

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**PROBLEMATIKA POTRUBNÍCH SÍTÍ
VE VYTÁPĚNÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Matějka** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **473601**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Problematika potrubních sítí ve vytápění

Název bakalářské práce anglicky:

Piping Networks Issues in Heating System

Pokyny pro vypracování:

Podrobně zmapujte jednotlivá potrubí využívaná pro instalaci v otopných soustavách. Součástí práce bude teoretický rozbor výpočtu tlakových ztrát potrubní sítě včetně využití tzv. kvs hodnoty a problematika termostatických regulačních ventilů a regulačního šroubení. Na zadaném modelovém příkladu vertikální otopné soustavy se šesti otopnými tělesy zmapujte tepelnotechnické chování hydraulicky vyvážené a nevyvážené potrubní sítě.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003. ? 252 s., 209 obr., ISBN 80-01-02808-9.
Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika nakladatelství ČVUT. Praha 2014, 194s., ISBN 978-80-01-05455-0.
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: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

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



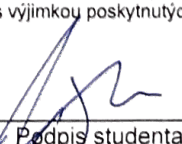
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

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.

30.4.2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za pomoc, podklady, věcné připomínky, vstřícnost a čas, který mi věnoval při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Souhrn

Cílem této práce je zmapování problematiky, se kterými se můžeme setkat při návrhu rozvodů potrubí a hydraulické části základní otopné soustavy včetně její regulace. V práci jsou rozepsané jednotlivé materiály potrubí, které se ve vytápění používají, jejich výhody a vhodnost jejich použití.

Dále se práce věnuje tlakovým ztrátám, jejich výpočtu a na příkladu je uveden výpočet tlakové ztráty ventilu za pomoci k_{VS} hodnoty. Část práce se zabývá také regulací otopné soustavy, a to dynamickou regulací a statickou regulací – tzv. hydraulickým vyvažováním.

Hydraulickému vyvažování je věnována hlavně poslední část práce. V té uvádím příklad vertikální větve otopné soustavy se šesti tělesy, na které je zdůrazněna důležitost hydraulického vyvažování a znázornění nedosažitelnosti požadovaných tepelných výkonů při jejím opomenutí.

Summary

This bachelor thesis aims to delineate the issues that may be encountered in the design of pipelines and hydraulic components of the basic heating system, inclusive of its regulation.

The work describes the respective materials of pipes used in heating in conjunction with their advantages and suitability of their use.

Furthermore, the work deals with pressure losses and their calculation. Calculation of pressure losses of valves using the k_{VS} value is shown on an example. Another section of this work implies the regulation of the heating system. The dynamic regulation and static regulation, commonly called the hydronic balancing.

The ultimate part of this thesis is above all devoted to hydronic balancing. An example of a vertical leg of a heating system with six panel radiators can be found here. Besides, it shows the importance of hydronic balancing along with the unreachability of the required heat outputs when omitted.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Problematika potrubních sítí ve vytápění“ 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 25. 06. 2020

Lukáš Matějka

OBSAH

1	Úvod	1
2	Potrubí	3
2.1	Materiál potrubí	4
2.1.1	Potrubí z oceli	4
2.1.2	Potrubí z mědi	5
2.1.3	Potrubí z plastu	5
2.2	Tepelná izolace potrubí	8
2.3	Drsnost potrubí	9
2.4	Teplotní délková roztažnost	10
3	Hydrodynamika otopné soustavy	11
3.1	Ztráty třením	11
3.2	Ztráty místními odpory	14
3.3	Celková tlaková ztráta, bilance tlaků	14
4	Regulace tepelného výkonu otopných těles	15
4.1	Statická regulace	16
4.1.1	Regulační šroubení a přednastavení TRV	16
4.1.2	Vyvažovací armatury	17
4.2	Dynamická kvantitativní regulace	17
4.2.1	Termostatické hlavice	18
4.2.2	Elektronická hlavice	20
4.2.3	Regulace otáček oběhového čerpadla	20

4.2.4	Regulátory tlakové difference.....	21
4.2.5	Prostorové termostaty	21
4.3	Dynamická kvalitativní regulace – ekvitermní regulace	23
5	Příklad vertikální větve otopné soustavy	24
5.1	Hmotnostní průtoky a návrh potrubí.....	26
5.2	Výpočet tlakových ztrát paralelní větve	27
5.2.1	Tlaková ztráta jednotlivých úseků.....	27
5.2.2	Tlaková ztráta jednotlivých okruhů otopných těles.....	30
5.3	Hydraulické vyvažování	30
5.3.1	Otopná soustava bez hydraulického vyvážení.....	31
5.3.2	Hydraulické vyvážení otopné soustavy	32
6	Závěr.....	35
7	Literární zdroje	37

Soupis použitého značení

c	Měrná tepelná kapacita	[J/kgK]
d	Vnitřní průměr potrubí	[m]
k	Absolutní drsnost potrubí	[m]
l	Délka úseku potrubí	[m]
Δl	Rozdíl délky úseku	[m]
m	Hmotnostní průtok	[kg/s]
p_d	Dynamický tlak	[Pa]
Δp_0	Tlaková ztráta 100 kPa = 1 bar	[Pa]
$\Delta p_{\dot{c}}$	Dopravní tlak čerpadla	[Pa]
Δp_V	Tlaková ztráta ventilu	[Pa]
$\Delta p_o = \Delta p_{DISP}$	Dispoziční rozdíl tlaků	[Pa]
Δp_z	Celková tlaková ztráta	[Pa]
$\Delta p_{z0 REF}$	Referenční tlaková ztráta	[Pa]
Δp_{zC}	Celková tlaková ztráta vyváženého okruhu	[Pa]
$\Delta p_{zm} = Z$	Tlaková ztráta místními odpory	[Pa]
Δp_{zp}	Průměrná tlaková ztráta okruhů	[Pa]
$\Delta p_{z R\dot{S}}$	Tlaková ztráta regulačního šroubení	[Pa]
Δp_{zt}	Tlaková ztráta třením	[Pa]
$\Delta p_{z TRV}$	Tlaková ztráta TRV	[Pa]
Δp_p	Účinný tlak okruhu	[Pa]
Q	Tepelný výkon	[W]
R	Měrná tlaková ztráta	[Pa/m]
Re	Reynoldsovo číslo	[-]
t_p	Teplota přívodní teplotnosné látky do OT	[K]
t_v	Teplota výstupní teplotnosné látky z OT	[K]
Δt	Rozdíl teplot	[K]

U	Součinitel prostupu tepla	[W/m ² K]
V	Objemový průtok	[m ³ /s]
w	Střední rychlost proudění	[m/s]
α	Součinitel teplotní délkové roztažnosti	[1/K]
λ	Součinitel tlakové ztráty třením	[-]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]
ζ	Součinitel místních odporů	[-]
ρ	Hustota vody	[kg/m ³]

1 ÚVOD

Správně navržené vytápění je jeden ze základních kamenů dosažení tepelné pohody. Ať už v bytech či rodinných domech, nebo v administrativních budovách, pro dosažení komfortu k vykonávání potřebné činnosti se bez vytápění neobejdeme. Zásadní pro vytápění je správný výpočet a návrh celé otopné soustavy.

Otopná soustava zajišťuje rozvod tepla prostřednictvím teplotonosné látky k jednotlivým otopným tělesům za účelem vytápění místností daného objektu, které bylo vyrobeno a předáno teplotonosné látce ve zdroji tepla. Součástí otopné soustavy jsou z důvodu bezpečnosti a možnosti údržby různé armatury, zabezpečovací zařízení a jiné prvky, bez kterých by se otopná soustava neobešla. Pro rozvod teplotonosné látky, kterou je většinou voda, se používá potrubí různých materiálů, které je doplněno o prvky jako jsou kolena, T-kusy a jiné. Všechny tyto prvky ovlivňují hydraulickou ztrátu jednotlivých větví otopné soustavy. Z důvodu úspory energie, ať už s ohledem na snížení nákladů či ekologický provoz budovy, je nutná regulace tepelného výkonu jednotlivých otopných těles, popřípadě celých větví. Ještě důležitější, než průběžná (dynamická) regulace je hydraulické vyvážení otopné soustavy. Bez hydraulického vyvážení nejsme schopni získat požadované výkony otopných těles, protože od přírody bude voda proudit cestou nejmenšího odporu. To znamená, například u vertikálních větví, že by otopná tělesa nejbližší zdroji tepla, která mají v rámci svého okruhu nejmenší hydraulickou ztrátu, přiváděla do místnosti větší výkon (tj. i několikanásobný průtok otopné vody, než je jmenovitý) a tělesa nejdále od zdroje tepla menší tepelný výkon, než je požadován. Vzhledem k rychlosti proudění vody otopným tělesem bychom v reálném prostředí ani nebyli schopni celý tepelný výkon přenést do vytápěného prostoru. Odváděli bychom tedy z tělesa vodu s minimálním poklesem teploty. Při zvýšení průtoku, ve snaze zajištění dostatečného tepelného výkonu i u vzdálených otopných těles, by mohlo docházet ke zvýšení hlučnosti níže položených otopných těles, kde by byl průtok několikanásobně vyšší.

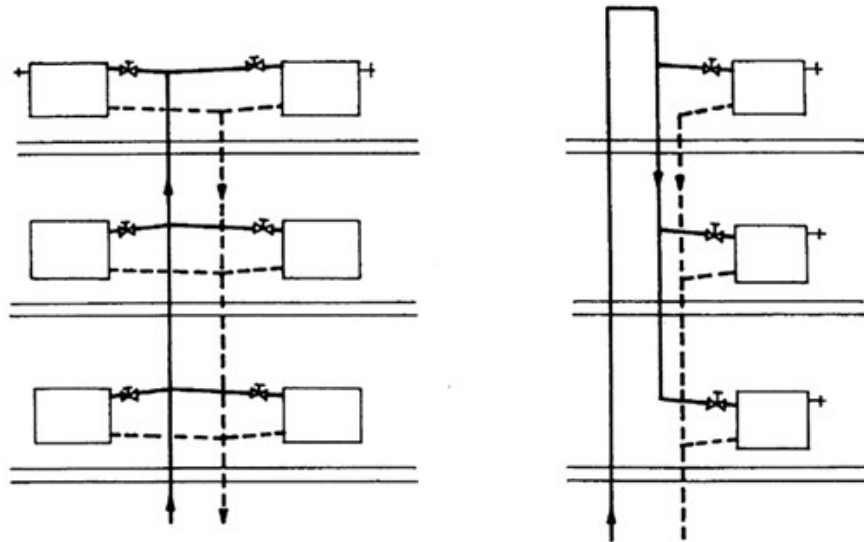
Závažnost hydraulického vyvažování je odlišná v závislosti na navrženém druhu otopné soustavy. U soustav s nuceným oběhem docílíme lepší pružnosti systému, protože oběhové čerpadlo dokáže vyvinout dopravní tlak, kterého u soustavy s přirozeným oběhem nejsme schopni dosáhnout. Díky vyššímu tlaku se nám tedy naskytne také více možností regulace. S otopnými soustavami s otevřenou expanzní nádobou už se setkáme

pouze u starších budov, neboť voda v otevřené expanzní nádobě může zamrznat, sytí se kyslíkem a musí se doplňovat. Těmto nepříjemnostem se vyhneme při použití správně navržené tlakové expanzní nádoby. Soustava s nuceným oběhem se používá převážně jako dvoutrubková protiproudá, která nejvíce znevýhodňuje tělesa vzdálená od zdroje tepla, protože jejich okruhy mají nejvyšší tlakovou ztrátu. Z toho důvodu nejvíce vyžaduje hydraulické vyvážení. Vyznačují se tím, že přívodní i vratné potrubí vede k otopným tělesům souběžně a v přívodním a vratném potrubí proudí voda opačným směrem. Naopak souprůdné zapojení, takzvaný „Tichelmann“, je z hlediska hydraulického vyvažování nejprívětivější, protože každé otopné těleso má přibližně stejnou vzdálenost, resp. okruh každého otopného tělesa je přibližně stejně dlouhý. Rozdíl mezi souprůdným a protiprůdným zapojením je viditelný na Obr. 1. Zapojení se používá v případech, kde půdorys budovy umožňuje vedení potrubí ve smyčce takovým způsobem, aby nikde nebyly vedeny tři trubky vedle sebe. Využívá se především jako hlavní ležatý rozvod pro napojování jednotlivých stoupaček, napojení solárních kolektorů, nebo například při propojování více kotlových jednotek.

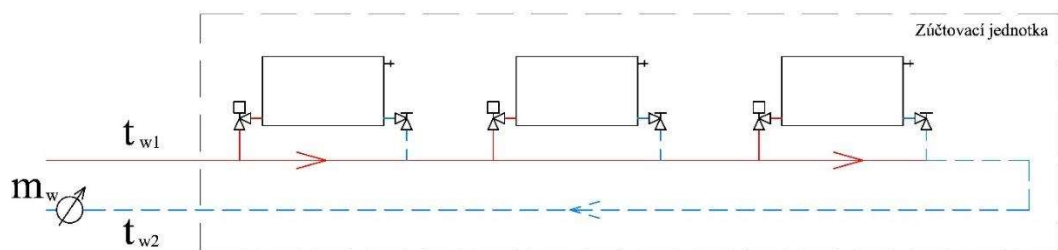
U jednotrubkových otopných soustav, například s jezdeckým napojením otopných těles (viz Obr. 2), se do otopného tělesa přivádí jen část otopné vody, které se na výstupu opět mísí s přívodní. To má za následek snižování teploty otopné vody na vstupu do dalších otopných těles uspořádaných v hydraulické řadě za sebou. Výkony otopných těles se vzhledem ke snižující se střední teplotě vody korigují buď změnou průtoku jednotlivými otopnými tělesy, nebo se zvětšuje přestupní plocha otopných těles, případně se kombinuje obojí. Ke korekci správného průtoku otopným tělesem je potřeba přesný výpočet v rámci návrhu. Stejně důležitý výpočet se musí provést i při použití jednotrubkové otopné soustavy se směšovacími armaturami u otopných těles, kde je potřeba přednastavit kuželku na správnou hodnotu součinitele zatékání do otopného tělesa.

Regulátory, které by byly schopny nahradit hydraulické vyvážení by musely mít velký rozsah, aby pokryly veškeré odchylky v soustavě. Z toho důvodu by bylo velmi náročné dosáhnout požadované teploty s minimální odchylkou. Osazení každého otopného tělesa např. regulátorem tlakové diference či regulátorem objemového průtoku by bylo vzhledem k velikosti regulátoru nepřijatelné z estetického hlediska, a především velmi finančně náročné. Známe termostatické ventily s integrovaným omezením tlakové

diference v podobě malého osového regulátoru tlakové diference (RTD), ty ale neskýtají možnostmi jako standardní RTD používané na vertikálních větvích. Bez výpočtu tlakových ztrát otopné vody a bez hydraulického vyvážení otopné soustavy se tedy většinou neobejdeme.



Obr. 1 Rozdíl mezi protiproudým (vlevo) a souproudým (vpravo) zapojením otopných těles ve vertikální větví [1]



Obr. 2 Jednotrubková otopná soustava s jezdeckým napojením otopných těles [1]

2 POTRUBÍ

Potrubí ve vytápění slouží k rozvodu teplotnosné látky po objektu od zdroje tepla k jednotlivým otopným tělesům a zpět. Při navrhování potrubí je potřeba v souvislosti s provedením otopné soustavy zvolit materiál potrubí. V rámci návrhu rozvodu je nutné na delších úsecích přidat kompenzaci teplotní dilatace potrubí, a především zvolit správnou dimenzi potrubí. Dimenze potrubí, jeho materiál a počet potřebných fitinek a tvarovek má velký vliv na tlakovou ztrátu rozvodu.

2.1 Materiál potrubí

Každý materiál má své výhody a nevýhody, které odpovídají jeho fyzikálním vlastnostem, nebo se ukázaly po letech užívání. Při návrhu materiálu je potřeba myslet na mechanickou a teplotní odolnost materiálu, možnost prostupu kyslíku materiálem, na jeho teplotní roztažnost a montážní omezení. V neposlední řadě je potřeba myslet také na odolnost proti korozi a na jeho finanční náročnost.

Materiál je potřeba zvolit na počátku návrhu potrubní sítě. Vzhledem k typu materiálu se mění i specifika při vedení potrubí objektem. Po materiálu je požadováno, aby se otopná voda nesytila kyslíkem, díky kterému by pak mohlo docházet ke korozi ocelového potrubí, těles či výměníku zdroje tepla. Určení materiálu je také potřeba z důvodu vnitřního průměru potrubí, protože každý materiál má odlišně normované velikosti potrubí.

2.1.1 Potrubí z oceli

Ocelové potrubí je lety ověřený materiál, který je odolný proti vysokým teplotám a při správné montáži má dlouhou životnost. Jednotlivé trubky a tvarovky se k sobě svařují plamenem, výjimečně se u přesných trubek i lisují. Lisování má velkou výhodu v rychlosti a jednoduchosti spoje se zachováním kvality, ke kterému není potřeba speciální obsluha. Z důvodu technologicky složitější výroby lisovacích tvarovek je ale vyšší i jejich cena. Systém lisování ocelového potrubí je relativně nový a zatím se používá jen zřídka.

Svařování je levná varianta, ale jde o technologicky náročnější proces spojování, u kterého může dojít k nežádoucí rekrytalizaci oceli. Překážkou k dosažení celistvého průvaru může být mimo jiné i prostor, kterého může být v některých místech nedostatek, nehledě na složitost správného provedení svaru. Výhodou oceli je její nízká teplotní délková roztažnost. Vyrábí se i ve velkých průměrech (do DN 50 jako trubky ocelové závitové, dále trubky ocelové hladké bezešvé) a vzhledem k vysoké tlakové odolnosti se používá především na vodorovné rozvody do jednotlivých vertikálních větví, které jsou dále vedeny např. měděným, případně plastovým potrubím. Ocelové potrubí se pro rozvod otopné vody po celém objektu dnes využívá jen výjimečně. Dříve tomu bylo však právě naopak. [3]

2.1.2 Potrubí z mědi

Měděný rozvod je tradičním materiálem pro topenářské rozvody. Je odolný, samonosný, má malou tloušťku stěny, velkou pevnost a je relativně spolehlivý. Měď je poloušlechtilý kov, který je v elektrochemické řadě na čtvrtém místě. To znamená, že má vysokou odolnost proti korozi. Potrubí se musí chránit především na vnějším povrchu například tepelnou izolací před působením omítek. Jejich kyselost u mědi může způsobit bodovou korozi, která je pro potrubí nebezpečná. Pro podlahové vytápění se používá měď měkká, povlakovaná vrstvou PVC, aby nedocházelo ke kontaktu s mazaninou (anhydritem), kvůli kterému by mohlo také docházet k bodové korozi. Vzhledem k vysoké ceně povlakovaného potrubí a lepší manipulaci s plastovým potrubím při pokládání podlahové otopné plochy se ale měď používá jen výjimečně.

Měď také patří mezi baktericidní materiály, tzn. že ničí bakterie. Měď je velmi všestranný materiál, který se dá použít pro rozvody otopné či chladicí látky, studené i teplé vody, oleje, plynů a jiných látek. S tvarovkami se spojuje buď lisováním, nebo měkkým a tvrdým pájením. Měkké kapilární pájení se využívá u rozvodu pitné vody a teplovodní otopné soustavy, kdy se většinou používá plamenem, nebo elektromagneticky tavená cínová pájka s příměsí zhruba 3 % stříbra pro lepší zabíhavost a vzlínavost. Tvrdé pájení se používá pro rozvod horkovodních otopných soustav, solárních rozvodů, chladiv a technických plynů. Lisování spojů se dá použít pro vytápění, rozvod plynu i rozvod TV do teploty zhruba 110 °C a tlaku 16 bar. Použitelná teplota se může měnit v závislosti na vybraném výrobcí. Stejně jako u ocelového potrubí je lisování méně pracné, ale jednotlivé fitinky jsou dražší.

Měď se používá buď měkká, která se prodává ve svitcích, nebo polotvrdá a tvrdá, která se prodává v přímých trubkách většinou o délce 5 m. Vnitřní povrch polotvrdých a tvrdých trubek je většinou předběžně naoxidován. Výhodou oproti ocelovým trubkám je také jejich nižší relativní drsnost, teplotní roztažnost je ale o poznání vyšší. [3]

2.1.3 Potrubí z plastu

Plastové potrubí je dnes hojně využívané s ohledem na mnohé výhody, jako je například zdravotní nezávadnost, nízká hlučnost, teplotní a korozní odolnost, nižší cena, nižší hmotnost, odolnost proti stárnutí a teplotní a elektrická vodivost. Z estetického hlediska se vyhýbáme jakémukoliv viditelnému rozvodu plastového potrubí. Vedeme ho

ve stěně, v podlaze, případně v krycích lištách. Při vedení ze stěny či podlahy do tělesa se používají fitinky s přípojovací měděnou trubkou, která chrání potrubí a vylepšuje vizáž napojení. Nevýhodou je, že je oproti kovům náchylnější k mechanickému poškození. Ať už odolností proti vniknutí cizích těles, nebo průhybem pod tíhou otopné vody. Také z toho důvodu by nemělo být vedeno samostatně u stěny v případě rekonstrukcí (v nových budovách se z estetického hlediska většinou vedou všechny rozvody ve stěnách či v podlaze), nebo samostatně pod stropem v podobě hlavního ležatého rozvodu. V případě vedení potrubí nejen větších průřezů např. pod stropem, je nutné jeho podložení žlaby proti průhybu jednotlivých segmentů. Tím se může jinak levnější plastový systém prodražit. Další nevýhodou je vysoká teplotní roztažnost plastového potrubí.

Plasty jsou makromolekulární syntetické či polysyntetické materiály, do kterých jsou přidávány příměsi pro zlepšení vlastností. V otopných soustavách jsou používány především trubky ze síťovaného polyetyleny (PEX), síťovaného polyetyleny s přidanou vrstvou hliníku (PEX-Al-PEX), polybutylenu (PB) a někdy z ne zcela vhodného statického polypropylenu (PP-R), nebo polypropylenu generace typu 4 (PP-RCT). [3]

Plastové potrubí se převážně používá na koncových částech soustavy. V bytových domech od rozdělovače k tělesům, například u hvězdicové otopné soustavy, nebo pro smyčky podlahového vytápění. K napojení rozdělovače na zdroj tepla se většinou používá měděné, případně ocelové potrubí. V rodinných domech je možné udělat celé potrubí plastovými prvky, relativně nově je možné použít pro podlahové vytápění i plastový rozdělovač z PP-RCT, který můžeme s trubkami ze stejného materiálu spojit například polyfúzním svařováním, nebo přes závit s materiály PEX či PEX-AL-PEX. [4]

Síťovaný polyetylen PEX

Trubky jsou vyráběné z vysoko hustotního polyetyleny, u kterého se dosáhne chemickými, nebo fyzikálními způsoby k zesíťování molekulových řetězců. Díky tomuto procesu má materiál vysokou odolnost proti šíření trhlin, je houževnatý a má vysokou pevnost v tlaku i při teplotách převyšujících 100 °C. V neposlední řadě síťování také zabraňuje průchodu kyslíku do otopné vody. Síťovaný polyetylen patří mezi duroplasty. To znamená, že se ve vytvrzeném stavu nedají ani při silnějším zahřátí změkčit ani roztavit. Z toho důvodu lze trubky spojovat pouze mechanickými spojkami, které představují v soustavě nezanedbatelné zmenšení světlého průměru potrubí.

Jedná se o nejvhodnější potrubí nejen pro podlahové vytápění. Oproti potrubí s hliníkovou vrstvou je značně poddajnější, což ulehčuje montáž jednotlivých smyček v podlaze. U podlahového vytápění můžeme i přehlédnout jeho vysokou teplotní roztažnost, neboť potrubí přejímá vlastnosti mazaniny. Vyrábí se třemi způsoby, které značí písmeno na konci – *PEX-a*, *PEX-b* a *PEX-c*. Ve vytápění je nejrozšířenější typ *a*, případně typ *b*. [3][5]

Vícevrstvé potrubí PEX-AL-PEX

Vícevrstvé potrubí přejímá výhody obou materiálů. Hliník razantně snižuje teplotní roztažnost trubek a vytváří stoprocentní bariéru mezi vzdušným kyslíkem a otopnou vodou. Polyetylen je zdravotně nezávadný, ohebný a odolný proti korozi. Vícevrstvý materiál ještě více odolává šíření trhlin a má ještě vyšší pevnost v tlaku i podélně, při zachování houževnatosti. Mezi jednotlivými vrstvami je slabá, ale velmi účinná adhezivní vrstva. Nevýhodou je u podlahového vytápění nižší poddajnost potrubí, která může dělat problémy při pokládání otopných smyček.

Potrubí se využívá především pro otopné soustavy a rozvody TV. Trubky jsou většinou prodávány v návinu, takže můžeme vést celé smyčky bez spojek, a tím se vyhnout případným rizikovým místům. Pro spojování trubek se používají opět lisovací fitinky. [5]

Polybuten PB

Materiál, který byl používán jako jeden z prvních plastových potrubí. Je velmi ohebný (křehne až při teplotě pod -18 °C), má vysokou odolnost proti tvorbě trhlin, nižší teplotní roztažnost oproti jiným plastům a je chemicky netečný. Většinou je v trubce slabá vrstva ethylenvinylalkoholu (EVOH) sloužícího jako kyslíková bariéra, která propustí pouze zanedbatelné množství kyslíku. Poslední roky je ale tento osvědčený materiál, který je vhodný především pro menší otopné soustavy a případně rozvod TV, nahrazován moderními materiály. Především vícevrstvým a síťovaným potrubím. Výhodou oproti vícevrstvému materiálu a duroplastům je, že se kromě mechanických spojek dá spojovat také svařováním na tupo či polyfúzí. [3] [6]

Statický polypropylen PP-R

Je materiál používaný hlavně pro rozvod TV. Samotné potrubí nemá kyslíkovou bariéru, má vysokou roztažnost a deformaci s teplotou a jeho pevnost je nižší než PEX, PEX-AL-PEX i PB potrubí. Spojuje se mechanickými spojkami, svařováním na tupo, nebo polyfúzí. Při rozvodu otopné vody je vhodné tento materiál vynechat, neboť nesplňuje základní kritéria ochrany proti difúzi kyslíku přes stěnu trubky do otopné vody. [3]

Polypropylen typu 4 (PP-RCT)

Tento relativně nový typ polypropyleny má oproti PP-R jemnější krystalickou mřížku (viz Obr. 3), díky které má materiál zvýšenou teplotní a tlakovou odolnost. Materiál je stejně jako PP-R hygienicky nezávadný, má dobrou pružnost, mechanickou odolnost a je možné ho spojovat mechanickými spojkami a svařovat na tupo, nebo polyfúzí. Tento materiál je možné použít pro rozvod TV, ale pro otopné soustavy opět není garantována ochrana proti difúzi kyslíku i přes to, že vykazuje lepší vlastnosti než PP-R. [7]



Obr. 3 Krystalická struktura polymeru PP-R a PP-RCT [7]

2.2 Tepelná izolace potrubí

Potrubí vedené ve stěně musí být opatřeno tepelnou izolací, aby nedocházelo k významnému poklesu teploty na vstupu do otopných těles. Potrubí je zároveň chráněno proti agresivním materiálům ve stěně či podlaze, které by mohly způsobit nebo urychlit korozi potrubí. Tepelná izolace také chrání potrubí proti mechanickému poškození při pohybu potrubí způsobeném teplotní délkovou roztažností. Zároveň dává potrubí možnost jemného pohybu, který může být potřebný například při nepřesné instalaci potrubí.

Povinnost opatření rozvodů pro vytápění a TV tepelnou izolací udává s určitými výjimkami, jako je například přiznané vedení potrubí vytápěnou místností, vyhláška č. 193/2007, která určuje součinitele prostupu tepla v závislosti na DN izolovaných rozvodů (viz Tab. 1). Obecně lze říci, že pokud potrubí prochází nevytápěným prostorem,

musí být tepelně izolováno. Výjimku tvoří potrubí, které prochází pouze temperovaným prostorem a zajišťuje svou tepelnou ztrátou temperaci tohoto prostředí. [2]

Pro izolaci potrubí o větších DN (například ocelového potrubí) se používají pouzdra ze skelné či minerální vlny polepené hliníkovou fólií, pro menší DN se s oblibou používají PE pouzdra či návleky ze syntetického kaučuku.

Tloušťka tepelné izolace se volí podle dimenze potrubí, rozdílu teplot teplotnosné látky a teploty okolí a součinitele teplotní vodivosti použité tepelné izolace, resp. požadovaného součinitele prostupu tepla.

Tab. 1 Součinitele prostupu tepla izolace vnitřních rozvodů [2]

DN	10 až 15	20 až 32	40 až 65	80 až 125	150 až 200
U [W/mK]	0,15	0,18	0,27	0,34	0,4

2.3 Drsnost potrubí

Drsnost potrubí nezanedbatelně ovlivňuje (mimo laminární oblast proudění) třetí tlakovou ztrátu potrubím. Tuto ztrátu ovlivňuje také zvolený vnitřní průměr, a především nejvyšší přípustná rychlost proudění teplotnosné látky, která může v potrubí nastat bez hlučnosti otopné soustavy. Vnitřní průměr potrubí, rychlost proudění a kinematická viskozita otopné vody udávají hodnotu bezrozměrného Reynoldsova čísla (1), na kterém je závislý v laminární oblasti součinitel tření. V přechodové a plně turbulentní oblasti je závislý na Reynoldsově čísle a relativní drsnosti potrubí, která je dána poměrem k/d , kde k je absolutní drsnost potrubí [mm] a d je průměr [mm]. Z tohoto pohledu je výhodnější použít spíše měděné, nejlépe plastové potrubí, neboť mají několikanásobně nižší nerovnost povrchu. Ocel má výšku nerovností zhruba desetinu milimetru, zatímco měď a plast se pohybují v tisícinách milimetru. [1] [3]

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu}, \quad (1)$$

kde w [m/s] je střední rychlost proudění podle průtoku, d [m] je vnitřní průměr potrubí a ν [m²/s] kinematická viskozita.

2.4 Teplotní délková roztažnost

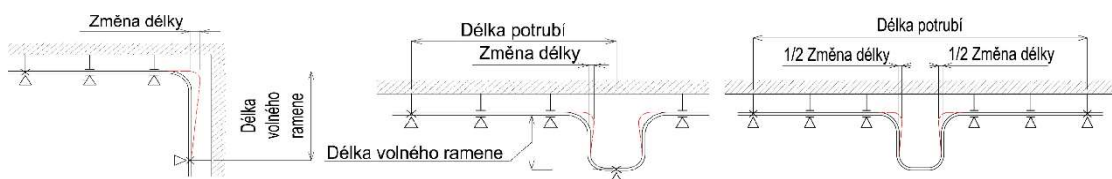
Se změnou teploty v otopné soustavě se mění i velikost jednotlivých prvků. Velikost změny závisí na rozdílu teplot, zvoleném materiálu a délce jednotlivých prvků. Ve vytápění není problém změna velikosti v radiálním směru, která je velmi malá, ale je nutné předejít dlouhým rovným úsekům potrubí, ve kterých by mohlo docházet k nebezpečným změnám délky. Při nedostatečné kompenzaci by mohlo dojít k porušení omítky v rozích objektu, nebo dokonce k narušení spoje, kde je potrubí nejnáchylnější.

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta t, \quad (2)$$

Tab. 2 Součinitele teplotní délkové roztažnosti používaných materiálů [1]

Materiál	α [mm/mK]
Ocel	0,012
Měď	0,0165
PEX	0,258
PEX-AL-PEX	0,024

Teplotní roztažnost se vypočítá ze vztahu (2), kde l [m] je délka úseku, α [1/K] součinitel teplotní délkové roztažnosti materiálu a Δt [K] rozdíl teplot. Součinitele teplotní délkové roztažnosti vybraných materiálů jsou uvedeny v Tab. 2, ze které jasně vidíme vysokou teplotní délkovou roztažnost plastových materiálů. Z tohoto vztahu můžeme tedy odvodit nejdelší přímý úsek, který se v soustavě obejde bez kompenzačního prvku. Jako kompenzační prvek můžeme mít buď osově kompenzátory, které se ve vytápění používají jen zřídka, nebo tvarové kompenzátory, především ve tvaru „U“. (viz Obr. 4).



Obr. 4 Tvarová kompenzace potrubních rozvodů. (Zleva) lomem trasy, U-kompensátor s pevným bodem vyložení, U-kompensátor s volným vyložení [8]

Při zařazování kompenzátorů je potřeba také myslet na uchycení potrubí, konkrétně na umístění pevných a kluzných bodů tak, aby nedocházelo v nějaké části k vyššímu napětí než ve zbytku rozvodu. Velikost kompenzátorů a roztečí se dá vypočítat na základě vztahů, které se liší s použitým materiálem z důvodu rozdílných fyzikálních vlastností. [8]

3 HYDRODYNAMIKA OTOPNÉ SOUSTAVY

Nehledě na použitý materiál potrubních rozvodů musíme navrhnout světlý průměr potrubí, jeho tlakovou odolnost a potřebný dopravní tlak ke správné funkci soustavy. Vzhledem k faktu, že se jiné teplotně-látkové látky, než je voda, využívají velmi výjimečně, můžeme výpočty specifikovat pouze na její vlastnosti a tím je zjednodušit. Z důvodu reálného chování vody, potřeby vedení potrubí objektem a různých ventilů či jiných prvků zajišťujících bezpečnost a praktičnost dochází ke snižování tlaku v rozvodu, který do soustavy musíme dodat například oběhovým čerpadlem. V případě samotížné soustavy musíme za pomoci výpočtů ověřit správnou funkci, neboť máme k dispozici pouze přirozený vztlak. Každý rozvod vykazuje tlakové ztráty třením Δp_{zt} [Pa] a tlakové ztráty místními odpory $\Delta p_{zm} = Z$ [Pa].

3.1 Ztráty třením

Voda je viskózní kapalina, proudící potrubím, které není dokonale hladké. Z toho důvodu dochází k disipaci energie. Největší vliv na třecí ztráty v potrubí má rychlost proudění. Pro výpočet třecí ztráty se používá vztah vztažený na 1 m délky potrubí označován jako měrná tlaková ztráta.

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho, \quad (3)$$

kde w [m/s] je střední rychlost proudění podle průtoku, ρ [kg/m³] hustota vody (vztažená na střední teplotu otopné vody), d [m] vnitřní průměr potrubí a λ [-] součinitel tlakové ztráty třením.

Pro nestlačitelné tekutiny můžeme vztah zjednodušit na

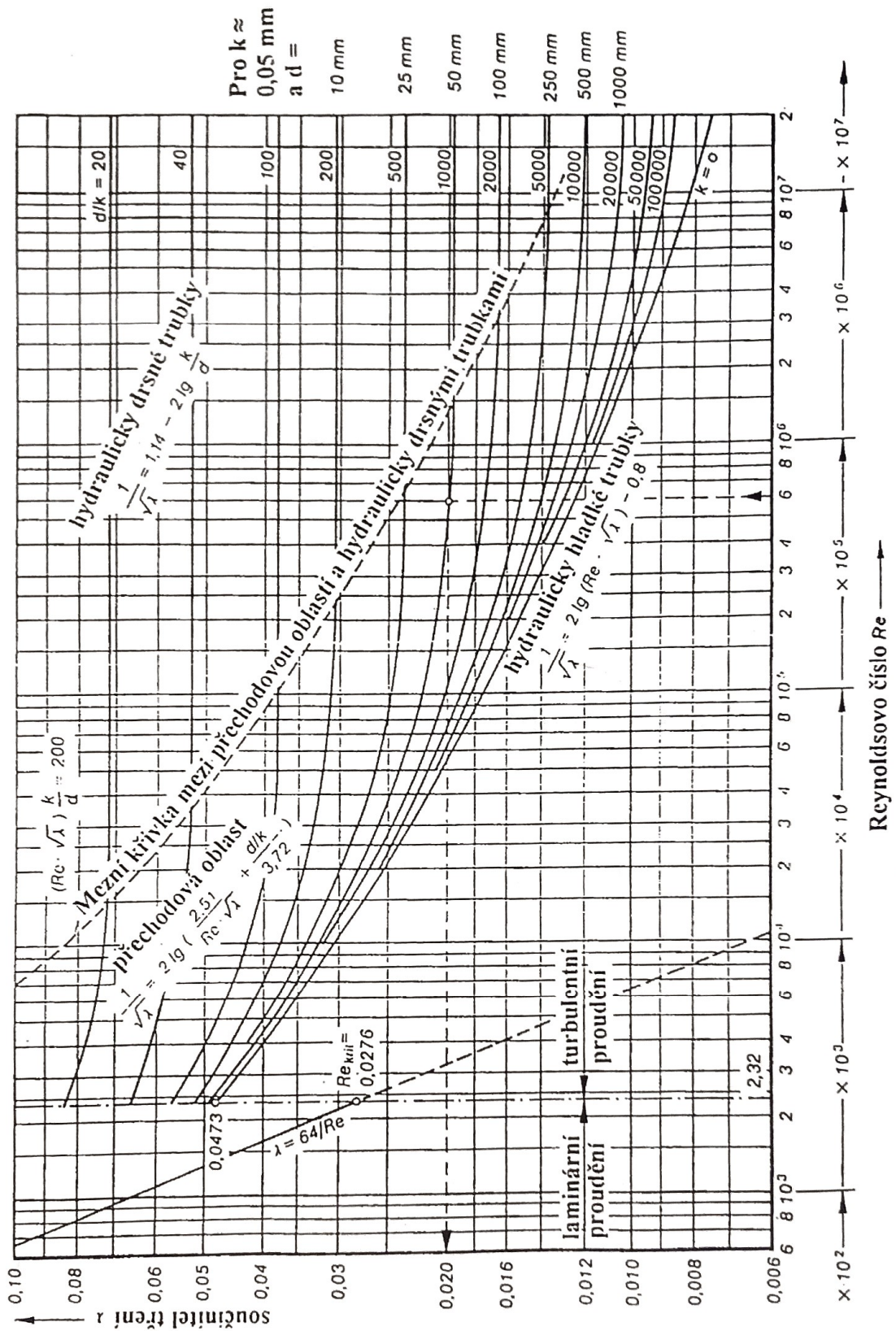
$$\frac{\Delta p_{zt}}{l} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = R, \quad (4)$$

kde l [m] je délka počítaného přímého úseku potrubí a R [Pa/m] je měrná tlaková ztráta (tlakový spád) – tlaková ztráta vztažená na 1 m délky potrubí. Problémové ale může být určení součinitele třecích ztrát λ . Jeho hodnota je závislá na průměru potrubí, rychlosti proudění, absolutní drsnosti potrubí a kinematické viskozitě. Vzhledem k výpočtu Reynoldsova čísla (1) a již zmíněné relativní drsnosti k/d , můžeme závislost součinitele třecích ztrát omezit na tyto dvě bezrozměrná kritéria. Hodnotu součinitele třecích ztrát je možné (mimo mnoha empirických vzorců, které se rozřazují podle relativní drsnosti potrubí a velikosti Reynoldsova čísla) také s dostatečnou přesností určit z Moodyho diagramu (Obr. 5).

$$w = \frac{4 \cdot m}{\rho \cdot \pi \cdot d^2} \quad (5)$$

Pokud do rovnice (4) dosadíme za rychlost vztah (5), získáme vzorec pro měrnou tlakovou ztrátu (6), ze kterého vidíme závislost na hmotnostním průtoku s druhou mocninou a vnitřního průměru potrubí s pátou mocninou. Hmotnostní průtok m [kg/s] do rovnice dosadíme odvozený z kalorimetrické rovnice v závislosti na potřebném přenášeném výkonu příslušného úseku otopné soustavy. [3] [9]

$$R = \frac{0,811 \cdot \lambda \cdot m^2}{\rho \cdot d^5} \quad (6)$$



Obr. 5 Moodyho diagram s rovnicemi pro určení součinitele třecích ztrát [3]

3.2 Ztráty místními odpory

V místech, ve kterých dochází ke zmenšení průřezu, nebo změně směru proudu dochází k dalšímu poklesu tlaku. Celkový pokles tlaku v rámci místních odporů vypočítáme jako součet jednotlivých součinitelů místních odporů ζ_i [-] vynásobených dynamickým tlakem p_d [Pa].

$$\Delta p_{zm} = Z = \sum_{i=1}^n \zeta_i \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2}, \quad (7)$$

kde n [-] je celkový počet místních odporů v úseku. V topenářské praxi používáme spíše označení Z než Δp_{zm} . Pokud do rovnice opět dosadíme vztah pro výpočet rychlosti w (5), získáme vzorec závislý na druhé mocnině hmotnostního průtoku a čtvrté mocnině vnitřního průměru místního odporu v podobě např. oblouku. [3] [11]

$$\Delta p_{zm} = Z = \frac{0,811 \cdot \sum_{i=1}^n \zeta_i \cdot m^2}{\rho \cdot d^4} \quad (8)$$

3.3 Celková tlaková ztráta, bilance tlaků

Celkovou tlakovou ztrátou soustavy Δp_z [Pa] je součet třecí ztráty a ztráty místními odpory.

$$\Delta p_z = R \cdot l + Z \quad (9)$$

U soustav s přirozeným oběhem vody musí být ztráta okruhu nižší než Δp_p [Pa] účinný tlak okruhu neboli přirozený vztlak (vztlak, který je v soustavě z důvodu rozdílných teplot vody, respektive rozdílných hustot otopné vody v přívodní a vratné větvi). U soustav s nuceným oběhem vody do čtyř pater výšky, kde tlaková ztráta soustavy několikanásobně převyšuje účinný tlak, můžeme tento účinný tlak pro jednoduchost zanedbat. Tento stav nastává především u jednopodlažních objektů, které mají zdroj tepla na stejném podlaží. U více podlažních objektů bude účinný tlak dosahovat vyšších hodnot. Jeho hodnota ale závisí také na otopném období, proto se počítá s 50 až 75 % účinného tlaku. Z toho důvodu ve výpočtu rozlišujeme otopné

soustavy „nízké“ do cca tří až čtyř pater, u kterých účinný tlak zanedbáváme, a soustavy „vysoké“ pro soustavy vyšší než tři až čtyři patra.

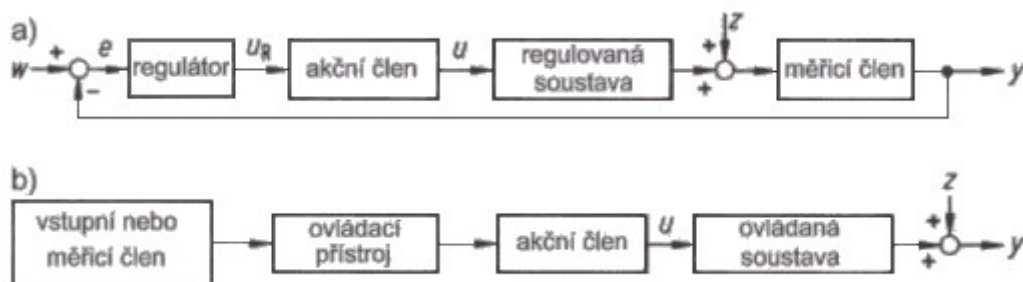
Závislost tlaků u „vysokých“ otopných soustav popisují tzv. bilanční tlakové rovnice, které říkají, že tlaková ztráta okruhu je kryta dispozičním rozdílem tlaků $\Delta p_o = \Delta p_{DISP}$. Tento dispoziční rozdíl tlaků je tvořen u soustav s přirozeným oběhem vody přirozeným vztlakem a u soustav s nuceným oběhem vody především dopravním tlakem čerpadla. [3] [11]

$$\Delta p_o = \Delta p_{\varepsilon} + (0,50 \text{ až } 0,75) \cdot \Delta p_{\rho} \quad (10)$$

4 REGULACE TEPELNÉHO VÝKONU OTOPNÝCH TĚLES

Vytápění budov je skupina samostatně pracujících strojů a přístrojů, které často tvoří komplikované zařízení. Pro správnou funkci celé otopné soustavy je tedy potřeba zařadit regulační prvky. Bez nich bychom byli schopni jen stěží dosáhnout požadovaných výkonů otopných těles. I po jejich dosažení ale potřebujeme jejich výkon snižovat s ohledem na okolní podmínky, neboť soustava je dimenzována na nejnižší venkovní teplotu v dané oblasti. Bez regulace se tedy nelze obejít. V rámci otopných soustav můžeme použít termíny statická regulace, tj. statické vyvážení otopné soustavy a dynamická regulace otopné soustavy.

Hydraulické vyvážení otopné soustavy, tj. statická regulace, představuje nastavení odporů v jednotlivých větvích otopné soustavy (např. u otopných těles) tak, abychom zajistili stejnou tlakovou ztrátu paralelních větví při námi požadovaném průtoku



Obr. 6 Rozdíl mezi a) regulací a b) ovládním [10]

(viz Obr. 6 a)). Za tímto účelem jsou většinou používané prvky jako je regulační šroubení, přednastavení na TRV, vyvažovací ventily apod.

Dynamická regulace či vyvažování otopné soustavy spočívá v reagování na průtokové či tlakové změny v průběhu provozu otopné soustavy, tj. reagování v čase (viz Obr. 6 a)). Sem patří především instalace takových prvků, jako jsou např. regulátory tlakové difference, regulátor otáček oběhového čerpadla či termostatické hlavice.

Rozdíl mezi statickou a dynamickou regulací je dobře patrný z blokových schémat na Obr. 6, kde jasně vidíme, že dynamická regulace měří regulovanou veličinu y , kterou porovnává s požadovanou hodnotou w , a tím vzniká regulační odchylka e . Ta vede ke změně akční veličiny u , aby se regulační odchylka zmenšila či odstranila. Jedná se tedy o regulaci jako takovou. U hydraulického vyvážení nastavíme určité hodnoty, které se v průběhu vytápění nemění. Jde tedy z pohledu řízení o jednorázové ovládní, resp. nastavování bez zpětné vazby na řízený proces. [10] [11]

4.1 Statická regulace

Spočívá především ve zvýšení tlakové ztráty jednotlivých otopných těles či větví, aby otopným tělesem proudil požadovaný průtok, aby těleso mělo požadovaný výkon bez další regulace systému (např. při vyvažování musí být všechny TRV plně otevřeny, tj. termostatické hlavice na maximum). Pro hydraulické vyvažování otopné soustavy se využívá především regulační šroubení na výstupu z každého jednotlivého tělesa (povinné osazení tělesa u dvoubodového napojení, vyjma jednotrubkových otopných soustav, dle Vyhlášky 193/2007 Sb. § 4 odst. 1). [2] [10]

4.1.1 Regulační šroubení a přednastavení TRV

Regulační šroubení nastavujeme na takovou hodnotu, aby tlaková ztráta okruhu každého tělesa jedné větve byla shodná při námi požadovaném průtoku. Tím docílíme požadovaných průtoků jednotlivými tělesy. Pokud bychom tlakové ztráty jednotlivými okruhy nevyrovnali, tělesa blíže ke zdroji by měla mnohonásobně vyšší průtok než vzdálená.

Není dobré na regulačním šroubení nastavovat nejnižší hodnoty (např. $\frac{1}{4}$ otáčky z uzavřené polohy), protože při průtoku malým průřezem by mohlo docházet k provozním problémům díky nečistotám v otopné vodě. Tlakovou ztrátu je možné zvýšit

také přednastavením termostatického regulačního ventilu (TRV), přednostně bychom ale měli vyvažovat s použitím regulačního šroubení tak, abychom příliš nesnižovali pásmo proporcionality TRV. Se snižujícím se stupněm přednastavení na TRV se snižuje i pásmo proporcionality. Při nízkých hodnotách přednastavení, jako je 1 či 2, je pásmo proporcionality v desetinách a TRV s regulátorem (hlavicí) ztrácí svou regulační schopnost. Při přednastavení TRV na vysokou tlakovou ztrátu bychom také riskovali vyšší hlučnost otopné soustavy. [11] [13]

Postup výpočtu přednastavení regulačního šroubení je popsán v podkapitole 5.3.2.

4.1.2 Vyvažovací armatury

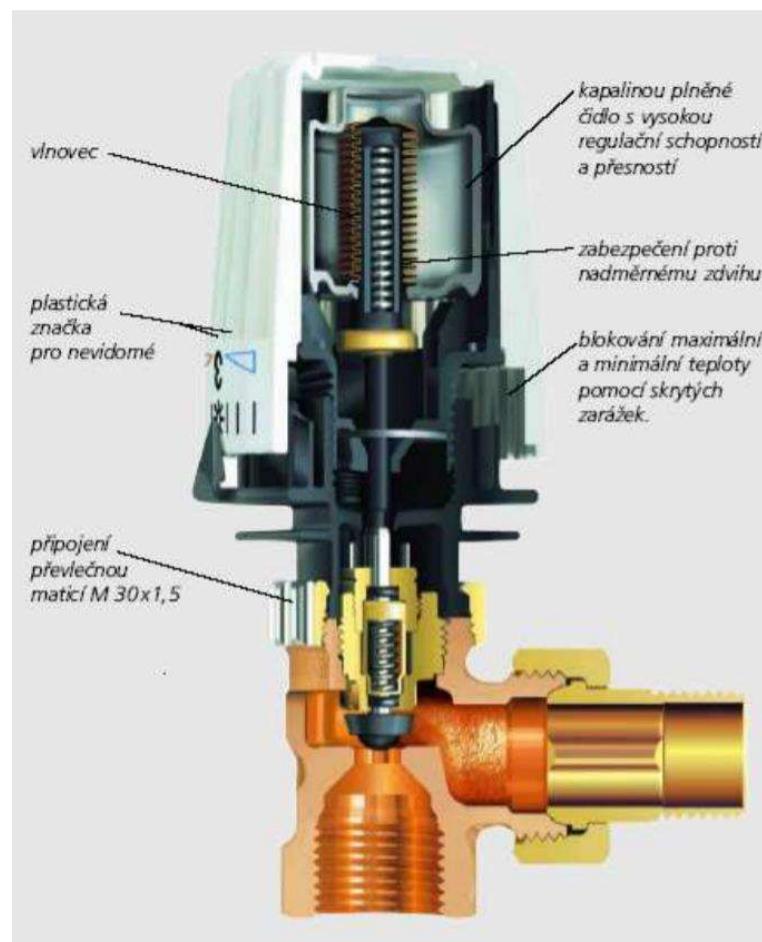
Funkce je podobná jako u regulačního šroubení, kdy nastavíme požadovanou tlakovou ztrátu za jmenovitých podmínek. Vyvažovací ventil není schopen reagovat na změnu tlaku v jednotlivých větvích. Je určen ke statickému „zaregulování“, tj. doškrcení jednotlivých větví za jmenovitých podmínek. Tedy k jakémusi optimálnímu prvotnímu nastavení, než se začne projevovat dynamická regulace. V menších objektech, jako jsou rodinné domy, nepotřebujeme další prvek pro zvýšení tlakové ztráty, mimo regulačního šroubení a přednastavení na TRV. U větších objektů, jako jsou například panelové či bytové domy, je na místě ještě využití regulátorů tlakové difference. Výhodou vyvažovacího ventilu je jeho opatření dvěma snímači tlaku pro měření tlakové difference, ze které můžeme dopočítat velikost průtoku, pokud známe k_v hodnotu. Také můžeme použít odběr tlaku pro regulátor tlakové difference. Tyto ventily se tedy využívají spíše ve větších aplikacích.

4.2 Dynamická kvantitativní regulace

Při této regulaci se mění hmotnostní průtok za konstantních teplot otopné vody. Snižováním hmotnostního průtoku otopnou soustavou snižujeme výkon otopných těles. Regulovat můžeme celou otopnou soustavu, jednotlivé větve, případně celé úseky a OT.

4.2.1 Termostatické hlavice

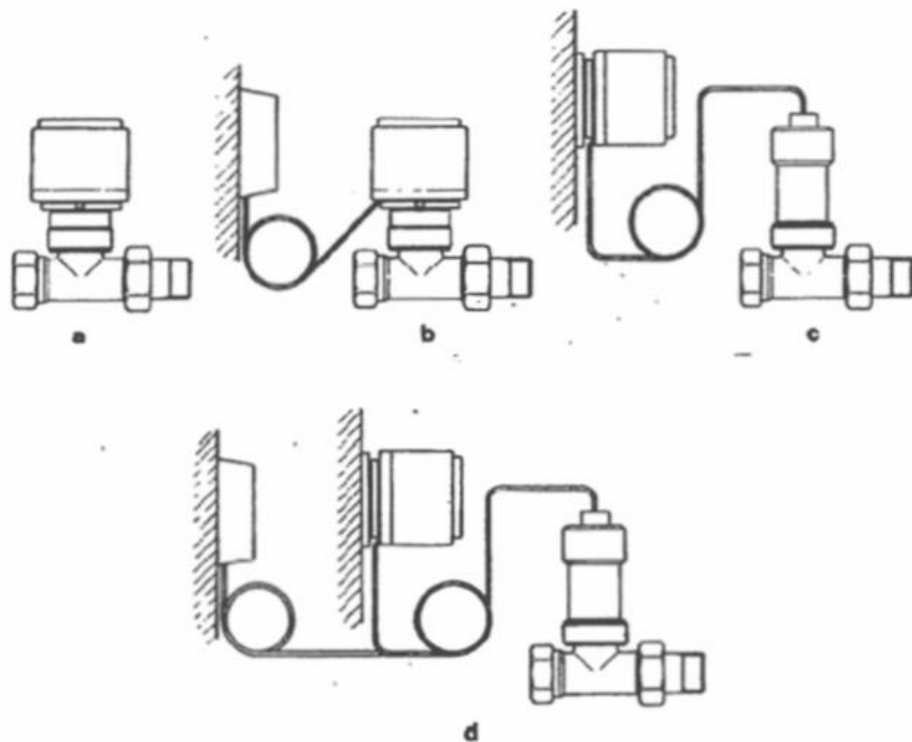
Termostatické hlavice jsou přímé proporcionální regulátory s malým pásmem proporcionality. Místní regulace u OT se skládá z ventilové části (TRV) a regulátoru (např. termostatická hlavice). Natočením hlavice nastavíme požadovaný stupeň, který reprezentuje určitý rozsah teploty. Teplota se udržuje nastavením kuželky ve ventilové části, které je ovlivněno nastaveným stupněm a dilatací náplně regulační hlavice v závislosti na okolní teplotě. Termostatická hlavice tedy sníží výkon tělesa v případě, že jsou v místnosti náhlé tepelné zisky, například ze spotřebičů elektrické energie, slunečního záření a přítomností lidí, se kterými při návrhu nemůžeme počítat. Pokud by těleso nebylo vybaveno místní regulací, tj. např. termostatickou hlavicí, nebo regulátorem s podobnou funkcí, docházelo by k přetápní místností. Nejčastěji má stupnice rozsah čísel 0–5, kde stupni „1“ odpovídá zhruba 14 °C a stupni „5“ zhruba 28 °C. Při nastavení hlavice na stupeň „0“ se ventil uzavře. Dále je možné nastavit hlavici na znak „*“ pro temperování místnosti. Návratnost termostatické hlavice je tedy velmi krátká. Úspory za vytápění, pokud je soustava správně hydraulicky vyvážená, můžou být obvykle



Obr. 7 Řez termostatickou hlavicí [12]

do 3 %. Problémem výměny termostatických ventilů ve starších budovách je právě hydraulické vyvážení, které je často opomíjené. Kvůli tomu může docházet ke špatné funkci otopné soustavy.

Regulační hlavice se vyrábí především s kapalinovou či paroplynovou náplní. Paroplynová náplň má oproti kapalinové výhodu rychlejší reakce na změnu teplot a stabilitu výstupu. K dispozici máme několik základních provedení proporcionálního regulátoru (viz Obr. 8), neboť v některých situacích, jako například při nutnosti zakrytí otopných těles či přístupu k nastavení regulátoru, jsme nuceni oddělit ventil, případně i regulátor od senzoru. Senzor pak může být s regulátorem spojen například kapilárou. K dispozici máme také přímé, nebo rohové napojení ventilu do otopného tělesa. [12] [13] [14]



Obr. 8 TRV s různě provedeným proporcionálním regulátorem: TRV s

a) vestavěným snímačem; b) vestavěným ovladačem a dálkovým snímačem; c) kombinovaným dálkovým ovladačem a snímačem; d) odděleným dálkovým ovladačem a snímačem [1]

4.2.2 Elektronická hlavice

Funkce elektronické hlavice je v zásadě stejná jako termostatické hlavice s tím rozdílem, že pohyb kuželky ventilu je elektricky, případně termoelektricky ovládán. Pohyb kuželky může být tedy slyšitelný. Velkou výhodou je ale možnost programování hlavice, které není díky displeji nijak obtížné. Postupně se také rozšiřuje možnost nastavení hlavice přes mobilní aplikaci, která celý proces ještě usnadňuje. Uživatel si tedy může přednastavit požadovaný program, který řídí teplotu v průběhu dne, případně i týdne, bez nutnosti manuálního operování s hlavicí. Tento časový program většinou spočívá ve střídání teploty komfortní a úsporné.

Hlavice také zaznamená náhlý pokles teploty, například při otevření okna, a ventil uzavře. Po uzavření okna a zvýšení teploty hlavice dál pokračuje ve vytápění. Mimo otopnou sezónu může být výhodná funkce automatického procvičení, kdy se ventil po určité době otevře a zavře, aby nedošlo k jeho zatuhnutí.

Elektronická hlavice potřebuje k provozu baterie, případně napájecí adaptér, což může být společně s vyšší pořizovací cenou nevýhodou. [15]

4.2.3 Regulace otáček oběhového čerpadla

Oběhové čerpadlo je plně zatěžováno pouze zhruba 10 % otopného období. Pokud kvantitativně regulovaná soustava potřebuje nižší tepelný výkon, musíme snížit průtok jednotlivými tělesy. Aby oběhové čerpadlo zbytečně nezvyšovalo tlak otopné soustavy, a tím nespotřebovávalo více elektrické energie a zvyšovalo riziko hluku v otopné soustavě, je vhodné snížit jeho otáčky na požadovanou úroveň. Výroba a prodej neregulovaných čerpadel byly zakázány Evropskou unií v roce 2015, která výrazně zpřísnila požadavky na energetickou účinnost mokroběžných čerpadel. S přítomností čerpadel bez regulace se tedy můžeme setkat pouze ve starších budovách. K dostání jsou především čerpadla s možností plynulé elektronické regulace otáček s naprogramovaným způsobem chování např. Δp -c či Δp -v. Otáčky se mění v závislosti na nastaveném regulačním režimu – na konstantní, nebo variabilní dopravní tlak čerpadla, v případě pokročilých, tzv. inteligentních čerpadel se režimy různě prolínají podle požadavků soustavy. [16]

4.2.4 Regulátory tlakové difference

Regulátor tlakové difference (RTD) je umístěn na začátku otopné větve, u které chceme zajistit konstantní tlakovou diferencii v průběhu fungování otopné soustavy. Z přívodního potrubí je kapilárou převeden tlak na membránu akční části RTD. Membrána dále stlačuje akční prvek ventilu proti pružině, která je nastavena na požadovaný přetlak, a tím se snižuje průřez, respektive zvyšuje tlaková ztráta RTD. Zvýšením přetlaku na vratném potrubí se sníží průtok v celé větvi, a tím zamezíme hlučení TRV, ke kterému by

jinak mohlo docházet. Oproti vyvažovacímu ventilu má výhodu, že udržuje stálou tlakovou diferencii chráněného úseku i při změně průtoku armaturou. Tím pádem je vhodné regulátor použít pro soustavu, kde dochází k průběžnému regulačnímu chování TRV, a tak i k proměnlivé tlakové ztrátě na chráněném úseku, např. stoupačce, v soustavě.



Obr. 9 Regulátor tlakové difference

Ve větších objektech, jako jsou třeba bytové či administrativní budovy, může být vhodné na vstupu do paralelních vertikálních větví z ležatého rozvodu tyto regulátory použít. Ležatý rozvod můžeme díky tomu navrhnout v menších dimenzích tak, abychom ušetřili materiál, místo a finance. Abychom docílili stejného objemového průtoku i při zmenšení vnitřního průřezu potrubí, musíme zvýšit rychlost proudění. Zvýšením rychlosti proudění bude ležatý rozvod vykazovat vyšší tlakové ztráty. Bez regulátoru tlakové difference by byl na TRV a regulačním šroubení tlakový spád moc vysoký a docházelo by k hučení ventilů.

4.2.5 Prostorové termostaty

Prostorové termostaty, resp. P-regulátor můžeme rovněž využít pro místní regulaci otopných těles, která jsou poté osazena regulačními ventily s termopohonem či servopohonem jako akčním členem. Toto řešení je ale poněkud finančně náročné,

a tudíž i méně používané. Hlavní použití tzv. prostorových termostatů je tedy především pro řízení kotlů rodinných domů.

Základní předpoklad, pro použití prostorového termostatu, který řídí výkon kotle, je, že má objekt, či bytová jednotka vlastní samostatný zdroj tepla. Tímto zdrojem je elektrický, nebo plynový kondenzační kotel, jehož součástí je i oběhové čerpadlo.

Na termostatu nastavíme požadovanou teplotu. Jeho součástí je teplotní snímač, který měří okolní teplotu. Když se teplota dostane zhruba 2 K pod požadovanou hodnotu (to je závislé na velikosti spínací difference, která je dána výrobcem), relé sepne kotel, který začne vytápět. Po dosažení požadované teploty se kotel opět vypne. Rozsah teploty se pohybuje kolem ± 2 K od požadované hodnoty, aby nedocházelo k častému spínání plynového kotle, který by měl vyšší spotřebu a sníženou životnost hořáku. Termostat by měl být umístěn v místnosti objektu či zóny mimo zdroje tepla, která vykazuje minimální působení a ovlivňování senzoru vnitřními a venkovními tepelnými zisky, ve výšce zhruba 1,5 m. [17]

Jak již bylo uvedeno výše, jiné využití prostorových termostatů, tj. P – regulátorů je řízení výkonu otopných těles formou kvantitativní regulace, kdy na regulačních ventilech u otopných těles jsou osazeny termopohony, či servopohony. Zde se velmi často využívají i PI – regulátory, které již nemůžeme nazvat termostaty. Pásmo proporcionality, resp. spínací difference je pak menší, než je tomu u termostatů řídících výkon kotlů.

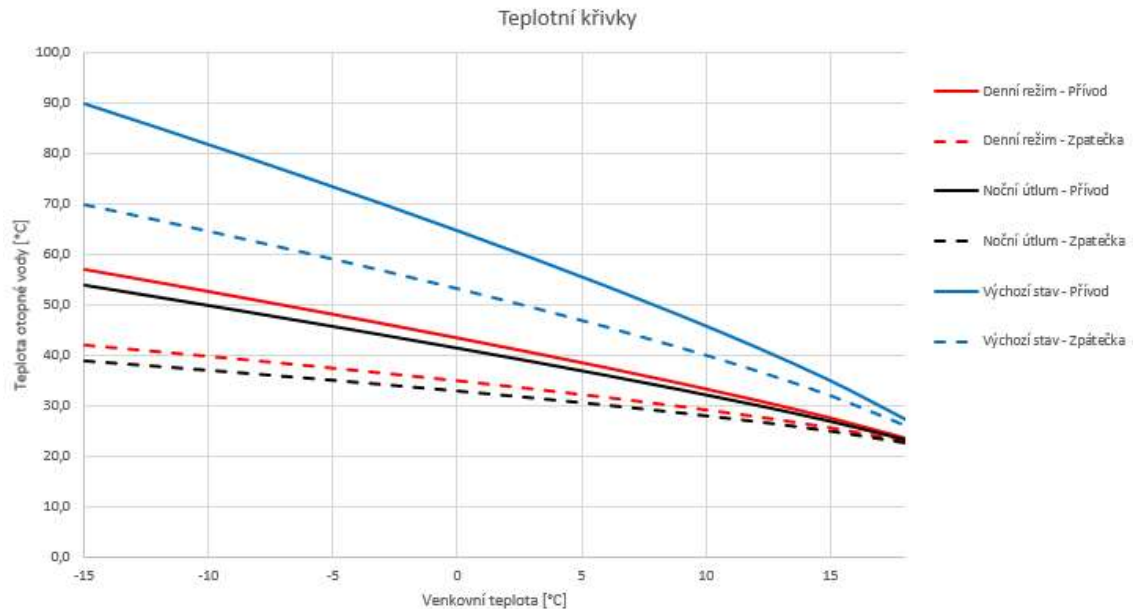
Digitální prostorové termostaty

Digitalizace prostorového termostatu přináší podobné výhody, jako elektronické termostatické hlavice. Můžeme využívat celou řadu funkcí, jako týdenní časový program, nebo minimální dobu sepnutí zdroje tepla. Na jejich displeji vidíme základní hodnoty, jako požadovanou a aktuální teplotu, případně vybraný program. K P, nebo PI regulátorům můžeme také připojit externí teplotní snímač, pokud nechceme mít neestetický regulátor umístěný například na stěně v obývacím pokoji, ale skrytý v méně navštěvované místnosti.

Digitální regulátory jsou k dostání také bezdrátové, které mají dosah až 30 m ve volném prostoru. Je ale vhodné mezi reléovou část u kotle a bezdrátovou část regulátoru

neumist'ovat mikrovlnné trouby a jiné zdroje elektromagnetického vlnění. Rozdíl v ceně je často shodný s prací za uložení vodičů do krytů či zasekání do stěn. [17]

4.3 Dynamická kvalitativní regulace – ekvitermní regulace



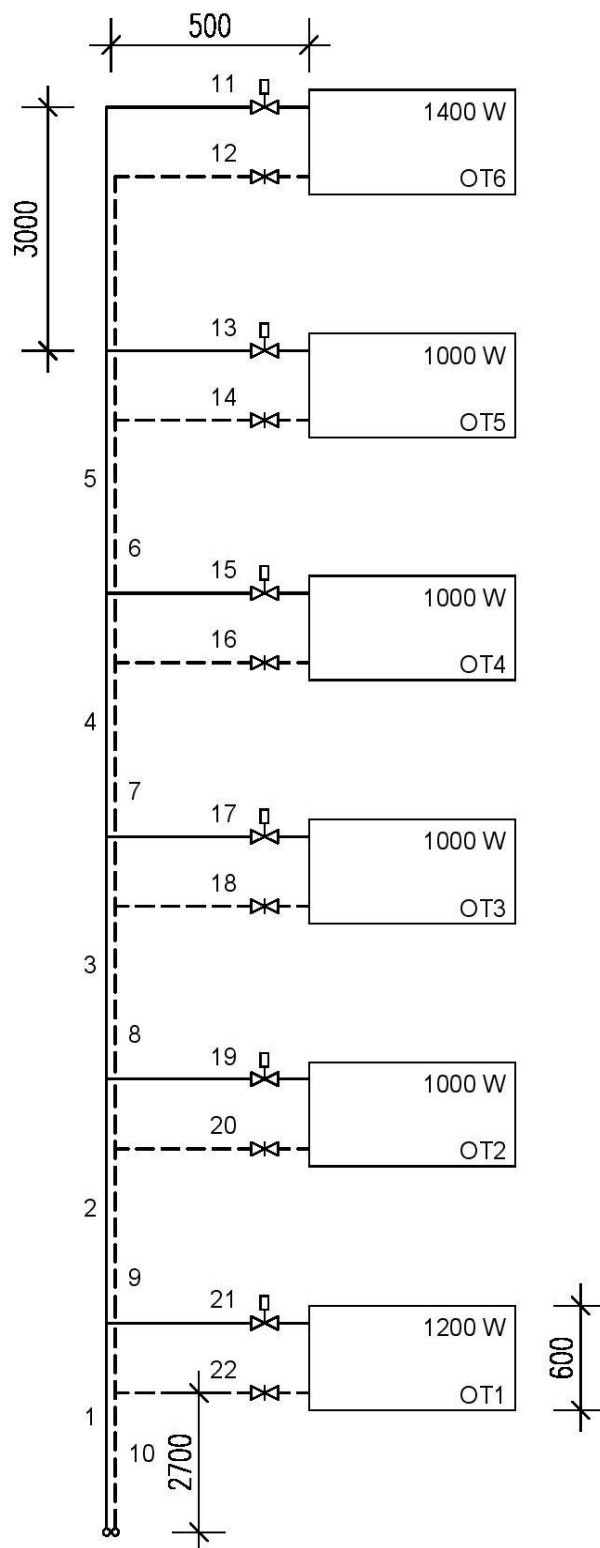
Obr. 10 Ekvitermní křivky – závislost teploty otopné vody na venkovní teplotě [19]

Kvalitativní regulace je regulace, u které měníme teplotu otopné vody za konstantního průtoku. Algoritmus řízení teploty otopné vody v závislosti na teplotě venkovního vzduchu pak nazýváme ekvitermní regulací. Pokud se sníží venkovní teplota, potřebujeme zvýšit teplotu otopné vody, abychom vyrovnali množství dodaného tepelného výkonu s aktuální tepelnou ztrátou. Pro každý objekt se vypočítá soustava tzv. ekvitermních (otopných) křivek, které vyjadřují závislost mezi teplotou venkovního vzduchu a teplotou přívodní otopné vody. Je ovlivněna tepelně technickými vlastnostmi a požadovanou vnitřní výpočtovou teplotou objektu, tepelně technickými vlastnostmi otopného tělesa, případně i tepelnými ztrátami rozvodu otopné vody. Tyto křivky jsou implementovány do ekvitermního regulátoru. Ten na základě našich požadavků upravuje teplotu otopné vody podle vhodné ekvitermní křivky. V jednodušších regulátorech je otopná křivka nahrazena přímkou, ale při velmi nízké a vysoké venkovní teplotě se může projevit nepřesnost tohoto zjednodušení, neboť prohnutí křivky, jako exponenciální funkce, je závislé na teplotním exponentu instalovaných otopných ploch. [18] [19]

5 PŘÍKLAD VERTIKÁLNÍ VĚTVE OTOPNÉ SOUSTAVY

Důležitost hydraulického vyvažování otopných soustav bude prakticky ukázána na jednoduchém příkladu zadané vertikální větve. Hydraulické vyvážení takovéto vertikální větve může být provedeno jak přednastavením na TRV, tak nastavením regulačního šroubení u jednotlivých OT. Při použití přednastavení na TRV snižujeme s každým nižším číslem přednastavení významně pásmo proporcionality, a tak u čísel 1 a 2 už TRV s termostatickou hlaví ztrácí svou regulační schopnost. Proto se zaměřím na použití regulačních šroubení. Na regulačním šroubení budu znázorňovat možnost hydraulického vyvážení, a to na jedné vertikální větvi dvoutrubkové protiproudé otopné soustavy, na které je napojeno šest deskových otopných těles. Na vstupu do každého otopného tělesa je umístěn TRV a na výstupu z tělesa regulační šroubení. Výška otopných těles, jejich vzdálenost od vertikálního rozvodu a výšky mezi jednotlivými otopnými tělesy jsou vždy stejné.

Zadané délkové rozměry a čísla jednotlivých úseků potrubí a hodnoty výkonů otopných těles vertikální větve jsou znázorněny na Obr. 11. V mém příkladu předpokládám, že se do okolí otopného tělesa vždy přenese aktuální výkon daného otopného tělesa. To znamená, že se při dvojnásobném hmotnostním průtoku zvýší výkon otopného tělesa tak, že se zachová výstupní teplota otopné vody. Předpokládám tedy, že se teplota vratné ani přívodní vody nemění, neboť se zabývám kvantitativní regulací, a především vyvážením otopné soustavy. V praxi však dojde se změnou průtoku i ke změně teploty zpátečky, a tak se změní i střední teplota vody v otopném tělese.



Obr. 11 Schéma zadaného příkladu jedné vertikální větve otopné soustavy

5.1 Hmotnostní průtoky a návrh potrubí

Z kalorimetrické rovnice je vyjádřen požadovaný hmotnostní průtok m [kg/s], který musí proudit otopným tělesem pro požadovaný výkon (11). Z hmotnostního průtoku je možné dále vyjádřit vnitřní průměr potrubí pro námi navrženou nejvyšší přípustnou rychlost proudění otopné vody. Kdyby byla tato rychlost moc vysoká, mohlo by docházet k nežádoucím hlukovým projevům v otopné soustavě. Tento fakt je na obtíž především v obytných prostorách. Tam se tedy rychlost proudění volí $w = (0,3 \text{ až } 0,8) \text{ m/s}$. Pokud je potrubí vedeno technickými prostory, nebo průmyslovými objekty, můžeme zvolit rychlost vyšší. Ve svém příkladu volím maximální přípustnou rychlost otopné vody potrubím $w = 0,5 \text{ m/s}$.

$$m = \frac{Q}{c \cdot \Delta t} = w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [\text{kg/s}] \quad (11)$$

Q [W] je požadovaný tepelný výkon, c [J/kgK] měrná tepelná kapacita otopné vody ($c = 4187 \text{ J/kgK}$) a $\Delta t = t_p - t_v$ [K] je rozdíl teploty otopné vody přivedené do otopného tělesa (t_p) a teploty výstupní z otopného tělesa (t_v).

Regulační šroubení, TRV a jiné prvky nacházející se v okolí otopného tělesa jsou vyráběny především ve velikosti DN 15. Nemá tedy smysl snižovat v soustavě dimenzi potrubí pod tuto hodnotu.

Tab. 3: Návrh dimenze potrubí a skutečná rychlost proudění otopné vody

č. úseku	m [kg/s]	d [mm]	DN	d _{int} [mm]	w _{skut} [m/s]
1	0,1576	0,0200	20	21,6	0,43
2	0,1290	0,0181	20	21,6	0,35
3	0,1051	0,0164	20	21,6	0,29
4	0,0812	0,0144	20	21,6	0,22
5	0,0573	0,0121	15	16,1	0,28
6	0,0573	0,0121	15	16,1	0,28
7	0,0812	0,0144	20	21,6	0,22
8	0,1051	0,0164	20	21,6	0,29
9	0,1290	0,0181	20	21,6	0,35
10	0,1576	0,0200	20	21,6	0,43
11	0,0334	0,0092	15	16,1	0,16
12	0,0334	0,0092	15	16,1	0,16
13	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
14	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
15	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
16	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
17	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
18	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
19	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
20	0,0239	0,0078	15	16,1	0,12
21	0,0287	0,0085	15	16,1	0,14
22	0,0287	0,0085	15	16,1	0,14

5.2 Výpočet tlakových ztrát paralelní větve

Celková tlaková ztráta je dána součtem tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory. Jejich výpočet je znázorněn v kapitole 3. Výpočet tlakových ztrát jsem nejdříve provedl pro každý úsek zvlášť. Celková tlaková ztráta určitého okruhu je tedy dána součtem tlakových ztrát jednotlivých úseků, které vedou k počítanému otopnému tělesu a zpět.

5.2.1 Tlaková ztráta jednotlivých úseků

Reynoldsovo číslo Re jsem vypočítal dle vztahu (1), dynamický tlak p_d [Pa] ze vztahu (12).

$$p_d = \frac{\rho \cdot w^2}{2}, \quad (12)$$

kde ρ [kg/m³] je hustota a w [m/s] je skutečná rychlost proudění otopné vody.

Součinitel třecí ztráty lze vypočítat ze vztahů pro hydraulicky hladké potrubí, které mají dostatečný rozsah platnosti pro můj příklad. Po porovnání vypočtených hodnot (použity vztahy výpočtu dle Blasiusa, Altšula, Prandtl-Karmána a Drewa) jsem pokračoval ve výpočtech s použitím hodnot vypočtených vztahem dle Drewa, který má nejmenší odchylku od vypočtených hodnot zbylými vztahy. Výpočet dle Drewa (pro $Re < 10^6$) je

$$\lambda = 0,0056 + 0,5 \cdot Re^{-0,32} \quad (13)$$

Hodnoty součinitele místních odporů ζ [-] jsou uvedeny v Tab. 4. Hodnota pro otopné těleso je určena z katalogu firmy KORADO pro těleso RADIK KLASIK, typ 21.

Tab. 4: Hodnoty součinitelů místních odporů

ζ OT	8,5
ζ T-kus	1
ζ Koleo	0,4

Tlaková ztráta regulačního šroubení a TRV se vypočítá z k_{VS} hodnoty pro plné otevření ventilu. k_{VS} hodnota je jedním ze základních parametrů každého ventilu, kterým je dána jeho velikost. „ k_{VS} hodnota vyčísluje vztah mezi nastavením ventilu (zdvih, úhel natočení) a protékajícím množstvím. Představuje tak jmenovitý průtok armaturou v m^3/h při maximálním otevření h_{100} armatury a tlakové ztrátě $\Delta p_0 = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$ “ (11). Pro otopnou vodu je možné počítat se zjednodušeným vztahem

$$k_{VS} = V \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_0}{\Delta p_V}}, \quad (14)$$

kde V [m^3/h] je objemový průtok armaturou Δp_V [kPa] je tlaková ztráta ventilu a $\Delta p_0 = 100 \text{ kPa} (= 1 \text{ bar})$. Z tohoto vztahu můžeme odvodit výpočet tlakové ztráty námi počítaného ventilu. [11] [20]

$$\Delta p_V = \left(\frac{m}{\rho}\right)^2 \cdot \frac{\Delta p_0}{k_{VS}^2}, \quad (15)$$

kde m [kg/h] je hmotnostní tok proudící potrubím navržené velikosti. Hodnoty k_{VS} přímého regulačního šroubení byly určeny z katalogu firmy IVAR (typ IVAR.DD 301) a TRV z katalogu firmy KORADO. Přehled vypočtených hodnot a celkové tlakové ztráty jednotlivých úseků jsou uvedeny v Tab. 5.

Tab. 5: Vypočtené hodnoty pro určení celkové tlakové ztráty jednotlivých úseků zadané větve

č. úseku	p_d [Pa]	l [m]	Re [-]	λ [-]	$\Sigma \zeta$ [-]	$\Delta p_{zrš}$ [kPa]	Δp_{ztrv} [kPa]	Δp_{zo} [Pa]
1	92,52	3,3	18144	0,027	0	0	0	415,8
2	61,94	3	13428	0,029	1	0	0	364,2
3	41,12	3	9877	0,032	1	0	0	282,0
4	24,55	3	6709	0,035	1	0	0	206,0
5	39,64	3	7161	0,035	1	0	0	382,1
6	39,64	3	7161	0,035	1	0	0	382,1
7	24,55	3	6709	0,035	1	0	0	206,0
8	41,12	3	9877	0,032	1	0	0	282,0
9	61,94	3	13428	0,029	1	0	0	364,2
10	92,52	2,7	18144	0,027	1	0	0	432,7
11	13,49	0,525	3191	0,043	8,9	0,000	2,576	2729,3
12	13,49	0,475	3191	0,043	0,4	0,795	0,000	830,6
13	6,88	0,525	1926	0,050	9,5	0,000	1,314	1402,8
14	6,88	0,475	1926	0,050	0	0,406	0,000	426,6
15	6,88	0,525	1926	0,050	9,5	0,000	1,314	1402,8
16	6,88	0,475	1926	0,050	0	0,406	0,000	426,6
17	6,88	0,525	1926	0,050	9,5	0,000	1,314	1402,8
18	6,88	0,475	1926	0,050	0	0,406	0,000	426,6
19	6,88	0,525	1926	0,050	9,5	0,000	1,314	1402,8
20	6,88	0,475	1926	0,050	0	0,406	0,000	426,6
21	9,91	0,525	2532	0,046	9,5	0,000	1,893	2014,9
22	9,91	0,475	2532	0,046	0	0,584	0,000	609,6

5.2.2 Tlaková ztráta jednotlivých okruhů otopných těles

Celkovou tlakovou ztrátu jednotlivých okruhů otopných těles s plně otevřeným TRV a regulačním šroubením vypočítáme jako součet celkových tlakových ztrát jednotlivých úseků, kterými musí protéct otopná voda, aby se dostala do otopného tělesa a zpět.

Tab. 6: Celkové tlakové ztráty hydraulicky nevyvážených okruhů

	Δp_{zo} [Pa]
OT1	3473
OT2	3406
OT3	3970
OT4	4382
OT5	5147
OT6	6877

5.3 Hydraulické vyvažování

Jak můžeme vidět v Tab. 6, tlakové ztráty jednotlivých okruhů pro námi požadovaný výkon (resp. hmotnostní průtok otopné vody) se liší. Otopná voda proudí cestou nejmenšího odporu. To znamená, že každý okruh paralelní větve má ve výsledku stejnou tlakovou ztrátu. Aby tento fakt nastal, samovolně se upraví velikosti jednotlivých hmotnostních průtoků. Hmotnostní průtok otopné vody je tedy v okruhu tělesa OT1 větší než požadovaný, tím pádem se zvýší jeho tlaková ztráta. Hmotnostní průtok tělesa OT6 bude menší než požadovaný, a tím se jeho tlaková ztráta sníží tak, aby se výsledné tlakové ztráty každého paralelního okruhu rovnaly.

5.3.1 Otopná soustava bez hydraulického vyvážení

Pro ukázkou otopné soustavy bez hydraulického vyvážení jsem provedl dva výpočty. První předpokládá, že soustavě dodáme dostatečný hmotnostní průtok otopné vody tak, aby výkon otopného tělesa OT6 byl 100 %. Předpokládáme tedy, že se celková tlaková ztráta všech okruhů bude rovnat tlakové ztrátě okruhu tělesa OT6. Výsledné hodnoty tohoto výpočtu můžeme vidět v Tab. 7. Do této otopné větve bychom tedy museli přivádět 708 kg/h otopné vody. To je o 140 kg/h více než průtok při námi požadovaných hmotnostních průtocích.

Tab. 7: Průtok otopné vody a procentuální hodnota přeneseného výkonu za předpokladu 100% výkonu OT6

	m [kg/h]	$m_{OT6=100\%}$ [kg/h]	$Q_{OT6=100\%}$ [%]
OT1	103	145	141
OT2	86	122	142
OT3	86	113	132
OT4	86	108	125
OT5	86	99	116
OT6	120	120	100

V druhém výpočtu předpokládám, že jednotlivé okruhy otopné soustavy se ustálí na tlakové ztrátě, která je průměrnou tlakovou ztrátou otopných okruhů (v mém případě $\Delta p_{zp} = 4543$ Pa). V takovém případě se hmotnostní průtok otopné soustavy zvýší pouze o 8 kg/h otopné vody.

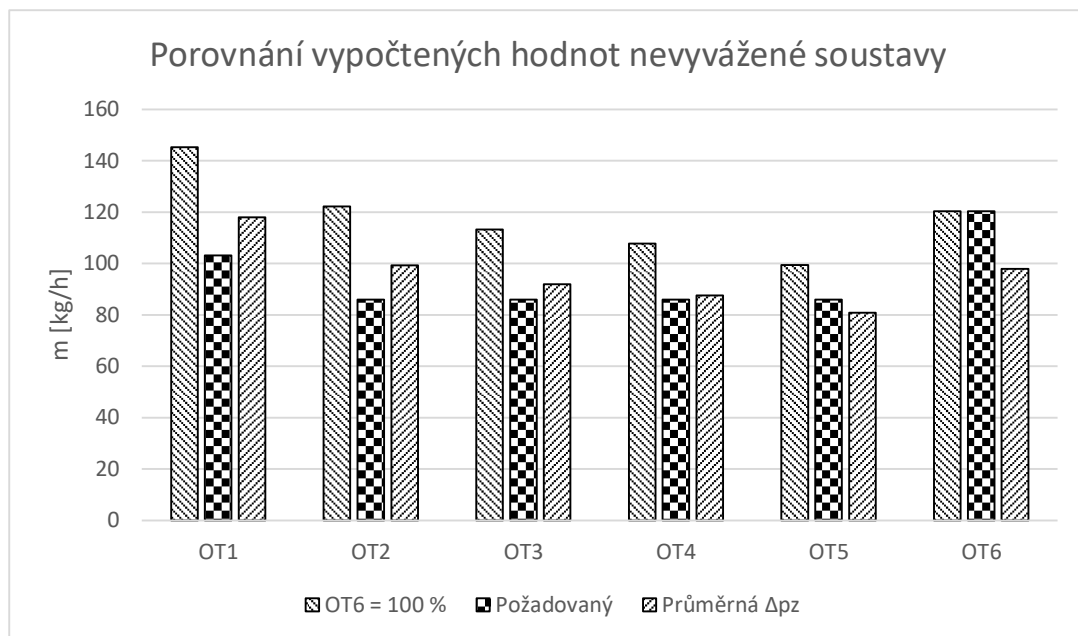
Tab. 8: Průtok otopné vody a procentuální hodnota přeneseného výkonu za předpokladu ustálení soustavy na průměrné tlakové ztrátě okruhů těles

	m [kg/h]	$m_{pr \Delta pz}$ [kg/h]	$Q_{pr \Delta pz}$ [%]
OT1	103	118	114
OT2	86	99	115
OT3	86	92	107
OT4	86	88	102
OT5	86	81	94
OT6	120	98	81

Vypočítat reálnou tlakovou ztrátu otopné větve, a tím i její přesný hmotnostní průtok by bylo náročné z důvodu provázanosti výpočtů. Se změnou tlakové ztráty okruhu se změní rychlost otopné vody, která zpětně ovlivňuje tlakovou ztrátu. Tato záležitost není hlavním tématem mé práce, proto se jí nebudu podrobněji zabývat.

5.3.2 Hydraulické vyvážení otopné soustavy

Z předchozích výpočtů a Obr. 12 je tedy jasné, že pokud chceme dodržet námi požadovaný výkon otopných těles, musíme vyrovnat tlakovou ztrátu všech okruhů na hodnotu nejvyšší tlakové ztráty, tj. na tlakovou ztrátu hlavní větve. Nejjednodušším a nejlevnějším způsobem ke zvýšení tlakové ztráty jednotlivých okruhů je přednastavení na regulačním šroubením, případně na TRV. V mém příkladu není rozdíl mezi tlakovými ztrátami tak velký, abych byl nucen použít i přednastavení na TRV. Hydraulické zaregulování provedu tedy pouze za pomoci regulačního šroubení.



Obr. 12: Porovnání vypočtených hodnot nevyvážené otopné soustavy

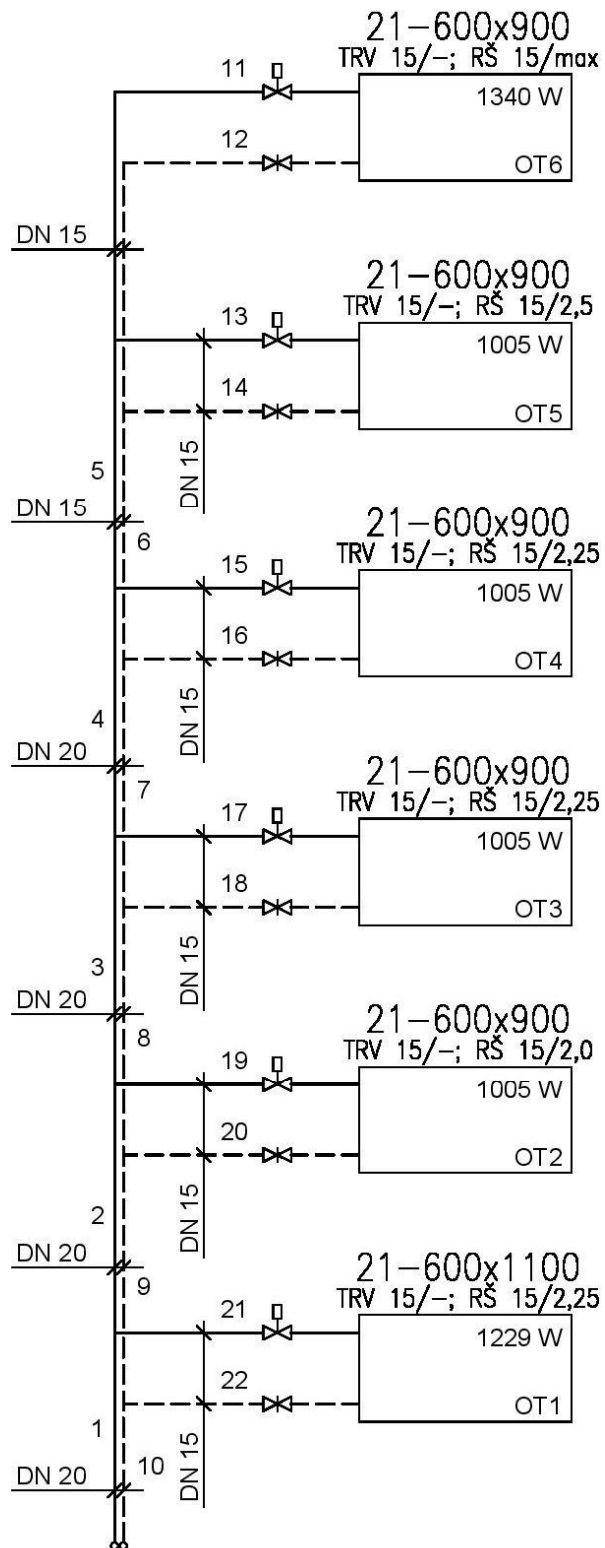
Tlakovou ztrátu okruhu upravím nastavením regulačního šroubení na požadovanou hodnotu. Tím ovlivním k_{VS} hodnotu ventilu. Použiji vztah pro výpočet k_{VS} hodnoty (14), kam dosadím za tlakovou ztrátu ventilu Δp_V námi požadovanou tlakovou ztrátu $\Delta p_{Vi} = \Delta p_{Z0 REF} - \Delta p_{Z0i} - \Delta p_{Z Rši}$ (kde $\Delta p_{Z0 REF}$ [Pa] je referenční tlaková ztráta které chceme dosáhnout – tlaková ztráta okruhu OT6, Δp_{Z0i} [Pa] je tlaková ztráta počítaného okruhu s maximálně otevřeným regulačním šroubením a $\Delta p_{Z Rši}$ [Pa] je tlaková ztráta maximálně otevřeného regulačního šroubení počítaného okruhu). Z tabulky, která lze dohledat

v katalogu nebo technickém listu výrobce, určíme hodnotu natočení akčního členu regulačního šroubení s přesností maximálně na $\frac{1}{4}$ otáčky.

Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v Tab. 9. Index ID vyjadřuje námi požadovanou „ideální“ hodnotu. Té ale nemůžeme dosáhnout z důvodu přesnosti nastavení regulačního šroubení. V tabulce jasně vidíme, že rozdíl celkových tlakových ztrát Δp_{zC} jednotlivých okruhů je po hydraulickém vyvážení zanedbatelný. V katalogových listech bývá často přiložen graf, který slouží pro rychlé odvození tlakové ztráty bez nutnosti výpočtu daných vztahů. Pro návrh otopné soustavy jeho použití ale není vhodné.

Tab. 9: Celková tlaková ztráta jednotlivých okruhů po hydraulickém vyvážení

	Δp_z [Pa]	$\Delta p_{v ID}$ [Pa]	$k_{VS ID}$	Otáčky RŠ	k_{VS}	Δp_v [Pa]	Δp_{zC} [Pa]
OT1	3473	4199	0,50	2,25	0,52	4014	6692
OT2	3406	3877	0,44	2,00	0,43	3998	6999
OT3	3970	3313	0,47	2,25	0,52	2787	6352
OT4	4382	2901	0,50	2,25	0,52	2787	6764
OT5	5147	2136	0,59	2,50	0,60	2054	6794
OT6	6877	0	1,35	max	1,35	795	6877



Obr. 13: Schéma hydraulicky vyvážené soustavy

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo zmapování jednotlivých problémů, se kterými se můžeme setkat při návrhu hydrauliky základní otopné soustavy. Pro návrh správného potrubí jsem nejprve popsal používané materiály, vhodnost jejich použití, výhody a nevýhody. Dále jsem pokračoval s tepelnou izolací potrubí, v jakých případech je nutná a na jaké součinitele prostupu tepla je potřeba tepelnou izolaci navrhnout dle vyhlášky č. 193/2007 Sb. Zmínil jsem se také o tepelně-fyzikálních vlastnostech používaného potrubí. Jeho drsnost a její vliv na výpočet především třecích tlakových ztrát v oblasti turbulentního a přechodového proudění a teplotní délková roztažnost s popisem jevů, ke kterým může dojít při přehlédnutí tohoto faktoru v průběhu návrhu rozvodů otopné soustavy.

Další kapitola byla věnována hydraulice otopné soustavy. Přesněji tlakovým ztrátám třením, tlakovým ztrátám místními odpory a konečně výpočtu celkové tlakové ztráty a její bilanci, která je důležitá především pro vyšší budovy, ve kterých má vliv přirozený vztlak otopné vody v soustavě.

Ve čtvrté kapitole jsem nastínil rozdíl mezi dynamickou regulací otopné soustavy a statickou regulací neboli hydraulickým vyvážením otopné soustavy. Dále jsem se věnoval jednotlivým prvkům statické regulace, jako je regulační šroubení, TRV a vyvažovací armatury. K dynamické kvantitativní regulaci jsem uvedl nejpoužívanější termostatické a elektronické hlavice a zmínil jsem se také o nutnosti použití čerpadla s regulací jeho otáček a o vhodnosti použití regulátorů tlakové diference u vyšších budov. Pro kompletnost jsem uvedl také komplikovanější dynamickou kvalitativní regulaci.

V praktické části mé práce jsem uvedl příklad vertikální větve otopné soustavy, ve kterém jsem provedl výpočet tlakových ztrát jednotlivých okruhů otopných těles. Pro znázornění důležitosti hydraulického vyvažování jsem vypočítal hodnoty tepelného výkonu otopných těles při plně otevřeném regulačních šroubení a plně otevřeném TRV. Výpočet jsem provedl pro dva předpoklady. V prvním předpokladu uvažuji dostatečný hmotnostní průtok na to, aby výkon otopného tělesa OT6 byl 100 %. Neboli tlaková ztráta každého okruhu bude rovna tlakové ztrátě okruhu OT6. Ve druhém předpokládám, že se tlaková ztráta okruhů otopných těles ustálí na průměrné tlakové ztrátě jednotlivých okruhů. Vypočítané hodnoty jsou viditelné v Obr. 12, ze kterého jasně vidíme nedosažitelnost požadovaných výkonů otopných těles.

Dále jsem provedl výpočet pro správné hydraulické vyvážení. Celková tlaková ztráta jednotlivých okruhů má odchylku do 6 % od průměrné tlakové ztráty. Hydraulicky nevyvážená soustava by měla odchylku tlakových ztrát od průměrné tlakové ztráty až 51 %.

Pro správnou funkci (neboli dostatečně ekologickou, a současně ekonomickou funkci) otopné soustavy je tedy nutné provést hydraulické vyvážení. Při jeho opomenutí by docházelo k nedostatečnému, nebo nerovnoměrnému vytápění a není plně možné (ani ekonomicky výhodné) ho nahradit dynamickými regulačními prvky. Jeho provedení je také dáno pro otopné, ale také chladicí soustavy vyhláškou č. 193/2007 Sb., která nařizuje seřízení průtoků tak, aby odpovídaly projektovaným hodnotám jmenovitých průtoků s maximální odchylkou ± 15 %. Protokol o hydraulickém vyvážení je společně s naměřenými průtoky předán provozovateli otopné soustavy při uvádění do provozu.

7 LITERÁRNÍ ZDROJE

1. **BAŠTA, Jiří.** *Výukové materiály.*
2. **Sb., Vyhláška 193/2007.** *Vyhláška, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu.*
3. **BAŠTA, Jiří, KABELE Karel.** *Otopné soustavy - teplovodní, třetí, přepracované vydání.* Praha : Společnost pro techniku prostředí - odborná sekce vytápění, 2008. ISBN 978-80-02-02065-6.
4. **VALEŠ, Ivo.** Univerzální plastové rozdělovače z PP-RCT. *tzb info.* [Online] 13. 6 2018. [Citace: 6. 4 2020.] <https://voda.tzb-info.cz/materialy-voda-kanalizace/17493-univerzalni-plastove-rozdelovace-z-pp-rct>.
5. **PIPELIFE Czech s.r.o.** Jsou lepší trubky PEX (PE-RT) nebo PEX/AL/PEX (PE-RT/AL/PE-RT). *topenářství instalace.* [Online] 21. 3 2017. [Citace: 6. 4 2020.] <http://www.topin.cz/clanky/jsou-lepsi-trubky-plex-pe-rt-nebo-plex-al-plex-pe-rt-al-pe-rt-detail-1371>.
6. **Giacomini S.p.A.** Katalogový list - Polybutenová trubka s kyslíkovou bariérou. *Giacomini.* [Online] 4 2014. [Citace: 6. 4 2020.] <https://www.giacomini.cz/r986>.
7. **FV plast.** Novinky v produkci FV Plast - od PP-R k PP-RCT. *FV plast.* [Online] [Citace: 6. 4 2020.] <https://www.fv-plast.cz/novinka-novinky-v-produkci-fv-plast---od-pp-r-k-pp-rct>.
8. **VAVŘIČKA, Roman.** Tepelné namáhání a hluková hlediska provozu potrubních sítí. *tzb info.* [Online] 3. 7 2017. [Citace: 6. 4 2020.] <https://voda.tzb-info.cz/izolace-a-hluk/15991-tepelne-namahani-a-hlukova-hlediska-provozu-potrubnich-siti>.
9. **JEŽEK, Jan, VÁRADIOVÁ, Blanka, ADAMEC Josef.** *Mechanika Tekutin.* Praha : ČVUT, 2000. 8001028658;9788001028650;.
10. **BAŠTA, Jiří.** Rozdíl mezi regulací a ovládním. *tzb info.* [Online] 21. 10 2004. [Citace: 15. 4 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2203-rozdil-meziregulaci-a-ovladanim>.

11. —. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha : ČVUT, 2003. 8001028089;9788001028087;.
12. **ŠTĚPÁN, Tomáš**. *Návrh zařízení na zkoušení termoregulačních vlastností termostatických hlavíc*. [Diplomová práce] Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2008.
13. **MATZ, Václav**. Využití termostatických ventilů a termostatických hlavíc pro regulaci vytápění. *tzb info*. [Online] 21. 9 2009. [Citace: 18. 4 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavic-pro-regulaci-vytapani>.
14. **XU, Boaping**. Simulation and analysis on control effectiveness of TRVs in district heating systems. *Energy and buildings*. 43.5, 2011, 1169-1174.
15. **MATZ, Václav**. Programovatelné termostatické hlavice. *tzb info*. [Online] 26. 10 2009. [Citace: 18. 4 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6000-programovatelne-termostaticke-hlavice>.
16. **KUKAL, Petr**. *Řízení oběhových čerpadel*. [Bakalářská práce] Praha : České vysoké učení v Praze, 2018.
17. **MATZ, Václav**. Mechanické a digitální prostorové termostaty, možnosti úspor při vytápění domů. *tzb info*. [Online] 30. 11 2009. [Citace: 20. 4 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6092-mechanicke-a-digitalni-prostorove-termostaty-moznosti-uspor-pri-vytapani-domu>.
18. —. Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění. *tzb info*. [Online] 8. 3 2010. [Citace: 21. 4 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>.
19. **HODBOŮ, Josef**. Výpočet a graf ekvitermní křivky. *tzb info*. [Online] 8. 3 2017. [Citace: 21. 4 2020.] <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/15462-vypocet-a-graf-ekvitermni-krivky>.
20. **ŠTEFAN, David**. *Hydraulické ztráty v potrubí*. [Bakalářská práce] : VUT, Brno 2009.