## 4.2 Popis vstupních hodnot

Při výpočtu návrhového tepelného výkonu se žádné tepelné zisky neočekávají a dodatečný zátopový výkon byl zvolen nulový. Dále se tedy počítá jen tepelnou ztrátu prostupem a větráním.

$H_{T,iaBE}$  a  $H_{T,iae}$  byly zvoleny nulové, jelikož se v objektu, nebo poblíž, žádné nevytápěné prostory ani sousední funkční části nevyskytují.

Součinitel  $f_{U,k}$  je pro oblast ČR nulový a  $f_{ie,k}$  je v tomto případě také nulový, jelikož se počítá tepelný tok do venkovního prostředí. Přirážka na vliv tepelných vazeb byla zvolena 0,05 protože jde o typové nebo opakované řešení.

Průměrná roční výpočtová teplota je 4,3 °C. Vnější výpočtová teplota je -12 °C. Hladina spodní vody je více než 1 m pod úrovní základové desky. Z toho plyne že opravný součinitel zohledňující vliv spodní vody  $f_{GWk} = 1$ .

V tabulce 4 jsou zobrazeny objemy místností s požadovanou intenzitou větrání a výpočtovou teplotou. Tyto hodnoty se následně využijí k výpočtu tepelných ztrát. Samotný výpočet je proveden pouze v příloze 1.

Tab. 4 Přehled výpočtových hodnot jednotlivých místností

Místnost	$V_i$ [m <sup>3</sup> ]	$n_{min,i}$ [h <sup>-1</sup> ]	$\theta_{int,i}$ [°C]	Typ místnosti
001	8,63	0,1	18	Tech. místnost
002	110,26	0,5	20	Kuchyně a obývací pokoj
003	51,48	0,3	18	Hala
004	12,60	1,0	20	Toaleta
005	20,30	1,0	24	Koupelna
101	61,69	0,5	20	Dětský pokoj
102	40,69	0,5	20	Dětský pokoj
103	64,39	0,3	18	Hala
104	8,55	1,0	20	Toaleta
105	27,19	1,0	24	Koupelna

### 4.3 Výsledky výpočtu tepelných ztrát

Vypočtené tepelné ztráty pro jednotlivé místnosti jsou uvedené v tabulce 5. Je z ní patrné, že kromě technické místnosti, tedy místnosti 001, bude nutné do všech místností teplo dodávat.

Tab. 5 Tepelné ztráty

Místnost	$\Phi_{T,i}$ [W]	$\Phi_{V,i}$ [W]	$\Phi_{HL,i}$ [W]
001	-41 (zisk)	8	-33 (zisk)
002	1876	594	2470
003	259	156	415
004	188	136	324
005	641	246	887
101	994	332	1326
102	924	219	1143
103	441	195	636
104	181	92	273
105	824	330	1154

Celková tepelná ztráta domu je 6,3 kW. Podle tepelných ztrát místností se navrhne tepelný výkon otopných těles v jednotlivých místnostech a celková hodnota tepelné ztráty bude využita na konci práce pro volbu zdroje tepla.

## 5 Otopná tělesa

Jelikož už byl určen tepelný výkon, který je potřeba dodat, je možné přistoupit k dimenzování otopných těles. V následující kapitole je potřebná teorie, která byla při výpočtu využita.

### 5.1 Dimenzování a princip přepočtu tepelného výkonu otopných těles

Jelikož výrobci v katalogích udávají výkony těles za jmenovitých podmínek, je nutné skutečný výkon těles dopočítat. Nejprve je potřeba vypočítat teplotní podílový součinitel  $c$ . Určíme ho podle vztahu (13).

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad (13)$$

$c$	Teplotní podílový součinitel	[-]
$t_{w1}$	Vstupní teplota vody	[°C]
$t_{w2}$	Výstupní teplota vody	[°C]

Pokud je  $c$  větší nebo rovno 0,7, dále bude využit vztah (14), pokud je menší využije se vztah (15).

$$\Delta t = \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \quad (14)$$

$$\Delta t = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln\left(\frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}\right)} - t_i \quad (15)$$

$\Delta t$	Aritmetický/Logaritmičtý rozdíl teplot	[-]
------------	--	-----

Hodnota  $\Delta t$  bude využita k výpočtu opravného součinitele pro teplotní rozdíl. Viz rovnice (16).

$$f_{\Delta t} = \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right)^n \quad (16)$$

$f_{\Delta t}$	Opravný součinitel pro teplotní rozdíl	[-]
$\Delta t_N$	Jmenovitý rozdíl teplot	[K]
$n$	Teplotní exponent otopného tělesa	[-]

Pro samotný výpočet skutečných výkonů bude využita rovnice (17), kde se zanedbají veškeré opravné součinitele kromě výše zmíněného opravného součinitele pro teplotní rozdíl. [4]

$$Q = Q_N \cdot f_{\Delta t} \quad (17)$$

## 5.2 Výpočet otopných těles

V tabulce 6 je možno vidět všechna zvolená otopná tělesa a místnosti, ve kterých se nacházejí. Je zde uveden jmenovitý i skutečný tepelný výkon těles. Vlastní přepočítání těchto výkonů i návrh otopných těles v konkrétních místnostech lze nalézt v příloze 2.

Tab. 6 Výkony otopných těles

Typ OT	Jmen. výkon [W]	Skut. výkon [W]	Místnost	Číslo OT
11 VK 600 × 2300	2305	<b>1018</b>	002	4
11 VK 600 × 2300	2305	<b>1018</b>	002	3
10 VK 600 × 1800	1087	<b>485</b>	002	2
Corrado 1800 × 450	879	<b>425</b>	003	1
10 VK 600 × 1200	725	<b>320</b>	004	6
Korado Linear Max – M 1820 × 750	1367	<b>512</b>	005	5
20 VK 600 × 1600	1565	<b>698</b>	101	11
20 VK 600 × 1600	1565	<b>698</b>	101	10
20 VK 600 × 1400	1369	<b>610</b>	102	9
20 VK 600 × 1400	1369	<b>610</b>	102	8
20 VKL 600 × 1400	1369	<b>666</b>	103	7
10 VK 600 × 1200	725	<b>320</b>	104	13
Korado Linear Max – M 1820 × 750	1367	<b>512</b>	105	12

Po přepočtu výkonů otopných těles bylo zjištěno, do jaké míry pokrývají tepelnou ztrátu v jednotlivých místnostech, což zobrazuje tabulka 7.

Tab. 7 Porovnání tepelných ztrát a výkonů otopných těles

<b>Místnost</b>	<b>Tepelná ztráta [W]</b>	<b><math>\Sigma</math> Výkonů OT [W]</b>	<b>Rozdíl [W]</b>
001	-33 (zisk)	0	33
002	2470	2532	62
003	415	425	10
004	324	320	-4
005	887	912	25
101	1326	1397	71
102	1143	1222	79
103	636	666	30
104	273	320	47
105	1154	1212	58

Z této tabulky je patrné, že tepelná ztráta jednotlivých místností je pokrytá. Ve většině případů jsou o něco vyšší výkony otopných těles, než jsou tepelné ztráty.

## 6 Otopné soustavy

### 6.1 Teoretická část

Aby otopná soustava dobře fungovala, je nutné správně zvolit její parametry. Těmito parametry jsou geometrie otopných soustav, teploty a teplotní spády, tlaky a tlakové ztráty, nebo také materiál. Pro přehlednost lze proto otopné soustavy dělit z několika hledisek.

1. Podle zajištění oběhu teplé vody
  - Soustavy s přirozeným oběhem
  - Soustavy s nuceným oběhem
2. Podle provedení hlavního rozvodu otopné vody
  - Soustavy se spodním rozvodem
  - Soustavy s horním rozvodem
3. Podle rozvodu otopné vody k jednotlivým tělesům
  - Soustavy vertikální
  - Soustavy horizontální
  - Soustavy hvězdicové
  - Soustavy smíšené
4. Podle způsobu přívodu a odvodu otopné vody z/k jednotlivým tělesům
  - Dvourubkové protiproudé
  - Dvourubkové souproudé
  - Jednotrubkové bez obtoků otopných těles
  - Jednotrubkové s obtoky otopných těles
5. Podle spojení s atmosférou
  - Teplovodní otopné soustavy otevřené
  - Teplovodní otopné soustavy uzavřené
6. Podle teploty teplotnosné látky
  - Otopné soustavy nízkoteplotní do 65 °C
  - Otopné soustavy teplovodní do 115 °C
  - Otopné soustavy horkovodní na 115 °C
7. Podle materiálu potrubního rozvodu
  - Potrubní rozvod z oceli

- Potrubní rozvod z mědi
- Potrubní rozvod z plastu [5]

*V této bakalářské práci se zabýváme třemi konkrétními soustavami. Jsou to:*

- *Dvoutrubková, protiproudá, horizontální soustava s nuceným oběhem, vedená v měděném potrubí*
- *Dvoutrubková, souproudá, horizontální soustava s nuceným oběhem, vedená v měděném potrubí*
- *Hvězdicová soustava vedená v plastovém potrubí*

Další kapitoly budou věnovány konkrétním parametrům, které jsou zastoupeny v otopných soustavách, jimiž se tato bakalářská práce zabývá. Zaměří se zejména na dvoutrubkové soustavy a soustavy s nuceným oběhem.

#### 6.1.1 Soustavy s nuceným oběhem

Využívají se u budov s větším tepelným příkonem, s rozlehlým půdorysem nebo s komplikovanými potrubními sítěmi. Oproti otopným soustavám s přirozeným oběhem je možné kompenzovat mnohonásobně větší tlakové ztráty. Lze toho využít, pokud je potřeba volit vyšší rychlosti proudění. Další výhodou je také možnost umístit otopná tělesa do stejné výšky jako zdroj tepla nebo dokonce níže.

Dříve bylo nutné čerpadla umístit na vratné potrubí, jelikož nebyla odolná vůči vysokým teplotám. V současné době už tomu tak není a čerpadla mají trvalou odolnost až do 120 °C. Toho se využívá a čerpadla se umístit na přívod pro lepší rozložení tlaků v soustavě. Pokud je totiž čerpadlo na přívodním potrubí a expanzní nádoba na vratném potrubí, je na celém úseku, ve směru toku otopné látky, přetlak a nedochází tak k přísávání vzduchu do soustavy. Pokud je dopravní tlak čerpadla výrazně větší než tlak způsobený přirozeným oběhem, pak se při návrhu otopné soustavy uvažuje pouze tlak vyvolaný čerpadlem.

Mezi nevýhody těchto soustav patří závislost na dodávce elektrické energie a vyšší provozní náklady. Nelze ani zanedbat hluk který je čerpadlem vytvářený, a tak je vhodné oddělit čerpadlo od potrubní sítě pryžovými kompenzátory. [5]

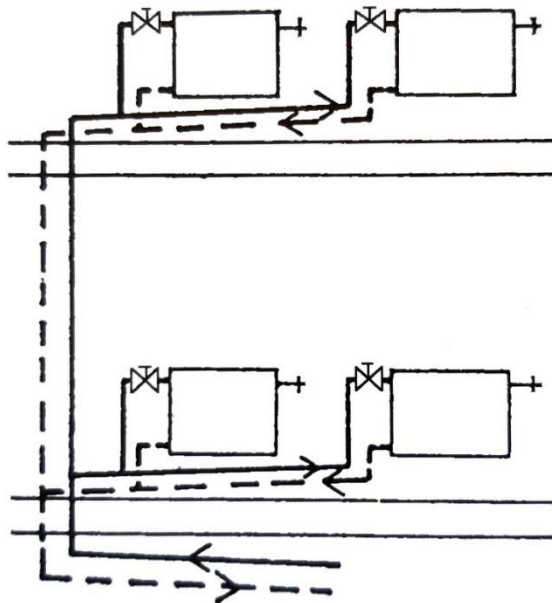


### 6.1.2 Dvoutrubkové otopné soustavy

U dvoutrubkových soustav se pracuje se zjednodušeným předpokladem, že všechna otopná tělesa pracují se shodnými teplotními parametry. Ochlazení otopné vody na rozvodném potrubí se zanedbá a na rozdíl od jednotrubkových soustav je zde jednoznačně rozlišitelné přívodní a vratné potrubí. [5]

#### *Protiproudé*

U protiproudých otopných soustav jsou vratné i přívodní potrubí vedeny stejnou montážní cestou. Okruhy pro jednotlivá tělesa se liší délkou, a proto u vzdálených těles dochází k velkým tlakovým ztrátám. Z tohoto důvodu je obvykle těžší tuto soustavu hydraulicky vyvážit. [5]

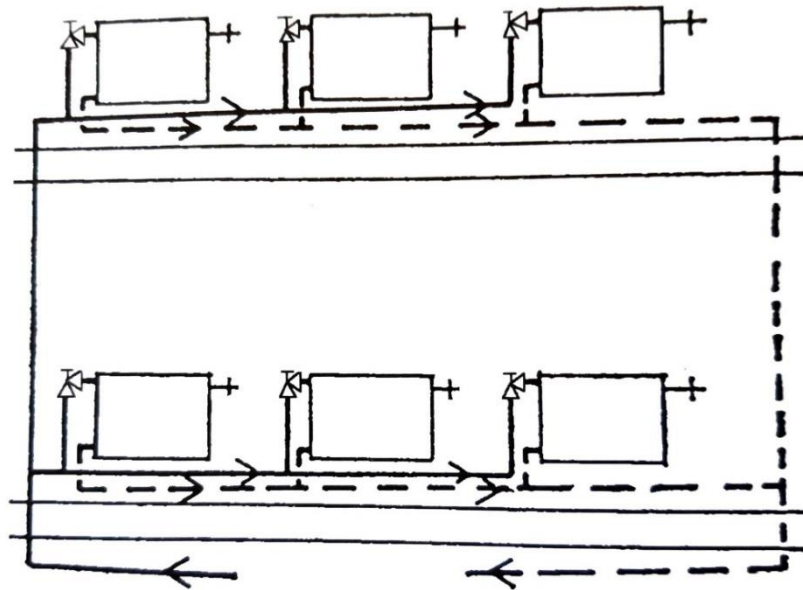


Obr. 1. Protiproudá otopná soustava [5]

#### *Souproudé*

Tichelmannovo zapojení je jednodušší hydraulicky vyvážit, jelikož okruhy jednotlivých těles mají přibližně stejnou délku. Je tomu tak převážně v případech, kde není velký rozdíl ve tepelných výkonech otopných těles. Nevýhodou však je geometrická náročnost tohoto zapojení, je totiž nutné rozvodné potrubí zokruhovat, což nás v některých případech nutí

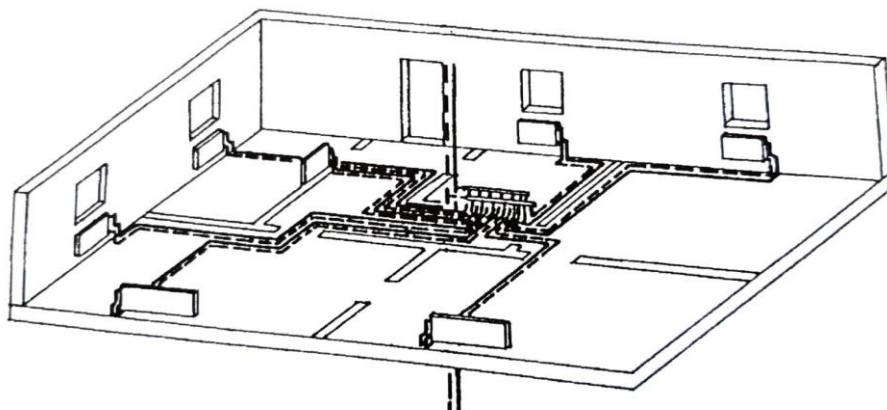
vést tři rozvodná potrubí vedle sebe. Pokud je však toto zapojení vhodně využito je nejméně náročné na spotřebu materiálu. [5]



Obr. 2. Soproudá otopná soustava [5]

### 6.1.3 Hvězdicová soustava

Hvězdicová otopná soustava je v podstatě horizontální dvoutrubková otopná soustava vedená v podlaze. Využívá se jednodušší regulovatelnosti na úkor využití více materiálu. To je způsobeno nutností vést ke každému otopnému tělesu samostatné přívodní i vratné potrubí. Lze ovšem i některé části potrubí spojit a vést tak v jednom potrubí otopnou látku k více otopným tělesům. Je ovšem nutné uvážit větší počet spojů, který je v tomto případě nežádoucí kvůli většímu riziku poruchy. [5]



Obr. 3. Hvězdicová otopná soustava [5]

## 7 Návrh potrubní sítě metodou ekonomických rychlostí

### 7.1 Metody návrhu potrubních sítí

#### 7.1.1 Metoda přímé volby čerpadla

Této metody se využívá především v případech, kdy je dispoziční rozdíl tlaků předem dán. Například pokud je součástí kotle i čerpadlo s předem danou charakteristikou. Je také vhodné mít k nahlédnutí projekty podobného typu, kterých je možné se držet a velkou výhodou je zde zkušenost projektanta. U této metody se postupuje podobně jako u návrhu soustavy s přirozeným oběhem, jelikož i tam je dán dispoziční rozdíl tlaků. [5]

#### 7.1.2 Metoda ekonomických rychlostí

Při využití této metody se volí ekonomická rychlost teplotonosné látky v potrubí. Ta je 0,6 m/s. Jelikož je znám objemový průtok, který je potřeba dopravit k otopným tělesům, je možné dopočítat průměr potrubí. Následně se zvolí nejvhodnější průměr potrubí z výrobní řady a rychlost teplotonosné látky se znovu přepočítá. Tato metoda byla vybrána jako nejvhodnější. [5]

#### 7.1.3 Metoda ekonomického tlakového spádu

Tato metoda je podobná metodě ekonomických rychlostí s tím rozdílem, že tentokrát se volí ekonomický tlakový spád. [5]

#### 7.1.4 Metoda využití ekvivalentních délek

Metoda ekvivalentních délek se využívá pro horkovodní sítě. Výpočet ztrát místními odpory se nahradí ekvivalentní délkou  $l_{ekv}$ . Celková tlaková ztráta se pak určí jako součin tlakové ztráty se skutečnou i ekvivalentní délkou. [5]

## 7.2 Výpočet tlakových ztrát

Pro zjištění dostatečných tepelných výkonů otopných těles je nutné zajistit dostatečný hmotnostní průtok. Ten je možné určit z rovnice (18).

$$\dot{m} = \frac{Q}{c_v \cdot \Delta t_w} \quad (18)$$

$\dot{m}$	Hmotnostní průtok	[kg/s]
$c_v$	Měrná tepelná kapacita vody	[J/kgK]
$\Delta t_w$	Teplotní spád otopné soustavy	[K]

Se znalostí hmotnostního průtoku k tělesům, je možné přistoupit k návrhu potrubní sítě. Zásadní je, aby se podařilo zajistit stejnou tlakovou ztrátu pro všechny okruhy otopných těles. V opačném případě by mohlo docházet k nedostatečným průtokům v některých tělesech nebo naopak nadprůtokům.

Na vytváření tlakové ztráty v potrubí se podílejí tlaková ztráta třením a tlaková ztráta místními odpory.

Tlaková ztráta třením se zjednodušeně a prakticky určí podle rovnice (19)

$$\Delta p_t = R \cdot l \quad (19)$$

$\Delta p_t$	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$R$	Měrná tlaková ztráta	[Pa/m]
$l$	Délka úseku potrubí	[m]

Tlakovou ztrátu místními odpory je možné určit podle rovnice (20):

$$\Delta p_m = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_v \quad (20)$$

$\Delta p_m$	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
$\xi$	Součinitel místního odporu	[-]
$w$	Rychlost proudění vody	[m/s]
$\rho_v$	Hustota vody	[kg/m <sup>3</sup> ]

### 7.3 Hydraulické vyvážení

Aby bylo možné regulovat tlakové ztráty a podařilo se nám soustavu hydraulicky vyvážit, musí se využít regulace pomocí regulačního šroubení (RŠ) a termostatického ventilu (TRV). Jejich tlakové ztráty určíme shodným způsobem podle rovnice (21). [4]

$$\Delta p_{R\check{S},TRV} = 10^5 \left( \frac{V_{OT}}{k_v} \right)^2 \quad (21)$$

$\Delta p_{R\check{S},TRV}$	Tlaková ztráta RŠ nebo TRV	[Pa]
$V_{OT}$	Objemový průtok teplotnosné látky pro těleso	[m <sup>3</sup> /h]
$k_v$	Jmenovitý průtok armaturou – hodnota udávaná výrobcem	[m <sup>3</sup> /h]

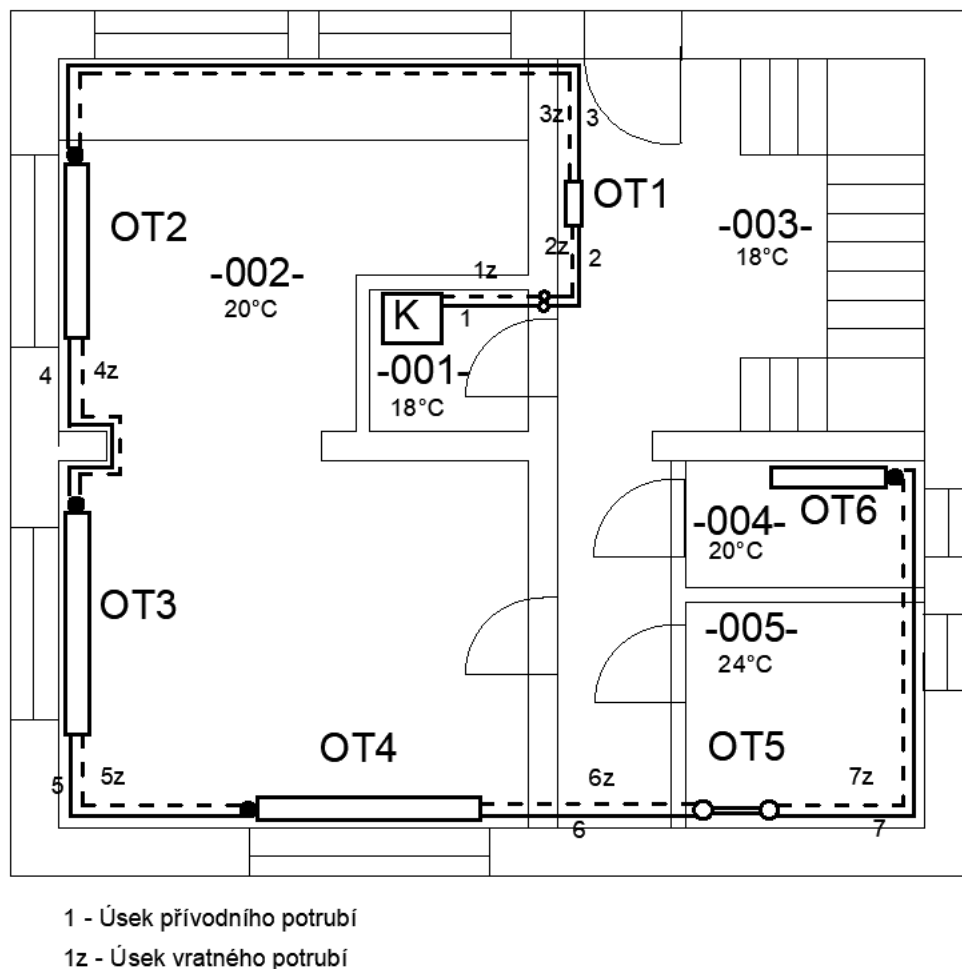
S těmito znalostmi je možné přistoupit k návrhům vybraných otopných soustav.

## 8 Protiproudá otopná soustava vedená v měděném potrubí

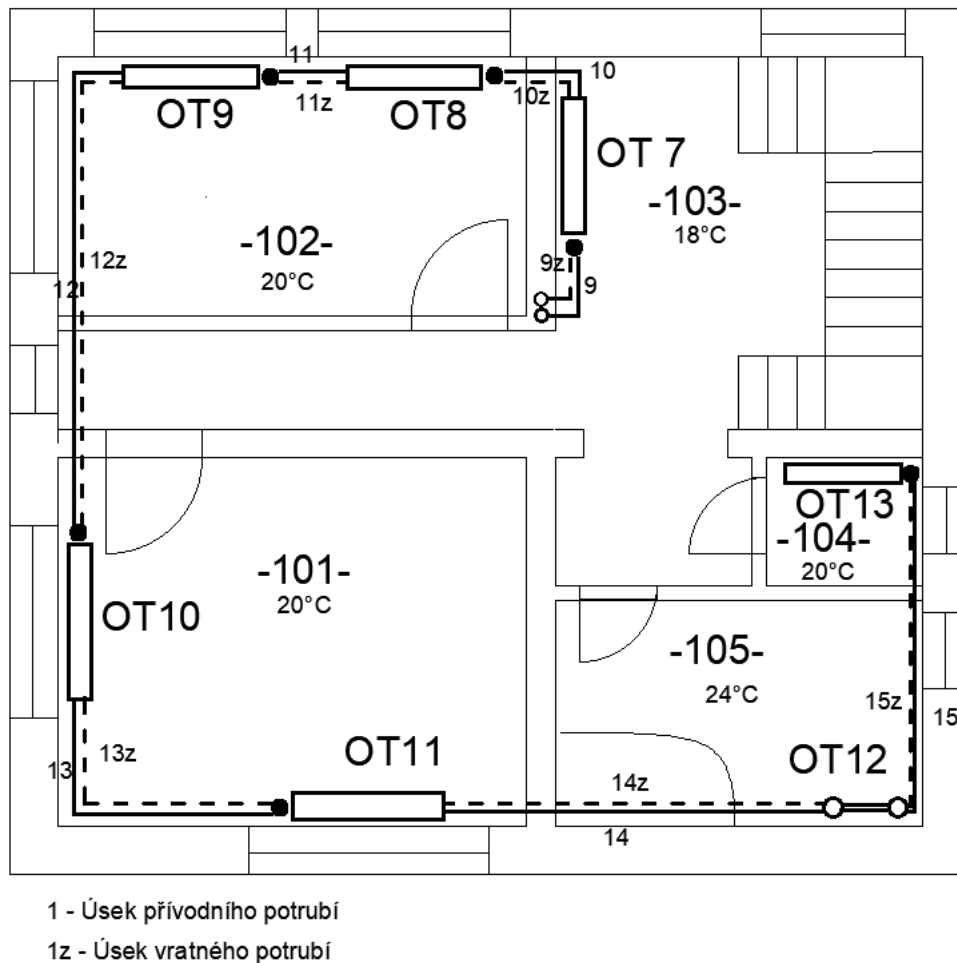
Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce, jsem se rozhodl, vést rozvody v měděném potrubí v podlaze. Jako způsob spojování bylo zvoleno pájení. Potrubí je izolováno izolací TUBEX. Záměrně jsem nevyužil potrubí s menším vnitřním průměrem, než je 10 mm, jelikož se v technické praxi běžně nevyužívá.

### 8.1 Schematické zobrazení

#### *Přízemí*



Obr. 5. Schematické zobrazení protiproudé otopné soustavy v přízemí

*Nadzemní podlaží*

Obr. 6. Schematické zobrazení protiproudé otopné soustavy v 1. nadzemním podlaží

Při návrhu této otopné soustavy bylo nutné si nejdříve vypočítat tlakovou ztrátu hydraulicky nejvzdálenějšího okruhu. Ten vede k otopnému tělesu 4, které je v přízemí. Tlaková ztráta tohoto okruhu činí 13243 Pa. Další otopná tělesa bylo nutné k této ztrátě doškrtit. Nejnižší tlakovou ztrátu měla tělesa 1 a 2, bylo tak nutné sáhnout k velmi nízkým  $k_v$  hodnotám.

Jelikož rozdíl největších tlakových ztrát v přízemí a v patře byl vyšší než 1 kPa, bylo vhodné na stoupačí potrubí umístit vyvažovací ventil STAD PN 25, na kterém se doškrtilo 1166 Pa. Zvýšením tlakové ztráty vyvažovacím ventilem se snížila nutnost dohánět tuto ztrátu škrcením na tělesech. Přesto bylo nutné sáhnout k velmi nízkým  $k_v$  hodnotám, ale bez tohoto ventilu by se tělesa nepodařilo doškrtit vůbec, nebo by bylo nutné sáhnout

k razantnějším změnám v průměrech jednotlivých potrubí. Tím by se ale narušilo postupné klesání rychlostí směrem od zdroje tepla.

V tabulce 8 je přehledně zobrazena tlaková ztráta okruhů otopných těles spolu se stupněm škrcení na regulačním šroubení a termostatickém ventilu. K jednotlivým stupňům jsou přiřazeny i jejich  $k_v$  hodnoty.

Tab. 8 Nastavení TRV a RŠ pro protiproudou otopnou soustavu

<b>Těleso</b>	<b>Stupeň RŠ</b>	<b><math>k_v</math> RŠ</b>	<b>Stupeň TRV</b>	<b><math>k_v</math> TRV</b>	<b>Tlaková ztráta [kPa]</b>
1	1	0,09	2	0,19	12,77
2	1	0,14	4	0,22	13,24
3	4,5	0,42	8	0,43	12,90
4	9	1,35	8	0,75	13,00
5	4x6	0,35	-	-	13,05
6	3	0,31	5,5	0,52	13,00
7	2	0,2	2	0,22	13,04
8	3	0,31	1,5	0,18	13,04
9	2	0,2	3,5	0,35	12,88
10	3	0,31	4	0,38	12,90
11	6	0,79	7	0,66	13,04
12	6x6	0,45	-	-	13,25
13	9	1,35	7,5	0,71	13,05

Pro trubková otopná tělesa se uvádí kombinace stupně škrcení na TRV a RŠ, této kombinaci odpovídá jedna  $k_v$  hodnota.



Tab. 9 Přehled úseků protiproudé potrubí sítě

Úsek číslo:	m[kg/h]	l[m]	d[mm]	w[m/s]	R·l [Pa]	Z[Pa]	$\Sigma(R \cdot l + Z)$ [Pa]
1	452,5	1,12	16	0,63	388	692	1080
2	216,6	2,75	13	0,46	708	364	1072
3	192,2	7,30	13	0,41	1529	450	1979
4	164,4	3,87	13	0,35	610	89	700
5	106,1	5,11	10	0,38	1324	249	1574
6	47,7	5,06	10	0,17	200	21	222
7	18,3	6,43	10	0,07	88	11	100
9	235,9	3,13	13	0,50	935	678	1613
10	197,7	2,54	13	0,42	559	303	862
11	162,7	2,30	13	0,34	355	88,0	444
12	127,7	5,06	13	0,27	522	126	648
13	87,7	5,36	10	0,31	1002	170	1172
14	47,7	6,11	10	0,17	242	21	263
15	18,3	5,13	10	0,07	70	11	82
1z	452,5	1,12	16	0,63	388	494	883
2z	216,6	2,75	13	0,00	708	0	708
3z	192,2	7,30	13	0,41	1529	368	1897
4z	164,4	2,75	13	0,35	433	30	463
5z	106,1	5,11	10	0,38	1324	178	1502
6z	47,7	5,06	10	0,17	200	7	207
7z	18,3	6,43	10	0,07	88	9	98
9z	235,9	3,13	13	0,50	935	554	1490
10z	197,7	2,54	13	0,42	559	216	775
11z	162,7	2,30	13	0,34	355	29	385
12z	127,7	5,06	13	0,27	522	90	612
13z	87,7	5,36	10	0,31	1002	121	1124
14z	47,7	6,11	10	0,17	242	7	249
15z	18,3	5,13	10	0,07	70	9	80

V tabulce 9 jsou zobrazeny parametry jednotlivých úseků potrubní sítě. Hmotnostní tok otopné vody byl určen z potřebného výkonu těles, ke kterým daný úsek vede.

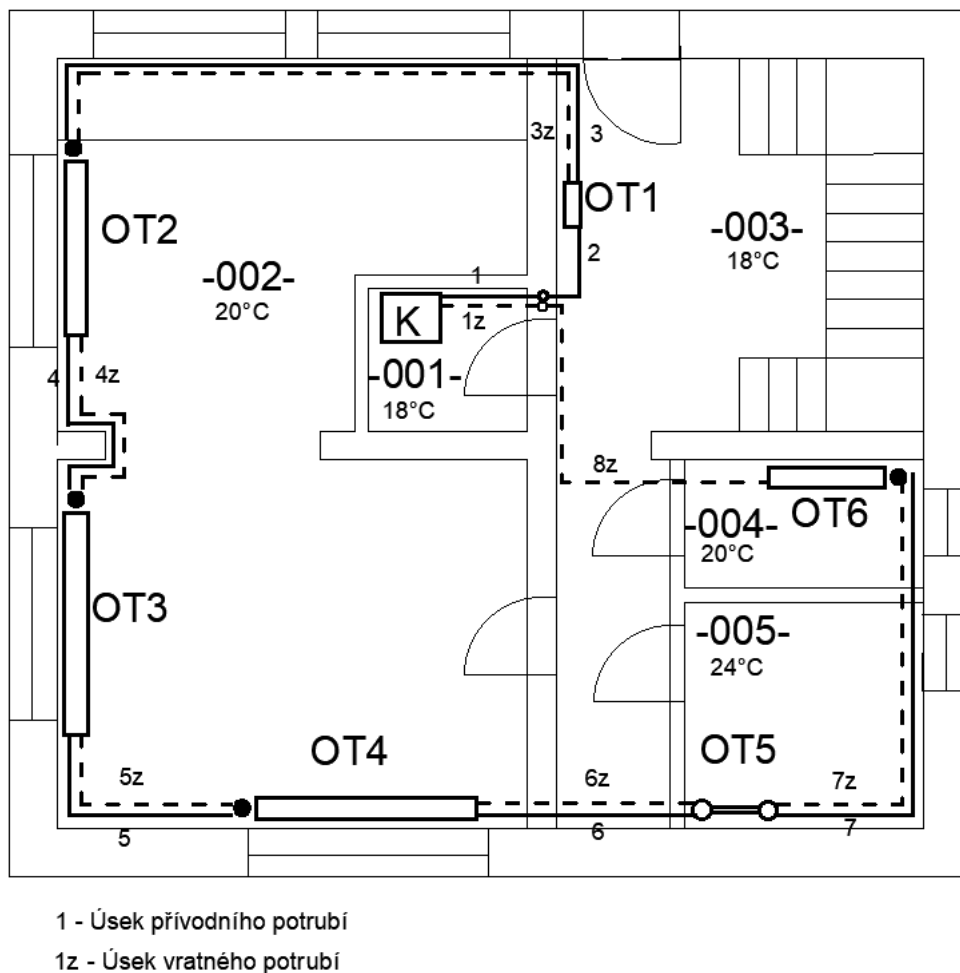
Cílem bylo, aby tlaková ztráta směrem od zdroje klesala a bylo jednodušší síť vyvážit. Klesající průtok tomu napomáhal, ale vzhledem k délce některých úseků bylo nutné sáhnout k větším průměrům potrubí, než doporučuje metoda ekonomických rychlostí. Dokladem toho je například úsek 12, kde je patrné, že nízká rychlost napomohla snížení tlakové ztráty. Z tabulky 9 pak je možné vyčíst, že při porovnání úseků 12 a 5 má úsek 5 více než dvojnásobnou tlakovou ztrátu i přesto, že má podobný hmotnostní průtok i délku.

## 9 Souproudá otopná soustava vedená v měděném potrubí

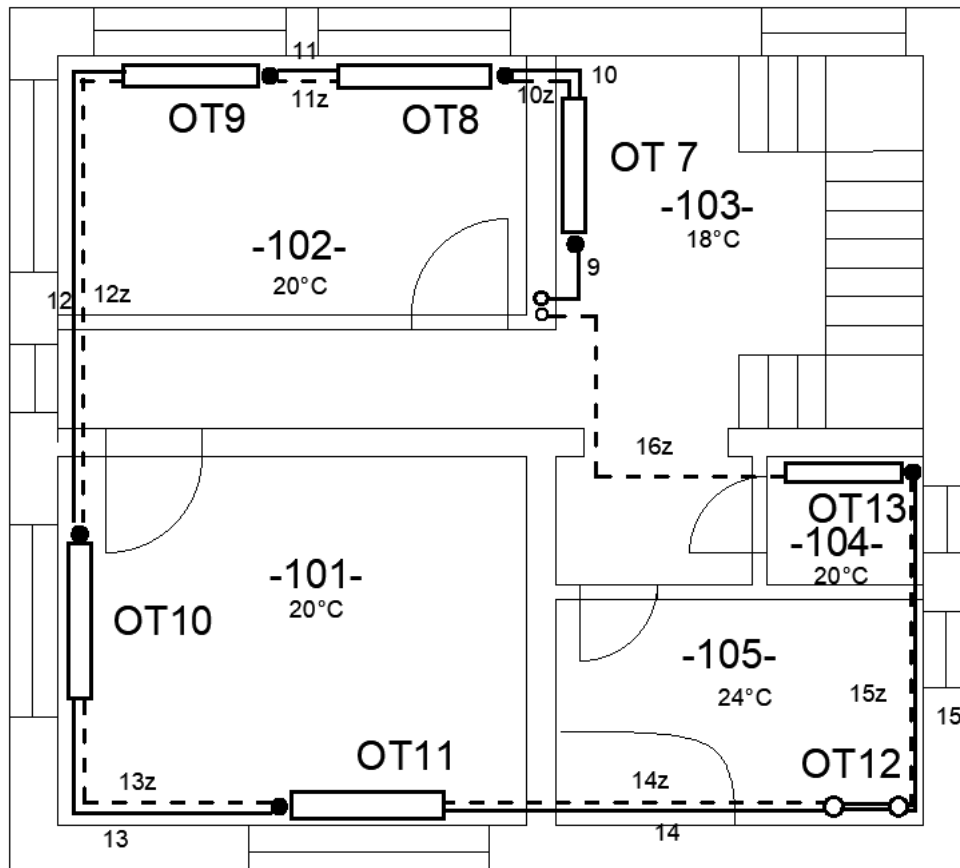
Stejně jako u protiproudé soustavy byla jako materiál potrubí zvolena měď s tím, že nejmenší využitě potrubí bude mít také vnitřní průměr minimálně 10 mm. Potrubí bylo izolováno izolací TUBEX a bylo vedeno v podlaze.

### 9.1 Schematické zobrazení

#### *Přízemí*



Obr. 7. Schematické zobrazení souproudé otopné soustavy v přízemí

*Nadzemní podlaží*

- 1 - Úsek přívodního potrubí  
1z - Úsek vratného potrubí

Obr. 8. Schematické zobrazení souproudé otopné soustavy v 1. nadzemním podlaží

Vyvažování souproudé otopné soustavy bylo započato nalezením hydraulicky nejvzdálenějšího tělesa. Tím je otopné těleso 10 v 1. nadzemním podlaží. K němu bylo nutné doškrtit i zbytek těles.

Nejnižší tlakovou ztrátu měla tělesa na začátcích a koncích okruhů, tj. tělesa 1,6 a 13. Bylo to způsobeno nízkou rychlostí na prvním, respektive poslední úseku, který dopravoval otopnou vodu pouze pro jedno těleso, a také nízkými průtoky těmito tělesy. Z tohoto důvodu sem nezařazuji i těleso 7, jež se také nachází na začátku okruhu, ale má v porovnání s ostatními velký průtok.

Z důvodu těchto nízkých průtoků bylo možné jen omezeně regulovat tlakovou ztrátu na RŠ a TRV. Proto bylo potřeba se zaměřit na okruhy s velkou tlakovou ztrátou a tuto ztrátu snížit.

Bylo tedy nutné zvětšit průměr potrubí na úsecích, které dopravovali otopnou látku do otopných těles s velkým průtokem ve střední části rozvodu. Tím se snížila jejich tlaková ztráta a bylo možné doškrcení těles 1, 6 a 13. Tyto změny se týkaly zejména úseků 5, 10, 7z a 14z. Tabulka 10 ukazuje, jak se nám jednotlivé okruhy k tělesům podařilo doškrtit a jakých  $k_v$  hodnot k tomu bylo zapotřebí.

Tab. 10 Nastavení TRV a RŠ pro souprvoudou otopnou soustavu

<b>Těleso</b>	<b>Stupeň RŠ</b>	<b><math>k_v</math> RŠ</b>	<b>Stupeň TRV</b>	<b><math>k_v</math> TRV</b>	<b>Tlaková ztráta [kPa]</b>
1	1	0,19	1	0,19	10,43
2	3	0,31	3	0,31	10,60
3	7	1	8	0,75	10,71
4	5	0,6	5,5	0,52	10,83
5	1x4	0,17	-	-	10,67
6	1	0,14	1	0,13	10,78
7	4	0,43	4	0,38	10,76
8	4	0,43	5	0,47	10,78
9	4	0,43	5,5	0,52	10,81
10	9	1,35	8	0,75	10,75
11	4	0,43	4	0,38	10,68
12	4x2	0,19	-	-	10,77
13	1	0,14	1,5	0,18	10,50

V tabulce 11 je možné vidět, jak se zvětšením průměru výše zmíněného potrubí snížila rychlost a tlakové ztráty. Nicméně v tomto případě není možné jednotlivé úseky jednoduše porovnat jako v případě protiproudé soustavy.

Tab. 11 Přehled úseku souproudé potrubí sítě

Úsek číslo:	m[kg/h]	l[m]	d[mm]	w[m/s]	R·l [Pa]	Z[Pa]	$\Sigma(R \cdot l + Z)$ [Pa]
1	452,5	1,12	16	0,63	388	692	1080
2	216,6	2,75	13	0,46	708	364	1072
3	192,2	7,30	13	0,41	1529	450	1979
4	164,4	3,87	13	0,35	610	89	700
5	106,1	5,11	13	0,22	384	87	472
6	47,7	5,06	10	0,17	200	21	222
7	18,3	6,43	10	0,07	88	11	100
9	235,9	3,13	16	0,33	352	295	648
10	197,7	2,54	16	0,28	207	132	340
11	162,7	2,30	13	0,34	355	88	444
12	127,7	5,06	10	0,46	1813	361	2175
13	87,7	5,36	10	0,31	1002	170	1172
14	47,7	6,11	10	0,17	242	21	263
15	18,3	5,13	10	0,07	70	11	82
1z	452,5	1,12	16	0,63	388	494	883
3z	24,4	7,30	10	0,09	132	16	148
4z	52,2	3,87	10	0,19	188	8	197
5z	110,5	5,11	10	0,40	1418	193	1611
6z	168,9	5,06	13	0,36	838	31	870
7z	198,3	6,43	16	0,28	528	170	699
8z	216,6	3,31	16	0,30	318	204	522
10z	38,2	2,54	10	0,14	72	23	95
11z	73,2	2,30	10	0,26	298	16	315
12z	108,1	5,06	10	0,39	1352	185	1537
13z	148,2	5,36	10	0,53	2491	347	2838
14z	188,2	6,11	16	0,26	461	17	478
15z	217,5	5,13	16	0,30	497	205	703
16z	235,9	6,01	16	0,33	271	349	620

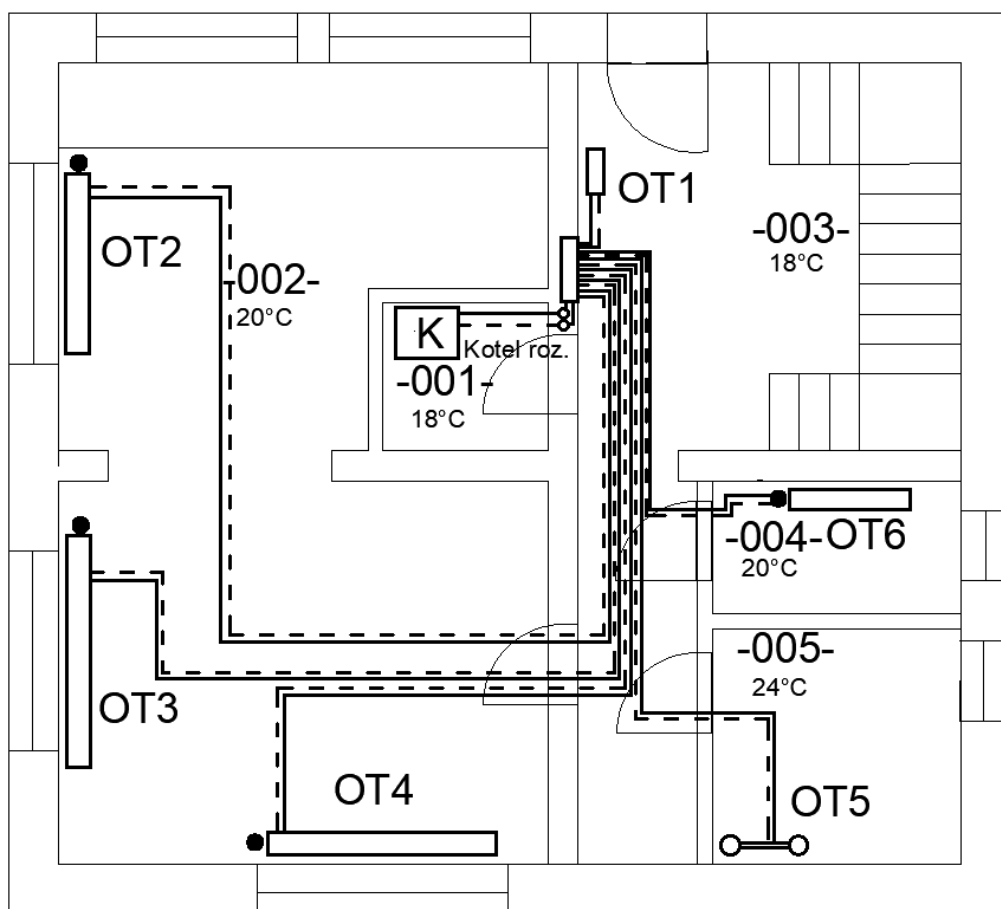
## 10 Hvězdicová otopná soustava

Pro hvězdicovou soustavu bylo zvoleno polypropylenové potrubí spojované svářením. Toto potrubí se vyrábí v jiných rozměrech než potrubí měděné, a tak bylo nutné znovu určit nejmenší vnitřní průměr potrubí, který bude využit. Byl zvolen průměr 11,6 mm. Jelikož však velká část potrubí vede potrubí jen k jednomu tělesu, je jasné že rychlosti uvnitř potrubí budou nízké.

Výhodou však je, že díky nízké rychlosti a minimálnímu množství tvarovek, jsou tlakové ztráty malé a tím pádem jsou malé i rozdíly mezi těmito tlakovými ztrátami. Což je velká výhoda, jelikož nízké průtoky neumožňují velkou variabilitu při škrcení na tělesech.

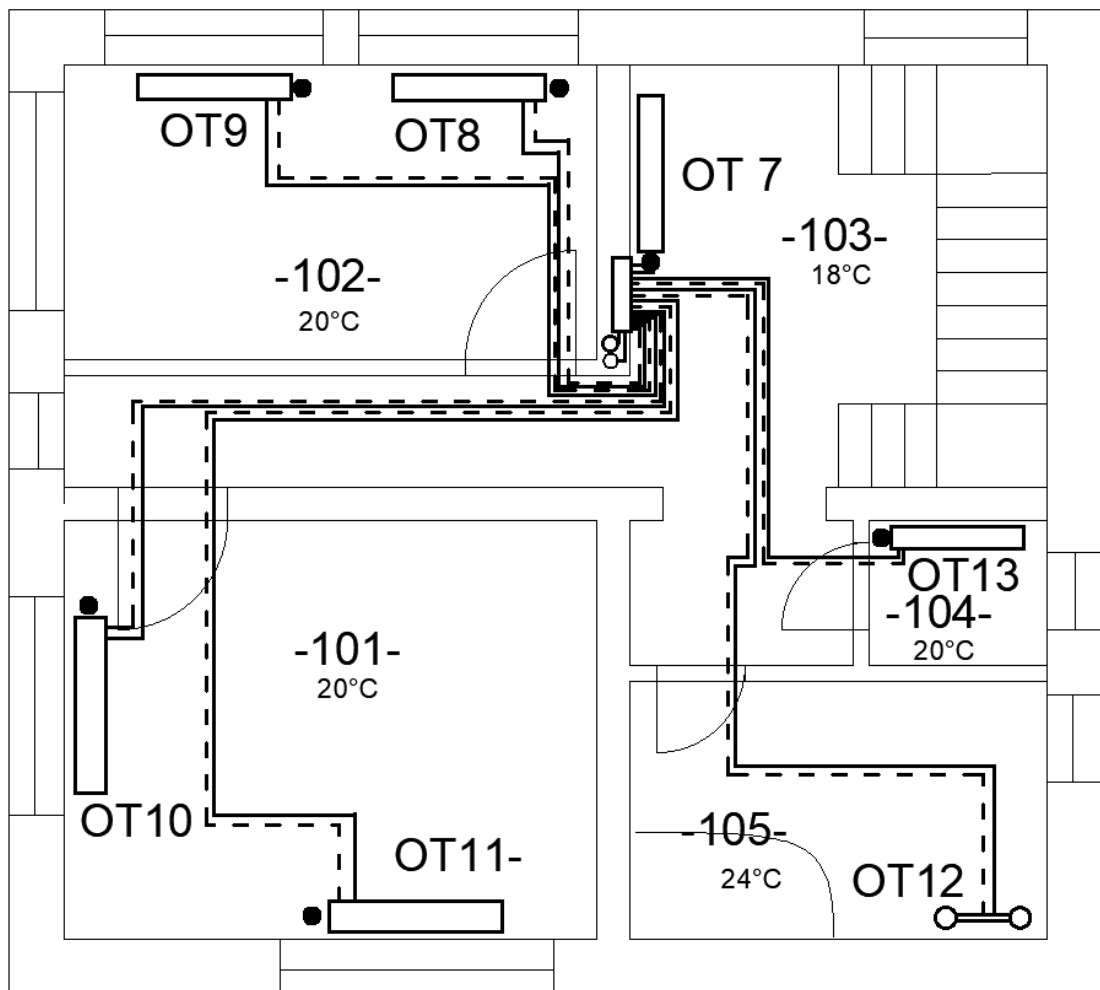
### 10.1 Schématické zobrazení

#### *Přízemí*



Úsek potrubí má stejné číslo jako těleso ke kterému vede

Obr. 9. Schématické zobrazení hvězdicové otopné soustavy v přízemí

*Nadzemní podlaží*

Úsek potrubí má stejné číslo jako těleso ke kterému vede

Obr. 10. Schematické zobrazení hvězdicové otopné soustavy v 1. nadzemním podlaží

V tabulce 12 je znázorněno nastavení RŠ a TRV pro všechna tělesa, nicméně za pozornost také stojí celková tlaková ztráta, která je výrazně nižší než u předchozích dvou soustav. Je to dáno právě nízkou rychlostí v potrubí.



Tab. 12 Nastavení TRV a RŠ pro hvězdicovou otopnou soustavu

Těleso	Stupeň RŠ	$k_v$ RŠ	Stupeň TRV	$k_v$ TRV	Tlaková ztráta [kPa]
1	2	0,19	4	0,38	3,46
2	3	0,31	2,5	0,27	3,42
3	7	1,00	8	0,75	3,44
4	7	1,35	7,5	0,71	3,39
5	3x3	0,21	-	-	3,48
6	2	0,2	1,5	0,18	3,31
7	6	0,79	6	0,57	3,46
8	6	0,79	6	0,57	3,42
9	6	0,79	6,5	0,62	3,41
10	9	1,35	8	0,75	3,37
11	9	1,35	8	0,75	3,45
12	6x5	0,4	-	-	3,39
13	3	0,31	3	0,31	3,42

V tabulce 13 je možné vidět výčet rychlostí pro jednotlivé úseky a je také patrné, že ekonomickým rychlostem jsme mnohdy velmi vzdáleni. Je zde také vidět, že třetí ztráty jsou zde řádově nižší než v předchozích soustavách.

Tab. 13 Přehled úseku hvězdicové potrubí sítě

Úsek číslo:	$m$ [kg/h]	$l$ [m]	$d$ [mm]	$w$ [m/s]	$R \cdot l$ [Pa]	$Z$ [Pa]	$\Sigma(R \cdot l + Z)$ [Pa]
Kotel rozvod	452,5	1,12	18	0,50	208	432	640
Stoup. potr.	235,9	2,75	14,4	0,41	479	286	766
1	24,4	0,40	11,6	0,06	2	0	2
2	27,8	13,50	11,6	0,07	111	0	111
3	58,4	10,40	11,6	0,16	404	0	404
4	58,4	8,80	11,6	0,16	342	0	342
5	29,4	6,90	11,6	0,08	60	0	60

Tab. 13 Přehled úseku hvězdicové potrubí sítě (pokračování)

Úsek číslo:	m[kg/h]	l[m]	d[mm]	w[m/s]	R·l [Pa]	Z[Pa]	$\Sigma(R \cdot l + Z)$ [Pa]
6	18,3	3,90	11,6	0,05	23	0	23
7	38,2	0,40	11,6	0,10	4	0	4
8	35,0	4,50	11,6	0,09	47	0	47
9	35,0	6,80	11,6	0,09	72	0	72
10	40,0	8,00	11,6	0,11	104	0	104
11	40,0	11,30	11,6	0,11	146	0	146
12	29,4	9,50	11,6	0,08	83	0	83
13	18,3	5,20	11,6	0,05	31	0	31
Kotel rozvod Z	452,5	1,12	18	0,50	208	308	517
Stoup. potr. Z	235,9	2,75	14,4	0,00	479	0	479
1z	24,4	0,40	11,6	0,06	2	0	2
2z	27,8	2,75	11,6	0,07	22	0	22
3z	58,4	10,40	11,6	0,16	404	0	404
4z	58,4	8,80	11,6	0,16	342	0	342
5z	29,4	6,90	11,6	0,08	60	0	60
6z	18,3	3,90	11,6	0,05	23	0	23
7z	38,2	0,40	11,6	0,10	4	0	4
8z	35,0	4,50	11,6	0,09	47	0	47
9z	35,0	6,80	11,6	0,09	72	0	72
10z	40,0	8,00	11,6	0,11	104	0	104
11z	40,0	11,30	11,6	0,11	146	0	146
12z	29,4	9,50	11,6	0,08	83	0	83
13z	18,3	5,20	11,6	0,05	31	0	31

## 11 Porovnání soustav

K porovnání soustav budou využity 3 úhly pohledu. Porovnání bude provedeno z ekonomického hlediska, podle délky rozvodů a také z hlediska náročnosti vyvážení soustavy. Do celkové ceny se nebude započítávat zdroj tepla, jelikož bude pro všechny soustavy stejný. Stejně tak se do ceny nezahrnují otopná tělesa, termostatické hlavice a regulační šroubení z téhož důvodu. Zároveň je potřeba připustit, že náročnost vyvážení je do jisté míry subjektivní, jelikož se podařilo vyvážit všechny tři soustavy.

### 11.1 Náročnost hydraulického vyvážení

Vzhledem k jednoduchosti stavby, do které byly otopné soustavy umístovány, jsou vhodné všechny tři typy. Nicméně zejména u souproudé a protiproudé soustavy bylo potřeba se během návrhu mnohokrát popasovat s nedostatečnou možností škrcení na tělesech. Bylo nutné několikrát předělávat původní návrhy, zejména průměry potrubí. Často byly využity velmi nízké  $kv$  hodnoty, což znemožňovalo jemné úpravy tlakových ztrát. Komplikace také způsobovaly úseky potrubí, které byly společné pro více těles, a to zejména u souproudé soustavy. Úpravou těchto úseků bylo dosaženo změny tlakové ztráty na více tělesech najednou, což nebylo vždy žádoucí.

Nejlépe se vyvažovala hvězdicová soustava, kde společné úseky pro více těles vedou pouze k rozdělovači. Následné rozvody k tělesům měly dostatečně nízkou rychlost, aby i přes násobně rozdílnou délku, generovaly podobně vysokou tlakovou ztrátu. Navíc v případě, že by nebylo možné tlakovou ztrátu doškrtit na tělesech, bylo by možné škrtit i za rozdělovačem. To však nebylo nutné.

### 11.2 Délka rozvodů

V následujících tabulkách jsou zobrazeny délky potrubí pro jednotlivé otopné soustavy. Je zde vidět, že nejdelší potrubí je vedeno v hvězdicové soustavě. Za zmínku také stojí rozložení celkové délky potrubí do podkategorií. Tam je patrné navýšení délky největšího použitého potrubí u souproudé otopné soustavy oproti soustavě protiproudé. Je to na základě problémů, které byly zmíněny v předchozích kapitolách, kdy bylo potřeba snížit tlakovou ztrátu.

Tab. 14 Délka potrubí protiproudé otopné soustavy

Typ potrubí	Délka [m]
Cu 18x1	2,24
Cu 15x1	53,9
Cu 12x1	66,4
<b>Celkem</b>	122,54

Tab. 15 Délka potrubí souprourdé otopné soustavy

Typ potrubí	Délka [m]
Cu 18x1	34,9
Cu 15x1	26,4
Cu 12x1	64,7
<b>Celkem</b>	126,0

Tab. 16 Délka potrubí hvězdicové otopné soustavy

Typ potrubí	Délka [m]
PP 25x3,5	2,24
PP 20x2,8	5,5
PP 16x2,2	179,2
<b>Celkem</b>	186,94

### 11.3 Investiční náklady

Výše počáteční investice je jedním z nejdůležitějších kritérií, při volbě otopné soustavy. V této kapitole budou stanoveny náklady na pořízení všech tří otopných soustav a bude určena finančně nejvýhodnější z nich. Do ceny není zahrnuta práce či montáž soustavy. Jako cenové zdroje byly vybrány e-shopy: [obchod-vtp.cz](http://obchod-vtp.cz), [dek.cz](http://dek.cz), [akoupelnyatopeni.cz](http://akoupelnyatopeni.cz).

## 11.3.1 Protiproudá otopná soustava

Tab. 17 Cena protiproudé otopné soustavy

<b>Prvek soustavy</b>	<b>Počet kusů/délka</b>	<b>Celková cena [Kč]</b>
Cu 18x1	3 m	529,98
Cu 15x1	54 m	7386,12
Cu 12x1	67 m	9231,93
Izolace potrubí TUBEX 18x6	3 m	19,47
Izolace potrubí TUBEX 15x6	54 m	344,52
Izolace potrubí TUBEX 12x6	67 m	779,21
Koleno 15	12 ks	156,24
Koleno 12	10 ks	168,20
Cu T-kus 12	6 ks	202,32
Cu T-kus redukovaný 15-18-15	2 ks	238,76
Cu T-kus redukovaný 15-12-15	10 ks	481,60
Cu T-kus redukovaný 15-12-12	4 ks	394,32
Vyvažovací ventil STAD PN 25	1 ks	2709
	<b>Celkem</b>	<b>22641</b>

Z tabulky 17 je vidět, že nejnákladnějším prvkem soustavy je podle očekávání potrubí. Potrubí se prodává po maximálně pětimetrových kusech a nejmenší zakoupené množství je jeden metr. Z tohoto důvodu jsou rozměry potrubí zaokrouhleny na celé metry. Tvarovky cenu již jen kosmeticky upravují.

## 11.3.2 Souproudá otopná soustava

Tab. 18 Cena souproudé otopné soustavy

<b>Prvek soustavy</b>	<b>Počet kusů/délka</b>	<b>Celková cena [Kč]</b>
Cu 18x1	35 m	6183,10
Cu 15x1	27 m	3693,06
Cu 12x1	65 m	8956,35
Izolace potrubí TUBEX 18x6	35 m	227,15
Izolace potrubí TUBEX 15x6	27 m	172,26
Izolace potrubí TUBEX 12x6	65 m	755,95
Koleno 18	12 ks	208,56
Koleno 15	8 ks	104,16
Koleno 12	20 ks	168,20
Cu T-kus 12	9 ks	303,48
Cu T-kus 18	1 ks	38,08
Cu T-kus redukovaný 18-18-15	1 ks	70,10
Cu T-kus redukovaný 15-12-15	3 ks	144,48
Cu T-kus redukovaný 15-12-12	3 ks	295,74
Cu T-kus redukovaný 18-15-18	1 ks	44,07
Cu T-kus redukovaný 18-15-15	1 ks	58,50
Cu T-kus redukovaný 18-12-12	1 ks	124,00
Cu T-kus redukovaný 18-12-15	1 ks	109,90
Cu T-kus redukovaný 18-12-18	2 ks	163,74
	<b>Celkem</b>	<b>21820</b>

Souproudá soustava vychází finančně velmi podobně jako soustava protiproudá, ačkoliv nemá vyvažovací ventil. Je to dáno kombinací delšího potrubí s nestandardními tvarovkami, u kterých je logicky cena za kus vyšší.

## 11.3.3 Hvězdicová soustava

Tab. 19 Cena hvězdicové otopné soustavy

<b>Prvek soustavy</b>	<b>Počet kusů/délka</b>	<b>Celková cena [Kč]</b>
PP 25x3,5	4 m	169,00
PP 20x2,8	8 m	216,00
PP 16x2,2	180 m	3744,00
Koleno 25	2 ks	15,20
Koleno 20	4 ks	19,20
Koleno 16	26 ks	132,60
PP T-kus redukovaný 18-18-15	2 ks	27,60
PP Redukce 25-20	2 ks	13,40
Sestava rozdělovač/sběrač pro otopná tělesa – bez skříně – 1xEK; 7cestný; nikl	1 ks	6854,00
Sestava rozdělovač/sběrač pro otopná tělesa – bez skříně – 1xEK; 6cestný; nikl	1 ks	6361,00
	<b>Celkem</b>	<b>17552</b>

Hvězdicová soustava vychází nejlevněji, a to i přes vysokou cenu rozdělovačů. Úspora je v polypropylenovém potrubí, které vychází výrazně levněji než měděné. Tento finanční rozdíl je i u tvarovek.

## 12 Zdroj tepla

Výběr zdroje tepla se především odvíjí od nároků otopné soustavy a také od dostupných paliv. Zahrnuto je však mnohem více kritérií a ty nejzásadnější budou představeny v této kapitole.

- 1) Dělení podle teplonosné látky
  - Kotle vodní
  - Kotle parní
- 2) Podle tlaku teplonosné látky
  - Nízkotlaké
  - Středotlaké
  - Vysokotlaké
- 3) Podle teploty teplonosné látky
  - Kotle teplovodní do 110 °C
  - Kotle horkovodní nad 110 °C
- 4) Podle použitého paliva
  - Kotle na tuhá paliva
  - Kotle na kapalná paliva
  - Kotle na plynná paliva
  - Kotle kombinované
  - Elektrokotle
- 5) Podle tlaku ve spalovacím prostoru
  - Podtlakové
  - Přetlakové
- 6) Podle materiálu teplosměnné plochy
  - Kotle litinové, článkové
  - Kotle ocelové
  - Kotle měděné
  - Kotle ze slitin hliníku



## 7) Podle odolnosti vzhledem k nízkoteplotní korozi

- Kotle klasické
- Kotle nízkoteplotní
- Kotle kondenzační [6]

Plynové kondenzační kotle využívají principu získání latentního tepla. Spalováním zemního plynu v kotli vzniká oxid uhličitý a voda. Ta se v důsledku hoření ohřeje a stane se z ní vodní pára. Následně je spolu s oxidem uhličitým odváděna jako spaliny. Pokud však tyto spaliny ochladíme na rosný bod, změní se skupenství vody a dojde k uvolnění latentního tepla. To se následně využije k předehřevu vratné vody. [7]

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce jsem se rozhodl právě pro plynový kondenzační kotel. Konkrétně jde o typ Panther Condens FlameFit 15 KKO-CS/1 – 15,3 kW. Součástí tohoto kotle je čerpadlo, expanzní nádoba i pojistný ventil. Přívod spalovacího vzduchu musí být zajištěn přes venkovní stěnu. Přes mřížku bude proudit do vnitřní trubky koncentrického potrubního systému. Kruhová mezera musí být uzavřena těsněním, protože stojící vrstva vzduchu zde bude fungovat jako izolace a zabrání kondenzaci vodních par na vnější straně potrubí. [8]

## 12.1 Expanzní nádoba

Expanzní nádoba má objem 8 litrů. Výpočtem bylo zjištěno, že pro souproudou otopnou soustavu postačí expanzní nádoba, která má více než 5,14 litru. Pro hvězdicovou postačí objem 5,28 litru a pro protiproudou 4,95 litru. Nádoba tedy vyhovuje pro všechny potrubní sítě. Způsob výpočtu bude demonstrován na výpočtu expanzní nádoby pro protiproudou otopnou soustavu.

Nejprve bude určen nejnižší dovolený absolutní tlak:

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot \rho_v \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + p_b \quad (22)$$

$p_{d,dov,A}$	Nejnižší dovolený absolutní tlak	[kPa]
$g$	Tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$h$	Výška vodního sloupce	[m]

Dosazeno do rovnice:

$$p_{d,dov,A} = 1,1 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 10^{-3} + 100 = 233 \text{ kPa} \quad (23)$$

Následně bude vypočítán stupeň využití expanzní nádoby:

$$\eta = \frac{p_{h,dov,A} - p_{d,dov,A}}{p_{h,dov,A}} \quad (24)$$

$p_{h,dov,A}$	Nejvyšší dovolený absolutní tlak	[kPa]
$\eta$	Stupeň využití expanzní nádoby	[-]

Dosazeno do rovnice:

$$\eta = \frac{400 - 233}{400} = 0,42 \quad (25)$$

Vše se nakonec dosadí do rovnice:

$$V_{et} = 1,3 \cdot V_o \cdot n_e \cdot \frac{1}{\eta} \quad (26)$$

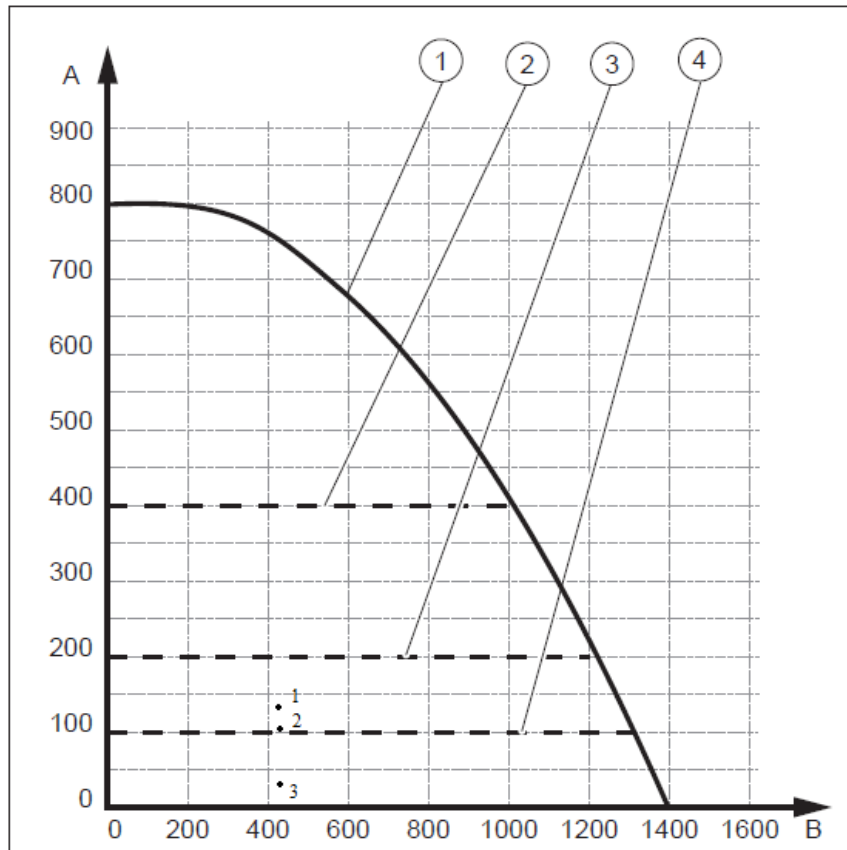
$V_{et}$	Objem tlakové expanzní nádoby	[l]
$V_o$	Objem vody v otopné soustavě	[l]
$n_e$	Součinitel zvětšení objemu	[-]

Dosazení do rovnice:

$$V_{et} = 1,3 \cdot 113,3 \cdot 0,01413 \cdot \frac{1}{0,42} = 4,95 \text{ l} \quad (27)$$

## 12.2 Čerpadlo

Charakteristika čerpadla byla porovnána s pracovními body. Všechny soustavy mají průtok 467,9 l/h. Tlaková ztráta je pro protiproudou soustavu je 12,9 kPa, pro souproudou 10,7 kPa a pro hvězdicovou 3,4 kPa. Viz obrázek 11 z katalogu výrobce.



Obr. 11. Zobrazení pracovních bodů čerpadla [8]

Osa A zobrazuje dostupný tlak v mbar

Osa B zobrazuje průtok topného okruhu v l/h

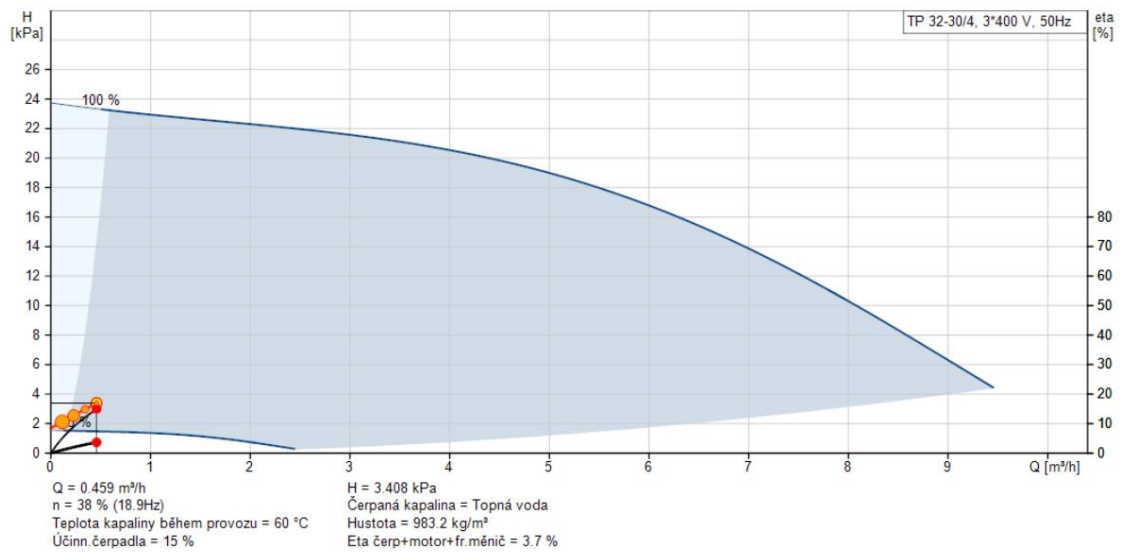
Bod 1 je pracovní bod protiproudé otopné soustavy

Bod 2 je pracovní bod souproudé otopné soustavy

Bod 3 je pracovní bod hvězdicové otopné soustavy

Z obrázku 11 je patrné že bod 3 se nachází pod hranicí minimální výšky tlaku nastavitelné v druhu provozu, která je 100 mbar.

Z tohoto důvodu bylo vybráno čerpadlo UP20-07 N 150. Jako nejvhodnější bylo určeno webem Grundfos na základě parametrů otopné soustavy. Viz obrázek 12.



Obr. 12. Zobrazení pracovního bodu čerpadla [9]

## 13 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala návrhem otopné soustavy do rodinného domu. Nejprve byly stanoveny tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí. Na jejich základě byly určeny rozměry izolačních materiálů. Vše bylo děláno v souladu s normou ČSN 73 0540-2. Následně byly určeny tepelné ztráty objektu podle normy ČSN EN 12831-1, které činily 6,3 kW. Poté byly navrženy 3 zvolené varianty otopné soustavy. Jedná se o dvoutrubkovou protiproudou otopnou soustavu, dvoutrubkovou souproudou otopnou soustavu a hvězdicovou otopnou soustavu. Na základě tepelných ztrát v místnostech byly stanoveny potřebné výkony pro otopná tělesa. Jako vhodná otopná tělesa byla vybrána desková tělesa RADIK VK a RADIK VKL, trubková tělesa Koralux Rondo Classic – M a ozdobné trubkové těleso Corrado. Byla využita metoda ekonomických rychlostí a následně vypočítány tlakové ztráty.

Při návrhu protiproudé otopné soustavy byly využity rozvody měděného potrubí, které byly vedeny v podlaze. Aby se podařilo soustavu vyvážit, musel se využít vyvažovacího ventilu, který byl umístěn na stoupací potrubí, aby byla zvýšena tlaková ztráta v patře. Bylo také nutné v některých případech využít větší průměr potrubí, než bylo určeno pomocí metody ekonomických rychlostí. Tím se docílilo nižších tlakových ztrát u těles na konci rozvodu, což bylo zásadní pro doškrcení prvních těles na každém poschodí.

Souproudá otopná soustava byla také vedena v podlaze v měděném potrubí. Stejně jako u protiproudé soustavy se muselo v mnoha případech volit větší potrubí, než určila metoda ekonomických rychlostí. Tentokrát nebylo nutné využít vyvažovacího ventilu, jelikož tlaková ztráta na patře i v přízemí byly velmi podobné.

Hvězdicová otopná soustava byla vedena v polypropylenovém potrubí a také v podlaze. Zde nebyly s vyvažováním soustavy žádné zásadní problémy, jelikož všechny okruhy k otopným tělesům měly velmi podobné tlakové ztráty.

Všechny tyto otopné soustavy byly porovnány z hlediska ceny, délky rozvodů a obtížnosti vyvážení. Z hlediska vyvážení vyšla jednoznačně nejlépe soustava hvězdicová. A ačkoliv má nejdelší rozvody, tak finančně vyšla také nejlépe. Je to dáno nižší cenou polypropylenového potrubí vůči měděnému.

Na konci práce byla provedena krátká rešerše zdrojů tepla a vybrán kotel Panther Condens FlameFit 15 KKO-CS/1 s výkonem 15,3 kW. Expanzní nádoba tohoto kotle je 8 l. Její velikost byla následně ověřena pro všechny otopné soustavy. Velikost expanzní nádoby pro souproudou otopnou soustavu vyšla 5,14 litru, pro protiproudou otopnou soustavu 4,95 litru a pro hvězdicovou 5,28 litru. Bylo ověřeno, že čerpadlo, které je v kotli instalováno,

vyhovuje pro provoz souproudé a protiproudé soustavy. Pro soustavu hvězdicovou bylo navrženo čerpadlo UP20-07 N 150, které lépe zajišťuje její funkci.

## 14 Seznam literatury

- [1] CENTNEROVÁ, Lada. *Tepelná pohoda a nepohoda* [online]. In: . [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [2] ČSN EN 12831-1. 1. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [3] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] BAŠTA, Jiří a Jindřich BOHÁČ. *Navrhování Otopných soustav*. 1. Praha: Společnost pro techniku prostředí - odborná sekce Vytápění, Novotného lávka 5, 2023. ISBN 978-80-02-03009-6.
- [5] 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.
- [6] BAŠTA, Jiří. *Kotle pro ústřední vytápění: 11. přednáška, Základy vytápění*. Praha, 2015.
- [7] FUČÍK, Zdeněk. *Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů*. In: *Tzbinfo* [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [8] *Závěsný plynový kondenzační kotel Tiger Condens FlameFit*. In: *Protherm* [online]. 2022 [cit. 2023-06-08]. Dostupné z: <https://www.protherm.cz/pro-nase-zakazniky/produkty/zavesny-plynovy-kondenzacni-kotel-tiger-condens-flamefit-20864.html>
- [9] Grundfos: TP 32-30/4 A-F-Z-BQQE-AW3. In: *Grundfos* [online]. Olomouc [cit. 2023-06-09]. Dostupné z: <https://product-selection.grundfos.com/cz/products/tp-tpc/tp-b-i/tp-32-304-97952248?pumpsystemid=2119915492&tab=variant-sizing-results>

## Seznam příloh

### Přílohy na CD

Příloha: 1 Výpočet tepelných ztrát	(xls)
Příloha: 2 Přepočet výkonů otopných těles	(xls)
Příloha: 3 Protiproudá otopná soustava	(xls)
Příloha: 4 Souproudá otopná soustava	(xls)
Příloha: 5 Hvězdicová otopná soustava	(xls)
Příloha: 6 Bakalářská práce – elektronická podoba	(pdf)
Příloha: 7 Výkresová dokumentace	(pdf)

### Seznam výkresové dokumentace

01	Protiproudá otopná soustava – Přízemí	A3
02	Protiproudá otopná soustava – Patro	A3
03	Souproudá otopná soustava – Přízemí	A3
04	Souproudá otopná soustava – Patro	A3
05	Hvězdicová otopná soustava – Přízemí	A3
06	Hvězdicová otopná soustava – Patro	A3
11	Protiproudá otopná soustava – Rozvinuté schéma	A3
12	Souproudá otopná soustava – Rozvinuté schéma	A3
13	Hvězdicová otopná soustava – Rozvinuté schéma	A2
21	Technická místnost	A4