

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**POROVNÁNÍ KVALITATIVNÍHO A  
KVANTITATIVNÍHO ŘÍZENÍ  
OTOPNÝCH SOUSTAV**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mládek** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **466600**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Porovnání kvalitativního a kvantitativního řízení otopných soustav**

Název bakalářské práce anglicky:

**Comparison of Temperature Control and Flow Rate Control in Heating Systems**

Pokyny pro vypracování:

V první části práce se zabývejte rešeršním přehledem možností regulace ve vytápění. Následně proveďte posouzení efektivnosti kvalitativní a kvantitativní regulace zón otopné soustavy na základě změny výkonových parametrů.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika, nakladatelství ČVUT. Praha 2014, 194s., ISBN 978-80-01-05455-0

Bašta, J.: Otopné plochy Otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. 204 s. ISBN 978-80-01-05943-2.

Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní Sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6, 96 s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D., ústav techniky prostředí FS**

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

Datum zadání bakalářské práce: **24.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.06.2019**

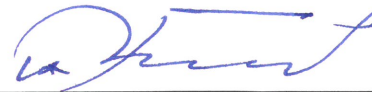
Platnost zadání bakalářské práce:



prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce



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



prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

24.4.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

## **Souhrn**

Bakalářská práce se zabývá porovnáním efektivity kvalitativního a kvantitativního řízení otopných soustav. Nejprve jsem v teoretické části popsal tyto způsoby řízení a následně zmínil příslušné hydraulické okruhy. V další části jsem způsoby srovnával pro tři dané typy otopných soustav s jinými teplotními exponenty. Prvním typem je otopné těleso s teplotním exponentem  $n = 1,33$ , druhým podlahové vytápění s teplotním exponentem  $n = 1,1$  a třetím konvektor bez ventilátoru s teplotním exponentem  $n = 1,4$ . Pro každý druh otopného tělesa byl proveden výpočet a následné sestrojení grafu. Nakonec byly všechny grafy sloučeny do jednoho a porovnány.

## **Summary**

The bachelor thesis deal with comparison the efficiency of qualitative and quantitative control of heating systems. In the first part I described these types of control and mentioned common hydraulic circuits. Then compared these types of control for three radiators with different temperature exponent. The first one is radiator with temperature exponent  $n = 1,33$ , second is floor heating convector with fan with temperature exponent  $n = 1,1$  and the last one is convector without ventilator with temperature exponent  $n = 1,4$ . For each type of control was done the calculation and the construction of graph. In the end all graphs were put into one graph and compared.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Porovnání kvalitativního a kvantitativního řízení otopných soustav“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 24. 6. 2019

Ondřej Mládek

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za užitečné rady, připomínky a konzultace, které mi pomáhaly při vypracování této práce.

## OBSAH

1	REGULACE VE VYTÁPĚNÍ .....	9
1.1	Kvalitativní regulace .....	10
1.2	Kvantitativní regulace .....	11
2	REGULAČNÍ ARMATURY .....	13
2.1	Jmenovitý průtok - $k_{vs}$ hodnota .....	14
2.2	Autorita ventilu $P_v$ .....	15
2.3	Charakteristiky ventilů .....	17
3	HYDRAULICKÉ OKRUHY S PROMĚNNÝM A KONSTANTNÍM PRŮTOKEM .....	19
3.1	Okruhy s kvantitativní regulací .....	21
3.1.1	<i>Škrťací okruh</i> .....	21
3.1.2	<i>Rozdělovací okruh</i> .....	22
3.2	Okruhy s kvalitativní regulací .....	24
3.2.1	<i>Směšovací okruh</i> .....	24
3.2.2	<i>Směšovací okruh s pevným zkratem</i> .....	25
3.2.3	<i>Okruh se směšováním v pevném bodě s předúpravou</i> .....	26
3.2.4	<i>Okruh se směšováním v pevném bodě potrubní sítě</i> .....	27
4	POROVNÁNÍ KVALITATIVNÍHO A KVANTITATIVNÍHO ŘÍZENÍ OTOPNÝCH SOUSTAV .....	28
4.1	Otopné těleso.....	29
4.2	Podlahová otopná plocha .....	30
4.3	Konvektor bez ventilátoru.....	31
4.4	Porovnání výsledků.....	32
5	ZÁVĚR.....	34
6	LITERATURA .....	36
7	SEZNAM PŘÍLOH .....	37

## Soupis použitého značení

$A_{vs}$	[m <sup>2</sup> ]	průtokový součinitel
$P_v$	[-]	autorita ventilu
$P_v'$	[-]	poměrná autorita ventilu.
$Q$	[W]	skutečný přenášený výkon
$Q_N$	[W]	jmenovitý výkon
$V$	[m <sup>3</sup> /h]	objemový průtok armaturou
$c$	[J/kg · K]	měrná tepelná kapacita
$h$	[mm]	zdvih kuželky ventilu
$h_{100}$	[mm]	maximální zdvih kuželky ventilu
$k_{vR}$	[m <sup>3</sup> /h]	nejnižší hodnota jmenovitého průtoku s definovaným teoretickým sklonem
$k_{vs}$	[m <sup>3</sup> /h]	jmenovitý průtok armaturou při plném zdvihu
$\dot{m}$	[kg/s]	skutečný hmotnostní průtok vody soustavou
$\dot{m}_N$	[kg/s]	jmenovitý hmotnostní průtok vody soustavou
$n$	[-]	teplotní exponent otopné plochy
$n$	[-]	sklon křivky vynášené u rovnoprocentní charakteristiky v logaritmických souřadnicích
$s$	[-]	sklon charakteristiky ventilu
$t_e$	[°C]	oblastní venkovní výpočtová teplota
$t_e^l$	[°C]	venkovní teplota
$t_i$	[°C]	vnitřní výpočtová teplota
$t_{iN}$	[°C]	jmenovitá vnitřní výpočtová teplota
$t_{w1}$	[°C]	teplota přívodní vody
$t_{w1N}$	[°C]	jmenovitá teplota přívodní vody

$t_{w2}$	[°C]	teplota vratné vody
$t_{w2N}$	[°C]	jmenovitá teplota vratné vody
$\Delta p_0$	[kPa]	tlaková ztráta rovna hodnotě 100 kPa
$\Delta p_{PS}$	[Pa]	tlaková ztráta potrubní sítě, která přísluší ventilu
$\Delta p_v$	[kPa]	tlaková ztráta ventilu
$\Delta p_{v0}$	[Pa]	tlaková ztráta ventilu při plném uzavření
$\Delta p_{v100}$	[Pa]	tlaková ztráta ventilu při plném otevření
$\Delta t$	[°C]	skutečný střední teplotní rozdíl
$\delta t$	[°C]	skutečné ochlazení na otopné ploše
$\Delta t_N$	[°C]	jmenovitý střední teplotní rozdíl
$\delta t_N$	[°C]	jmenovité ochlazení na otopné ploše
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota teplotonosné látky při provozní teplotě
$\rho_0$	[kg/m <sup>3</sup> ]	hustota vody při teplotě 15 °C
$\varphi$	[-]	zatížení otopné soustavy
$\phi$	[-]	průtokový součinitel
$\phi_0$	[-]	průtokový součinitel při nulovém zdvihu
$\psi$	[-]	poměrný průtok vody soustavou



# 1 REGULACE VE VYTÁPĚNÍ

Regulací teploty vzduchu ve vytápěném prostoru se snažíme, abychom nastolili tzv. tepelnou pohodu. Tak se nazývá stav, kdy člověk nepocítuje ani chlad, ani horko. Tohoto stavu můžeme dosáhnout regulací otopných soustav. V současnosti se používá celé spektrum otopných soustav, které je potřeba regulovat, a to z mnoha důvodů jako je úspora energie a efektivita provozu. Když mluvíme o regulaci otopných soustav, myslíme tím jednak regulaci dodávaného tepla do vytápěné místnosti, jednak zajištění hydraulického vyvážení otopné soustavy. Pokud volíme regulaci pro určitou otopnou soustavu, musíme brát v potaz hned několik hledisek. Vliv na volbu regulace bude mít typ dané budovy. Znamená to, že budeme používat jiný typ regulace ve velké pracovní budově a jiný zase u rodinného domu. K tomu se váže další faktor ovlivňující výběr vhodné regulace, a to počet osob nacházejících se v objektu. Dále musíme uvažovat vlastnosti budovy jako je hmotnost stavby, druh stavebního materiálu, tloušťka tepelné izolace a velikost zasklené plochy. Volbu ovlivňuje i to, kde a v jaké oblasti se budova nachází. Tím je myšleno, že jinou regulaci použijeme pro místnost, která je orientována na sever, jinou pro místnost orientovanou na jih, kde je větší vliv oslunění. Také zde hraje roli i průběh venkovní teploty a i to, kolik stěn dané místnosti bude mít přímý kontakt s venkovním prostředím. Následně musíme také zohlednit samotnou otopnou soustavu, tedy jaký druh otopné soustavy to je, jaká je její velikost a účel. Nakonec budeme uvažovat finanční náklady na regulační zařízení. Projektant by zde měl brát v úvahu poměr finančních nákladů na otopnou soustavu vůči celkovým investicím na budovu. Měl by se také držet nároků uživatele na komfort a dodržet zadaný rozpočet. V dnešní době se snažíme, aby domy, co stavíme, byly co nejméně energeticky náročné. Vylepšujeme jejich vlastnosti za účelem uspořit co nejvíce energie, a naopak se snažíme dodat stavbě energii formou oslunění. [1] [6] [15]

Regulace ve vytápění můžeme docílit pomocí regulace tepelných zdrojů, centrální regulací otopné soustavy, místní regulací spotřebičů tepla anebo jejich kombinací. Otopné soustavy s vodním oběhem je možno regulovat kvalitativně, kvantitativně nebo kvazikvalitativně. Kvazikvalitativní regulace se provádí pomocí čtyřcestných směšovacích armatur. Pro co nejefektivnější provoz otopné soustavy se většinou používá sdružená regulace, která kombinuje kvalitativní a kvantitativní řízení. [1] [6] [15]

## 1.1 Kvalitativní regulace

Při kvalitativní regulaci neměníme množství vody proudící do otopného tělesa, ale měníme teplotu přicházející vody. Teplotu vody lze měnit změnou teploty vody ze zdroje tepla, směřováním v trojcestných, popř. čtyřcestných směšovacích armaturách nebo v pevném bodě potrubní sítě. Teplota vody je závislá na výkonu kotle, který reaguje pomocí čidla na teplotu v určité místnosti. Pokud chceme tedy zvýšit teplotu v místnosti, zvýší se výkon kotle a následně i teplota vody. Otopnými soustavami při této regulaci proudí voda ohřátá na určitou teplotu, která nám dodá přesně tolik tepla, kolik je vyžadováno v souvislosti s tepelnými ztrátami dané místnosti a aktuální venkovní teplotou. [1] [4] [14]

Z poměru skutečného přenášeného výkonu do místnosti ke jmenovitému výkonu pro totéž místo určíme zatížení otopné soustavy:

$$\varphi = \frac{Q}{Q_N} \approx \frac{t_i - t_e^l}{t_i - t_e},$$

kde teplota  $t_i$  je vnitřní výpočtová teplota. Skutečný přenášený výkon  $Q$  je zde závislý na venkovní teplotě  $t_e^l$  a jmenovitý výkon  $Q_N$  na oblastní venkovní výpočtové teplotě  $t_e$ . [1]

Z poměru výkonů otopné plochy se stejnými průtoky určených z kalorimetrické rovnice můžeme vyjádřit:

$$\varphi = \frac{\delta t}{\delta t_N} = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{(t_{w1} - t_{w2})_N},$$

kde  $\delta t$  je skutečné ochlazení na otopné ploše a  $\delta t_N$  jmenovité ochlazení na otopné ploše. [1]

Další vztah je stanoven z poměru výkonů otopné plochy určených prostupem tepla teplosměnnou plochou:

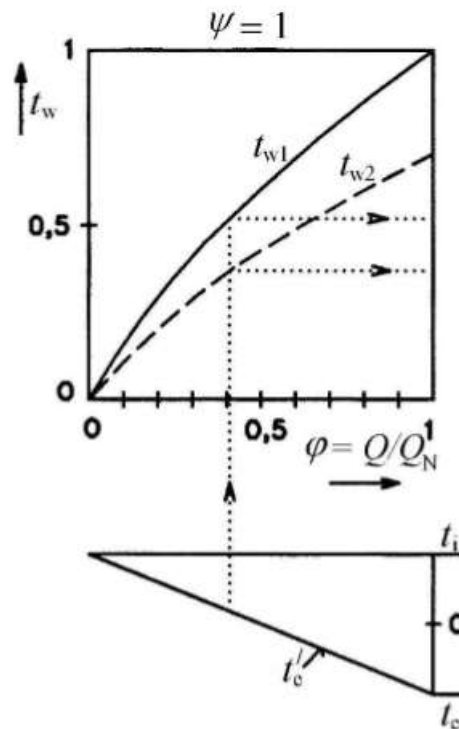
$$\varphi = \left( \frac{\Delta t}{\Delta t_N} \right)^n = \left\{ \frac{\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i}{\left( \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \right)_N} \right\}^n,$$

kde  $n$  je teplotní exponent otopné plochy,  $\Delta t$  je skutečný střední teplotní rozdíl a  $\Delta t_N$  jmenovitý střední teplotní rozdíl mezi teplotou látky přenášející teplo a teplotou okolního vzduchu. [1]

Při řešení těchto dvou rovnic dostáváme pro otopnou plochu závislost regulované teploty  $t_{w1}$  na zatížení soustavy  $\varphi$ :

$$t_{w1} = t_i + \left( \frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \right)_N \cdot \left( \frac{t_i - t_e^l}{t_i - t_e} \right)^{\frac{1}{n}} + \frac{(t_{w1} - t_{w2})_N}{2} \cdot \frac{t_i - t_e^l}{t_i - t_e}$$

$$t_{w1} = t_i + \Delta t_N \cdot \varphi^{\frac{1}{n}} + \frac{\delta t_N}{2} \cdot \varphi$$



Obr. 1-1 Kvantitativní regulace (závislost poměrného průtoku otopnou soustavou na zatížení otopné soustavy pro článková otopná tělesa s teplotním exponentem  $n = 1,25$ ) [1]

## 1.2 Kvantitativní regulace

Při kvantitativní regulaci neměníme teplotu přicházející vody do otopného tělesa, ale měníme její dopravované množství. Toto množství lze regulovat například škrcením pomocí regulačního ventilu na otopném tělese, kdy otočením ventilu můžeme regulovat množství vody, rozdělením proudu v trojcestné rozdělovací armatuře, nebo v pevném

rozdělovacím bodě potrubní sítě. Množství dopravované vody je závislé na okamžité teplotě v místnosti. Do soustavy tedy dodáváme pouze takové množství tepla, abychom dosáhli tepelného komfortu. S rostoucí teplotou uvnitř místnosti se hlavice ventilů postupně uzavírají. Naopak s klesající teplotou se znovu otevírají, aby teplota dosáhla požadované hodnoty. [1] [4] [14]

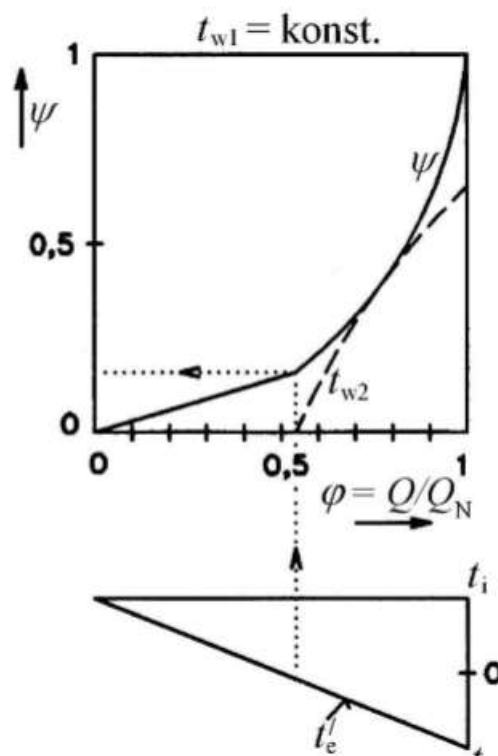
Pro zatížení otopné soustavy je dán vztah:

$$\varphi = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_N} \cdot \frac{t_{w1} - t_{w2}}{(t_{w1} - t_{w2})_N} = \psi \cdot \frac{t_{w1} - t_{w2}}{(t_{w1} - t_{w2})_N},$$

kde  $\psi$  je poměrný průtok vody soustavou,  $\dot{m}$  je skutečný hmotnostní průtok vody soustavou a  $\dot{m}_N$  je jmenovitý hmotnostní průtok vody soustavou. [1]

Řešením rovnice pro poměr výkonů otopných těles určených prostupem tepla teplosměnnou plochou a vztahu pro zatížení otopné soustavy získáme závislost regulovaného poměrného průtoku  $\psi$  na zatížení soustavy  $\varphi$ :

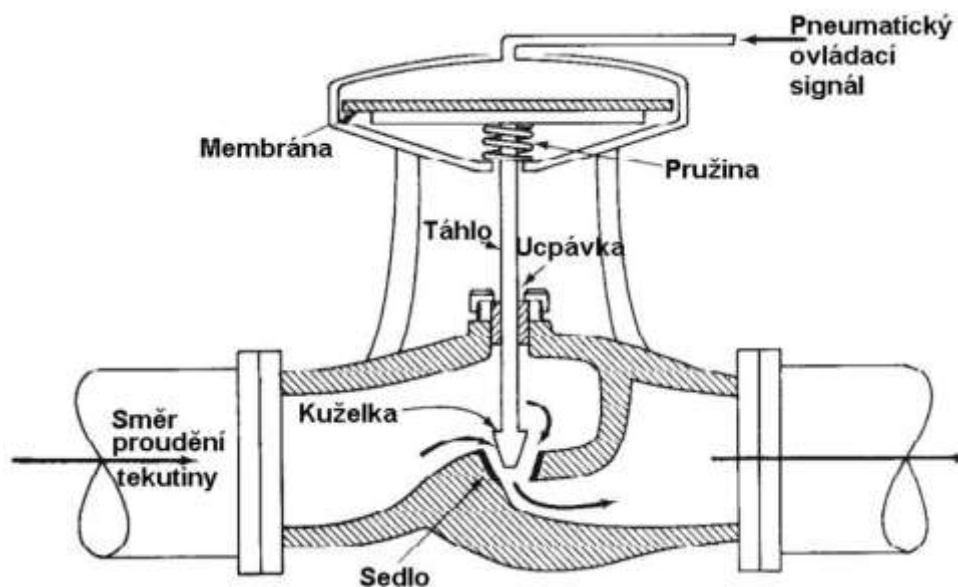
$$\psi = \frac{0,5 \cdot \delta t_N \cdot \varphi}{t_{w1} - t_i - \Delta t_N \cdot \varphi^{\frac{1}{n}}}$$



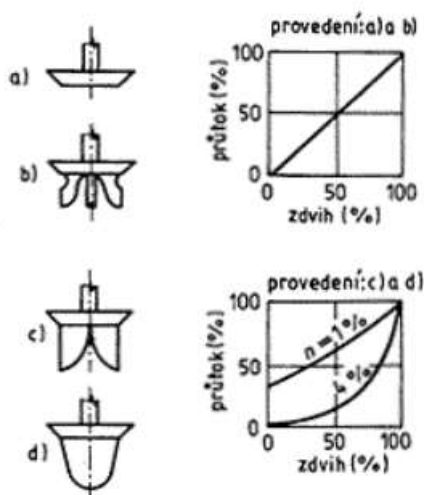
Obr. 1-2 Kvantitativní regulace (závislost poměrného průtoku otopnou soustavou na zatížení otopné soustavy pro článková otopná tělesa s teplotním exponentem  $n = 1,25$ ) [1]

## 2 REGULAČNÍ ARMATURY

Směšovací regulační armatury slouží k požadovanému nastavení teploty vody, která vtéká do okruhu. Potřebné teploty docílíme smícháním vody přicházející od tepelného zdroje a vody, která se vrací z okruhu. Patří sem trojcestné klapky a ventily. Při natočení klapky měníme poměr ohřáté vody a vratné vody. Ventil můžeme řídit pomocí hydraulického či elektrického pohonu. Pro správnou funkci musí mít armatura vlastnosti vhodné pro dané použití. Ty jsou dány hlavně konstrukcí neboli průtočným průřezem, tvarem průtočných cest, druhem kuželky a také vlastnostmi ovládacího pohonu armatury. Při volbě armatury zohledňujeme jmenovitý tlak  $P_N$ , přípustný rozdíl tlaků,  $k_{vs}$  hodnotu ventilu, charakteristiku ventilu a autoritu ventilu  $P_V$ . [1]



Obr. 2-1 Princip práce dvoucestného ventilu [7]



Nejběžnější tvary kuželek ventilů:

- Talířová kuželka s kónickými dosedacími plochami
- Talířová kuželka s usměrňujícími žebry
- Kuželka s logaritmickým profilem žeber na vstupy
- Kuželka s logaritmickým nátokovým profilem

Obr. 2-2 Nejběžnější tvary kuželek [12]

## 2.1 Jmenovitý průtok - $k_{vs}$ hodnota

Velikost ventilu je dána  $k_{vs}$  hodnotou. Jedná se o veličinu, která je nejcharakterističtější pro regulační armaturu. Udává jmenovitý průtok armaturou při plném zdvihu. Pomocí této hodnoty jsme schopni spočítat průtok vody armaturou, nebo tlakovou ztrátu na armatuře za daných podmínek. Čím je průtokový součinitel větší, tím více vody ventilem proteče. Pro vodu lze použít zjednodušený vztah:

$$k_{vs} = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}},$$

kde  $V$  je objemový průtok armaturou v  $\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\Delta p_v$  je tlaková ztráta ventilu v kPa a  $\Delta p_0 = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$ . [1] [7]

Z tohoto vztahu jsme již schopni při zadaných podmínkách dopočítat příslušnou chybějící hodnotu a následně podle požadovaného průtoku, tlakové ztráty na ventilu a  $k_{vs}$  hodnoty ventilu vybrat nejvhodnější ventil. [1] [7]

Pro jiné teplotné látky, než je voda, se pro výpočet  $k_{vs}$  hodnoty používá tento vztah:

$$k_{vs} = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_v}} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}},$$

kde  $\rho$  je hustota teplotné látky při provozní teplotě v  $\text{kg/m}^3$  a  $\rho_0$  je hustota vody při teplotě  $15\text{ }^\circ\text{C}$  v  $\text{kg/m}^3$ . [1] [7]

V zemích, kde není zavedena soustava jednotek SI se používá  $C_{vs}$  hodnoty. Tento ekvivalent  $k_{vs}$  hodnoty udává množství galonů (galon = 3,7854 l), který při tlakové ztrátě 1 psi (psi = 6,8948 kPa) proteče za jednu minutu armaturou. Hustotu musíme dosazovat v librách na krychlovou stopu ( $\text{lb/ft}^3 = 16,018\text{ kg/m}^3$ ). [1] [5]

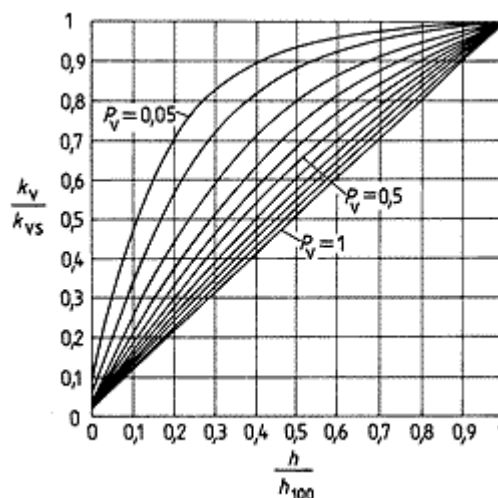
## 2.2 Autorita ventilu $P_v$

Další veličinou, která má velký vliv na regulační schopnosti ventilu, je autorita ventilu. Tato veličina je formulována jako poměr tlakové ztráty ventilu při plném průtoku (nulové uzavření) ku tlakové ztrátě ventilu při nulovém průtoku (plné uzavření).

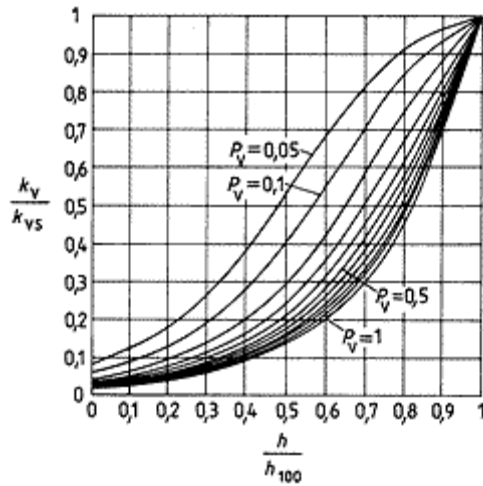
$$P_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v0}}$$

kde  $P_v$  je autorita ventilu,  $\Delta p_{v100}$  je tlaková ztráta ventilu při plném průtoku a  $\Delta p_{v0}$  je tlaková ztráta ventilu při nulovém průtoku. Čím je autorita ventilu větší, tím lepší jsou regulační schopnosti ventilu, ale také větší tlakové ztráty, a tudíž vyšší nároky na čerpací práci. [1]

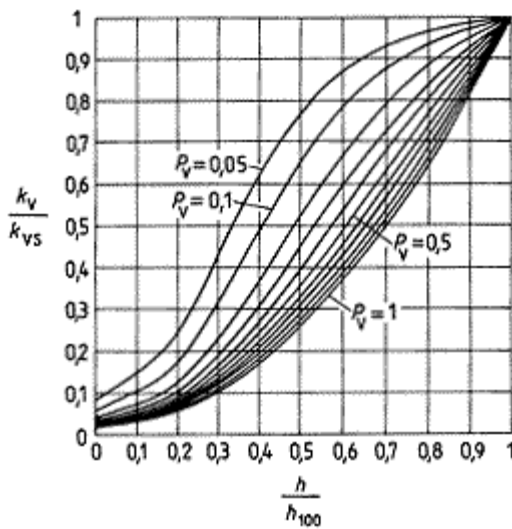
Při změně tlakové ztráty na ventilu dochází k deformaci charakteristiky ventilu. Vydávají se zde doporučení pro dobrou regulační schopnost armatury, aby byla autorita ventilu od 0,3 do 0,7. Čím blíže se autorita ventilu přibližuje 1, tím spíše se statické charakteristika podobá ideální. Používáme především 3 statické charakteristiky ventilu a to lineární, rovnoprocentní a parabolickou. [1]



Obr. 2-3 Deformace lineární statické charakteristiky ventilu [12]



Obr. 2-5 Deformace rovnoprocentní statické charakteristiky ventilu [12]



Obr. 2-4 Deformace parabolické statické charakteristiky ventilu [12]

K určení  $k_{vs}$  hodnoty potřebujeme znát jmenovitý průtok a tlakovou ztrátu ventilu. Ze vztahu pro autoritu ventilu jsme schopni určit tlakovou ztrátu při plném průtoku. [1]

$$\Delta p_{v100} = P_v \cdot \Delta p_{v0} .$$

Bohužel tlaková ztráta ventilu je závislá na tlakové ztrátě ventilu při plném průtoku. Je nutné proto tento vzat upravit. Do upraveného vztahu se nám poté promítne tlaková ztráta potrubní sítě okruhu, který je příslušný ventilu. [1]

$$\Delta p_{v100} = P_v \cdot (\Delta p_{v100} + \Delta p_{PS});$$

$$\Delta p_{v100} = \frac{P_v}{1 - P_v} \cdot \Delta p_{PS};$$



$$P_v' = \frac{P_v}{1 - P_v};$$

$$\Delta p_{v100} = P_v' \cdot \Delta p_{PS},$$

kde  $\Delta p_{PS}$  je tlaková ztráta potrubní sítě, která přísluší ventilu a  $P_v'$  je poměrná autorita ventilu.

Při autoritě ventilu  $P_v = 0,33$  je poměrná autorita  $P_v' = 0,5$ . Čili tlaková ztráta je přibližně poloviční, když je ventil plně otevřený, oproti tlakové ztrátě potrubní sítě bez ventilu. [1]

U lineární charakteristiky je regulovatelnost lepší, čím větší je autorita ventilu. S přibývajícím autoritou se průběh postupně linearizuje. Když dosáhneme hodnoty  $P_v = 1$ , průběh je již plně lineární. Ovšem zvyšování autority vede ke zvýšení odporu potrubní sítě a zmenšení  $k_{vS}$  hodnoty. Při zmenšení  $k_{vS}$  hodnoty dochází ke zvětšování tlakové ztráty ventilu, což znázorňuje tento vztah:

$$V = k_v \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot \rho_0}{\Delta p_0 \cdot \rho}}$$

kde  $k_v$  je jmenovitý průtok,  $V$  je objemový průtok,  $\Delta p$  je tlaková ztráta ventilu,  $\Delta p_0 = 100 \text{ kPa}$ ,  $\rho$  hustota vody při provozní teplotě a  $\rho_0$  hustota vody při teplotě  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Tato tlaková ztráta musí být kompenzována zvýšením dopravního tlaku čerpadla, tedy se zvyšující se autoritou se sice zlepšuje regulovatelnost, ale roste spotřeba energie čerpadla.

U rovnoprocentní charakteristiky ovšem můžeme dosáhnout lineárního průběhu statické charakteristiky i při malé autoritě ventilu. [1]

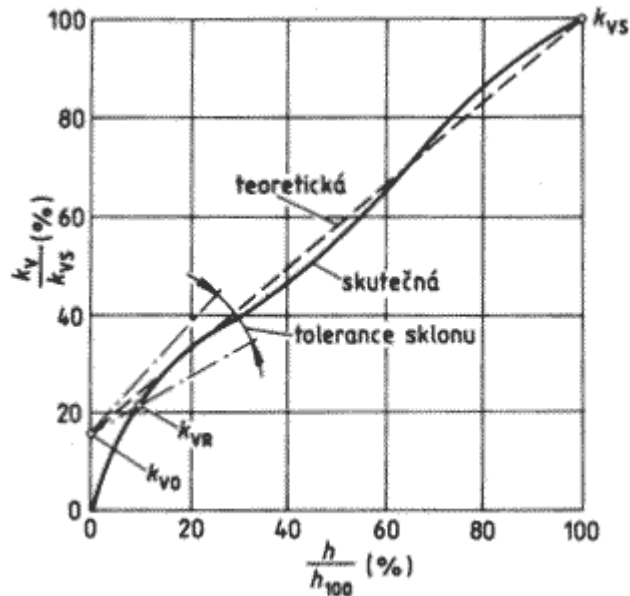
### 2.3 Charakteristiky ventilů

Statická charakteristika ventilu je závislost  $k_v$  hodnoty, vztažené ke  $k_{vS}$  hodnotě na poměrnému zdvihu ventilu. Rozlišujeme dvě hlavní statické charakteristiky, a to lineární a rovnoprocentní. Hodnota  $k_{vR}$  je definována jako nejnižší  $k_{vS}$  hodnota, během které má charakteristika dosud definovaný teoretický sklon. Jejich poměr se označuje jako regulační rozsah.

$$\frac{k_{vS}}{k_{vR}} = S_v = r.$$

Hodnoty regulačního rozsahu se pohybují okolo 20 a 30, v případě ventilů s nejlepšími vlastnostmi může hodnota být i 50.

Pokud  $k_{vS}$  hodnota klesne pod  $k_{vR}$  hodnotu, stane se chování ventilu nepředvídatelné. Je tedy nutné navrhovat ventil tak, aby jeho pracovní oblast byla nad  $k_{vR}$  hodnotou. [1]



Obr. 2-6 Lineární statická charakteristika ventilu [13]

Dalšími důležitými hodnotami, které jsou důležité pro charakteristiky ventilů jsou průtokový součinitel  $\phi$  a průtokový součinitel při nulovém zdvihu  $\phi_0$ . [12]

$$\phi = \frac{k_v}{k_{vS}},$$

$$\phi_0 = \frac{k_{v0}}{k_{vS}}.$$

U lineární statické charakteristiky odpovídá změně zdvihu  $h$  stejná změna  $k_v$  hodnoty. Při zvětšení zdvihu o 1 % dojde ke zvětšení poměrného průtoku o 1 %. Tomu odpovídá vztah:

$$\phi = \phi_0 + s \cdot \frac{h}{h_{100}},$$

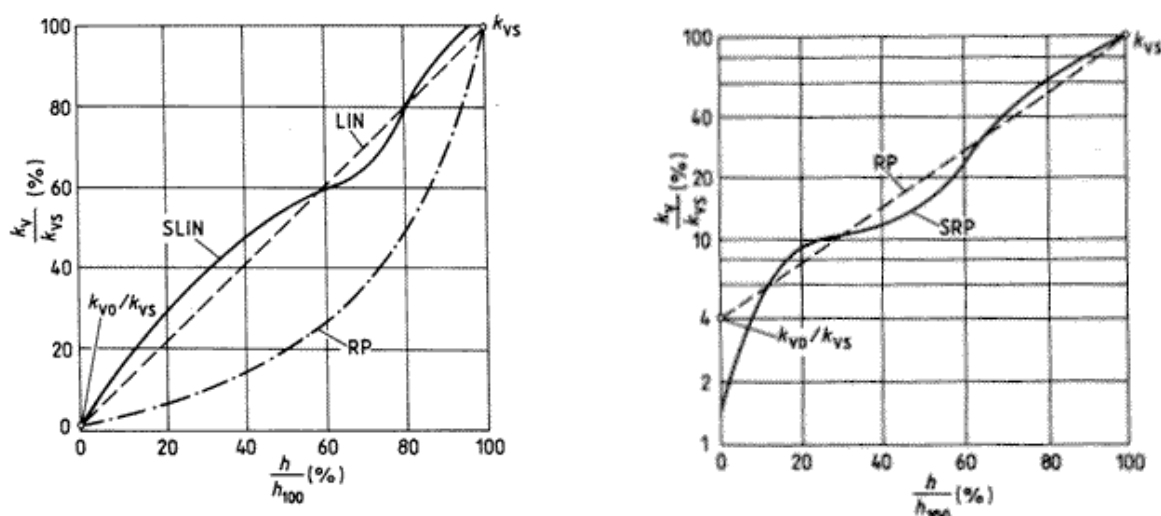
kde  $s$  je sklon charakteristiky. [1]

U rovnoprocentní charakteristiky je to obdobné. Změně zdvihu  $h$  zde odpovídá procentuálně stejná změna hodnoty  $k_v$ . Tomu odpovídá vztah:

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{n \frac{h}{h_{100}}},$$

kde  $n$  je sklon křivky vynášené u rovnoprocentní charakteristiky v logaritmických souřadnicích. Ten zjistíme ze vztahu:

$$n = \ln \frac{k_{vS}}{k_{v0}}.$$



Obr. 2-7 Lineární a rovnoprocentní statická charakteristika ventilu s  $\phi_0 = 4\%$  [13]

Teoreticky nemusíme volit jen z výše uvedených dvou charakteristik. Můžeme zvolit jinou charakteristiku, která bude lépe vyhovovat situaci. Tato charakteristika je modifikace jedné z předchozích dvou. Většinou se jedná o modifikované rovnoprocentní statické charakteristiky. [1]

### 3 HYDRAULICKÉ OKRUHY S PROMĚNNÝM A KONSTANTNÍM PRŮTOKEM

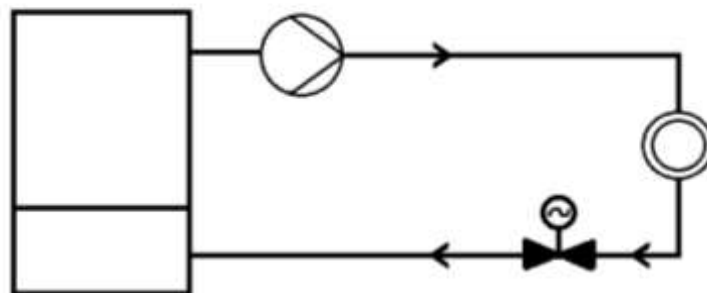
Teplo, které předáváme prostoru, jenž chceme vytápět, závisí na teplotě povrchu otopného tělesa. Tuto teplotu povrchu je možno ovlivňovat buď změnou průtoku při konstantní teplotě vstupní vody nebo změnou teploty přívodní vody při konstantním průtoku. Platí zde kalorimetrická rovnice:

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot (t_{w1} - t_{w2}).$$

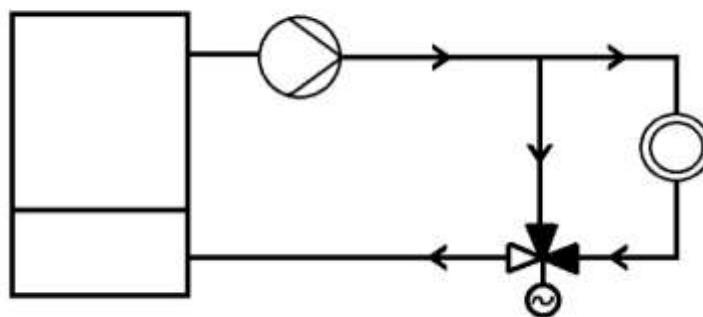
Pro naše úvahy a pro standartní aplikace budeme uvažovat tepelnou kapacitu  $c$  jako konstantní, tudíž množství tepelné energie bude přímo úměrné hmotnostnímu průtoku a rozdílu teplot přívodní a vratné vody v otopném tělese. [5] [16]

Při řízení otopné soustavy pomocí změny teploty přívodní vody při konstantním průtoku se jedná o kvalitativní regulaci. Ta je prováděna většinou směřováním. Při řízení otopné soustavy pomocí změny průtoku při konstantní teplotě přívodní vody jde o regulaci kvantitativní. [5] [16]

Pro oba tyto typy řízení se používají dva základní hydraulické okruhy. Při kvantitativní regulaci používáme dva základní okruhy, a to škrťací okruh a rozdělovací okruh. Tyto okruhy regulují množství teplotonosné látky dopravované do otopné soustavy. [5] [16]

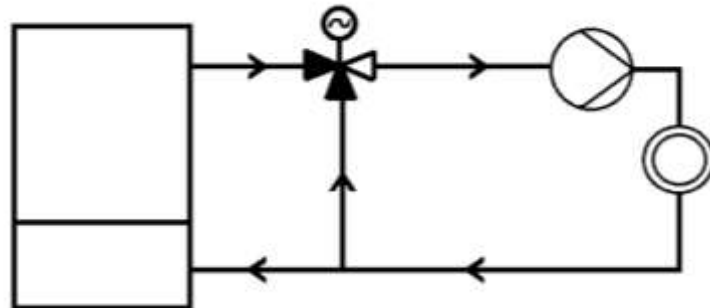


*Obr. 3-1 Škrťací okruh [16]*

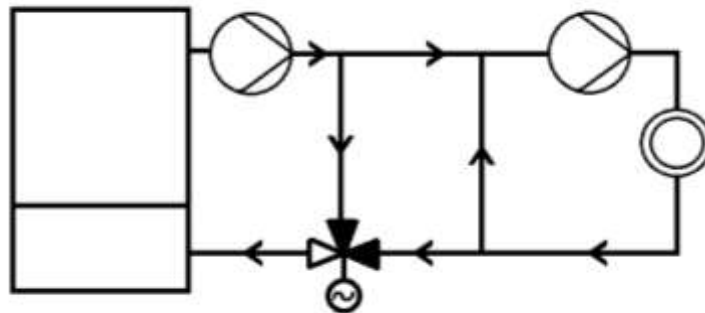


*Obr. 3-2 Rozdělovací okruh [16]*

Pro kvalitativní regulaci se používá okruh směšovací a okruh se směšováním v pevném bodě potrubní sítě, či směšováním v pevném bodě potrubní sítě a předúpravou. Tyto okruhy upravují teplotu vody přiváděnou do otopné soustavy. [5] [16]



Obr. 3-4 Směšovací okruh [16]



Obr. 3-3 Okruh se směšováním v pevném bodě potrubní sítě a předúpravou [16]

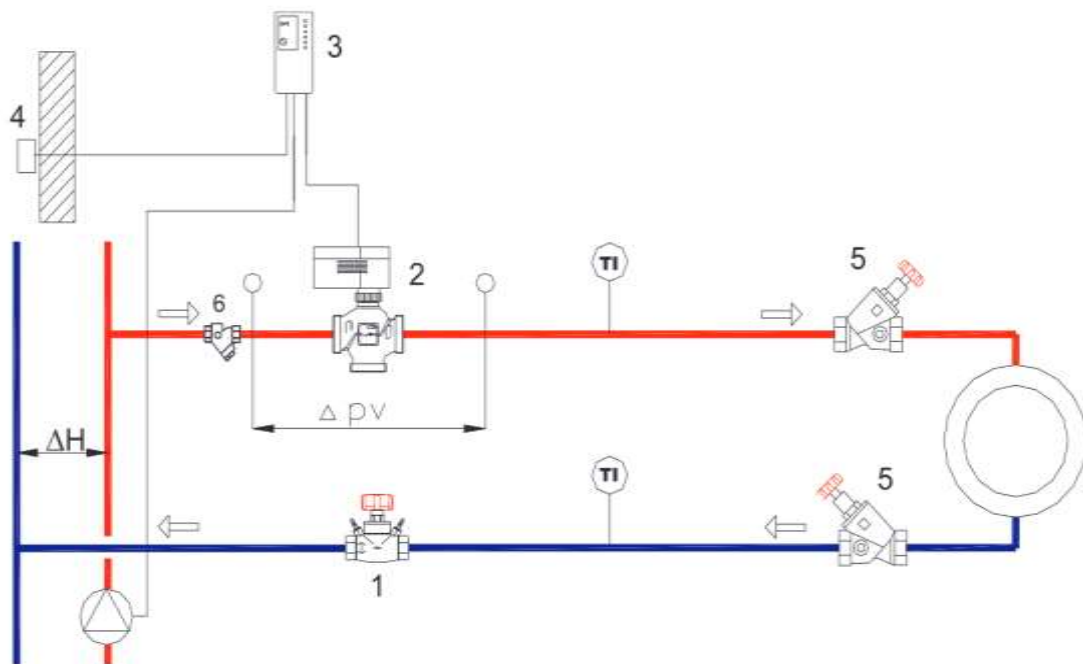
### 3.1 Okruhy s kvantitativní regulací

#### 3.1.1 Škrťící okruh

Při škrcení regulujeme množství protékající otopnou soustavou a kotlový okruh pomocí dvoucestného ventilu. Důsledkem je změna průtočného množství doprovázená změnou tlaku v celém okruhu. Ventily mají v tomto okruhu úlohu měnit průtočné množství tak, aby došlo k ovlivnění výkonu a změně teploty na otopné soustavě a také napomáhají k přizpůsobení tlakovému rozdílu. Teplota vody přiváděné do otopné je konstantní. Po spuštění otopná soustava dosáhne námi požadované teploty s určitým zpožděním, které se nazývá dopravní zpoždění. To závisí hlavně na délce potrubí a rychlosti ochlazování vody. Při zmenšujícím se zatížení klesá i teplota vratné vody. [3] [8] [9]

Výhodou tohoto zapojení je veliký teplotní spád. Ten je vhodný pro zařízení, která využívají kondenzační kotle nebo centralizovaný zdroj. Dále se toto zapojení využívá například pro ohřívače vzduchu, kde není riziko zamrznutí (toto riziko je v našich zeměpisných šířkách velké), pro chladiče vzduchu s odvlhčováním a pro domácí napájecí zásobníky. [3] [8] [9] [10]

Nevýhodou je časová prodleva po nastartování, kdy otopné těleso dosáhne určité teploty se zpožděním a také, pokud používáme více škrtených okruhů, vznikají v soustavě tlakové rozdíly, které ovlivňují jednotlivé okruhy. [3] [8] [9]



Obr. 3-5 Škrťací zapojení

1 – Vyvažovací ventil; 2 - Regulační ventil s pohonem; 3 – Regulator vytápění;  
4 – Teplotní čidlo; 5 – Uzavírací a vypouštěcí armatura [3]

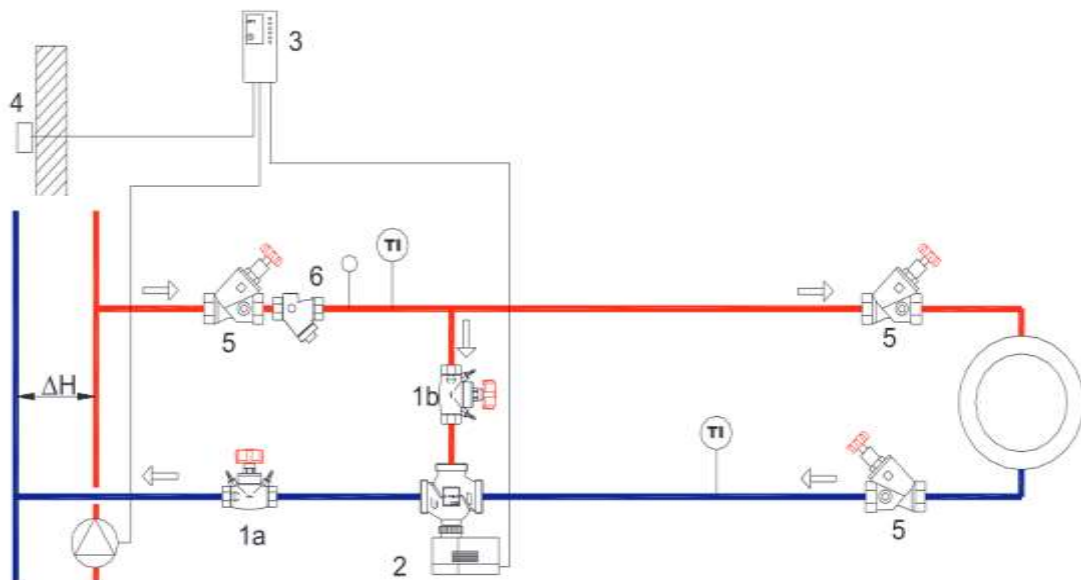
### 3.1.2 Rozdělovací okruh

Rozdělovací okruh je určitou modifikací škrťacího okruhu. Rozdílné je zde použití trojcestné směšovací armatury na zpátečce. Průtočné množství je zde regulováno pomocí změny zdvihu trojcestného ventilu. V závislosti na poloze ventilu je množství rozděleno mezi spotřebitelský okruh a obtok. Pokud je při regulaci ventil plně uzavřen, teplota vody vracející se do kotle je téměř shodná s teplotou, která kotel opouští. Dochází zde k tomu, že ventil uzavře průtok přes spotřebitelský okruh a voda proudí pouze obtokem. Čím více

je ventil uzavírán, tím větší je ochlazení na okruhu. V kotlovém okruhu nedochází k výrazným změnám tlaků a průtočné množství je zde také konstantní. Ve spotřebitelském okruhu ovšem dochází ke změně průtočného množství, a to díky regulaci pomocí trojcestného ventilu na zpátečce. Po spuštění otopná soustava dosáhne námi požadované teploty téměř okamžitě pouze s malým zpožděním. Tento čas lze snížit umístěním regulačního ventilu co nejbližší ke spotřebitelskému okruhu. [3] [8] [9]

Toto zapojení je vhodné použít například pro ohřívače vzduchu a pro chladiče vzduchu s odvlhčováním, kde není riziko zamrznutí. Jak již bylo řečeno, riziko zamrznutí je veliké. Také je možno toto zapojení použít pro systémy rekuperace tepla. Výhodou tohoto zapojení je rychlý náběh. [3] [8] [9]

Mezi nevýhody tohoto zapojení patří vysoká teplota vratné vody. Ta vzniká při částečném zatížení, kdy se vždy směšuje větší množství teplé vody s malým ze zpětného potrubí. Toto zapojení tedy není vhodné pro vyrovnávací zásobníky, kondenzační kotle a zdroje dálkového tepla. Nevýhodou zde může být i konstantní průtok přes kotlový okruh, jelikož není umožněna úspora energie čerpadla. [3] [8] [9]



Obr. 3-6 Rozdělovací zapojení

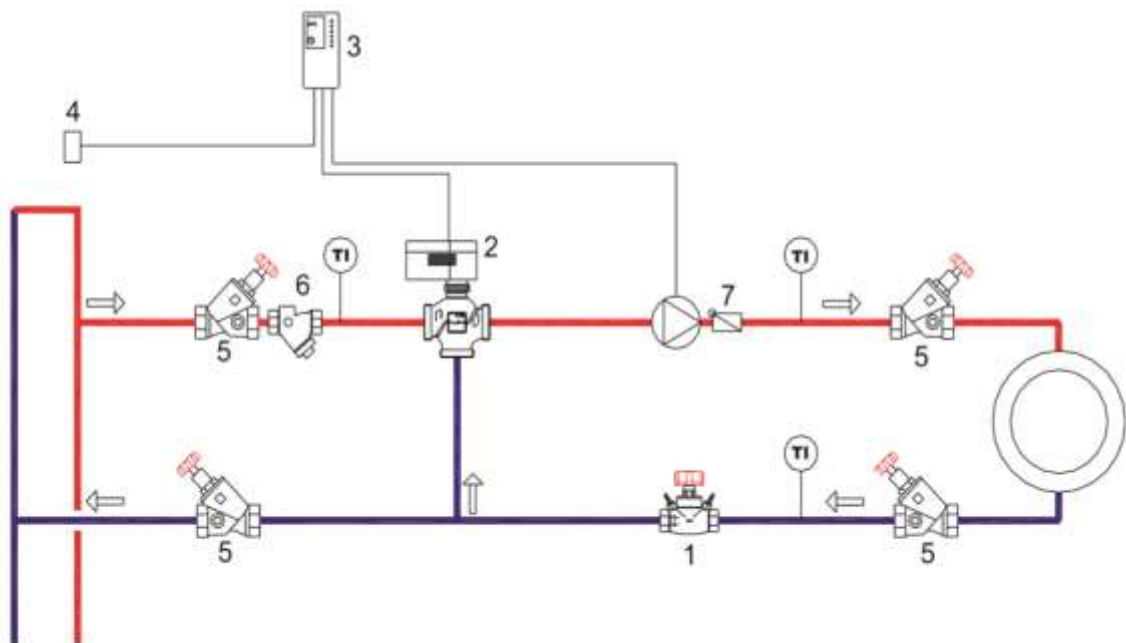
1 – Vyvažovací ventil; 2 – Trojcestný směšovací ventil s pohonem; 3 – Regulator vytápění;

## 3.2 Okruhy s kvalitativní regulací

### 3.2.1 Směšovací okruh

Tento typ hydraulického zapojení pracuje v protikladu k rozdělovacímu zapojení. Při tomto zapojení dochází ke směšování teplé vody od zdroje tepla s chladnější vratnou vodou. Jedná se o kvalitativní regulaci. Tímto směšováním dosáhneme požadované teploty pro otopnou soustavu. Ke směšování dochází v třicestném směšovacím ventilu, který okruh rozděluje na primární, tedy kotlový okruh, a sekundární, tedy okruh spotřebitelský. V tomto zapojení není přípustný tlakový rozdíl. Při malém zatížení je ve vratné části kotlového okruhu nízká teplota a proměnlivý průtok. Přes okruh s otopnými tělesy máme naopak konstantní průtok teplotné látky a proměnlivou teplotu, tím pádem zde máme nízký riziko zamrznutí u ohřivačů vzduchu. Jedná se o nejpoužívanější zapojení, jelikož jeho realizace je nejjednodušší. [3] [8] [9]

Toto zapojení je možné použít pro okruhy s otopnými plochami a pro ohřivače vzduchu s rizikem zamrznutí. Je také vhodné pro okruhy s nízkou teplotou od zdroje tepla nebo tepelných čerpadel. [3] [8] [9] [10]



Obr. 3-7 Směšovací zapojení

1 – Vyvažovací ventil; 2 - Směšovací ventil s pohonem; 3 – Regulátor ohřevu; 4 – Teplotní čidlo; 5 – Uzavírací a vypouštěcí armatura; 6 – Filtr; 7 – Zpětná klapka / Zpětný ventil [3]



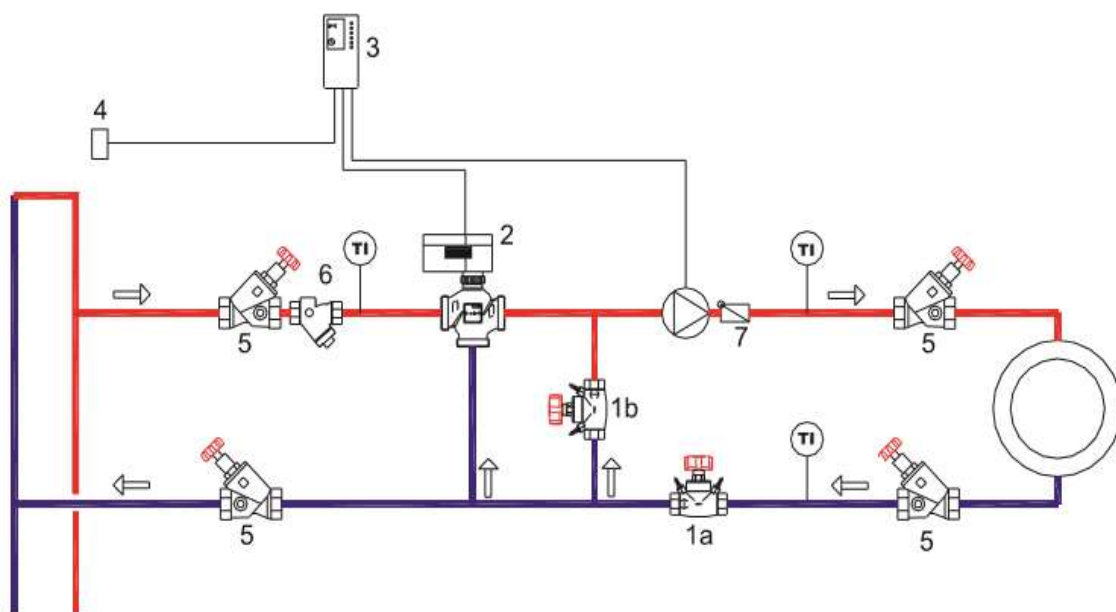
Nevhodné je použití tohoto zapojení pro okruhy s delšími vzdálenostmi jak dvacet metrů mezi směšovací uzlem a řídicím senzorem. Takto dlouhé vzdálenosti zapříčiňují veliké dopravní zpoždění a řízení soustavy se stává obtížnější. [3] [8] [9]

### **3.2.2 Směšovací okruh s pevným zkratem**

Směšovací okruh s dalším směšováním v pevném bodě potrubní sítě je také stejně jako prostý směšovací okruh rozdělen třicestným směšovacím ventilem na primární okruh a sekundární okruh. Toto zapojení se používá, pokud teplota vody v sekundárním okruhu je výrazně nižší jak teplota vody v primárním okruhu. Směšování v pevném bodě zajišťuje, že určité množství chladnější vracující se vody bude vždy přimícháno do proudu teplé vody proudící do spotřebitelského okruhu. V pevném bodě je zajištěn stálý směšovací poměr. Množství protékající vody spotřebitelským okruhem je nezávislé na poloze trojcestného ventilu. Při malém zatížení je teplota vratné vody ke zdroji vysoká, průtočné množství v primárním okruhu je proměnné a v sekundárním okruhu konstantní. [3] [8] [9]

Toto zapojení je vhodné pro okruhy s nízkou provozní teplotou. Využít je ho možné pro okruhy, kde teplota primárního okruhu je mnohem větší než požadovaná teplota teplotonosné látky ve spotřebitelském okruhu, systémy podlahového vytápění, zařízení využívající centralizovaný zdroj tepla a napojení na kondenzační kotle. [3] [8] [9]

Nevhodné je použití tohoto zapojení pro okruhy s delšími vzdálenostmi jak dvacet metrů mezi směšovacím uzlem a řídicím senzorem. Takto dlouhé vzdálenosti zapříčiňují veliké dopravní zpoždění a řízení soustavy se stává obtížnější. [3] [8] [9]



Obr. 3-8 Směšovací okruh s pevným zkratem

1 – Vyvažovací ventil; 2 - Směšovací ventil s pohonem; 3 – Regulátor ohřevu;  
 4 – Teplotní čidlo; 5 – Uzavírací a vypouštěcí armatura; 6 – Filtr; 7 – Zpětná klapka /  
 Zpětný ventil [3]

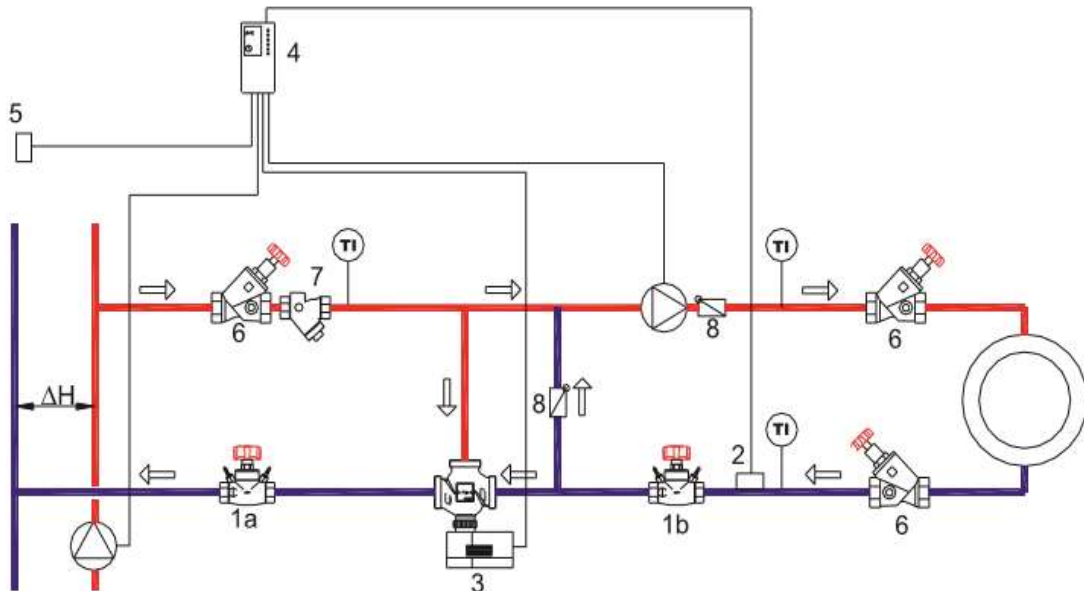
### 3.2.3 Okruh se směšováním v pevném bodě s předúpravou

V tomto okruhu je potřebný tlakový rozdíl. Dochází zde ke směšování teplé vody s chladnější vratnou vodou, která je přimíchávána do teplejší v pevném bodě potrubní sítě. V primárním okruhu produkuje čerpadlo tlak potřebný pro pokrytí tlakových ztrát vzniklých v první části v trojcestném ventilu. Následně dojde k směšování teplé a chladnější vratné vody. Tlakové ztráty spotřebitelského okruhu a směšování v pevném bodě pokrývá druhé čerpadlo. Výsledkem tohoto procesu je konstantní průtočné množství a proměnná teplota v sekundárním okruhu a konstantní průtočné množství v primárním okruhu. [3] [8] [9]

Výhodou tohoto zapojení je velice rychlá odezva po zátopu, a to díky teplé vodě, která je stále přítomna na regulačním ventilu. Toho se využívá, pokud potřebujeme rychle dodat velké množství tepelné energie do spotřebitelského okruhu. Další výhodou je autorita ventilu s hodnotou téměř jedna. Té je dosaženo konstantním průtokem v sekundárním okruhu a díky tomu je soustava skvěle regulovatelná. Zapojení je vhodné použít pro okruhy s otopnými tělesy a pro okruhy podlahového vytápění. Dále

je také možné využít toto zapojení pro ohřivače vzduchu s malým rizikem zamrznutí, chladiče vzduchu bez kontroly odvlhčování a domácí zásobníky teplé vody. [3] [8] [9]

Vzhledem k trvale zvýšené teplotě zpátečky je nevhodné používat toto zapojení pro systémy s kondenzačními kotly nebo pro napojení na centralizované zásobování teplem. [3] [8] [9]



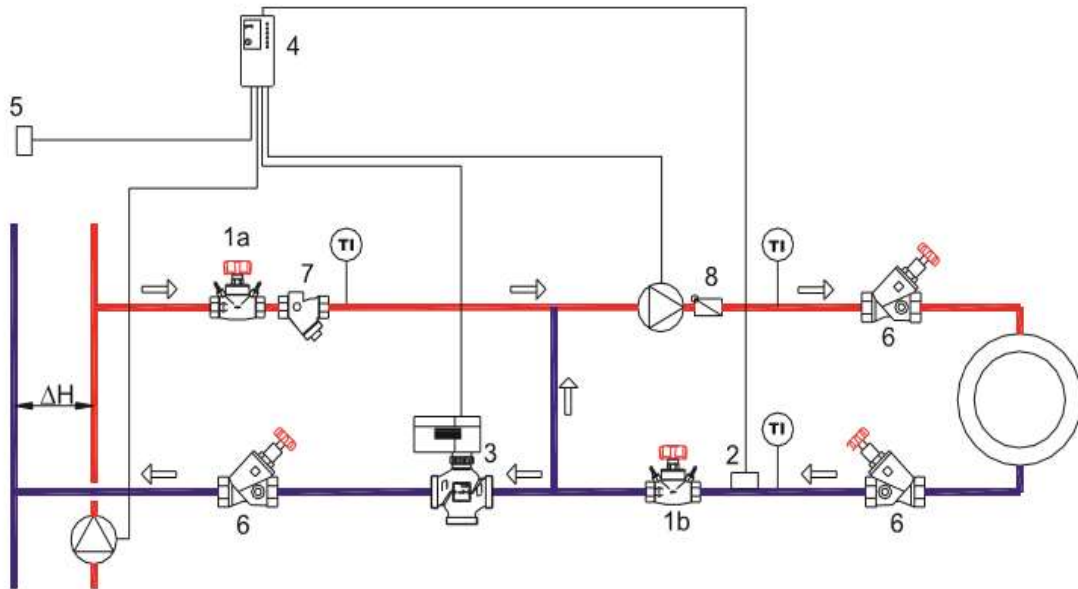
Obr. 3-9 Okruh se směřováním v pevném bodě s předúpravou

1 – Vyvažovací ventil; 2 – Příložné teplotní čidlo; 3 - Směšovací ventil s pohonem;  
4 – Regulator ohřevu; 5 – Teplotní čidlo; 6 – Uzavírací a vypouštěcí armatura; 7 – Filtr;  
8 – Zpětná klapka / Zpětný ventil [3]

### 3.2.4 Okruh se směšováním v pevném bodě potrubní sítě

V tomto okruhu je též potřebný tlakový rozdíl. Dochází zde ke směšování teplé vody s chladnější vratnou vodou, která je přimíchávána do teplejší pomocí zkratu. V primárním okruhu produkuje čerpadlo tlak, který se odvíjí podle zdvihu dvoucestného ventilu. Následně dojde k směšování teplé a chladnější vratné vody. Druhé čerpadlo pokrývá tlakové ztráty spotřebitelského okruhu. Výsledkem je konstantní průtočné množství a proměnná teplota v sekundárním okruhu. V primárním okruhu je průtočné množství a tlaková diference velice proměnná. Je zde malé riziko zamrznutí u ohřivačů vzduchu. [3] [8] [9]

Výhodou tohoto zapojení je práce s rozdílnými tlaky a možnost nezávislého nastavení průtoku v primární a sekundární straně. Je možné ho použít pro ohřev zásobníků tepla, kondenzační kotle nebo pro centralizované zdroje tepla. [3]



Obr. 3-10 Okruh se směřováním v pevném bodě potrubní sítě

1 – Vyvažovací ventil; 2 – Příložné teplotní čidlo; 3 – Dvoucestný regulační ventil s pohonem; 4 – Regulátor; 5 – Teplotní čidlo; 6 – Uzavírací a vypouštěcí armatura; 7 – Filtr; 8 – Zpětná klapka / Zpětný ventil [3]

## 4 POROVNÁNÍ KVALITATIVNÍHO A KVANTITATIVNÍHO ŘÍZENÍ OTOPNÝCH SOUSTAV

V praxi se můžeme setkat s mnoha druhy otopných soustav. Pro náš experiment budeme uvažovat tři typy otopné soustavy. Ty se od sebe liší teplotním exponentem otopné plochy  $n$ . Prvním typem bude otopné těleso, druhým podlahové vytápění a třetím soustava s konvektory bez ventilátoru. Pro tyto druhy nejprve provedeme srovnání kvalitativní a kvantitativní regulace. Poté výsledky porovnáme mezi sebou.

Jak již bylo řečeno výše, pro kvantitativní regulaci budeme počítat závislost poměrného průtoku otopnou soustavou na zatížení otopné soustavy. Tato závislost je dána vztahem:

$$\psi = \frac{0,5 \cdot \delta t_N \cdot \varphi}{t_{w1} - t_i - \Delta t_N \cdot \varphi^{\frac{1}{n}}}$$

kde  $\delta t_N$  je jmenovité ochlazení na otopné ploše,  $\varphi$  je zatížení otopné soustavy,  $t_{w1}$  je teplota přívodní vody,  $t_i$  je vnitřní výpočtová teplota a  $\Delta t_N$  je jmenovitý střední teplotní rozdíl mezi teplotou teplonosné látky a teplotou okolí.

Kvalitativní regulace je dána závislostí teploty přívodní vody a teploty vratné vody na zatížení otopné soustavy. Pro výpočet teploty přívodní vody použijeme vztah:

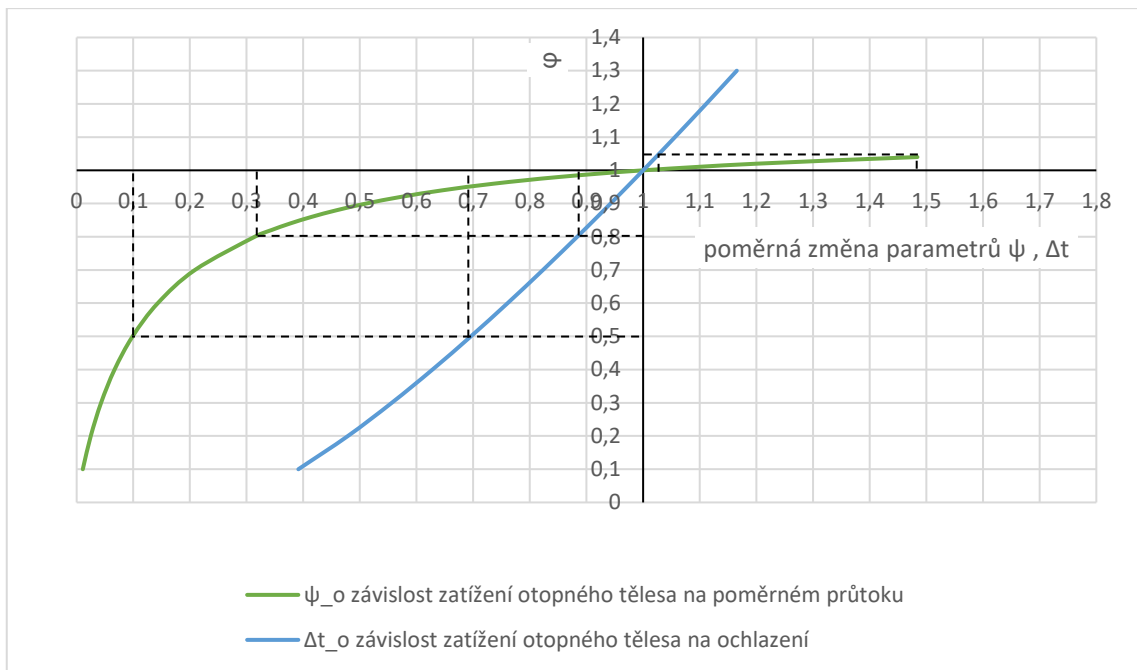
$$t_{w1} = t_i + \Delta t_N \cdot \varphi^{\frac{1}{n}} + \frac{\delta t_N}{2} \cdot \varphi,$$

kde  $t_i$  je vnitřní výpočtová teplota,  $\Delta t_N$  je jmenovitý střední teplotní rozdíl mezi teplotou teplonosné látky a teplotou okolí,  $\varphi$  je zatížení otopné soustavy a  $\delta t_N$  je jmenovité ochlazení na ploše.

Pro výpočty kvantitativní regulace bude teplota přívodní vody konstantní a bude rovna 75 °C. Pro kvalitativní regulaci bude teplota vstupní vody proměnná. Teplota zpátečky bude rovna 65 °C. Jmenovité ochlazení na ploše je dáno rozdílem těchto dvou teplot a je rovno 10 K. Vnitřní výpočtová teplota je 20 °C. Jmenovitý střední teplotní rozdíl je roven rozdílu střední teploty teplonosné látky a teploty okolí a jeho hodnota je 20 K.

## 4.1 Otopné těleso

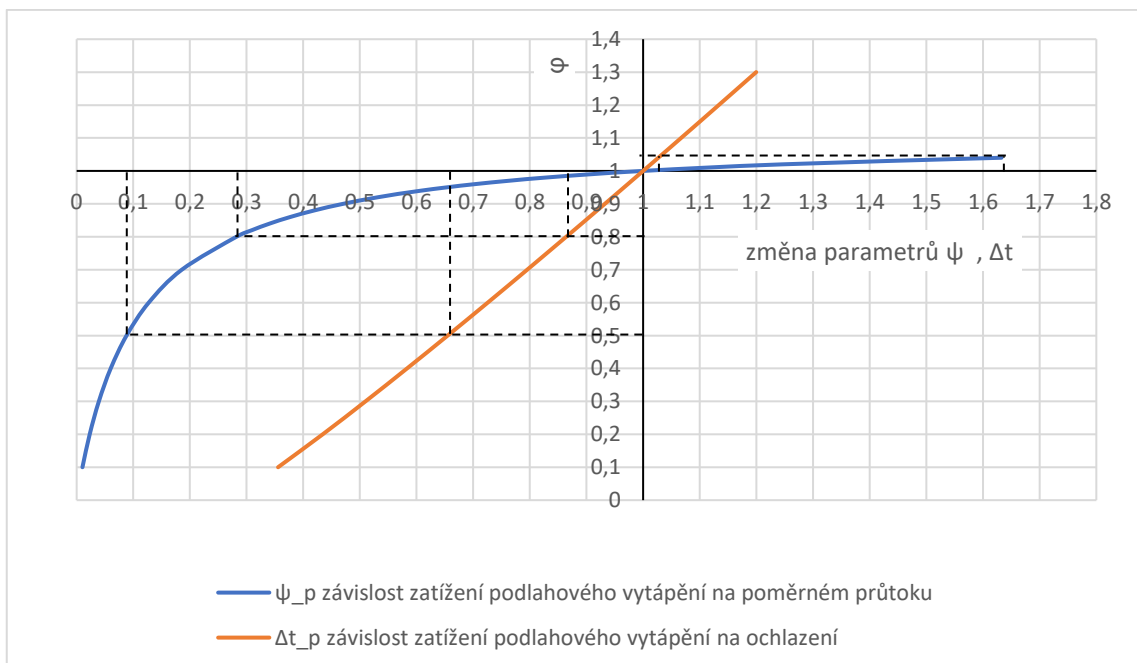
Pro otopné těleso je teplotní exponent roven hodnotě 1,33. Po dosazení hodnot do vzorce dostaneme následující graf. Následně provedeme posouzení změny průtoku a změny teploty přívodní vody v závislosti na zatížení. Pro výkon soustavy 50 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 10 % a poměrné změny teploty přívodní vody 69 %. Pro výkon soustavy 80 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 32 % a poměrné změny teploty přívodní vody 88 %. Pokud zvýšíme výkon nad 100 %, je potřeba při kvantitativní regulaci mnohem větší změna průtočného množství než při kvalitativní regulaci změna teploty přívodní vody. Pro výkonu soustavy 104 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 148 % a poměrné změny teploty přívodní vody 103 %. Z průběhů obou charakteristik lze říci, že kvantitativní regulace má nejmenší účinnost vzhledem k regulaci tepelného výkonu. Regulace kvalitativní, tedy regulace změny teploty, má mnohem větší účinnost.



Obr. 4-1 Závislost zatížení na poměrném průtoku a na rozdílu teplot u otopného tělesa s teplotním exponentem  $n = 1,33$

## 4.2 Podlahová otopná plocha

Dalším typem otopné soustavy pro náš experiment je podlahové vytápění, nebo podlahový konvektor s nuceným vybíjením tepla. Teplotní exponent otopné plochy je pro tento druh roven hodnotě 1,1.

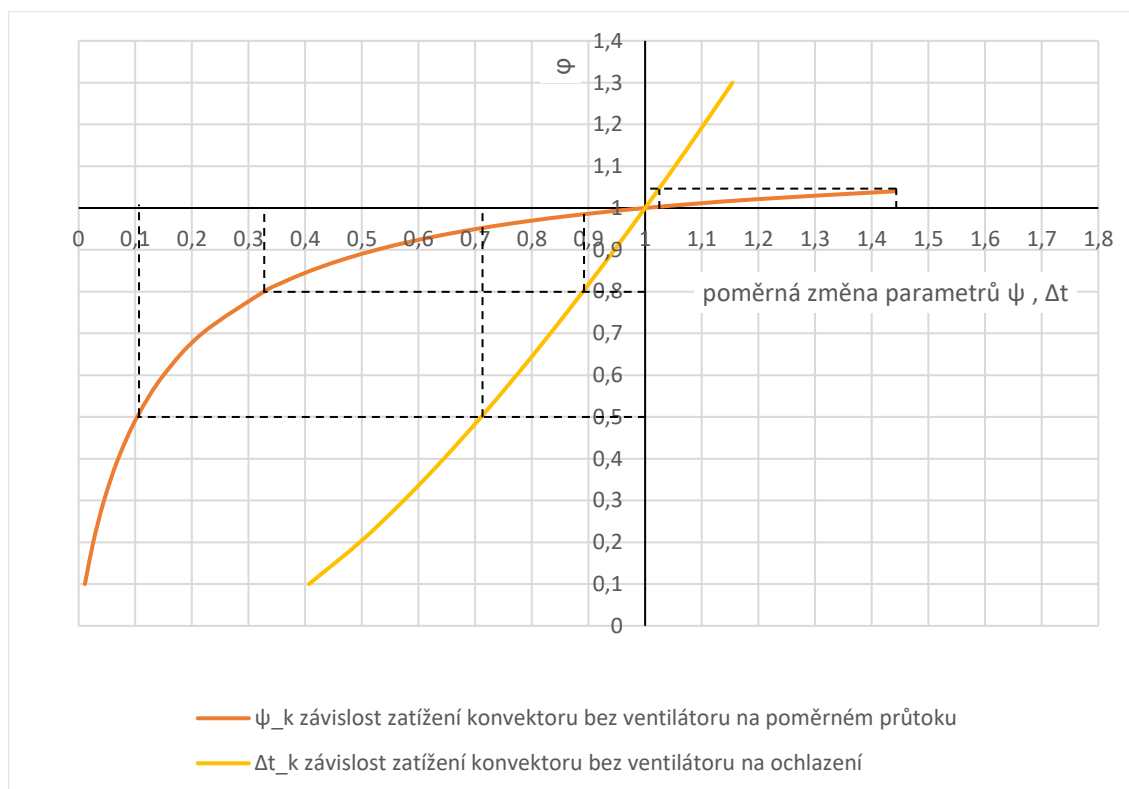


Obr. 4-2 Závislost zatížení na poměrném průtoku a na rozdílu teplot u podlahové otopné plochy s teplotním exponentem  $n = 1,1$

Po dosazení hodnot dostáváme téměř totožný graf, který jsme dostali pro předchozí druh otopné soustavy. Následně provedeme posouzení změny průtoku a změny teploty přívodní vody v závislosti na zatížení. Pro výkon soustavy 50 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 9 % a poměrné změny teploty přívodní vody 66 %. Pro výkon soustavy 80 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 28 % a poměrné změny teploty přívodní vody 86 %. Pokud zvýšíme výkon nad 100 %, je potřeba při kvantitativní regulaci mnohem větší změna průtočného množství než při kvalitativní regulaci změna teploty přívodní vody. Pro výkon soustavy 104 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 164 % a poměrné změny teploty přívodní vody 104 %. Z grafu lze vyčíst, že pro dosažení stejného výkonu otopné soustavy je pro podlahové vytápění nutná větší změna parametrů než pro otopné těleso.

### 4.3 Konvektor bez ventilátoru

Posledním typem otopné soustavy v našem experimentu je soustava s konvektory bez ventilátoru. Teplotní exponent této soustavy má hodnotu 1,4. Dosazením hodnot opět dostáváme velice podobný graf, který se nepatrně liší. Poté provedeme posouzení změny

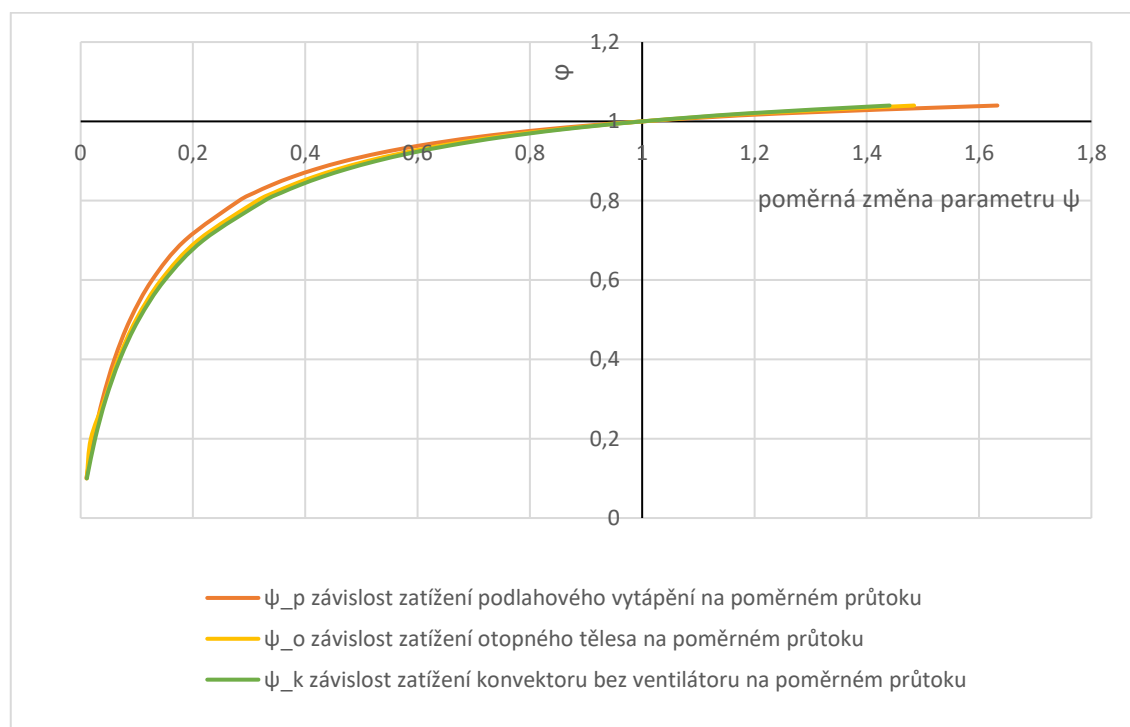


Obr. 4-3 Závislost zatížení na poměrném průtoku a na rozdílu teplot u otopného tělesa v podobě konvektoru s přirozeným vybijením tepla s teplotním exponentem  $n = 1,4$

průtoku a změny teploty přívodní vody v závislosti na zatížení. Pro výkon soustavy 50 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 11 % a poměrné změny teploty přívodní vody 72 %. Pro výkon soustavy 80 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 33 % a poměrné změny teploty přívodní vody 89 %. Pokud zvýšíme výkon nad 100 %, je potřeba při kvantitativní regulaci mnohem větší změna průtočného množství než při kvalitativní regulaci změna teploty přívodní vody. Pro výkonu soustavy 104 % dostaneme z grafu hodnotu poměrné změny průtoku 144 % a poměrné změny teploty přívodní vody 102 %. Na grafu je vidět, že co se týče výkonu soustavy s konvektory bez ventilátoru, je potřeba nejmenší změna parametrů ze všech tří soustav.

#### 4.4 Porovnání výsledků

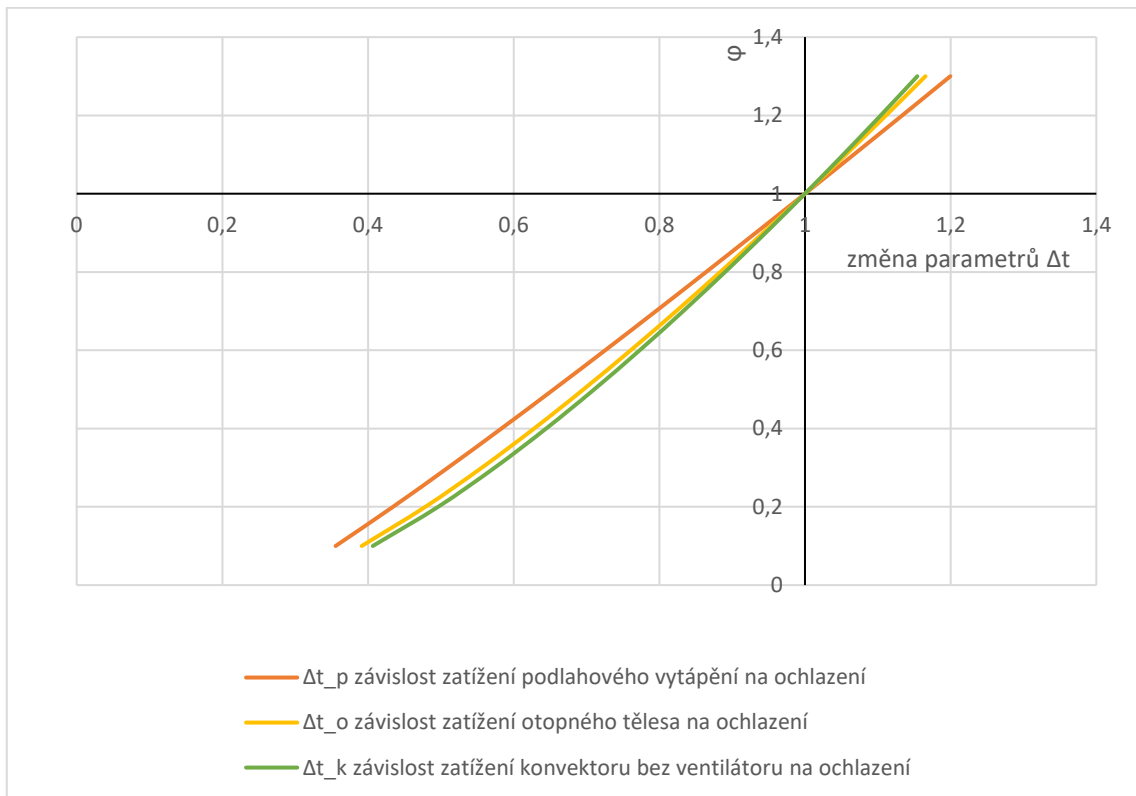
Nejprve spolu porovnáme grafy jednotlivých soustav pro kvantitativní regulaci. Po složení jednotlivých výsledků dostáváme následující graf. Z toho je možné vyčíst, že pokud výkon soustavy nepřesáhne 100 %, jeví se jako nejefektivnější podlahové vytápění, poté otopné těleso, a nakonec soustava s konvektory bez ventilátoru. Pokud výkon přesáhne 100 %, nejefektivnější je naopak soustava s konvektory bez ventilátoru následovaný otopným tělesem a podlahovým otopným tělesem.



Obr. 4-4 Porovnání závislosti zatížení na poměrném průtoku u sledovaných otopných ploch s teplotním exponentem  $n = 1,1; 1,33$  a  $1,4$

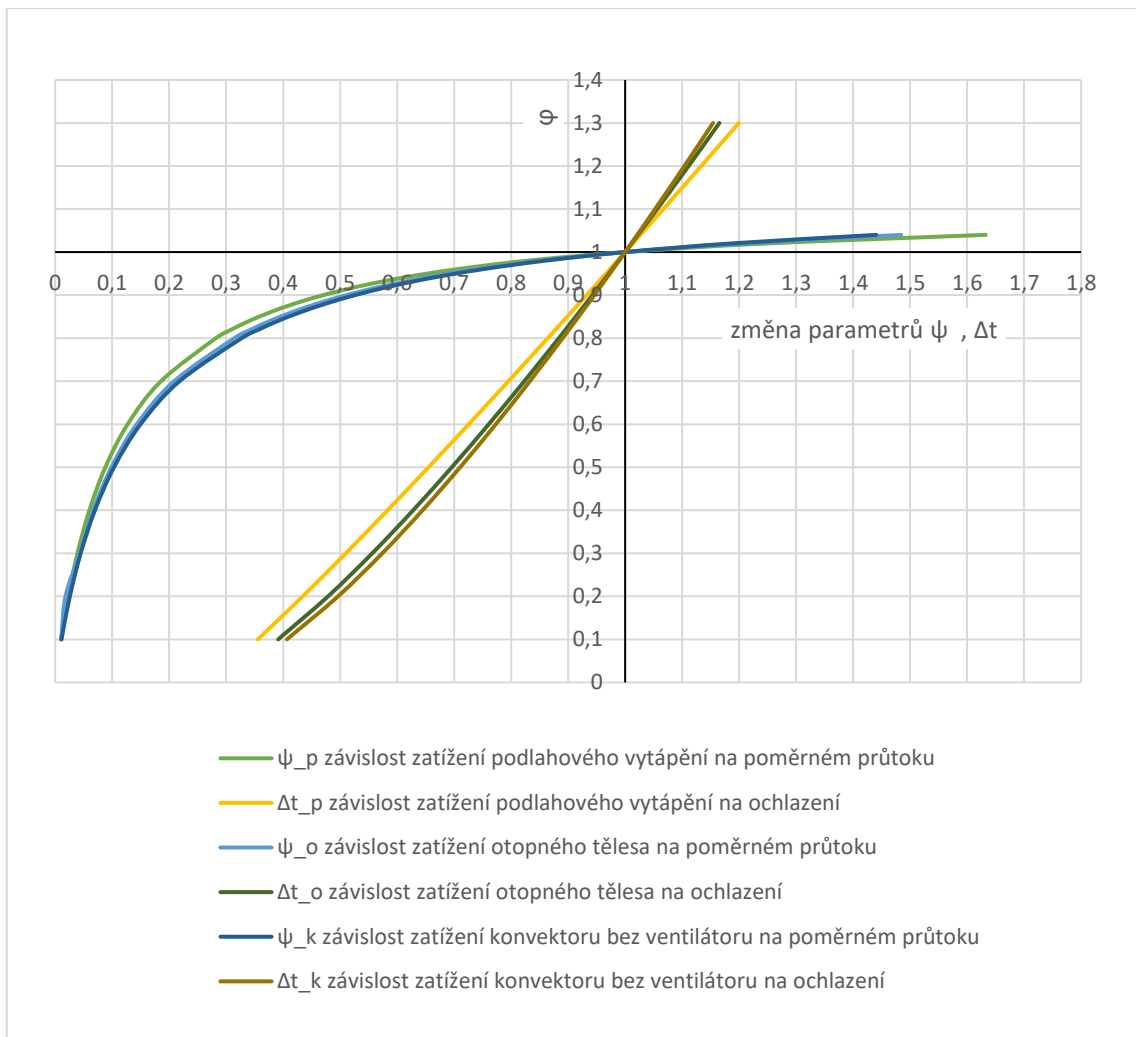


Dále porovnáme grafy soustav pro kvalitativní regulaci. Po sestavení dostaneme graf, ze kterého je vidět, že pokud výkon soustavy nepřesáhne 100 %, nejefektivnější soustavou je opět podlahové vytápění, poté otopné těleso, a nakonec soustava s konvektory bez ventilátoru. Pokud výkon přesáhne 100 %, nejefektivnější je opět soustava s konvektory bez ventilátoru následovaný otopným tělesem a podlahovým vytápěním.



Obr. 4-5 Porovnání závislosti zatížení na rozdílu teplot u sledovaných otopných ploch s teplotním exponentem  $n = 1,1; 1,33$  a  $1,4$

Pokud oba dva grafy spojíme dohromady, je jasně vidět, že nejlépe regulující je regulace kvalitativní oproti regulaci kvantitativní. Na zvětšení výkonu soustavy regulované kvalitativně stačí mnohem menší změna parametrů. Co se týče dosažení výkonu vyššího jak 100 %, vidíme že u kvantitativní regulace by byla potřeba opravdu velká změna průtočného množství. Dá se tedy říci, že pokud chceme regulovat soustavu kvantitativně, nebudeme moci výrazně zvyšovat výkon soustavy nad 100 % zvyšováním průtoku.



Obr. 4-6 Souhrnné porovnání závislosti zatížení na poměrném průtoku a rozdílu teplot pro sledované otopné plochy

## 5 ZÁVĚR

V dnešní době můžeme regulaci vidět všude kolem nás. Obklopuje nás ať už v našich domovech či budovách, ve kterých trávíme náš čas prací nebo jinou aktivitou. Dnešní designéři nebo architekti se snaží, aby v interiéru nebyla otopná tělesa příliš nápadná a upřednostňují spíše otopné soustavy, které vidět nejsou. Začínají se tedy spíše používat konvektory zapuštěné v podlaze nebo podlahové vytápění místo klasických článkových otopných těles. Co se týče regulace existují dva druhy – kvalitativní a kvantitativní. Pod pojmem kvantitativní regulace se myslí regulace soustavy změnou průtočného množství teplotné látky. Kvalitativní regulace znamená řízení výkonu otopné soustavy změnou teploty přívodní vody. Ke každému způsobu regulace existuje několik možných

způsobů zapojení okruhu. Pro kvantitativní regulaci například škrťací okruh a rozdělovací okruh. Pro kvalitativní regulaci se používá jiné zapojení okruhu, a to například směšovací okruh. Tyto okruhy mohou být následně ještě modifikovány. Nejjednodušším typem je škrťací okruh. Toto zapojení je zároveň nejlevnější. Ovšem co se týče efektivity řízení soustavy, není toto zapojení příliš účinné.

V bakalářské práci jsem se zabýval porovnáním kvalitativní a kvantitativní regulace pro tři typy otopných soustav, a to otopné těleso, podlahové vytápění a konvektor bez ventilátoru. Pro výpočet jsem uvažoval běžné podmínky. Po dosazení jednotlivých parametrů do rovnic pro různé hodnoty proměnných parametrů, tedy průtočného množství a teploty vstupní vody, jsem sestrojil grafy. Jak můžeme vidět, kvalitativní regulace je mnohem efektivnější než regulace kvantitativní. Ta má i značnou nevýhodu, pokud chceme výkon soustavy zvýšit nad hodnotu 100 %. Graf jasně ukazuje, že pro dosažení například výkonu 104 % bychom museli zvýšit průtočné množství přibližně jedenapůlkrát. Ze srovnání jednotlivých druhů otopných soustav vychází jako nejlépe regulující soustava do 100 % výkonu podlahové vytápění, poté otopné těleso, a nakonec konvektor bez ventilátoru. Pokud překročíme výkon nad 100 %, pořadí se prohodí a nejlépe regulující soustavou je konvektor bez ventilátoru.

## 6 LITERATURA

- [1] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: ČVUT v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [2] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: ČVUT v Praze, 2003. ISBN 80-01-02808-9
- [3] JAUSCHOWETZ, Rudolf. *Srdce teplovodního topení – hydraulika*. Vídeň: Herz armaturen Ges.m.b.H., 2004. ISBN 3-
- [4] Způsoby regulace teploty v domě [online]. *Viesmann.cz*. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/regulace-teploty-v-dome.html>.
- [5] Kv - Jmenovitý průtok - Průtokový součinitel [online]. *eTZBshop.cz*. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://www.etzbshop.cz/advisor/kv-jmenovity-prutok-prutokovy-soucinitel>.
- [6] Učební text pro obor Instalatér, 2. ročník [online]. *Střední škola polytechnická, Brno, Jilová 36g* [cit. 2019-04-06]. ISBN 978-80-88058-29-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/176/02.html>
- [7] Regulační armatury [online]. *Slideplayer.cz*. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1951222/>.
- [8] Hydronics in building systems [online]. *Siemens.com*. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V11158658>.
- [9] CHATERED INSTITUTION OF BUILDING SERVICES ENGINEERS. *Building control systems*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000. ISBN 07506 504 78
- [10] BAŠTA, Jiří. *Regulace vytápění*. Praha: ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02582-9
- [11] MAREŠ, Jan. Vlastnosti a specifika použití podlahových konvektorů [online]. *TZB-info*. [cit. 2019-04-06]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/1188-tzb-2002-vlastnosti-a-specifika-pouziti-podlahovych-konvektoru>.
- [12] BAŠTA, Jiří. Regulační armatury I [online]. *TZB-info*. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2181-regulacni-armatury-teoreticka-zakladna-i>

[13] BAŠTA, Jiří. Regulační armatury II [online]. *TZB-info*. [cit. 2019-03-04]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2198-regulacni-armatury-teoreticka-zakladna-ii>

[14] Regulace otopných soustav [online]. *TZB-info*. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/regenerace-domu/323-regulace-otopnych-soustav>

[15] BAŠTA, Jiří. Možnosti moderních způsobů regulace [online]. *TZB-info*. [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>

[16] BAŠTA, Jiří. *Hydraulic circuits with variable and constant flow* [prezentace]. Praha: ČVUT Fakulta strojní, 28. 3. 2019.

## **7 SEZNAM PŘÍLOH**

Nástroj pro výpočet získaných hodnot – CD – výpočty.xlsx