

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**STUDIE POJEDNÁVAJÍCÍ O HYDRAULICE, VYVAŽOVÁNÍ
A REGULACI OTOPNÝCH SOUSTAV**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala:

Bc. Miroslava Marková

Vedoucí práce:

Ing. Roman Musil, Ph.D.

2018/2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Marková	Jméno: Miroslava	Osobní číslo: 423777
Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov		
Studijní program: Budovy a prostředí		
Studijní obor: Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vytápění vědecko-technického parku NUPHARO	
Název diplomové práce anglicky: Heating of science and technology park NUPHARO	
Pokyny pro vypracování: Předmětem diplomové práce bude vytápění vědecko-technického parku NUPRAHO ve stupni rozšířené dokumentace pro stavební povolení. Součástí projektu budou všechny půdorysy M 1:50, schéma otopné soustavy, schéma zapojení zdroje tepla, návrh otopných ploch a technická zpráva včetně požadavků na ostatní profese. Prohlubující část diplomové práce bude pojednávat o hydraulice, vyvažování a regulaci otopných soustav.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Roman Musil, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 09.10.2018	Termín odevzdání diplomové práce: 06.01.2019 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<i>9.10.2018</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Miroslava Marková.....

Název diplomové práce: Vytápění vědecko-technického parku NUPHARO.....

Základní část: Projekt vytápění..... podíl: 100..... %

Formulace úkolů: - zpracování projektu vytápění ve stupni rozšířeného stavebního povolení
- řešerše: hydraulika, vyvažování a regulace otopných soustav
- výkresová část, textová část

Podpis vedoucího DP: Datum: 09.10.2018.....

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci.
(Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

Jeníkov 01.01.2019

podpis:

Poděkování:

Tímto bych ráda poděkovala především své rodině za veškerou podporu a pomoc během celého mého studia. Mé velké díky patří obzvláště panu Vladimíru Bittersmannovi za jeho čas, pomoc, cenné rady a připomínky. V neposlední řadě bych ráda poděkovala mému vedoucímu diplomové práce Ing. Romanovi Musilovi, Ph.D., ze skvělé vedení, zájem a čas, který mi během zpracování diplomové práce věnoval.

Obsah

Úvod.....	9
1. Hydraulika v potrubí	10
1.1 Proudění kapalin	10
1.1.1 Základní vztahy.....	11
1.1.2 Rovnice proudění kapaliny	13
1.2 Tlakové ztráty v potrubí.....	14
1.2.1 Tlaková ztráta třením	14
1.2.1.1 Součinitel ztrát třením λ	15
1.2.2 Tlaková ztráta místní	16
1.3 Oběh kapaliny v soustavě	19
1.3.1 Soustava s přirozeným oběhem	20
1.3.2 Soustava s nuceným oběhem	20
1.4 Hydraulické posouzení soustavy	21
2. Vyvážení potrubní sítě	24
2.1 Vyvažovací ventil	24
2.2 Metody vyvažování potrubních sítí	25
2.2.1 Metoda přednastavení	25
2.2.2 Metoda iterační	26
2.2.3 Metoda proporciální.....	26
2.2.4 Metoda kompenzační.....	28
3. Regulace ve vytápění	29
3.1 Regulace a regulátory	29
3.2 Členění regulátorů.....	30
3.2.1 Nespojité regulátory.....	30
3.2.1.1 Dvoupolohový regulátor	30
3.2.1.2 Třípolohový regulátor	30
3.2.2 Spojité regulátory.....	31
3.2.2.1 P-regulátor	31
3.2.2.2 I-regulátor	31
3.2.2.3 PI-regulátor	31
3.2.2.4 D-regulátor.....	32
3.2.2.5 PID-regulátor	32
3.3 Regulační armatury.....	32
3.3.1 Termostatický regulační ventil	33
3.3.2 Regulátor tlakové difference	34
3.3.3 Regulátor objemového průtoku	35
3.3.4 Přepouštěcí ventil.....	36
3.3.5 Trojcestný ventil	36
3.4 Regulace výkonu otopné soustavy.....	37
3.4.1 Zónová regulace.....	38
3.4.2 Decentralizovaná regulace místností	38
3.4.3 Centrální regulace místností	39
3.4.4 Regulace teploty přívodní vody	39
3.4.4.1 Regulace podle nastavené teploty.....	39
3.4.4.2 Regulace podle venkovní teploty.....	40
3.4.4.3 Regulace podle vnitřní teploty	40
Závěr	41

Seznam použitých zdrojů	42
Seznam obrázků	44

Anotace

Cílem diplomové práce byl návrh teplovodního vytápění ve vědecko-technickém parku NUPHARO, konkrétně v budově SO 03, který se nachází nedaleko města Libouchec. Multifunkční budova disponuje pěti odlišnými provozmi. Najdeme zde školku, fitness, restauraci, hotel, zasedací místnosti či kanceláře. Projektová část obsahuje technickou zprávu a výkresovou dokumentaci ve stupni rozšířeného stavebního povolení.

Prohlubující část diplomové práce pojednává o hydraulice, vyvažování a regulaci otopných soustav.

Annotation

The aim of the diploma thesis was to design heating in the science and technology park NUPHARO, specifically in building SO 03, which is located near by Libouchec. The multifunctional building has five different operations. There is a kindergarten, fitness, restaurant, hotel, meeting room or office. The project part contains the technical report and the drawing documentation in the extent of the extended building permit.

The deepening part of the diploma thesis deals with hydraulics, balancing and regulation of heating systems.

Klíčová slova

Diplomová práce, vytápění, multifunkční budova, výkresová dokumentace, hydraulika, vyvažování otopných soustav, regulace otopných soustav

Key words

Diploma thesis, heating, multifunctional building, drawing documentation, hydraulics, balancing of heating systems, regulation of heating systems

Úvod

Už od počátku věků patří mezi základní potřeby člověka jídlo, voda, světlo a teplo. Teplo je hlavně nutné pro přípravu pokrmů a vůbec pro žití člověka. Postupem času jsme se od otevřeného ohniště v jeskyni přesunuli do primitivních obydlí z přírodních materiálů, až jsme dospěli ke stavbě objektů, které svůj provoz pokryjí z vlastní výroby energie.

Abychom pokryli základní požadavky moderních lidí, byl zapotřebí vznik samostatné disciplíny, a to Technických Zařízení Budov, tedy TZB. Díky tomuto odvětví jsou v dnešní době mezi námi odborníci, kteří se zabývají návrhem, ale i realizací zdravotně-technických instalací, vzduchotechniky, rozvody elektřiny a v neposlední řadě také vytápěním objektů, aby zajistili komfort uživatelům objektů.

Tato diplomová práce se zabývá popisem hydrauliky v potrubí, aby se teplotné médium dopravilo do všech prostor v daných parametrech – teplota, tlak, průtok, a tím bylo docíleno návrhových parametrů. Dále tato práce pojednává o vyvažování a regulaci otopných soustav, protože bez těchto znalostí a dovedností, bychom nebyli schopni dopravovat potřebnou topnou vodu pro vytápění místností. S cílem rovnoměrného pokrytí tepelných ztrát a zajištění správné funkčnosti navržené soustavy, bez toho, aby se otopná tělesa tzv. nepřetápěla či nedotápěla. A ve finále dosáhli komfortu uživatelů, aby se v užívaných prostorách cítili dobře.

1. Hydraulika v potrubí

Potrubí slouží k dopravení teplotnosného média od zdroje k jednotlivým koncovým prvkům a zpět od koncového prvku do zdroje. Teplotnosnou látkou je převážně voda, ale můžeme se setkat také s vodní párou. Základní veličiny, které charakterizují pohyb kapaliny v potrubí, jsou průřezová rychlost a tlak.

Pomocí hydraulického výpočtu navrhujeme průměry potrubí, dimenze armatur nebo nastavení regulačních armatur tak, aby se celková tlaková ztráta v okruhu rovnala tlaku, který je k dispozici. Tlakové ztráty okruhu se skládají z tlakových ztrát třením a tlakových ztrát způsobených místními odpory.

1.1 Proudění kapalin

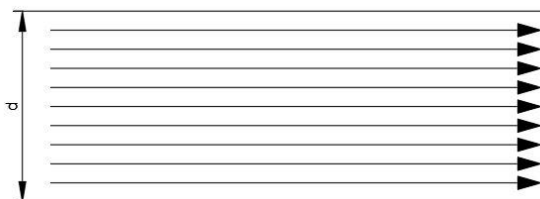
Proudění je jev, který je poměrně složitý, jelikož proudění kapalin je neustálené, nerovnoměrné a probíhá v prostoru. Mezi základní veličiny, které charakterizují proudění kapalin, patří průřezová rychlost, tlak a teplota tekutiny.

Vyřešit obecný případ proudění tekutiny znamená z matematického hlediska vyřešit soustavu nelineárních parciálních diferenciálních rovnic druhého řádu. Řešení se dále komplikuje při turbulentním proudění, kdy rychlosti, tlaky a teploty neustále kolísají, přičemž jejich odchylky od časově střední hodnoty mají nahodilý (stochastický) charakter. [3]

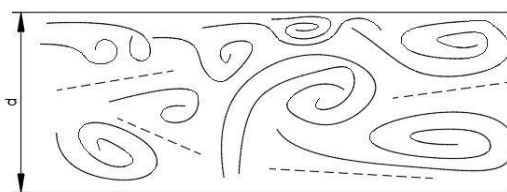
Reálná kapalina je objemově nestálá, jelikož svůj objem mění buď na základě rozdílu tlaků, nebo rozdílu teplot. Zároveň je částečně „stlačitelná“ a probíhá v ní vnitřní tření. Proto se pro zjednodušení zavedl pojem ideální kapalina. Ideální kapalina je kapalina, která se od skutečné kapaliny liší kvůli jejím ideálním vlastnostem, mezi které řadíme objemovou stálost, dokonalou tekutost a nestlačitelnost.

Proudění kapalin dělíme na základě pohybu kapalin. Pohyb kapalin může být buď ustálený (stacionární), což znamená, že charakteristické veličiny pro proudění kapalin jsou na čas nezávislé, anebo neustálený (nestacionární). Při neustáleném proudění se charakteristické veličiny s časem mění.

Při proudění kapaliny v potrubí může docházet ke dvěma jevům. Prvním jevem je proudění laminární (uspořádané), při kterém se částice pohybují ve vrstvách a tyto vrstvy se navzájem nemísí. Ztrátu energie při laminárním proudění ovlivňuje pouze viskozita kapaliny. Druhým jevem je proudění turbulentní (neuspořádané). V tomto případě se částice pohybují v průřezu nahodile a neuspořádaně, a tím pádem dochází k promíchávání tekutiny. Turbulentní proudění má ztráty závislé na tvaru potrubí a také průřezové rychlosti. Někdy se také můžeme setkat s pojmem přechodové proudění. Tímto termínem se označuje oblast, která leží mezi laminárním a turbulentním pohybem.



Obrázek č. 2: Laminární proudění

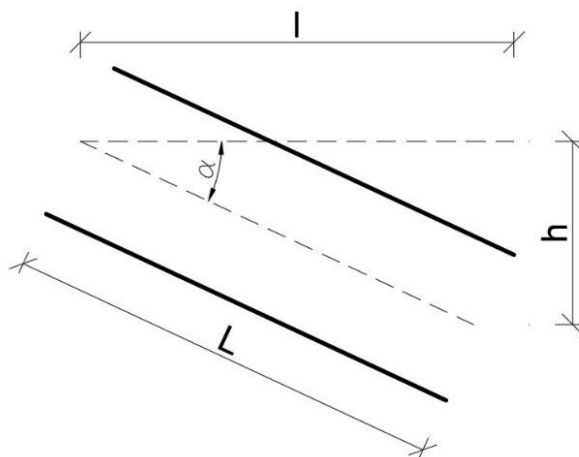


Obrázek č. 1 : Turbulentní proudění

1.1.1 Základní vztahy

Mezi základní pojmy, které je nezbytné znát, patří průtočný průřez, hydraulický poloměr, sklon potrubí, objemový průtok a průřezová rychlost.

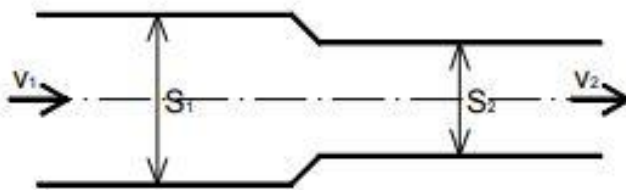
Průtočný průřez S [m^2] je plocha, která je kolmá na proudnici. Hydraulický poloměr R [m] je poměr skutečného průtočného průřezu kapaliny a omočeného obvodu. Omočený obvod je délka, při které dochází ke styku kapaliny a stěny potrubí. Sklon potrubí, označován také jako sklon čáry ztráty energie, vypočteme jako poměr výšky sklonu a délce potrubí.



Obrázek č. 3: Sklon potrubí

Objemový průtok se také nazývá průtočné množství Q [$m^3 \cdot s^{-1}$]. Pokud je objem kapaliny, protékající za časový interval, jakýmkoliv průřezem, stále stejný, označujeme tento jev jako rovnici kontinuity.

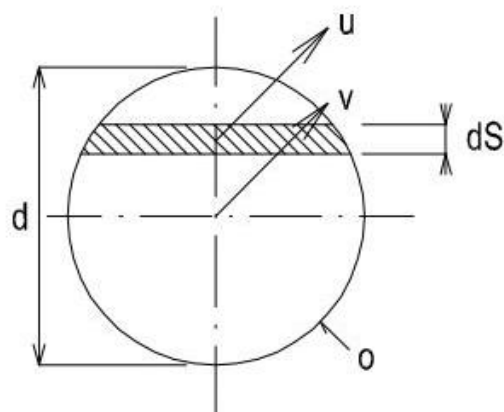
$$Q = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = S \cdot v = konst. \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (1)$$



Obrázek č. 4: Vyobrazení rovnice kontinuity [4]

Průřezová rychlost v [$m \cdot s^{-1}$] je střední rychlost průtočného průřezu. Pro výpočet rychlosti a průtočného množství lze použít vyjádření ztrát třením na základě vztahu podle Chezyho. [6]

$$v = \int^S \frac{u \cdot dS}{S} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (2)$$



Obrázek č. 5: Kruhový profil potrubí [5]

Chezyho rovnice:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \sqrt{2gd\bar{l}} = \sqrt{R\bar{l}} \cdot \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = C\sqrt{R\bar{l}} = v \quad (3)$$

Rychlostní součinitel Chezyho rovnice $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$ vyjadřuje ztráty třením a určuje se dle White-Colebrookova vztahu:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\sqrt{Re}} + \frac{k}{3,71d} \right) \quad (4)$$

<i>kde</i>	λ	... součinitel ztrát třením	[-]
	C	... rychlostní součinitel	$[m^{0,5} \cdot s^{-1}]$
	R	... hydraulický poloměr	$[m]$
	k	... absolutní hydraulická drsnost	$[m]$
	Re	... Reynoldsovo číslo	[-]

Za zmínku stojí také Reynoldsovo číslo, se kterým se při výpočtech setkáváme. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která charakterizuje proudění kapaliny. Proudění kapaliny je buď laminární nebo turbulentní. Mezi těmito dvěma případy nastává takzvaná přechodová oblast, která tvoří rozhraní a Reynoldsovo číslo je přibližně rovno číslu 2320. Nižší hodnoty platí pro laminární proudění, vyšší hodnoty platí pro proudění turbulentní.

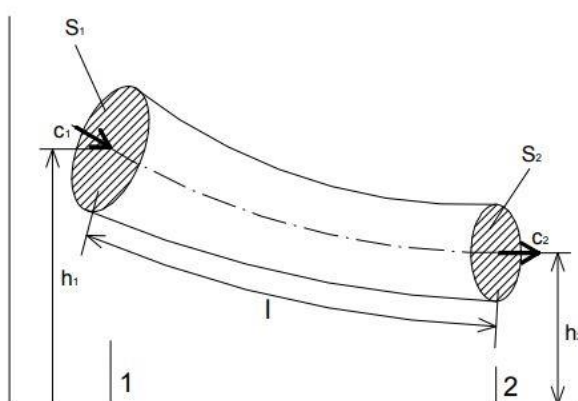
$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad [-] \quad (5)$$

<i>kde</i>	v	... střední průtočná rychlost	$[m \cdot s^{-1}]$
	d	... vnitřní průměr potrubí	$[m]$
	ν	... kinetická vazkost	$[m^2 \cdot s^{-1}]$

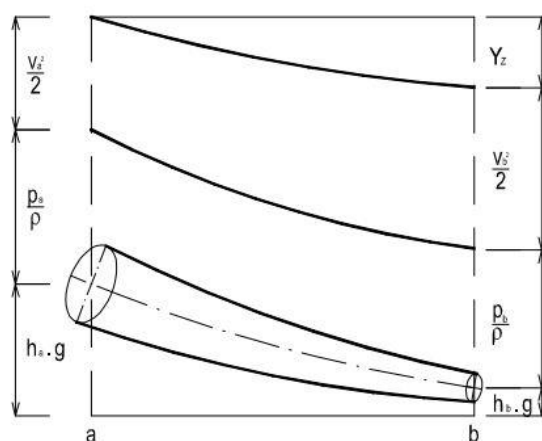
1.1.2 Rovnice proudění kapaliny

Pro výpočet proudění kapalin v potrubí pro jakýkoliv průřez používáme Bernoulliho rovnici. Tato rovnice vychází ze zákona zachování hmotnosti, hybnosti i energie. Bernoulliho rovnice se skládá ze tří členů – měrné energie kinetické, měrné energie tlakové a měrné energie polohové (potenciální).

Pokud bychom tuto rovnici aplikovali pro výpočet proudění ideální kapaliny v potrubí, tak by se součet všech tří členů rovnal konstantě. V případě, že by se jednalo o kapalinu skutečnou, musíme do výpočtu zahrnout velmi podstatný faktor, a to je ztrátová energie. Reálná kapalina má totiž určitou vazkost a díky této vlastnosti se v kapalině vyvolává určité vnitřní tření, které nelze zanedbat. Vnitřní tření je závislé na druhu proudění kapaliny, jelikož dochází k vzájemnému tření vláken. Dále je závislé na povrchu stěn potrubí a rozšíření či zúžení profilu, zahnutí potrubí, odbočení potrubí nebo použití různých armatur.



Obrázek č. 6: Proudění ideální kapaliny [6]



Obrázek č. 7: Proudění skutečné kapaliny [6]

Bernoulliho rovnice pro ideální kapalinu:

$$\frac{c^2}{2} + \frac{p}{\rho} + g \cdot h = konst. \quad (6)$$

Bernoulliho rovnice pro reálnou kapalinu:

$$\frac{v_a^2}{2} + \frac{p_a}{\rho} + g \cdot h_a = \frac{v_b^2}{2} + \frac{p_b}{\rho} + g \cdot h_b + Y_z \quad (7)$$

kde	c, v	... rychlost	$[m \cdot s^{-1}]$
	p	... tlak	$[Pa]$
	g	... gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
	ρ	... měrná hmotnost	$[kg \cdot m^{-3}]$
	h	... výška	$[m]$
	S	... plocha	$[m^2]$
	Y_z	... měrná ztrátová energie	$[J \cdot kg^{-1}]$
	a, b	... body	

1.2 Tlakové ztráty v potrubí

Při proudění kapaliny v potrubí dochází ke tření kapaliny o vnitřní stěny potrubí. Zároveň jsou zde i vnitřní ztráty kapaliny, které jsou způsobené druhem proudění a viskozitou kapaliny. Všechny tyto ztráty se nazývají ztráty třením.

Ke ztrátám místním dochází, pokud je potrubí osazeno přístroji (např. měřič tepla), mění směr či průřez pomocí tvarovek (kolena, T-kusy, redukce...), nebo dochází k regulaci i vyvažování díky armaturám. Celkové místní ztráty v potrubí získáme jako součet všech jednotlivých místních odporů výše uvedených prvků.

Celkové tlakové ztráty v potrubí jsou potom součtem tlakových ztrát třením a tlakových ztrát místních.

1.2.1 Tlaková ztráta třením

Pomocí experimentů se pro nestlačitelnou reálnou kapalinu, která při průtoku plně zaplňuje kruhový průřez potrubí, odvodila obecná rovnice:

$$Y_{z1} = \frac{\lambda}{8} \cdot v^2 \cdot \frac{o}{S} \cdot l \quad [J.kg^{-1}] \quad (8)$$

<i>kde</i>	λ	...	součinitel ztrát třením	$[-]$
	v	...	střední rychlost	$[m.s^{-1}]$
	o	...	omočený obvod = $\pi \cdot d$	$[m]$
	S	...	průřezová plocha = $\frac{\pi \cdot d^2}{4}$	$[m^2]$
	l	...	délka potrubí	$[m]$
	d	...	vnitřní průměr potrubí	$[m]$

Pokud do výše uvedené rovnice dosadíme parametry pro potrubí s kruhovým průřezem, dostaneme úpravou rovnici:

$$Y_{z1} = \frac{\lambda}{8} \cdot v^2 \cdot \frac{\pi \cdot d}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \cdot l = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2} \quad [J.kg^{-1}] \quad (9)$$

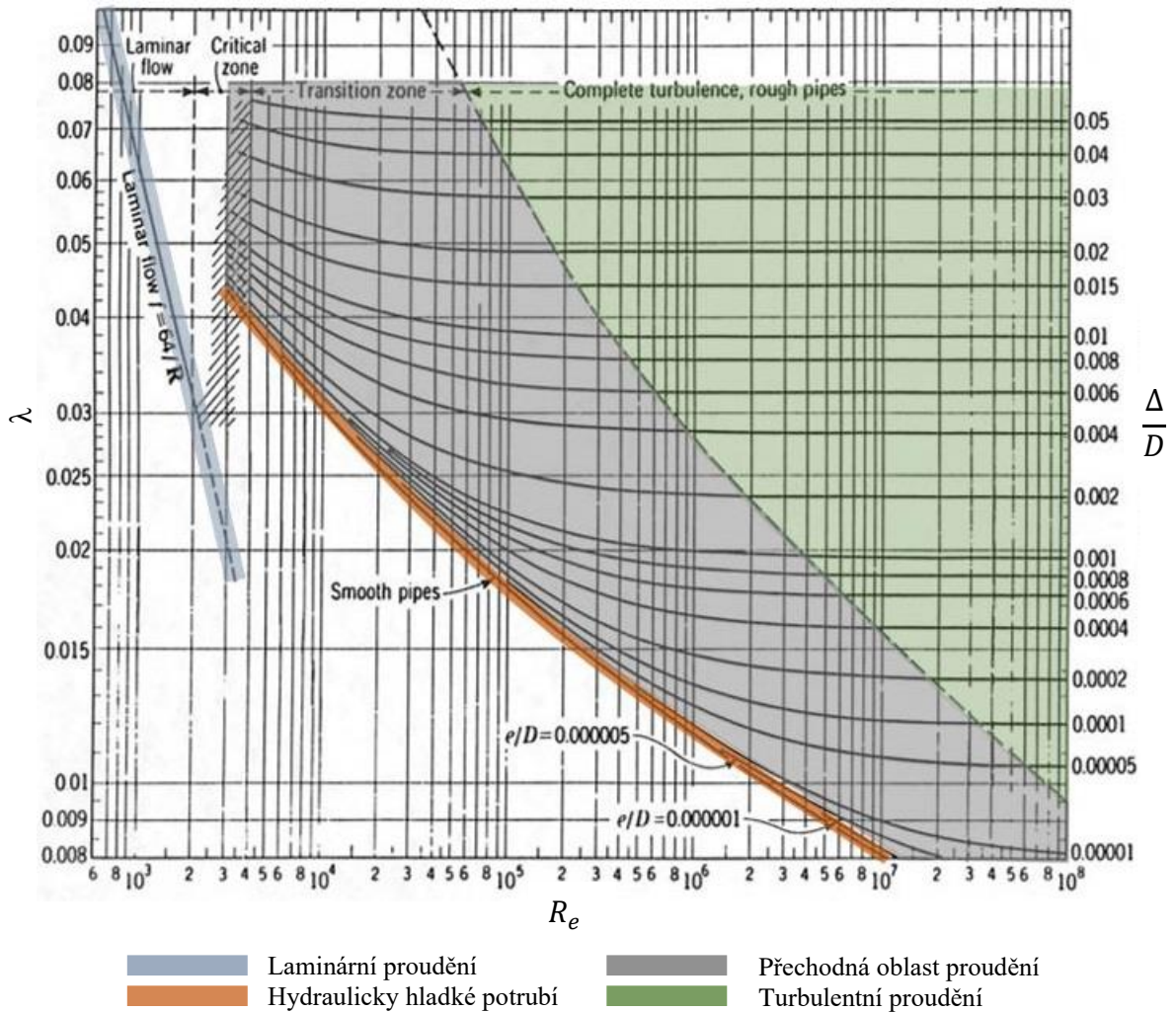
V případě, že bychom tuto rovnici vyjádřili pomocí tzv. rychlostní výšky $\frac{v^2}{2g}$, vyšla by nám Darcy-Weisbachova rovnice:

$$h_{z1} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [m] \quad (10)$$

<i>kde</i>	g	...	gravitační zrychlení	$[m.s^{-2}]$
------------	-----	-----	----------------------	--------------

1.2.1.1 Součinitel ztrát třením λ

Součinitel ztrát třením je bezrozměrná hodnota, která je závislá na Reynoldsově čísle a teplotě kapaliny, se kterou souvisí hustota kapaliny a drsnosti vnitřního povrchu potrubí. Je to jeden ze základních členů Darcy-Weisbachovi rovnice, který je závislý na druhu proudění kapaliny. K určení součinitele ztrát třením existuje několik vzorců, např. Chezyho rovnice, ale v praxi se spíše užívá speciální nomogram, který je známý pod pojmem Moodyho diagram.



Obrázek č. 8: Moodyho diagram [7]

- Laminární proudění $\lambda_L = \frac{64}{Re}$; nezáleží na drsnosti potrubí ani hustotě kapaliny
- Hydraulicky hladké potrubí $\lambda = 0,316 \cdot Re^{-0,25}$ do $Re > 3 \cdot 10^{-5}$, $k = 0,01$ mm
 - Plasty, mosaz, měď nebo sklo
- Přechodné proudění $\lambda_p = f(Re, k, d)$
- Turbulentní proudění $\lambda_t = f(k, d)$

1.2.2 Tlaková ztráta místní

Převážná část potrubních sítí, které se realizují, bývají spíše rozmanité v tom smyslu, že jsou tvořené různými odbočkami, koleny, redukcemi, armaturami či měřidly a dalšími různými prvky. Tlakové ztráty v těchto prvcích vznikají podobně jako v přímém potrubí s tím rozdílem, že v těchto prvcích bývají mnohdy větší, jelikož dochází ke změně směru proudění nebo průřezného průřezu a velmi často i ke škrcení.

Základní vzorec pro výpočet místní ztrátové energie je dán vztahem:

$$Y_{z2} = \frac{p_{z2}}{\rho} = \xi \cdot \frac{v^2}{2} \quad [J.kg^{-1}] \quad (11)$$

kde ξ ... součinitel místní ztrátové energie [-]
 v ... střední rychlost $[m.s^{-1}]$

Případně můžeme výše uvedenou rovnici vyjádřit pomocí rychlostní výšky:

$$h_{z2} = \frac{p_{z2}}{\rho \cdot g} = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [m] \quad (12)$$

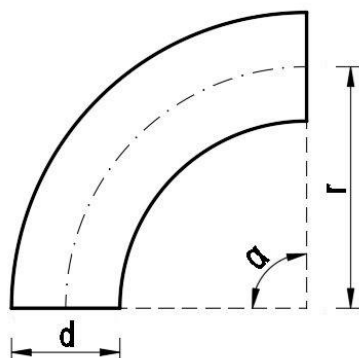
Po úpravě dostaneme rovnici pro výpočet místní tlakové ztráty:

$$p_{z2} = \xi \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \quad [Pa] \quad (13)$$

Součinitel místní ztrátové energie ξ si můžeme vypočítat, ale v praxi se spíše používají hodnoty, které jsou již experimentálně zjištěné. Pro představu, jsou níže uvedeny nejvíce používané tvarovky či armatury s orientačními hodnotami:

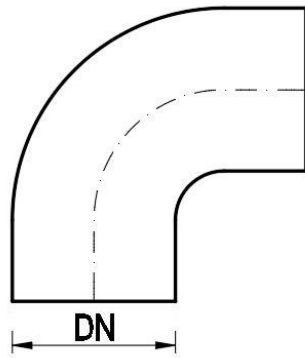
- ZMĚNA SMĚRU (KOLENO, OBLOUK)

Oblouk hladký



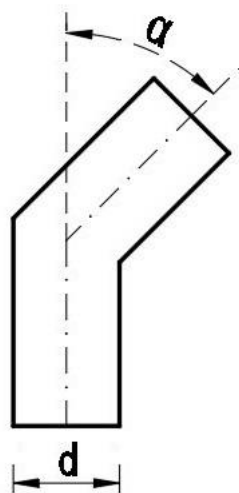
		r/d			
		1,0	1,5	3,0	4,0
α	45°	0,50	0,45	0,25	0,20
	90°	0,80	0,60	0,40	0,30
	180°	1,00	0,75	0,50	0,40

Koleno



DN	ξ
10 - 15	2,00
20 - 25	1,50
32 - 40	1,00
50 a více	0,50

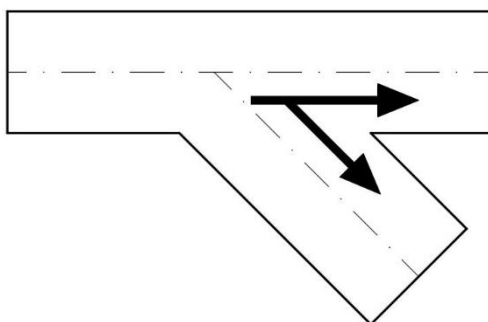
Koleno – ostré



α	ξ
15°	2,00
30°	1,50
45°	1,00
60°	0,50
75°	0,85
90°	1,20

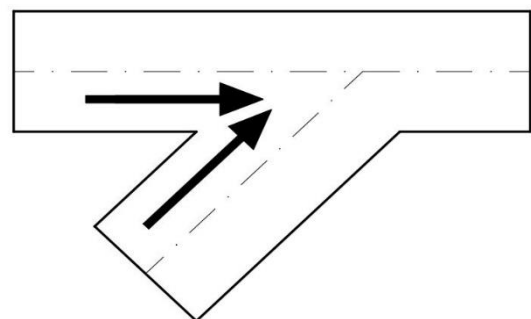
- ODBOČKY, T-KUS

Odbočka - rozdělení



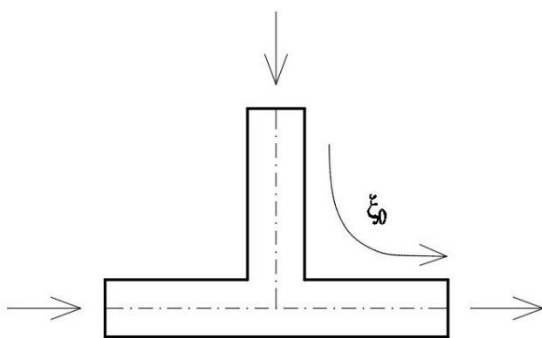
ξ	0,50
-------	------

Odbočka - spojení



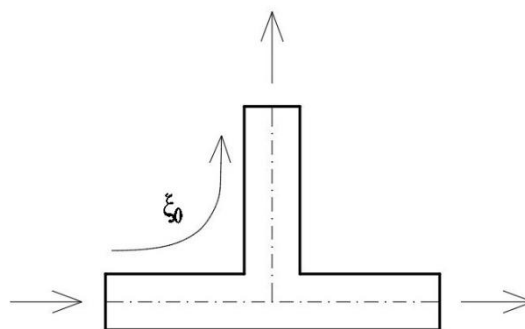
ξ	0,10
-------	------

T-kus spojení



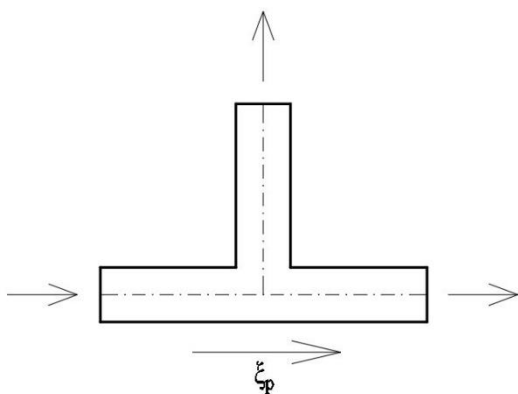
ξ_0	1,5
---------	-----

T-kus rozdělení



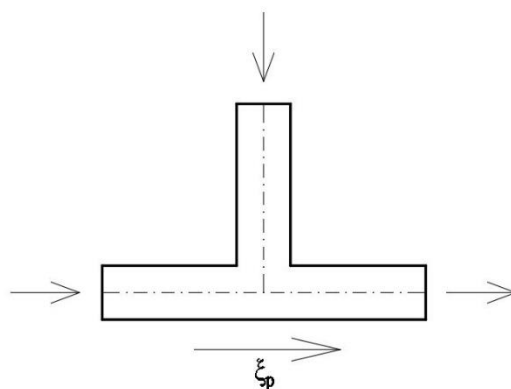
ξ_0	2,0
---------	-----

T-kus spojení, průchod



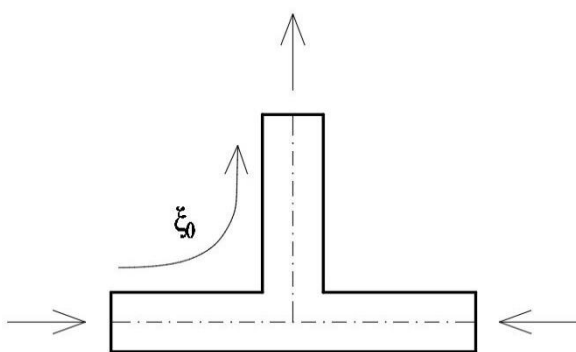
ξ_0	1,0
---------	-----

T-kus rozdělení, průchod



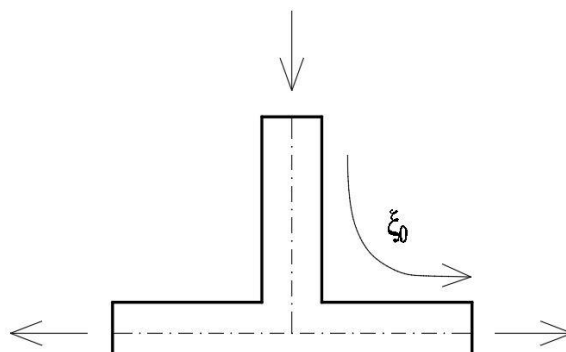
ξ_0	0,2
---------	-----

T-kus spojení, protiproud



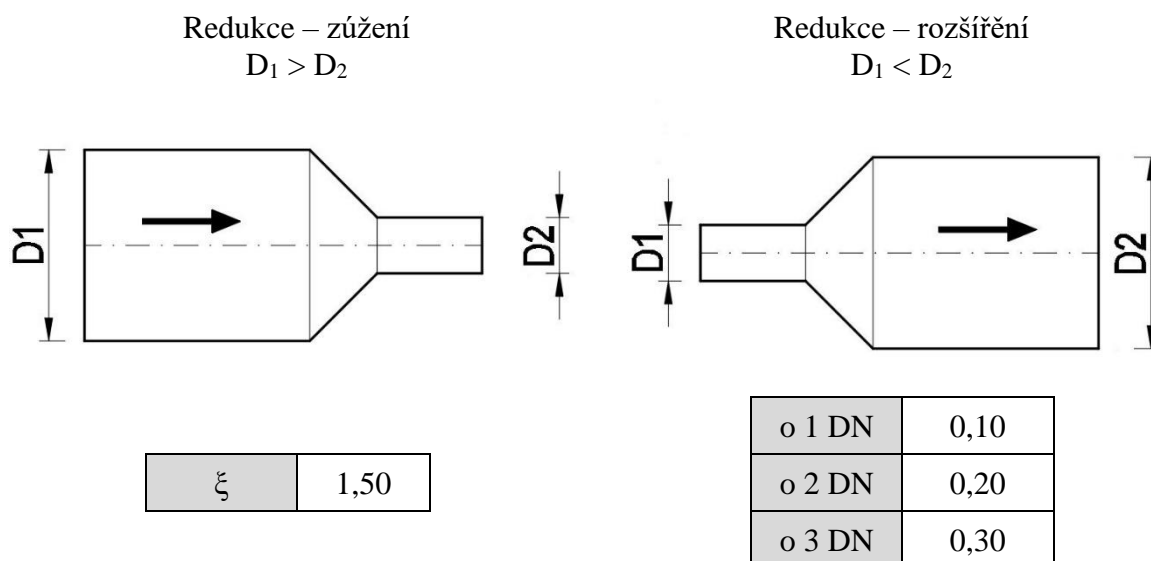
ξ_0	8,0
---------	-----

T-kus rozdělení, protiproud



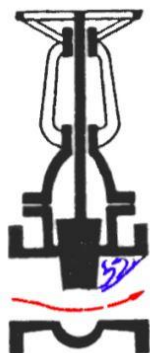
ξ_0	3,0
---------	-----

- ZMĚNA PRŮŘEZU (ROZŠÍŘENÍ/ZÚŽENÍ)



- UZÁVĚRY (KOHOUT, VENTIL, ŠOUPĚ)

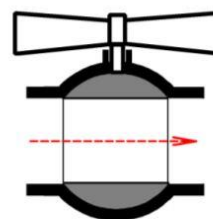
šoupátko



ventil



kulový kohout



Obrázek č. 9: Znárodnění typických uzávěřů [10]

Hodnoty místních ztrát v jednotlivých armaturách jsou k dostání u výrobce. Výrobce obvykle poskytuje grafy, které znázorňují závislost tlakové ztráty na průtoku.

1.3 Oběh kapaliny v soustavě

Abychom docílili přenosu teplotné látky od zdroje ke koncovým elementům, musíme nejdříve zajistit správný oběh vody v otopné soustavě. Teplo se v otopných soustavách přenáší pomocí proudění teplotné látky. V uzavřeném okruhu otopné soustavy se teplotná látka pohybuje díky působení dynamického tlaku.

Oběh kapaliny v soustavě je dvojí – přirozený či nucený. Přirozený oběh v soustavě vzniká na základě rozdílných hustot přírodní (teplé) a vratné (studené) vody a nucený oběh je závislý na dopravním tlaku oběhového čerpadla.

Přirozený oběh má jednu velkou výhodu, a to je nezávislost na dodávce elektrické energie. Na druhou stranu mezi velké nevýhody těchto soustav patří velmi omezené možnosti napojení nepříznivě umístěných těles, velká setrvačnost soustavy, velké průměry potrubí a v neposlední řadě nemůžeme soustavu zaregulovat pomocí vhodných regulačních prvků.

Právě regulace pomocí vhodných regulačních prvků, patří mezi výhody nuceného oběhu teplotního média v otopných soustavách. Díky regulaci docílíme zajištění lepších hydraulických i teplotních parametrů, což souvisí s menšími průměry potrubí, pružným ovládním, měření spotřeby tepla či rychlejšímu zátoku. Nevýhodou nuceného oběhu je závislost na dodávce elektrické energie.

1.3.1 Soustava s přirozeným oběhem

Tato soustava funguje na základě rozdílů hustot teplotního média. Voda v přívodním potrubí je teplejší než voda ve vratném potrubí. Voda v přívodním potrubí má nižší hustotu, takže ze strany přívodní vody je nižší hydrostatický tlak v kotli než ze strany vratné vody. Tento přetlak způsobuje přirozený pohyb vody v otopné soustavě, která proudí z kotle do koncových elementů a zpět.

U tohoto typu soustavy se dříve používala otevřená expanzní nádoba, která musela být umístěna v nejvyšším bodě soustavy. Její velkou nevýhodou bylo, že se voda z hladiny postupně odpařovala, a tím pádem se musela jednou za čas dolévat, aby soustava fungovala správně. Dále docházelo k permanentnímu kontaktu se vzduchem (konkrétně kyslíkem), a také zde byla možná hrozba zamrznutí, pokud nádoba nebyla zapojena jako otopné těleso. Další nevýhodou bývalo nutné spádování přívodního potrubí otopného tělesa do stoupacího potrubí k expanzní nádobě a zpětného potrubí směrem do vratného stoupacího potrubí. Dnes už se ale spíše používají uzavřené (tlakové) expanzní nádoby.

Přirozený oběh byl výhodný zejména pro menší soustavy, které nebyly půdorysně až tak rozlehlé a měly větší výškové rozdíly mezi zdrojem tepla a otopnými tělesy a používal se především u kotlů na tuhá paliva. V ojedinělých případech musel být kotel zapuštěn do podlahy v místnosti tak, aby byl níže než vratné potrubí.

1.3.2 Soustava s nuceným oběhem

Soustava s nuceným oběhem se navrhuje u budov, které mají větší tepelný příkon a také u budov, které jsou půdorysně poměrně rozlehlé a rovněž u budov, kde dochází k většímu větvení potrubí, a tím pádem ke komplikovanějším rozvodům. K překonání mnohonásobně větších tlakových ztrát používáme oběhová čerpadla. Dříve se čerpadla instalovala spíše na vratné potrubí z hlediska nižšího tepelného namáhání, protože tepelný spád soustav se navrhoval na 90/70 nebo 80/60. Doba ale postoupila a dnes se čerpadla spíše navrhují do přívodních potrubí vzhledem k lepšímu rozložení tlaku v soustavě.

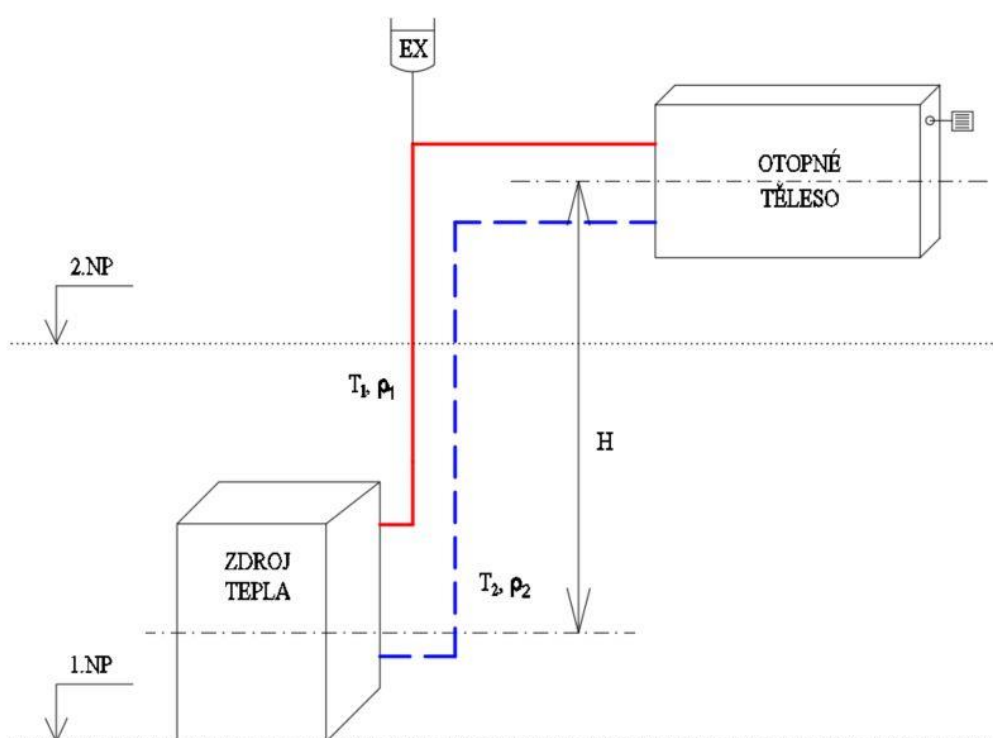
Nucený oběh ve srovnání s přirozeným oběhem má více výhod. Vyšší tlakové ztráty, ke kterým v soustavách dochází, můžeme překonat pomocí čerpadla, a tím pádem můžeme volit vyšší rychlosti v potrubí. S tím souvisí jmenovitá světlost potrubí (DN), která vychází menší. Díky tomu klesají náklady na materiál a montáž. Potrubí lze lépe zabudovat do konstrukcí či skrýt do podhledu. Nevýhodou této soustavy je závislost na dodávce elektrické

energie, a z toho plynoucí vyšší provozní náklady. Čerpadla mohou do soustavy vnášet hluk, a tak je vhodné navrhovat pryžové kompenzátory do potrubí.

1.4 Hydraulické posouzení soustavy

Cílem dimenzování otopných soustav je hlavně jejich funkčnost a vyváženost. Tento jev může nastat v případě, že dochází k rovnováze mezi tlakovými ztrátami a dynamickým přetlakem.

Pokud v uzavřeném okruhu, který vznikne propojením zdroje tepla s přívodním a vratným potrubím a také otopnou plochou (např. otopné těleso), je otopná voda v každém místě soustavy vystavena hydrostatickému přetlaku a přetlaku dynamickému, pokud je voda v pohybu (viz obrázek č. 10).



Obrázek č. 10: Teplovodní otopná soustava s přirozeným oběhem

Hydrostatický přetlak je v jakémkoliv posuzovaném místě soustavy závislý na výšce vodního sloupce nad posuzovaným místem a platí pro něj vztah:

$$p_s = H \cdot \rho \cdot g \quad [Pa] \quad (14)$$

kde H ... výška vodního sloupce nad posuzovaným místem [m]
 ρ ... měrná hmotnost vody [kg.m⁻³]
 g ... tíhové zrychlení [m.s⁻¹]

Celkový dynamický tlak Δp_c způsobuje cirkulaci otopné vody v soustavě. V teplovodních otopných soustavách se využívá dvou základních principů tohoto tlaku. [11]

Dynamický tlak v soustavách s přirozeným oběhem vzniká na základě rozdílu hydrostatických tlaků v přívodním a vratném potrubí. Tento rozdíl je dán různou výškou vodního sloupce v potrubí mezi zdrojem tepla a otopným tělesem (viz obrázek č. 10) a také rozdílnou měrnou hmotností vody v přívodním a vratném potrubí. Měrná hmotnost vody závisí na teplotě vody. Pokud budeme uvažovat teplotu vody t_1 a tomu odpovídající měrnou hmotnost označenou ρ_1 ve přívodním potrubí a ve zpětném potrubí teplotu vody t_2 a měrnou hmotnost ρ_2 , tak můžeme vyjádřit hydrostatický tlak jako:

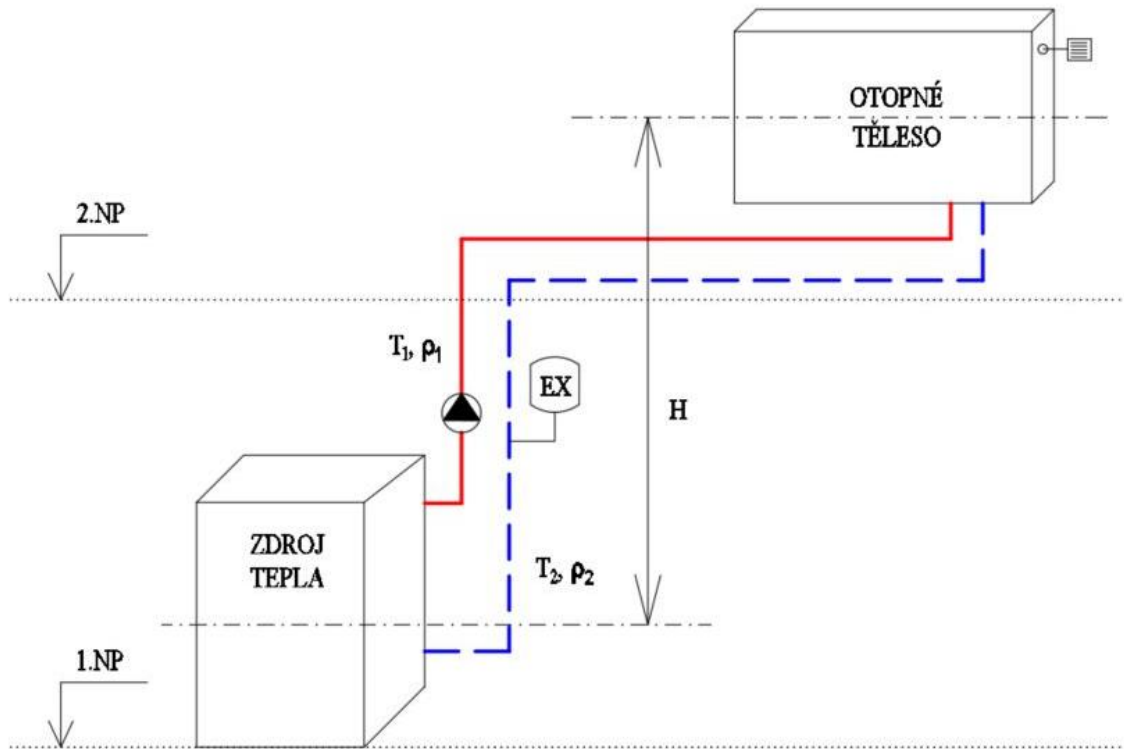
$$p_1 = H \cdot \rho_1 \cdot g \quad [Pa] \quad (15)$$

$$p_2 = H \cdot \rho_2 \cdot g \quad [Pa] \quad (16)$$

Hledaný přetlak je potom rozdíl výše uvedených tlaků, díky kterému cirkuluje voda v systému. Po úpravě získáme rovnici pro celkový dynamický tlak.

$$\Delta p_c = \Delta p_p = H \cdot g \cdot (\rho_1 - \rho_2) \quad [Pa] \quad (17)$$

<i>kde,</i>	Δp_c	... celkový dynamický tlak	[Pa]
	Δp_p	... účinný vztlak	[Pa]
	H	... účinná výška	[m]
	g	... tíhové zrychlení	[m.s ⁻¹]
	ρ_1	... měrná hmotnost vody v přívodním potrubí	[kg.m ⁻³]
	ρ_2	... měrná hmotnost vody ve vratném potrubí	[kg.m ⁻³]



Obrázek č. 11: Teplovodní otopná soustava s nuceným oběhem

Soustava s nuceným oběhem je rozdílná v tom, že do okruhu soustavy je přidáno čerpadlo, které je hlavním zdrojem dynamického tlaku v otopné soustavě. (viz obrázek č. 11)

$$\Delta p_c = \Delta p_{\check{c}} + \Delta p_p \quad [Pa] \quad (18)$$

kde, Δp_c ... celkový dynamický tlak [Pa]
 $\Delta p_{\check{c}}$... dynamický tlak čerpadla [Pa]
 Δp_p ... účinný vztlak [Pa]

Dynamický tlak čerpadla je podstatně vyšší než účinný vztlak. Abychom zajistili hydraulickou stabilitu soustavy, musíme do celkového dynamického přetlaku zahrnout účinný vztlak tak, že u běžných otopných soustav uvažujeme pouze s jeho částečným účinkem.

$$\Delta p_c = \Delta p_{\check{c}} + x \cdot \Delta p_p \quad [Pa] \quad (19)$$

kde, x ... započítávaný podíl účinného vztlaku [-]
 v rozmezí 0,4 až 0,7

Velkou pozornost musíme věnovat soustavám se zdrojem tepla umístěným v nejvyšším bodě (např. kotelna na střeše objektu), protože účinný vztlak působí proti tlaku čerpadla.

2. Vyvážení potrubní sítě

Správné vyvážení potrubní sítě otopné soustavy je důležité k zajištění optimální funkce otopné soustavy. Vyvažování bychom měli provádět podle toho, jaké teploty chceme dosáhnout ve vytápěném prostoru.

Není účelné vyvažovat soustavy s maximální přesností, pokud není soustava osazena odpovídající regulací či není profesionálně navržena. Na základě optimalizačních výpočtů lze dospět k obecnému doporučení, kdy průtok jednotlivými částmi potrubní sítě je zajištěn s přesností ± 10 až ± 15 % a přívodní teplota pak v rozmezí ± 1 K až $\pm 1,5$ K. [15]

2.1 Vyvažovací ventil

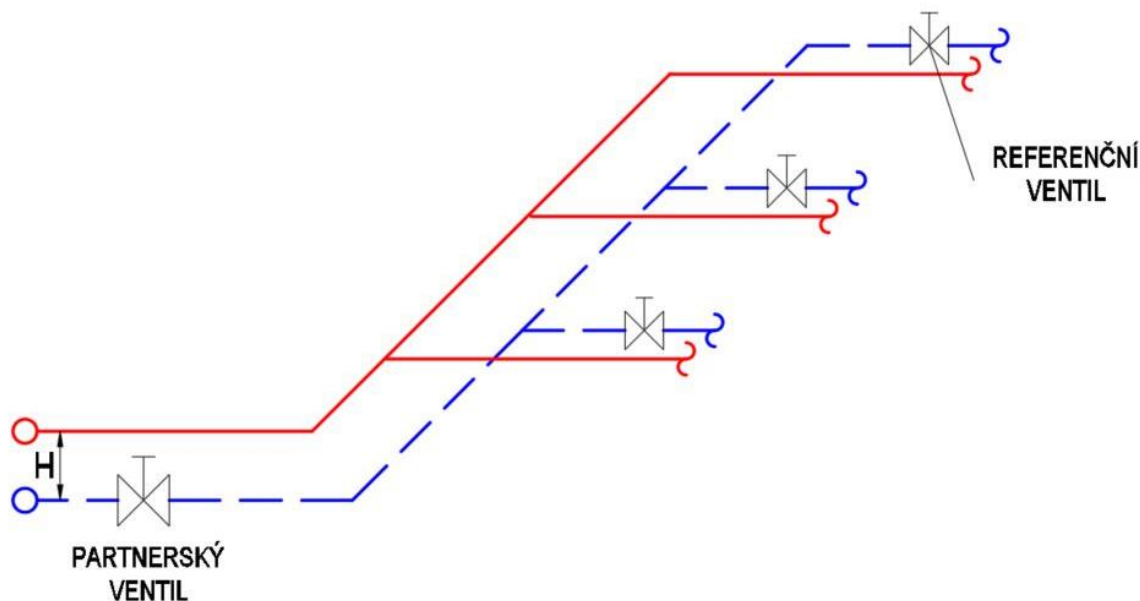
Návrhu vyvažovacích ventilů je dobré věnovat pozornost, aby vyvážení otopné soustavy bylo účinné, a co nejpřesnější. Voda v potrubní síti vždy přirozeně proudí cestou nejmenšího odporu, což znamená, že když ventilem uzavřeme jednu větev a voda tudý tak nemůže proudit, tak se rozdělí mezi ostatní „volné“ cesty. V praxi dochází běžně k případům, že se uzavře polovina ventilů v domě, a tím pádem se průtok zbývajících ventilů zdvojnásobí. Tento jev poté vede k situaci, na které nejsou otevřené ventily vyrobeny a ztrácí tak svoji funkci.



Obrázek č. 12: Vyvažovací ventil STAD [18]

Pokud vyvažovací ventil předimenzujeme, tak se zaprvé zvýší pořizovací náklady, a za druhé je ventil příliš seškrcen, což přímo ovlivňuje jeho přesnost. Nejlepší přesnosti vyvažovací ventily dosahují, pokud je zdvih ventilu mezi 50 až 100 %. Při návrhu by se také měla dodržet podmínka, že před ventilem by ve směru průtoku mělo být minimálně 5 d a za ventilem 2 d, kde označením d je myšlen vnitřní průměr ventilu. O 10 d je nutné prodloužit přímý úsek před ventilem v případě, pokud by před ventilem byly navrženy prvky, které významně ovlivňují proudění např. čerpadlo.

Otopné soustavy bývají složeny z modulů. Každému modulu je vhodné přiřadit jeden řídicí (partnerský) ventil, který je nadřazen ostatním (referenčním) ventilům. Partnerský ventil je potom partnerem každému vyvažovacímu ventilu, který je v podřízeném modulu. (viz obrázek č. 13)



Obrázek č. 13: Partnerský a referenční ventil

Pokud nastavíme správný průtok do partnerského ventilu, docílíme tak i správného průtoku ve všech odběrných místech, pokud jsou dodrženy dvě podmínky, a to, že hydraulický odpor je v každém okruhu konstantní a vztah mezi průtokem a tlakovou ztrátou musí být pro všechny okruhy stejný.

Průtok jednotlivých větví (viz obrázek č. 12) je závislý na rozdílu tlaků H . Pokud změním rozdílu tlaků, automaticky se tak mění ve stejném poměru průtok větvemi i jednotlivými odběrnými místy.

2.2 Metody vyvažování potrubních sítí

Vyvážení otopné soustavy probíhá těsně před předáním a uvedením soustavy do provozu. Před vlastním vyvažováním je nutné se seznámit s projektem a je vhodné si soustavu rozdělit do několika modulů. Jedná-li se o složitější soustavu, je na místě si zpracovat zjednodušené čárové schéma, ve kterém necháme pouze vyvažovací ventily.

Opatrnost je na místě v případě souprůdných zapojení (Tichelmann), protože určité metody kompenzační a proporcionální nemusí dávat spolehlivé výsledky.

2.2.1 Metoda přednastavení

Jedná se o metodu, se kterou se setkáme nejčastěji, a většinou se používá, pokud se jedná o soustavu s termostatickými ventily. Projektant vypočte a navrhne přednastavení jednotlivých prvků soustavy např. pomocí softwaru. Velkou výhodou této metody je, že při realizaci otopné soustavy montážní pracovníci přednastaví jednotlivé ventily dle projektové dokumentace.

V praxi však mnohdy dochází ke změnám projektu během výstavby, a tak by původně navržené hodnoty ventilů neodpovídaly skutečnému stavu, a docházelo by k nesprávnému fungování celé otopné soustavy. Proto je vhodné provést po realizaci vyvážení pomocí některých následujících metod.

2.2.2 Metoda iterační

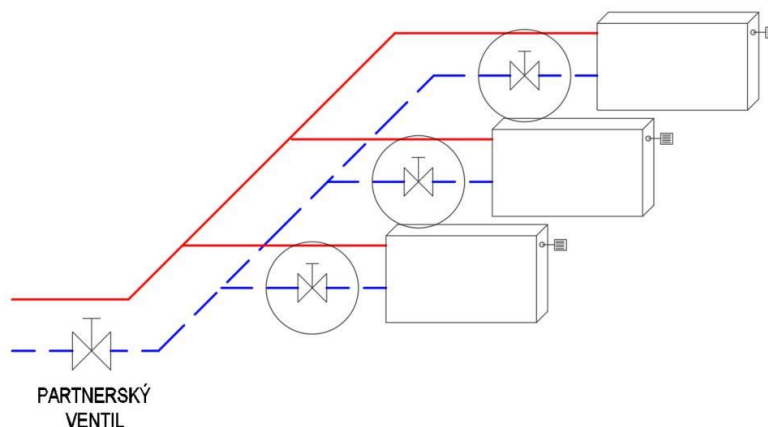
Jedná se o metodu přibližovací a je vhodné ji použít v případech, kdy nelze provést členění otopné soustavy do jednotlivých modulů (chyby v návrhu projektu, absence ventilů) a zároveň nemůžeme použít jinou vhodnou metodu tak, abychom docílili spolehlivého výpočtu přednastavení vyvažovacích ventilů.

Tato metoda není nijak zvlášť těžká z hlediska výpočtu, ale přesnost výsledku závisí na počtu opakování přibližovacích kroků, což už bývá časově náročnější. Postupů, které vedou k vyvážení soustavy metodou iterační je více. Nejpresnější postup, který vede ke spolehlivým výsledkům je tento postup:

1. Všechny namontované vyvažovací ventily musí být otevřeny a celkový průtok nastavíme na 110 % jmenovitého průtoku na hlavním (nejvyšším partnerském) ventilu
2. Přemístíme se na odběrná místa, která jsou nejbližší k čerpadlu, a nastavíme jednotlivé vyvažovací ventily na 90 % jejich jmenovitého průtoku
3. Změříme průtok hlavním ventilem a zase na hlavním ventilu nastavíme celkový průtok na 100–105 % jmenovitého průtoku
4. Na ostatních odběrných místech nastavíme jmenovité průtoky
5. Opakováním 3. a 4. bodu postupně zpřesňujeme vyvážení jednotlivých míst, dokud se nedostaneme na požadované hodnoty
6. Po dosažení kompletního vyvážení celé sítě zkontrolujeme rozdíl tlaků na hlavním ventilu, a pokud je rozdíl vysoký, snížíme otáčky čerpadla, popř. vyměníme čerpadlo za menší

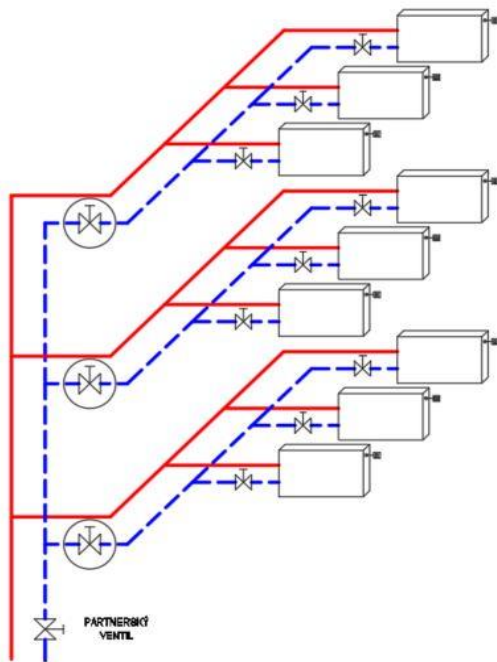
2.2.3 Metoda proporciální

Pokud k vyvažování otopné soustavy použijeme metodu proporciální, tak musíme nejdříve najít větev, která má nejvyšší průtok. Následně plně otevřeme všechny vyvažovací a uzavírací ventily. Na hlavním ventilu celé soustavy seřídíme průtok tak, aby se celkový průtok v soustavě pohyboval v rozmezí 100–110 % jmenovitého průtoku. Poté postupně určíme průtoky ve všech větvích a díky tomu můžeme vypočítat průtokový poměr (podíl změřeného a navrženému průtoku). Postupně obcházíme jednotlivé větve a aplikujeme předchozí postup.



Obrázek č. 14: Odběrná místa na odbočce

Dále je nutné nalézt odbočku, která má nejvyšší průtokový poměr. Následně změříme průtok ve všech odbočkách na dané větvi. Průtok větví seřídíme přibližně na 110 % jmenovitého průtoku a opět nastavíme průtok na hlavním ventilu, který je nejbližší čerpadlu.

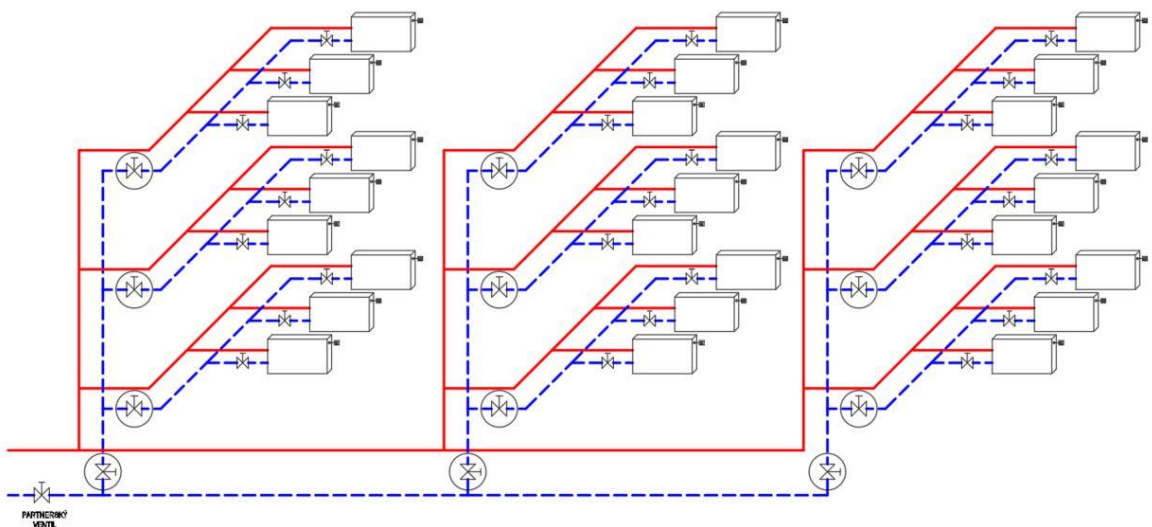


Obrázek č. 15: Odbočky na jedné větvi

Po vyvážení odbočky začneme postupně vyvažovat všechna odběrná místa, která jsou na dané větvi. Musíme postupně změřit průtok všemi odběrnými místy a pro každé odběrné místo vypočteme průtokový poměr. Poslední odběrné místo použijeme jako referenční a na referenčním ventilu posledního odběrného místa nastavíme průtokový poměr tak, aby se rovnal nejmenšímu průtokovému poměru v předešlém měření.

Na tento ventil připojíme vyvažovací přístroj s trvalým měřením průtoku. Na předposledním odběrném místě nastavíme stejný průtokový poměr jako na posledním (referenčním) ventilu. Tímto postupem seřídíme postupně průtok všemi odběrnými místy na odbočce. Výše popsaný postup postupně aplikujeme na všechny odbočky dané větve.

Partnerský ventil větve musí být plně otevřen. Je nutné jej zkontrolovat. Pokud je vše v pořádku, můžeme změřit průtok všemi ventily na odbočkách. Pro jednotlivé odbočky spočítáme průtokový poměr a najdeme odbočku s nejmenším poměrem. Na posledním ventilu větve nastavíme průtokový poměr, který se rovná nejmenšímu identifikovatelnému průtokovému poměru. Tuto hodnotu nastavíme na všech vyvažovacích armaturách dané větve. Následně seřídíme průtoky na všech odbočkách. Všechny ostatní větve vyvažujeme stejným postupem.



Obrázek č. 16: Pět větví na hlavním rozvodu

Poslední fází je vyvážení větví na hlavním rozvodu. Všechny partnerské ventily větví plně otevřeme a změříme průtok, díky čemuž můžeme pro všechny ventily vypočítat jednotlivé průtokové poměry a zjistíme ten nejmenší průtokový poměr. Ventil s nejmenším průtokovým poměrem zvolíme jako referenční ventil větve a na tomto ventilu nastavíme průtokový poměr, který je roven nejmenšímu identifikovatelnému průtokovému poměru. Na všech větvích poté seřídíme průtokový poměr, aby se rovnal průtokovému poměru na referenčním ventilu.

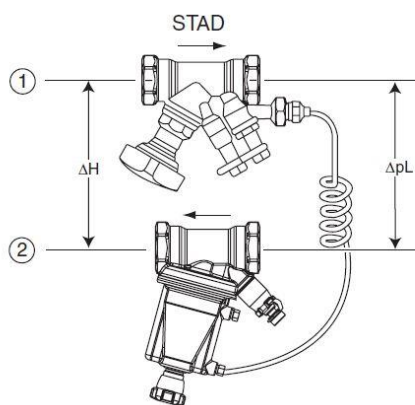
Z výše popsaného postupu je zjevné, že tato metoda je náročná na přípravu, protože musíme zjistit, která větev a odbočka bude vyvažována jako první, a tím je i časově náročná. Nevýhodou této metody je, že tlakové ztráty nejsou vždy minimalizovány a nadprůtoky jsou seškrceny. Vhodnější by bylo, kdyby se během vyvažování používaly průtokové poměry rovny 1, a tím by odpadl výpočet všech průtokových poměrů. Díky této myšlence vznikla metoda kompenzační.

2.2.4 Metoda kompenzační

Kompenzační metoda vychází v proporcíální metody, s tím rozdílem, že u této metody jsou průtokové poměry rovny 1. V praxi to znamená, že nemusíme měřit jednotlivé průtoky pro výpočet průtokových poměrů a můžeme tedy začít vyvažovat jakoukoliv větev, za podmínky, že ostatní větve musí být uzavřené.

Co se týká přípravy, postupujeme podobně jako u proporcíální metody. Celou soustavu musíme projít a zkontrolovat, jestli jsou všechny regulační a uzavírací armatury plně otevřené, a všechny vyvažovací ventily větví uzavřené až na větev, kterou budeme vyvažovat. Tento jediný ventil zůstává zcela otevřen.

Pro vyvažování námi zvolené větve budeme potřebovat minimálně jeden přístroj, ale je lepší mít dva vyvažovací přístroje. Druhý přístroj slouží k měření tlakové diference na referenčním ventilu. Hlavní princip zaregulování pomocí kompenzační metody spočívá v tom, že změny průtoku referenčním ventilem vyrovnáváme partnerským ventilem. Na referenčním ventilu nejdříve nastavíme průtok, který ale nesmí být menší než 3 000 Pa nebo nesmí jít pod tlakovou ztrátu plně otevřeného ventilu. Pokud nastavíme další ventil, tak se změní tlaková diference na referenčním ventilu. Tím pádem musíme přiškrtit partnerský ventil tak, aby tlaková ztráta na referenčním ventilu byla na původní hodnotě. Takto můžeme pokračovat při zaregulování dalších vyvažovacích armatur a změny průtoku na referenčním ventilu po vyvážení každého dalšího ventilu vyrovnáváme na partnerském ventilu. Tento postup aplikujeme i při vyvažování jednotlivých větví.



Obrázek č. 17: STAD (vyvažovací ventil) a STAP (regulátor tlakové diference) [19]

3. Regulace ve vytápění

Abychom zajistili správnou funkčnost otopné soustavy, a zároveň, aby uživatel pociťoval tepelný komfort, musí zařízení měnit své provozní parametry v závislosti na požadavcích uživatele na vnitřní prostředí, při změně klimatických podmínek či vnitřních zdrojů tepla, a zároveň musí být ochráněna před poruchami některých svých prvků, nebo její části. Proto musí být součástí vytápěcího zařízení soubor ovládacích prvků, které zajišťují bezpečnost provozu, regulaci výkonu dle momentální potřeby, ochraňující systém před překročení mezních provozních parametrů, anebo vyrovnávají nepřesnosti v návrhu.

3.1 Regulace a regulátory

Regulace je děj, při kterém se mění jedna nebo více veličin. Tyto regulovatelné veličiny snímají a vyhodnocují situace, které předávají signálem jiné veličině, např. řídicí, a ta tyto informace zpracovává, porovnává a přizpůsobuje. Z toho vyplývá, že regulace je uzavřený obvod. V případě otopné soustavy můžeme měnit teplotu, hmotnostní průtok, tlak, otáčky čerpadla nebo výšku hladiny, a to ručně nebo automaticky.

Abych mohl být uveden příklad použití regulace v praxi, je dobré si nejdříve vysvětlit pár pojmů základních veličin, které budou následně použity:

- *Regulovaná soustava S*: soubor řízených prvků, které představují určitou ovlivňovanou oblast v regulačním obvodu
- *Regulovaná veličina x*: jedná se o měřitelnou fyzikální veličinu (např. teplota, tlak...)
- *Regulační rozsah x_h* : je rozpětí, ve kterém se může regulovaná veličina pohybovat
- *Požadovaná hodnota x_s* : je údajná hodnota, na které regulační zařízení udržuje regulovatelnou veličinu
- *Skutečná hodnota x_i* : je hodnota, která je naměřená v určitém čase
- *Regulační odchylka x_w* : rozdíl mezi požadovanou a skutečnou hodnotou, která může nabývat kladných i záporných hodnot
- *Poruchová veličina z*: veličina, která způsobuje odchylku od požadované veličiny a je příčinou změny stavu regulované veličiny
- *Akční veličina y*: výstupní veličina regulačního zařízení, které svým způsobem ovlivňuje regulovatelnou veličinu
- *Nastavitelný rozsah y_h* : rozpětí, ve kterém se pohybuje akční veličina
- *Akční člen Y*: je část regulačního obvodu, která je ovlivňována akční veličinou a umožňuje tak udržovat na požadované hodnotě regulovanou veličinu
- *Regulační zařízení R*: zařízení, které na základě regulační odchylky způsobí akční veličinu
- *Řídicí veličina w*: požadovaná hodnota, která je zvenčí do regulačního obvodu vnesena a vyplývá z ní příslušná závislost na regulované veličině

Teď, když už jsou základní pojmy vysvětleny, bude vysvětlen princip regulace v centrálně vytápěné místnosti, ve které se požaduje dodržení konstantní teploty kvůli udržení tepelného komfortu uživatele.

Abychom docílili v centrálně vytápěné místnosti dodržení konstantní teploty, musí zde být umístěn snímač teploty (čidlo), díky kterému získáme v místnosti po určité době

požadovanou vnitřní teplotu. Teplota ale nezůstane dlouho konstantní, i když je pevně nastavena, jelikož na čidlo teploty působí vnější vlivy v podobě tepelných ztrát, tepelných zisků od přístrojů nebo účinek slunečního záření, které představují poruchové veličiny.

Regulovaná veličina x , která v našem případě představuje vnitřní udržovanou teplotu v místnosti na konstantní úrovni, můžeme měnit pomocí tlačítka nastavení teploty. Pomocí tohoto tlačítka měníme požadovanou hodnotu x_s , která se přenese pomocí řídicí veličiny w (např. elektrický signál).

Pokud vznikne jakákoliv odchylka regulované veličiny od námi požadované hodnoty, (regulační odchylka x_w), tak na základě měření zaregistruje regulátor tuto odchylku a vyšle impuls ke změně akční veličiny y . Pomocí vyslaného impulsu dostane informaci, např. servomotor. Tato změna v nastavení směšovače má přímo vliv na teplotu vzduchu ve vytápěném prostoru, a tedy i na regulovanou veličinu. Pokud se naměřený údaj vnitřní teploty vzduchu v místnosti liší od požadované hodnoty x_s a vznikne tak znovu regulační odchylka, učiní regulátor novou změnu akční veličiny. Proces měření, který neustále probíhá a následné porovnávání dat a korigování teploty můžeme označit jako regulační obvod.

3.2 Členění regulátorů

Regulátor je zařízení, které porovnává naměřené hodnoty se žádanými a vysílá informaci ve formě akční veličiny. Podle typu zpracovaného signálu rozlišujeme regulátory spojitě a regulátory nespojitě.

Práce regulátoru může být zajištěna s pomocnou energií nebo bez ní. Pomocná energie může být elektrická, hydraulická nebo pneumatická.

3.2.1 Nespojitě regulátory

Nespojitě regulátory jsou charakteristické skokovou změnou akční veličiny na dvě či více definovaných hodnot. Nejjednodušším zařízením je dvoupolohový regulátor, který zvládá pouze zapnout a vypnout (např. prostorový termostat). Mezi složitější zařízení patří regulátory, které umožňují výstup vícepolohový.

3.2.1.1 Dvoupolohový regulátor

Dvoupolohový regulátor řadíme mezi nejjednodušší zařízení, protože generuje akční veličinu dvouhodnotově, a to jako hodnoty y_{min} (vypnuto) a y_{max} (zapnuto). Regulovaná veličina x se pohybuje mezi dvěma koncovými stavy dopředu a zpět. Pracovní oblast regulované veličiny x potom mezi horní x_2 a dolní x_1 spínací hodnotou tzv. spínací diferencí regulátoru.

3.2.1.2 Třípolohový regulátor

Třípolohový regulátor je zařízení, které pracuje stejně nespojitě jako dvoupolohový regulátor s tím rozdílem, že akční veličina může nabývat tří hodnot a to y_{min} (vypnuto), y_{max} (zapnuto) a hodnoty y_0 , která leží mezi krajními stavy a regulátor jí generuje, pokud hodnoty leží uvnitř intervalu $e = \pm \frac{x_d}{2}$. Oblast regulované veličiny x označujeme jako neutrální zónu, ve které regulátor nevysílá ani zapnuto ani vypnuto a je srovnatelná se spínací diferencí dvoupolohového regulátoru.

3.2.2 Spojité regulátory

Pro spojité regulátory je typicky plynulá, spojitá změna hodnoty akční veličiny v závislosti na regulované veličině. Podle použitého algoritmu dělíme spojité regulátory na proporcionální, integrační, derivační nebo jejich kombinace.

3.2.2.1 P-regulátor

P-regulátor neboli proporciální regulátor řadíme mezi základní typy spojitých regulátorů. Regulační funkci proporciálního regulátoru můžeme popsat následovně. P-regulátor generuje akční veličinu, která je přímo úměrná velikosti regulační odchylky. Z teoretického pohledu je P-regulátor lineární systém nultého řádu, který v každém časovém okamžiku má na výstupu hodnotu, která je nezpožděnou proporcí hodnoty na vstupu. Lineární funkce, jejíž směrnice představuje jediný stavitelný parametr, který nazýváme zesílení K_p .

Funkci P-regulátoru lze popsat na funkci termostatického regulačního ventilu otopného tělesa, který reguluje teplotu v místnosti podle teploty vzduchu ve vytápěném prostoru. Termostatická hlavice, je naplněná roztažnou látkou, která se při ohřevu okolním vzduchem (regulovaná veličina x) rozpíná. Vlnovec, který je v hlavici se s proměnlivou teplotou v místnosti více či méně stlačuje. Zdvih vlnovce (akční veličina y) je přenášen na kuželku ventilu. Kuželka pomocí tohoto impulzu mění zdvih ve svém rozsahu (nastavitelný rozsah y_h) a mění se tak průtok ventilem.

Z výše popsaného chování měřicího čidla je zřejmé, že změna teploty vzduchu, resp. změna objemu náplně je přímo úměrná nastavení ventilové kuželky v určitém rozsahu. Z toho vyplývá, že každá regulovaná veličina odpovídá určité akční veličině uvnitř regulačního rozsahu. Regulační rozsah je potom označován jako pásmo proporcionality.

3.2.2.2 I-regulátor

Součtem v čase následujících vstupních veličin vznikne výstupní veličina iteračního regulátoru. V praxi to znamená změnit akční veličinu s ohledem na vývoj poruchové veličiny tak, aby se regulační odchylka rovnala nule. Velikosti odchylky odpovídá regulační rychlost.

Reálně lze popsat funkci iteračního regulátoru na regulátoru tlaku plynu, který se používá u plynových hořáků. Síla, která působí tlak na plochu membrány, je rovna působení síly pružiny, která působí v opačném směru a vzniká tak stav rovnováhy. Pokud klesne tlak, který působí na membránu, tak síla, která působí na membránu je menší než síla pružiny a ventil se otvírá. Pokud tlak působící na membránu se zvětšuje, tak je větší než síla, která působí na pružinu a ventil se tak uzavírá. Chování iteračního regulátoru spočívá v tom, že pokud se zvětší regulační odchylka x_w od nastavené hodnoty, tak se úměrně zvětší i síla pružiny.

I-regulátor oproti P-regulátoru vykazuje lepší statické chování a zároveň P-regulátor oproti I-regulátoru vykazuje zase lepší dynamické chování. Abychom pokryli slabou stránku každého z těchto regulátorů, tak nejlepším řešením, je vznik jejich kombinace.

3.2.2.3 PI-regulátor

Díky schopnosti P-regulátoru okamžitě reagovat na vzniklou regulační odchylku, je zlepšena v počáteční fázi dynamika regulační odezvy a dopad zásahů od I-regulátoru, dokáže schopně odstranit regulační odchylku. Pomocí spojení těchto funkcí, se zvyšuje účinnost

regulačních zásahů, což má vliv na zlepšení a kvalitu regulace. PI-regulátor má dva nastavitelné parametry, a to pásmo proporcionality x_p a integrační časovou konstantu T_n . V praxi není tento druh regulátoru příliš používán s ohledem na finanční, ale i technické důvody.

3.2.2.4 D-regulátor

Tento druh regulátoru je označován jako derivační regulátor. D-regulátor dokáže provést regulační zásah pouze podle rychlosti změny regulační odchylky, ale ne podle její velikosti. Z toho vyplývá, že tento typ regulátoru nelze použít samostatně, ale musí být vždy součástí jiného regulátoru, u kterého lze D činnost kombinovat s jinou regulační funkcí.

3.2.2.5 PID-regulátor

Posledním typem je proporciální-integračně-derivační regulátor, který je kombinací výše popsaných P, I a D regulátorů. Vytvořením PID-regulátoru v paralelním spojení jednotlivých částí můžeme nejrychleji vyregulovat regulační odchylky a zároveň dosáhnout požadované hodnoty. PID – regulátor má tři nastavitelné veličiny, pásmo proporcionality x_p , integrační časovou konstantu T_n a derivační časovou konstantu T_v .

Při vstupním skoku nejdříve z nuly stoupne pomocí D-části výstupní veličina. Skok je velmi rychlý a potom výstupní veličina začne klesat k nule. Návrat na nulu blokuje P-část, která zbrzdí výstupní veličinu a poté nastoupí I-část, která překryje P-část. Výstupní veličina potom úměrně roste vůči nastavené integrační časové konstantě.

3.3 Regulační armatury

Regulační armatury jsou zařízení, která musejí mít vhodné vlastnosti pro dané použití, aby mohli správně plnit svojí funkci. Jejich vlastnosti závisejí především na jejich konstrukci, škrtícím systému a vlastnostem ovládacího pohonu ventilu. Při výběru ventilu je pět důležitých kritérií.

Jmenovitý tlak PN – nebo také tlakový stupeň, je hodnota, která udává tlakovou třídu armatury. Ve většině případů ve vytápění souhlasí tato hodnota s maximálním pracovním přetlakem armatury v barech, ale je nutné hodnotu vždy zkontrolovat u výrobce, protože závisí také na pracovní teplotě média a materiálu.

Přípustný rozdíl tlaků – definovaný tlakový rozdíl mezi vstupem a výstupem armatury.

Autorita ventilu P_v – poměr tlakové ztráty ventilu při plném otevření ku tlakové ztrátě při plném uzavření. Z toho vyplývá, že čím větší je autorita ventilu, je lepší regulační schopnost ventilu v potrubní síti.

$$P_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}} \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (20)$$

kde Δp_{v100} ... tlaková ztráta při plném otevření [Pa]
 Δp_{v0} ... tlaková ztráta při plném uzavření [Pa]

K_v hodnota ventilu – tato hodnota určuje velikost ventilu. Vyčísluje vztah mezi nastavením ventilu a protékajícím množstvím média. K_v hodnota značí jmenovitý průtok armaturou v m^3/h při maximálním otevření (100%) armatury a tlakové ztrátě 100 kPa. Zjednodušený vztah pro vodu, jako teplotné médium, můžeme pro výpočet použít zjednodušený vztah:

$$K_{vs} = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_o}{\Delta p_v}} \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (20)$$

kde V ... objemový průtok armaturou $[m^3 \cdot h^{-1}]$
 Δp_o ... 100 kPa (= 1bar) $[kPa]$
 Δp_v ... tlaková ztráta ventilu $[kPa]$

Charakteristika ventilu – k_v hodnota vztažená ke k_{vs} hodnotě na poměrném zdvihu ventilu. Známé jsou dvě hlavní charakteristiky – lineární a rovnoprocentní. Nejvyšší k_v hodnota se označuje jako k_{vR} a je to ještě charakteristika s normálním sklonem.

$$r = \frac{k_{vs}}{k_{vR}} \quad [%] \quad (20)$$

Tento poměr značí regulační rozsah ventilu. Pod hodnotou k_{vR} se regulace stává nestabilní, a proto se pracovní oblast ventilu musí vždy pohybovat nad hodnotou k_{vR} .

3.3.1 Termostatický regulační ventil

Termostatický regulační ventil (TRV) se navrhuje a instaluje na otopná tělesa. Jedná se o koncový prvek otopné soustavy, který zajišťuje dodávku tepla do vytápěného prostoru na základě změny teploty ve vytápěném prostoru či na základě komfortní potřeby tepla pro uživatele. Otopné těleso je výměník tepla, a tak z hlediska regulace tepelného výkonu s ním lze i takto zacházet.

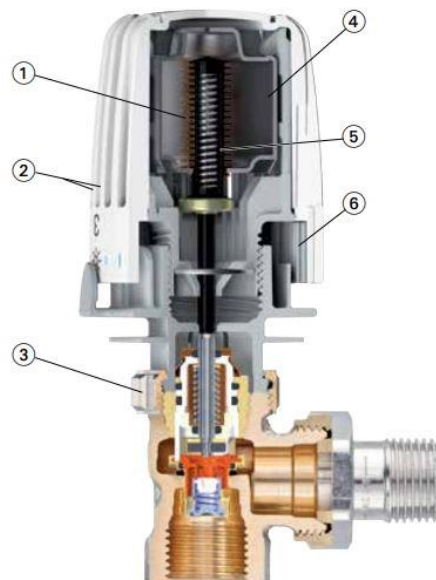
U otopných těles lze aplikovat regulaci změnou teploty otopné vody neboli kvalitativní regulaci, anebo kvantitativní regulaci, což znamená regulace změny průtoku otopné vody. Kvalitativní regulace se spíše týká regulace tepelného výkonu celé otopné soustavy, zatímco kvantitativní regulace je záležitostí místní regulace, tedy regulace výkonu otopného tělesa pomocí termostatických regulačních ventilů.

Poddimenzování nebo předimenzování má negativní vliv na funkčnost ventilu. Pokud je ventil poddimenzován, tak tepelný výkon otopného tělesa je nedostačující, protože je ventil stále naplněn otevřen a neplní žádnou regulační funkci. Na druhou stranu předimenzovaný ventil zhoršuje regulační poměr. Ventil škrtí příliš velké množství protékající otopné vody, a tak většinu provozní doby pracuje v poloze zavřeno, což může souviset se zvýšeným hlukovým projevem. Tuto situaci ještě zhorší náhlé tepelné zisky, protože ventil už na ně nedokáže reagovat. Předimenzování ventilu vede také při zátopu k opožděnému natápění otopných těles, které mají ventily správně nadimenzovány.

Dimenzování termostatických ventilů se provádí pomocí diagramu, který dává výrobce k dispozici. Diagram znázorňuje závislost hmotnostního průtoku a tlakové ztráty ventilu ve vymezených pásmech, ve kterých ventil správně pracuje.



Obrázek č. 19: Termostatický ventil s vestavěným čidlem [23]



Obrázek č. 18: Řez TRV

1) vlnovec 2) značka pro nevidomé 3) připojení 4) čidlo vyplněné kapalinou 5) pružina proti nadměrnému zdvihu 6) blokování max. a min. teploty pomocí zarážek [24]

Tento typ regulace je nejpoužívanější. Projektant však musí mít na paměti, že volbou nízkých čísel přednastavení termostatických regulačních ventilů otopných těles se zmenšuje i pásmo proporcionality ventilu.

3.3.2 Regulátor tlakové difference

Termostatický regulační ventil, který bývá ve většině otopných soustav nainstalován, mění za svého provozu průtok a tím i tlakovou diferencí, protože reguluje kvantitativně (změnou průtoku) a důsledkem této regulace je i změna tlakové difference mezi přívodem a zpátečkou.

Pokud se dvoucestný regulační ventil začne uzavírat, začne klesat průtok a okolní potrubní síť bez ventilu má menší tlakovou ztrátu. Se zmenšujícím se průtokem dopravní tlak čerpadla roste. Přebytek tlaku, který díky čerpadlu roste, je mařen na ventilu. Často je tento jev doprovázen hlukovými projevy kuželky ventilu a zároveň přebytek tlaku ovlivňuje regulační vlastnosti ventilu. Nejjednodušším způsobem stabilizace tlakové difference v otopné soustavě je použití regulátoru tlakové difference (RTD).

Regulátor tlakové difference je zařízení, které snímá tlak pomocí membrány před a za odběrným místem. Díky tomu může vyhodnotit skutečnou hodnotu tlakové difference a zareagovat. Umístíme ho zejména na patu stoupačky, nebo na patu objektu.



Obrázek č. 20: Regulátor tlakové difference
STAP [25]



Obrázek č. 21: Řez RTD
1) Nastavení 2) Uzavírání 3) Připojení kapiláry,
odvzdušnění, připojení pro měřicí vsuvku 4) Měřicí
vsuvka 5) Připojení pro vypouštěcí nástavec [26]

3.3.3 Regulátor objemového průtoku

Regulátor objemového průtoku je zařízení, které, jak už z názvu vyplývá, zajišťuje nepřekročení požadovaného průtoku nezávisle na poklesu tlaku. Zkratka, která se používá pro regulátor objemového průtoku je ROP. K regulační membráně regulátoru se přivádí pracovní tlak jako skutečná hodnota, která odpovídá průtoku.

Existují regulátory, které dokáží regulovat jak tlakovou diferencí, tak i objemový průtok, takže tento typ regulátoru dokáže snímat obě regulované veličiny díky dvou membránám. Je vhodné je použít u soustav, kde není možné přednastavit termostatický regulační ventil.



Obrázek č. 22: Regulátor objemového průtoku [27]

3.3.4 Přepouštěcí ventil

Abychom zabránili náhlému nárůstu tlakové difference, použijeme přepouštěcí ventil. Přepouštěcí ventil, je zařízení, které je cenově dostupnější, než upravený RTD ventil na přepouštěcí ventil. Regulační schopnost spočívá v přepouštění přebytečného množství teplotnosné látky do vratného potrubí. Díky tomu je udržovaná stálá tlaková difference v jednotlivých větvích chráněného úseku. Ventil by měl být umístěn na konci větve, protože tím zajistíme dostatečnou teplotu a tlak přiváděného teplotnosného média před regulačním ventilem odběrného zařízení.

Použití přepouštěcích ventilů není vhodné u zdroje tepla, který vyžaduje nízkou teplotu zpátečky např. plynový kondenzační kotel nebo tepelná čerpadla, protože přepouštění zvyšuje teplotu teplotnosné látky ve zpětném potrubí, ale můžeme ho použít u klasických zdrojů tepla např. závěsný plynový kotel. Přepouštěcí ventil v tomto případě chrání otopnou soustavu před narůstáním tlakové difference, ale i před překročením minimálního dovoleného průtoku nebo chrání před nízkoteplotní korozi.



Obrázek č. 23: Přepouštěcí ventil [28]

3.3.5 Trojcestný ventil

Trojcestné regulační armatury můžeme rozdělit podle průtoku armaturou na směšovací, kdy jsou dva vstupy a jeden výstup, anebo rozdělovací, kdy jsou dva výstupy a jeden vstup. Někteří výrobci vyrábějí ventily, které můžeme použít jako směšovací a zároveň jako rozdělovací v případě opačného směru proudění. Tyto ventily ale musejí mít upravený škrticí systém, aby nedocházelo z rozkmitání uzávěru a v krajních polohách i k nestabilitě.

Pro tento druh ventilu existuje několik variant použití. Jednotlivé vstupy a výstupy mohou být symetrické či asymetrické. Trojcestný ventil můžeme použít ke změně směru proudu, jako kvantitativní regulaci (změna průtoku u zapojení pro rozdělení proudu) nebo kvalitativní regulaci (změna teploty teplotnosného média pomocí směšování).



Obrázek č. 24: Trojcestný směšovací ventil [29]



Obrázek č. 25: Termostatický směšovací ventil [30]

3.4 Regulace výkonu otopné soustavy

Regulovat příkon tepla v objektu je důležité, protože např. u rozsáhlejších objektů může docházet k přehřívání místností, které jsou orientovány na jih, nebo naopak místnosti orientované na sever nemusejí být dostatečně vytápěné. Může se také jednat o polyfunkční objekt, kde jednotlivé provozy mají své určité nároky, které potřebujeme správnou regulací vyřešit.

Ve vytápěných objektech lze využívat různou regulaci. Regulovat příkon tepla můžeme podle výstupní teploty vody ze zdroje tepla, podle vnitřní teploty vzduchu, podle vnější teploty vzduchu, anebo podle zátěže.

Vnitřní teplotu vzduchu můžeme dále regulovat buď přímo, kdy regulujeme rovnou zdroj tepla nebo nepřímo, vstupní teplotu vody otopné soustavy např. pomocí směšovacích armatur. Dále můžeme vnitřní teplotu regulovat místně, kdy vnitřní teplotu v místnosti regulujeme pomocí jednotlivých otopných těles. Poslední možností je sdružená regulace vnitřní teploty vzduchu, kdy dohromady uplatníme výše uvedené možnosti.

Podle vnější teploty vzduchu lze regulovat také přímo, nepřímo či sdruženě. Princip je obdobný jako v případě regulace vnitřní teploty. Co se týká regulace zátěže nebo zátěží, tak tato regulace je přímá a velmi často se kombinuje s řízením podle vnitřní teploty vzduchu nebo ekvitermním řízením.

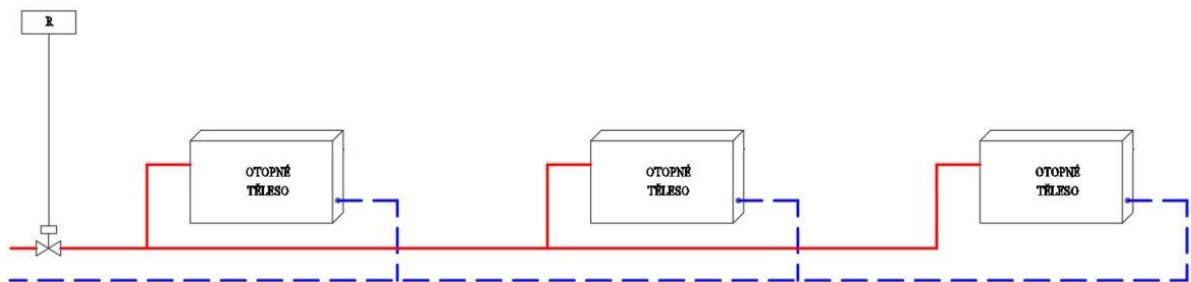
Při použití regulátorů, které regulují teplotu otopné vody v závislosti na venkovní teplotě vzduchu, tedy při použití ekvitermní regulace, dosahujeme úspor tepla vzhledem k původní spotřebě podle druhu objektu 10 až 25 %. Jestliže doplníme tento druh regulace o tzv. zónovou regulaci, úspory tepla se ještě zvýší a dosáhnou hodnot 15 až 30 %. [31]

Při volbě vhodné regulace objektu bychom měli respektovat určité parametry, abychom otopnou soustavu správně navrhli a poté zaregulovali. Prvním, na čem záleží, je velikost a druh budovy. Zajímá nás, jestli se jedná o malý, střední či větší objekt, který je nízkopodlažní či vícepatrový, a také, jak bude využíván (rodinný dům, administrativní budova či multifunkční objekt). Dále jsou pro nás podstatné tepelně-akumulační vlastnosti budovy, jako je použitý stavební materiál, jestli je objekt zaizolován či ne, nebo velikosti prosklených ploch a také

tepelně-akumulační vlastnosti otopné soustavy (např. druh soustavy). Mezi další důležité informace řadíme vliv vnějších klimatických jevů na budovu (orientace ke světovým stranám, vliv oslunění, průběh venkovní teploty...), vnitřní mikroklimatické podmínky (osvětlení, počet uživatelů, vnitřní zdroje tepla, větrání...), nároky uživatele na komfort a jeho přímé požadavky a v neposlední řadě také investiční náklady, ve kterých se může zohlednit úspora energie.

3.4.1 Zónová regulace

Zónová regulace je označení pro regulaci více otopných těles v jedné místnosti, které mají jeden společný regulační prvek a jeden regulátor, nebo také, pokud je více místností zásobováno jedním hydraulickým okruhem (zónou) a zároveň vykazují stejné nebo velmi podobné tepelně-technické chování. Čidlo teploty vyše při změně vnitřní teploty vzduchu signál regulátoru na ventilu, který informaci zpracuje, vyhodnotí a informuje zónový ventil s novým parametrem nastavení. Zónová regulace se provádí pomocí dvou nebo třícestných ventilů, které regulují množství topného media, což je označováno jako regulace kvantitativní nebo pomocí směšováním (změnou teploty), tedy regulací kvalitativní.

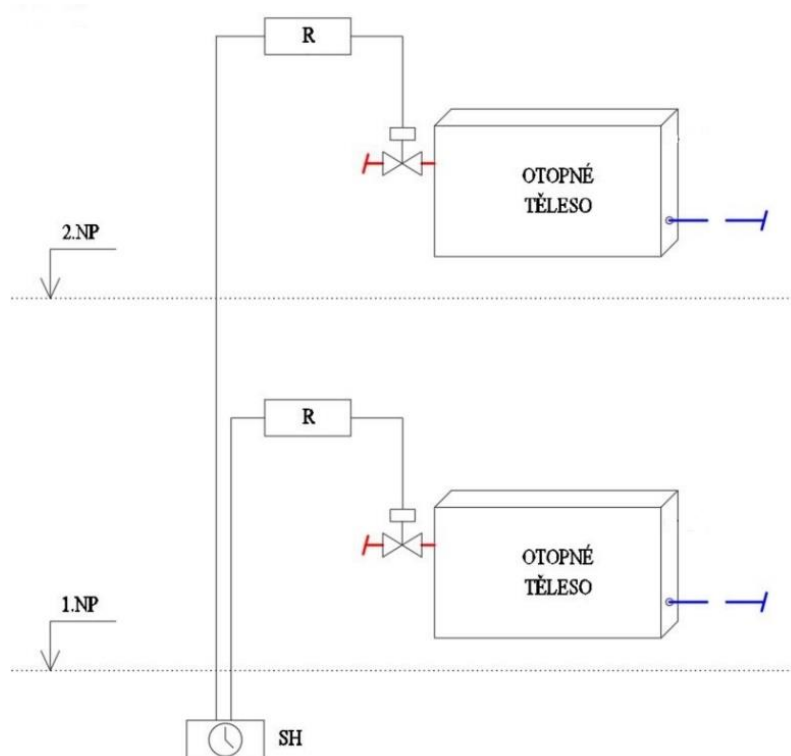


Obrázek č. 26: Schéma zónové regulace

Zónovou regulaci je vhodné použít, pokud je v místnosti více otopných těles nebo pokud je více místností regulováno na stejnou teplotu, protože mají stejné podmínky. Praktické použití této regulace je možné vidět například v učebnách škol, pokud jsou učebny orientovány na stejnou světovou stranu nebo výrobní haly či společenské sály.

3.4.2 Decentralizovaná regulace místností

Při decentralizované regulaci místnosti je v každé místnosti regulátorem elektromotoricky ovládaný ventil osazený před otopným tělesem. V každé místnosti bývá jeden regulátor. Regulátory jsou napojeny na jedny či více spínacích hodin, které jsou centrálně řízeny v závislosti na čase. Výhodou této regulace je, že instalace a kabeláž je jednodušší než v případě centrální regulace jednotlivých místností.



Obrázek č. 27: Schéma decentralizované regulace

R – čidlo vnitřní teploty vzduchu v místnosti, SH – centrální spínací hodiny

3.4.3 Centrální regulace místností

Pro centrální regulaci je typické, že má pouze jeden centrální regulátor, který má převážně vícekanálové spínací hodiny. Každá místnost v objektu disponuje jedním čidlem a elektromotoricky ovládaným ventilem před otopným tělesem.

Velkou výhodou centrální regulace je, že požadované hodnoty i spínací časy lze řídit z jednoho centrálního místa. I přes tuto výhodu můžeme v případě potřeby regulovat jednotlivé místnosti individuálně. Další výhodou spočívá v pořizovacích nákladech. Při této regulaci se redukuje náklady na přístroje a mnoho regulátorů je nahrazeno jedním centrálním oproti decentralizované regulaci.

Tento typ regulace je především vhodný do velkých objektů, jako jsou například školy, divadla, hotely a další, protože v dnešní době je už možné řídit regulaci centrálně ze serveru nebo pomocí aplikace v přenosných zařízeních.

3.4.4 Regulace teploty přívodní vody

Teplotu přívodní vody můžeme regulovat podle nastavené teploty, podle venkovní teploty nebo podle teploty vnitřního vzduchu.

3.4.4.1 Regulace podle nastavené teploty

Pokud bychom regulovali teplotu přívodní vody, tak čidlo i s regulátorem je nainstalováno v přívodním potrubí a podle této teploty regulátor reguluje. Jedná se sice o nejjednodušší formu regulace, ale dnes už se používá spíše výjimečně.

3.4.4.2 Regulace podle venkovní teploty

Běžnou formou regulace je regulace pomocí venkovní teploty vzduchu, protože je rychlá a můžeme využít i další přídavné funkce. Potřeba tepla je regulována nepřímo úměrně venkovní teplotě, díky tomu lze regulovat teplotu přívodní vody přímo v závislosti na pohybu venkovní teploty. K regulaci je použita otopná křivka, kterou můžeme pro každou soustavu přesně určit nebo nastavit využití naklánění či paralelního posunu.

3.4.4.3 Regulace podle vnitřní teploty

V případě regulace podle vnitřní teploty snímá čidlo teplotu vzduchu ve vytápěném prostoru a data zasílá do regulátoru. Snímač (čidlo) je nainstalován do centrální místnosti, podle níž jsou ovládány i další místnosti. Pokud vznikne regulační odchylka v monitorované místnosti, zapříčiní to změnu teploty přívodní vody. Tím se začne vyrovnávat teplota vzduchu v okolních místnostech, i když to v některých není nutné, a proto se tento typ regulace nehodí do vícepokojových bytů či vícegeneračních domů.

Výhodou této regulace je možnost omezeného provozu otopné soustavy např. noční útlum, díky čemuž zabráníme dodávce tepla až na sníženou vnitřní teplotu. Je to vhodné do menších bytů, ve kterých lze regulovat teplotu přes noc nebo i během dne, kdy se v bytě nikdo nezdržuje. Provoz dodávky tepla opět vzroste, pokud vnitřní teplota místnosti dosáhne nejnižší hraniční hodnoty. Díky tomu lze zajistit hospodárný provoz zařízení a zbytečně netopit v případech, kdy to není nutné.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo popsat hydrauliku otopné soustavy a s tím související její vyvažování a regulaci. Během této práce byly popsány základní rovnice a principy pro pohyb vody v potrubí. Rovněž bylo uvedeno, s jakými parametry musíme počítat a jakých záludností se musíme vyvarovat, pokud chceme navrhovat otopnou soustavu.

Další část diplomové práce pojednává o vyvažování a regulaci otopných soustav. Tyto dvě kategorie mají k sobě velmi blízko a jedna bez druhé by nemohla existovat. Koncem této části práce je popsáno několik konkrétních vyvažovacích a regulačních armatur sloužících k vyvážení a regulaci otopných soustav s výsledkem dopravit teplotonosnou látku do všech prostor s požadavkem na vytápění.

Závěrem bych ráda zmínila, co mi zpracování této práce dalo. Je to fakt, že jakkoliv dobře navržená otopná soustava nebude bez řádného vyvážení a zaregulování plně funkční. Je nutné se hydraulice v potrubí věnovat již při samotném návrhu, protože jakékoliv následné opravy, či úpravy přinášejí zvýšené náklady, jak investiční, tak provozní. Což má v konečném důsledku nemalý dopad na životní prostředí.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02808-9.
- [2] KABELE, Karel. *Energetické a ekologické systémy 1: zdravotní technika, vytápění*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04722-4.
- [3] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, s. 14. ISBN 80-01-02808-9.
- [4] TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV 1: HYDRAULIKA POTRUBÍ, ZÁSOBOVÁNÍ OBJEKTŮ VODOU, VNITŘNÍ VODOVOD, POTŘEBA VODY.
Tzb.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tba1/prednasky/125tba1-03.pdf>
- [5] TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV 1: HYDRAULIKA POTRUBÍ, ZÁSOBOVÁNÍ OBJEKTŮ VODOU, VNITŘNÍ VODOVOD, POTŘEBA VODY.
Tzb.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tba1/prednasky/125tba1-03.pdf>
- [6] TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV 1: HYDRAULIKA POTRUBÍ, ZÁSOBOVÁNÍ OBJEKTŮ VODOU, VNITŘNÍ VODOVOD, POTŘEBA VODY.
Tzb.fsv.cvut.cz [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125tba1/prednasky/125tba1-03.pdf>
- [7] *Moody diagram* [online]. [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: <https://www.eng.auburn.edu/>
- [8] Hodnoty součinitelů místních ztrát – zdroje tepla a základní tvarovky potrubí. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zdroje-tepla-a-zakladni-tvarovky-potrubi>
- [9] Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy a křížení - přehled. *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled>
- [10] *Hydraulika potrubí* [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/prednasky/04_hydraulika_potrubi.pdf
- [11] KABELE, Karel. *Energetické a ekologické systémy 1: zdravotní technika, vytápění*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, s.234. ISBN 978-80-01-04722-4.
- [15] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, s. 74. ISBN 80-01-02808-9.
- [16] *Hydraulické vyvážení topné soustavy* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.topimechytre.cz/hydraulicke-vyvazeni.html>
- [17] *Projekt vytápění – přenosová schopnost sítí* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/uspory-vytapeni/11653-projekt-vytapeni-prenosova-schopnost-siti>
- [18] *STAD – PN 25* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/produkty/vyva%C5%BEov%C3%A1n%C3%AD-regulace-a-pohony/vyva%C5%BEovac%C3%AD-ventily/vyva%C5%BEovac%C3%AD-ventily/STAD-PN-25/2ee5df04-a17f-4a79-b66e-c0b3f9c329a7>
- [19] Technický list - STAP. *Imi-hydronic* [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/vyva%C5%BEov%

- C3%A1n%C3%AD-regulace-a-pohony/regul%C3%A1tory-tlaku/regulatory-tlakove-diference/STAP/e090af71-caa3-455a-b9b1-b15de953aee5
- [20] *Měření a regulace ve vytápění* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125vpva/prednasky/125vpva-09.pdf>
- [21] *Nespojité regulátory* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=22538&revision=-1&instance=2>
- [22] kolektiv. *Regulační armatury 4. doplněné a upravené vydání* [online]. Litomyšlská 1378, 560 03 Česká Třebová: LDM, spol. s r.o., 2006 [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf
- [23] Termostatická hlavice K. *Imi-hydronic* [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/termostatick%C3%A1-regulace/termostatick%C3%A9-hlavice-a-ventily/termostatick%C3%A9-hlavice/Termostatick%C3%A1-hlavice-K/d99503c3-4bdd-4a31-b45c-b6edba5d9db3>
- [24] Technický list - termostatická hlavice K. *Imi-hydronic* [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/termostatick%C3%A1-regulace/termostatick%C3%A9-hlavice-a-ventily/termostatick%C3%A9-hlavice/Termostatick%C3%A1-hlavice-K/d99503c3-4bdd-4a31-b45c-b6edba5d9db3>
- [25] STAP. *Imi-hydronic* [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/vyva%C5%BEov%C3%A1n%C3%AD-regulace-a-pohony/regul%C3%A1tory-tlaku/regulatory-tlakove-diference/STAP/e090af71-caa3-455a-b9b1-b15de953aee5>
- [26] Technický list - STAP. *Imi-hydronic* [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/vyva%C5%BEov%C3%A1n%C3%AD-regulace-a-pohony/regul%C3%A1tory-tlaku/regulatory-tlakove-diference/STAP/e090af71-caa3-455a-b9b1-b15de953aee5>
- [27] Regulátor objemového průtoku 4001. *Herz* [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.herz.cz/profesionalni-vyvozovani/regulatory-tlakove-diference-a-prepousteci-ventily/regulator-objemoveho-prutoku-4001-1802>
- [28] Hydrolux. In: *Imi-hydronic* [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/cs-cz/Produkty/termostatick%C3%A1-regulace/termostatick%C3%A9-hlavice-a-ventily/p%C5%99epou%C5%A1t%C4%9Bc%C3%AD-ventily/Hydrolux/9ca6ccb6-4a48-4704-80d6-2f9e9876edd5>
- [29] ZAWÓR TRÓJDROŻNY 3 DROGOWY MIESZAJĄCY ESBE 1/2" VGR 131. In: *Promag.sklepna5* [online]. [cit. 2018-12-29]. Dostupné z: <http://www.promag.sklepna5.pl/towar/266/zawor-trojdrozny-3-drogowy-mieszajacy-esbe-12-vgr-131.html>
- [30] Termostatický směšovací ventil ESBE VTA 312 35-60 °C G 15. In: *Bola* [online]. [cit. 2018-12-22]. Dostupné z: https://www.bola.cz/termostaticky-smesovaci-ventil-esbe-vta-312-35-60c-g-15?subproductId=876&gclid=EAIaIQobChMIqaPy9sPE3wIV1eF3Ch3y9AUmEAQYASABEGIoyfD_BwE
- [31] Možnosti moderních způsobů regulace. In: *Tzb-info* [online]. [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>
- [32] Regulace – II.část. In: *Tzb.fsv.cvut.cz* [online]. [cit. 2018-12-23]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125vpva/prednasky/125vpva-10.pdf>
- [33] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.

Seznam obrázků

Obrázek č. 1 : Turbulentní proudění	10
Obrázek č. 2: Laminární proudění	10
Obrázek č. 3: Sklon potrubí	11
Obrázek č. 4: Vyobrazení rovnice kontinuity [4]	11
Obrázek č. 5: Kruhový profil potrubí [5].....	12
Obrázek č. 6: Proudění ideální kapaliny [6]	13
Obrázek č. 7: Proudění skutečné kapaliny [6]	13
Obrázek č. 8: Moodyho diagram [7].....	15
Obrázek č. 9: Znázornění typických uzávěrů [10].....	19
Obrázek č. 10: Teplovodní otopná soustava s přirozeným oběhem	21
Obrázek č. 11: Teplovodní otopná soustava s nuceným oběhem	23
Obrázek č. 12: Vyvažovací ventil STAD [18].....	24
Obrázek č. 13: Partnerský a referenční ventil.....	25
Obrázek č. 14: Odběrná místa na odbočce	26
Obrázek č. 15: Odbočky na jedné větvi.....	27
Obrázek č. 16: Paty větví na hlavním rozvodu.....	27
Obrázek č. 17: STAD (vyvažovací ventil) a STAP (regulátor tlakové difference) [19].....	28
Obrázek č. 18: Řez TRV.....	34
Obrázek č. 19: Termostatický ventil s vestavěným čidlem [23].....	34
Obrázek č. 20: Regulátor tlakové difference STAP [25]	35
Obrázek č. 21: Řez RTD.....	35
Obrázek č. 22: Regulátor objemového průtoku [27]	35
Obrázek č. 23: Přepouštěcí ventil [28].....	36
Obrázek č. 24: Trojcestný směšovací ventil [29]	37
Obrázek č. 25: Termostatický směšovací ventil [30]	37
Obrázek č. 26: Schéma zónové regulace	38
Obrázek č. 27: Schéma decentralizované regulace.....	39