

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ



DIPLOMOVÁ PRÁCE
2023/2024

Vypracoval:

Bc. Jaroslav Vich

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Bc. Vich</u>	Jméno: <u>Jaroslav</u>	Osobní číslo: <u>477245</u>
Zadávací katedra: <u>K125 Katedra technických zařízení budov</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Hydraulika systému vytápění komplexu bytových domů</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Hydraulics of the heating system in a complex of apartment buildings</u>	
Pokyny pro vypracování: Projekt vytápění zadaných budov	
Textová část - technická zpráva, výpočet tepelných ztrát, návrh trasy soustavy vytápění, návrh dimenzí rozvodů, optimalizace hydrauliky rozvodů, základní energetické výpočty. Výkresová část - půdorysy, svislý řez, řešení technické místnosti	
Studie na téma: <u>Hydraulika otopných soustav s využitím moderních regulačních prvků</u>	
Seznam doporučené literatury: Kabele, Karel : TECHNICKÁ ZAŘÍZENÍ BUDOV. Vytápění. ČVUT. Praha 2014. ISBN 978-80-01-05203-7 ČSN EN 12831 -1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modulu M3-3. ČSN EN 12828 A1 Tepelné soustavy v budovách - Navrhování teplovodních otopných soustav. Bašta, Jiří: Hydraulika a řízení otopných soustav. ČVUT 2003. ISBN 80-01-02808-9.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>27.9.2023</u>	Termín odevzdání DP v IS KOS: <u>8.1.2024</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma
„Hydraulika systému vytápění komplexu bytových domů“
zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat především doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D., který mě celým procesem psaní této práce provedl a poskytl mi cenné rady. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině, přítelkyni a přátelům, kteří mi byli oporou při mém studiu.

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. ZÁKLADNÍ PRINCIPY REGULACE	1
2.1 TYP REGULAČNÍCH SYSTÉMŮ	2
2.1.1 Monitorování	2
2.1.2 Ovládání	2
2.1.3 Ruční regulace	3
2.1.4 Automatická regulace.....	3
2.2 TYPY REGULÁTORŮ	4
2.2.1 Nespojité regulátor	4
2.2.1 Spojitý regulátor	5
3. REGULAČNÍ SOUSTAVY	7
3.1 Tlakové ztráty	7
3.1.1 Ztráty třením.....	7
3.1.2 Ztráty místními odpory	8
3.2 Statická regulace	8
3.3 Dynamická regulace – kvantitativní.....	9
3.3.1 Průtokové součinitele.....	9
3.3.2 Průtočné charakteristiky.....	10
3.3.3 Autorita ventilu.....	12
3.3.4 Deformace průtočné charakteristiky	13

3.3.5	Součinitel přenosu soustavy	15
3.4	Armatury dynamické regulace	17
3.4.1	Termostatické regulační ventily	17
3.4.1	Termostatické hlavice a termostaty	18
3.4.2	Regulátory tlakové difference.....	22
3.4.3	Tlakově nezávislé regulační ventily	24
3.5	Dynamická regulace – kvalitativní.....	25
3.5.1	Ekvitermní regulace	25
3.5.1	Směšování.....	26
3.6	Směšovací uzly.....	26
3.6.1	Dvoucestné regulační armatury	27
3.6.2	Trojcestné regulační armatury	29
3.6.3	Soustavy rozdělovačů.....	33
3.7	Problémy spojené s provozem OS.....	35
3.7.1	Kvalita vody	35
3.7.2	Kovy v otopné vodě	36
3.7.3	Plyny v otopné vodě.....	36
3.7.4	Kavitace.....	38
3.7.5	Udržování tlaku v soustavě	39
4.	Běžné vyvažování vs. technologie AFC	42
4.1	Běžná soustava	42

4.2	Soustava s technologií AFC	43
4.3	Porovnání	44
5.	Výpočty.....	46
5.1	Tepelné ztráty	46
5.2	Návrh otopných těles	46
5.3	Vyvážení otopné soustavy.....	46
5.4	Návrh zdroje tepla	46
5.5	Návrh akumulční nádoby	47
5.6	Návrh fototermických kolektorů	48
5.7	Návrh zásobníků teplé vody.....	49
5.7.1	Solární zásobníky.....	49
5.8	Návrh teplených výměníků	50
5.8.1	Výměník pro odběr tepla z šedé vody.....	50
5.8.2	Výměník pro předávání tepla z šedé vody	52
5.8.3	Solární výměník.....	53
5.8.4	Výměník pro dohřev teplé vody	54
5.9	Expanzních nádob	56
5.9.1	Expanzomat pro okruh vytápění	56
5.9.2	Solární expanzní nádoba	57
5.9.3	Expanzní nádoba pro primární okruh TČ.....	58
5.10	Pojistných ventilů.....	59

5.11	Návrh oběhových čerpadel.....	61
6.	Zdroje.....	62
7.	Seznam obrázků	65
8.	Seznam tabulek	68

ABSTRAKT

Diplomová práce řeší projekt vytápění a přípravy teplé vody v bytového komplexu s využitím moderní technologie pro dynamickou regulaci. Práce je rozdělena do dvou částí. V první části jsou představeny základní principy regulace a armatury, kterými dnes běžně regulujeme systémy vytápění, dále analýza moderních a běžně používaných termostatických ventilů a závěrem zde nejdeme výpočetní část, která slouží jako podklad pro projektovou dokumentaci v druhé části této práce. Jak již bylo zmíněno, druhá část obsahuje výkresovou dokumentaci vytápění a přípravy teplé vody pro bytový komplex a technickou zprávu. Přílohami k této práci jsou pak výstupní dokumenty ze softwaru Protech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vytápění, regulace, vyvažování, příprava TUV, tepelné čerpadlo, fototermika, rekuperace odpadního tepla

ABSTRACT

The diploma thesis deals with a heating and hot water preparation project in an apartment complex, using modern technology for dynamic regulation. The work is divided into two parts. In the first part, the basic principles of regulation and fittings, which we normally use to regulate heating systems today, are presented, as well as an analysis of modern and commonly used thermostatic valves, and the calculation part, which serves as a basis for the project documentation in the second part of this work. As already mentioned, the second part contains drawing documentation of heating and hot water preparation for the apartment complex and a technical report. The appendices to this thesis are the output documents from the Protech software.

KEY WORDS

Heating, regulation, balancing, DHW preparation, heat pump, photothermics, waste heat recovery

1. ÚVOD

Diplomová práce se zabývá vytvoření projektové dokumentace vytápění pro bytový komplex v Praze. Komplex se skládá ze tří samostatných objektů pojmenovaných A1, A2 a A3, které jsou propojeny třemi podzemními podlažími. V podzemních podlažích se nachází garáže, sklípky a technické místnosti. V 1.NP se nachází komerční prostory a ve vyšších podlažích jsou bytové jednotky. V rešeršní části této práce jsou popsány základní principy statické a dynamické regulace otopných soustav. Další část představuje běžně používané armatury, kterými lze docílit staticky i dynamicky vyvážené otopné soustavy. Následuje analýza běžně používaných termostatických regulačních ventilů a termostatických regulačních ventilů s omezovačem průtoku. V samotném závěru najdeme výpočetní část základních součástí otopné soustav jako je zdroj tepla, čerpadla, expanzní nádoby atd. Tyto výpočty pak slouží jako podklad pro výkresovou dokumentaci.

2. ZÁKLADNÍ PRINCIPY REGULACE

Pro pochopení problematiky vyvažování otopných soustav (dále jen OS), je potřeba si stanovit, proč je nutné vyvažovat a na jakých principech vyvažování funguje. V dnešní době, kdy se stále zvětšuje tlak na ekonomické a ekologické hospodaření s energiemi, je vyvažování OS nedílnou součástí všech projektů vytápění. Správně zaregulovaný systém dokáže v první řadě ušetřit za spotřebu použitého energonositele, kterým zásobujeme zdroj tepla, dále má také vliv na úsporu spotřeby pomocných energií jako je například elektrická energie na pohon oběhových čerpadel. Zajišťuje komfort uživatelům objektu a v neposlední řadě má vliv na technickou životnost dalších součástí OS, příkladem jsou opět oběhová čerpadla, ale může jít i o zdroje tepla. Z těchto a spousty dalších důvodů je vyvažování OS zakotveno v české legislativě.

„Zdroje tepelné energie, které zajišťují vytápění ústřední, bytové individuální a lokální, se vybavují automatickou regulací umožňující centrálně snížit či odstavit dodávku tepelné energie, stejně jako zapnout a vypnout elektrická zařízení zajišťující dopravu tepelné energie.“ (Vyhláška č.193/2007 Sb., §7, (3)) [1]

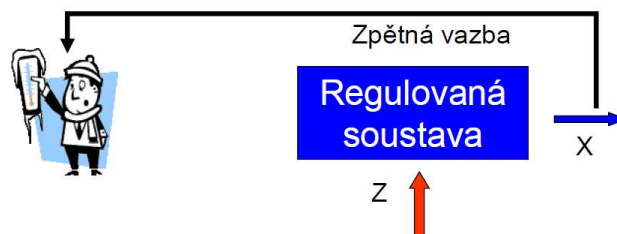
Takto zní úryvek vyhlášky č.193/2007 Sb., která ukládá povinnost dotčeným účastníkům v procesu stavby vytvářet otopné soustavy, které budou po prvotním nastavení schopny samostatné regulace. Dále udává kritérium, podle kterého je možné posuzovat, zda OS může být považovaná za vyváženou. Stěžejní podmínkou je seřízení průtoků na jednotlivých větvích OS tak, aby maximální odchylka od projektovaného průtoku byla $\pm 15\%$ (Vyhláška č.193/2007 Sb., §7, (6)) [1]. O měření je vystaven protokol, který je uložen u provozovatele OS.

2.1 TYP REGULAČNÍCH SYSTÉMŮ

Pod slovem regulace se rozumí proces, při kterém dochází ke změnám požadované veličiny, pro účely této práce ji nazýváme regulovaná veličina, na základě změny vnějším impulzem, pro účely této práce jej nazýváme poruchová veličina. Změnu regulované veličiny pak snímá regulátor, který předává signál ovládacímu prvku, pro účely této práce jej nazýváme akční člen. Existuje několik úrovní přímé a nepřímé regulace, které si zde představíme.

2.1.1 Monitorování

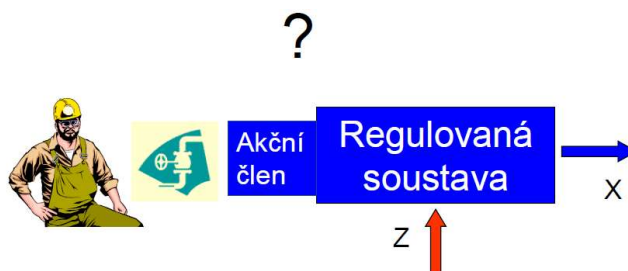
Prvním nepřímým způsobem regulace je monitorování. Jde o proces, při kterém je regulovaná veličina měněna poruchovou veličinou. Uživatel má zpětnou vazbu o stavu regulované veličiny, ale kvůli absenci akčního členu nemůže měnit hodnotu regulované veličiny.



Obr.1 Regulační schéma monitorování

2.1.2 Ovládání

Na základě změny polohy akčního členu se mění regulovaná veličina. Uživatel ovšem nemá zpětnou vazbu, tudíž nemá přehled, jaký dopad má změna nastavení akčního členu na změně regulované veličiny.

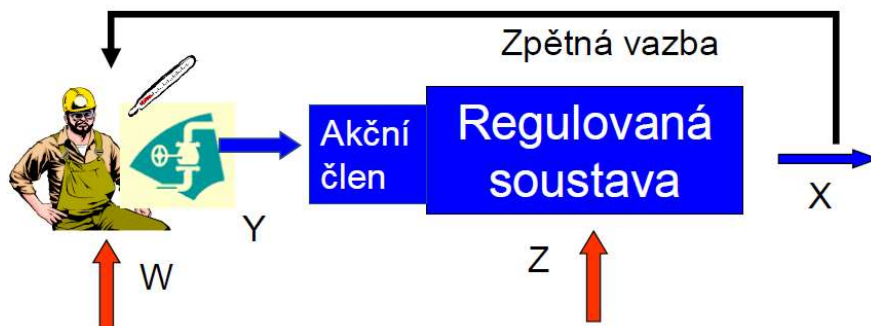


Obr.2 Regulační schéma ovládání

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

2.1.3 Ruční regulace

Jedná se o nejjednodušší způsob přímé regulace. Abychom mohli nazývat regulaci regulací, je potřeba mít v systému regulátor. Jeho úkolem je přijímat informace o stávajícím stavu regulované veličiny, porovnávat ji s požadovanou hodnotou a na základě potřeby vysílat signál akčnímu členu. Regulátorem je v tomto případě osoba s pověřením spravovat regulovanou veličinu. Požadovanou hodnotu regulované veličiny má uloženou v mozku, a na základě svých smyslů a zpětné vazby měřičů regulované veličiny provádí zásah pomocí akčního členu. Aby mohla ruční regulace fungovat nepřetržitě, je zapotřebí mít na pracovišti nepřetržitě obsluhu, která bude provádět úpravy pomocí akčního členu. Tento způsob taky naráží na omezenou kapacitu lidského mozku, který není schopen zpracovávat větší objemy dat pro efektivnější řízení celého systému.



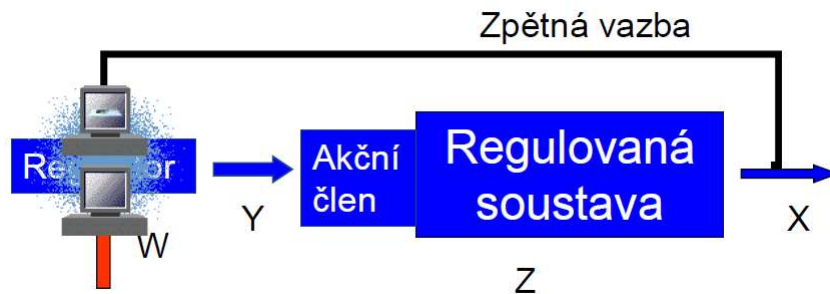
Obr.3 Regulační schéma ručního ovládání

2.1.4 Automatická regulace

Jde o velice rozšířený způsob regulace. Principiálně funguje stejně jako ruční regulace, regulátorem však není člověk, nýbrž přístroj. Člověk pouze nastaví požadovanou hodnotu regulované veličiny a regulátor si již zbytek řídí sám. Eliminuje tak nedostatky lidské faktoru. Je schopen pracovat nepřetržitě, nepotřebuje odpočívat a je schopen pracovat vždy na 100 %. Zároveň je schopen

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

se z již získaných dat učit, aby následně zefektivnil svoji práci. Pokud je žádoucí, je možné propojit více automatických regulačních systémů v rámci jednoho objektu. Takovéto objekty potom můžeme nazývat jako inteligentní budovy.



Obr.4 Regulační schéma automatického ovládání

2.2 TYPY REGULÁTORŮ

Pro dosažení dostatečné schopnosti regulace systému je potřeba zvolit správný typ regulátoru, které jsou níže představeny.

2.2.1 Nespojité regulátor

Prvním typem jsou nespojité regulátory. Jejich podstata spočívá v nespojitém řízení akčního členu, tedy akční veličina neprobíhá spojitě v závislosti na regulační veličině. Akční člen má omezený počet poloh, mezi kterými přepíná. Nejčastěji jsou dvě, ale může jich mít i víc. Regulovaná veličina pouze osciluje kolem žádané hodnoty. Mezi jednotlivými polohami mají regulátory nastavenou necitlivostní odchylku na změnu regulované veličiny, aby nedocházelo k častému přepínání akčního členu, kterým by se snižovala jeho životnost. Výhodou těchto regulátorů je jednoduchost konstrukce a pořizovací náklady, za cenu nižší přesnosti regulace.

2.2.1 Spojitý regulátor

U toho typu regulátoru probíhá akční veličina spojitě v závislosti na regulované veličině. Akční člen neustále ovlivňuje regulační veličinu, tím pádem je odezva v regulačním systému téměř okamžitá. Rozdílem od nespojitých regulátorů je fakt, že akční veličina může nabývat libovolné hodnoty a plynule mezi nimi přepínat. V praxi se používají tři typy spojitých regulátorů, případně jejich vzájemné sdružení.

Proporcionální regulátor (P-regulátor)

U toho typu regulátoru je akční veličina přímo úměrná regulované veličině. Roste-li vstupní veličina, klesá veličina výstupní a naopak. Práce regulátoru je závislá na součiniteli přenosu, který je možné měnit na samotném přístroji. Se zvyšujícím se součinitelem přenosu roste citlivost a přesnost regulátoru na změny poruchových veličin. Zároveň se ale snižuje stabilita systému.

Integrační regulátor (I-regulátor)

Akční veličina toho regulátoru je úměrná integrálu regulační veličiny, tedy regulační odchylce. Není vhodný pro samostatné použití, neboť se zvyšující se frekvencí klesá zesílení, takže regulátor pomalu odstraňuje poruchy. Z toho vyplývá, že není vhodný do soustav, kde se vyskytuje hodně poruch. Jeho výhodou je odstraňování regulační odchylky u P-regulátorů.

Derivační regulátor (D-regulátor)

Opět se jedná o typ regulátoru, který lze použít samostatně jen ve výjimečných případech. Akční veličina je úměrná derivaci regulační veličiny. To znamená, že akční veličina bude nenulová, pouze když se bude měnit regulační veličina. Pro konstantní regulační odchylku je derivace nulová, a tudíž i akční veličina bude

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

nulová. Variantou použití D-regulátoru je v kombinaci s P-regulátorem, kterému tak zrychluje regulaci.

Sdružené regulátory

Jde o varianty kombinací tří výše zmíněných regulátorů, které při paralelním zapojení částečně odstraňují své nedostatky a vylepšují tak účinnost regulace.

Mezi běžně používané sdružené regulátory patří PI-regulátor, PD-regulátor a PID-regulátor.

3. REGULAČNÍ SOUSTAVY

V kapitole 2 jsme si vysvětlili na jakých principech funguje regulace obecně. V této kapitole se podíváme konkrétně na otopné soustavy a jak se vyvažují. V následující části práce se bude často mluvit o tlaku. Pro zjednodušení budou zmínky a případné číselné hodnoty odkazovat na relativní tlak potažmo přetlak, pokud nebude uvedeno jinak.

3.1 Tlakové ztráty

Základním předpokladem pro vyvažování otopných soustav jsou kromě teplených bilancí tlakové poměry v potrubní síti. Pro účely této práce budeme uvažovat nejběžnější teplonosnou látku, která se v systémech vytápění používá, a to je voda. Při průchodu vody potrubím a dalšími armaturami, které zajišťují bezpečný a efektivní provoz celé soustavy, dochází ke ztrátám tlaku. Vzniklou tlakovou diferencí musíme v soustavě vyrovnávat oběhovým čerpadlem.

3.1.1 Ztráty třením

V potrubí se vždy snažíme udržovat plně rozvinuté turbulentní proudění, aby byla rychlost v celém průřezu téměř totožná. K lokálním snížením rychlostí dochází v oblasti mezi proudem vody a stěnou potrubí. V tomto místě vznikají tlakové ztráty třením. Vlastnosti vody jsou zde vyjádřeny Reynoldsovým číslem Re , které závisí na střední rychlosti proudění v , hydraulickém poloměru d a kinematické viskozitě ν . Parametrem potrubí je jeho drsnost. Na základě těchto dat je možné určit součinitel ztráty třením λ na jeden metr délky potrubí. Celkovou tlakovou ztrátu úseku Δp_{tr} pak lze vyjádřit jako:

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

$$\Delta p_{tř} = \frac{\lambda}{d} \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} \cdot l [Pa]$$

$\lambda [-]$	Součinitel ztráty třením
$d [m]$	Vnitřní průměr potrubí
$\rho [kg/m^3]$	Hustota teplotnosného media
$w [m/s]$	Rychlost proudění
$l [m]$	Délka potrubí

3.1.2 Ztráty místními odpory

V místech, ve kterých dochází ke změnám průřezu, směru, nebo v místech, kde jsou osazeny armatury, vznikají lokální tlakové ztráty. Hlavním popisným parametrem je součinitel místních odporů $[\zeta]$, ten je udáván výrobcem, který součinitel naměří praktickou zkouškou. Celková ztráta místními odpory se vyjádří jako:

$$\Delta p_m = \sum_{i=1}^n \zeta_i \cdot \rho \cdot \frac{w^2}{2} [Pa]$$

$n [-]$	Počet místních odporů v úseku
$\zeta [-]$	Součinitel místních odporů
$\rho [kg/m^3]$	Hustota teplotnosného media
$w [m/s]$	Rychlost proudění

Celková tlaková ztráta je pak součtem tlakové ztráty třením a tlakové ztráty místními odpory.

$$\Delta p = \Delta p_{tř} + \Delta p_m$$

3.2 Statická regulace

Abychom byli schopni dosáhnout požadovaných výkonů na otopných tělesech, je potřeba osadit do OS regulační prvky. Statická regulace spočívá v nastavení

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

vyvažovacích armatur tak, aby byl ve všech místech OS dosažen požadovaný nominální průtok. Na tento způsob regulace se odkazuje vyhláška č.193/2007 Sb. viz kapitola č.1. „(...) Každé otopné těleso se vybavuje ventilem s uzavírací a regulační schopností s regulátorem pro zajištění místní regulace (...).“ (Vyhláška č.193/2007 Sb., §4, (1)) [1]

Je to způsob, kterým se v dnešní době prokazuje zregulování OS. O skutečné schopnosti regulovat OS ale tento způsob nic neříká. Je běžné, a obzvlášť v bytových domech, že průtok v průběhu dne kolísá. Příkladem může být přetápění místností nebo noční útlum. Takovéto výkyvy není statická regulace schopná vyvážit. Při poklesu průtoku klesá tlaková ztráta větve. Zvětšující se tlakový rozdíl mezi tlakem dodávaným čerpadlem a snižující se tlakovou ztrátou, vede k hlučení termostatických ventilů. Statická regulace je tedy vhodná pro objekty s konstantními požadavky na teplotu v místnosti, a tudíž i konstantní průtok.

3.3 Dynamická regulace – kvantitativní

Jedná se o způsob regulace, kdy se mění hodnota hmotnostního průtoku z konstantní teploty otopné vody. Snížením hmotnostního průtoku snižujeme výkon otopných těles. Pro tento způsob regulace existuje nespočet armatur omezující průtok. Než k nim ale přejdeme, je potřeba si vysvětlit několik výrazů.

3.3.1 Průtokové součinitele

Abychom mohli porovnávat na první pohled odlišné regulační prvky, potřebujeme metriku, která jednoznačně určí průtokové charakteristiky v daném stavu. Obecně platí, že čím je vyšší průtokový součinitel, tím bude vyšší průtok daným prvkem. V bývalém ČSSR býval tento součinitel známý pod zkratkou A_v . V dnešní době ho nahradil součinitel K_v , který je v Evropě nejvíce rozšířený. Mimo Evropu a

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

zejména tam, kde se nepoužívají jednotky SI (například USA), je běžně známý průtokový součinitel pod zkratkou C_v . Pro tuto práci bude používán průtokový součinitel K_v .

K_v hodnota určuje objemový průtok v m^3/h , který proteče armaturou při plně rozvinutém turbulentním proudění za tlakové ztráty 1 bar. Tyto hodnoty by měl uvádět výrobce, který je naměří při tlakových zkouškách dané armatury. Lze ji interpretovat následujícím vztahem:

$$K_v = \frac{1}{100} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad [m^3/h]$$

$Q [m^3/h]$	objemový průtok
$\rho [kg/m^3]$	objemová hmotnost
$\Delta p [MPa]$	tlaková ztráta armatury

Z tohoto vzorce je pak při známé hodnotě K_v možno dopočítat objemový průtok nebo tlakovou ztrátu. Platí, že armatura vykazuje tolik hodnot K_v , kolik má možných nastavení. Pokud tedy máme uzavírací ventil, který je možné plně otevřít nebo plně uzavřít, ventil vykazuje jednu hodnotu K_v . V případě že máme regulační armaturu se čtyřmi možnými polohami, kdy je armatura v otevřeném stavu, tedy vyjma uzavřeného stavu, vykazuje pak tato armatura čtyři hodnoty K_v . Můžeme se setkat i s takzvanou hodnotou K_{vs} , jde o průtokový součinitel při 100 % otevření armatury.

3.3.2 Průtočné charakteristiky

Jedná se o závislost poměrného průtokového součinitele na poloze uzávěru regulační armatury. Poměrný průtokový součinitel se definuje jako poměr okamžitého průtokového součinitele K_v , ku maximálně otevřenému průtokovému

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

součiniteli K_{vs} . Polohu uzávěru regulačního prvku si lze představit jako poměr okamžitého zdvihu regulační armatury ku jejímu maximálnímu možnému zdvihu. V praxi se využívají různé typy křivek průtokových charakteristik.

Lineární průtočná charakteristika

Z obrázku 5 (křivka L) je patrné, že v ideálním stavu jde o charakteristiku, kdy je poměrný zdvih přímo úměrný poměrnému průtokovému součiniteli. V praxi se dochází k mírným odchýlkám. Nejčastěji se využívá v oblastech s pracovním bodem, který se pohybuje v úzké oblasti zdvihu, a existuje téměř přímá úměra mezi řízenou veličinou a průtokem média.

Rovnoprocentní průtočná charakteristika

Ideální rovnoprocentní průtočná charakteristika (viz obr. 5 křivka R) je taková, kdy poměrný zdvih vyvolá stejné procentuální přírůstky poměrného průtokového součinitele. Tato křivka je vhodná pro regulaci při nižší autoritě ventilu, kdy se v soustavě více projevuje vliv tlakové ztráty potrubí a pokles tlaku dodávaný oběhovým čerpadlem, při plném výkonu. Důsledkem je snížení dispozičního tlaku na ventilu s rostoucím průtokem. Další možné využití je v případech, pokud je potřeba regulovat ve výrazně odlišných průtokových stavech nebo když je regulovaná veličina zprostředkovávaná například ekvitermní regulací. Příkladem může být provoz OS v zimním období oproti provozu v přechodném období.

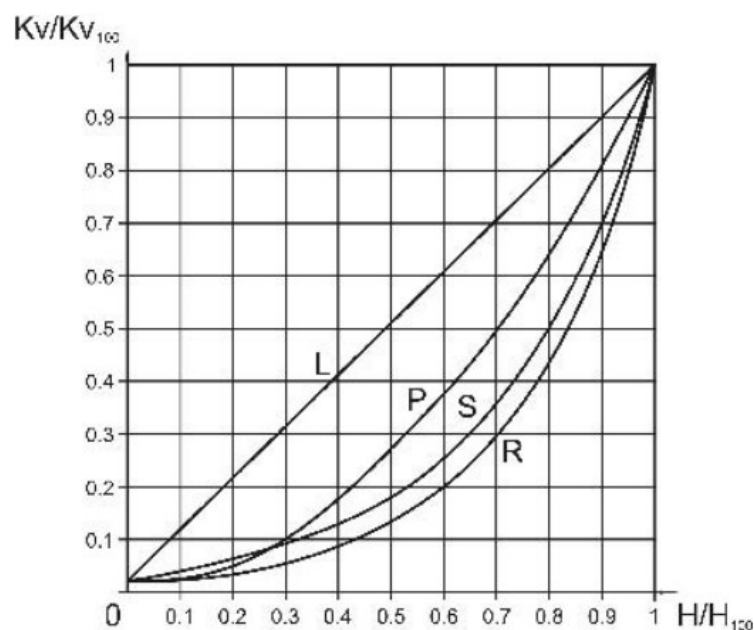
Parabolická průtočná charakteristika

Jedná se o nepříliš často používanou charakteristiku (viz obr. 5, křivka P), v zásadě jde o kompromis mezi lineární a rovnoprocentní charakteristikou. V případech, kdy je potřeba řídit více stavů s rozdílnými průtoky, které od sebe nejsou příliš vzdálené, je vhodné využít právě tuto charakteristiku.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

EQM průtočná charakteristika

Jde o modifikovanou variantou rovnoprocentní charakteristiky. Úprava průběhu křivky může lépe vyhovovat regulačnímu armatuře. Tato modifikace vyhovuje zejména výměníkům tepla voda – voda a teplovzdušným jednotkám. Výhodou je přesnější regulace po celé délce zdvihu než u rovnoprocentní charakteristiky. Do křivky je už zakomponovaná provozní deformace při práci s nižší autoritou.



Obr.5 Graf průtočných charakteristik

3.3.3 Autorita ventilu

Definujeme ji jako poměr dispozičního tlaku na ventilu při plném otevření ventilu ku dispozičnímu tlaku při plném uzavření ventilu. Nabývá hodnot od 0 do 1.

$$a = \frac{\Delta p_{Q_{max}}}{\Delta p_{Q=0}} [-]$$

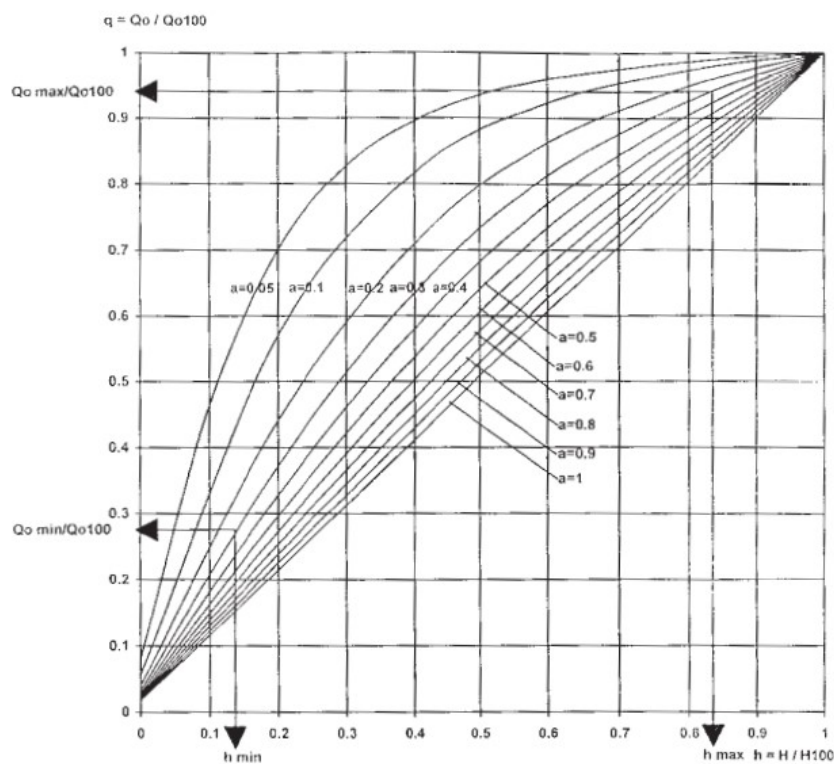
Změnou dispozičního tlaku na ventilu deformujeme průtočnou charakteristiku potrubní soustavy. Platí, že čím vyšší je autorita ventilu, tím více se průtočná

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

charakteristika soustavy podobá ideální průtočné charakteristice a ventil má větší vliv na regulaci celé soustavy. Proto se obecně doporučuje, aby autorita regulačního ventilu byla alespoň 0,5. Při dobré znalosti problematiky a jednoduchému systému je možné regulovat i na příklad s autoritou 0,1.

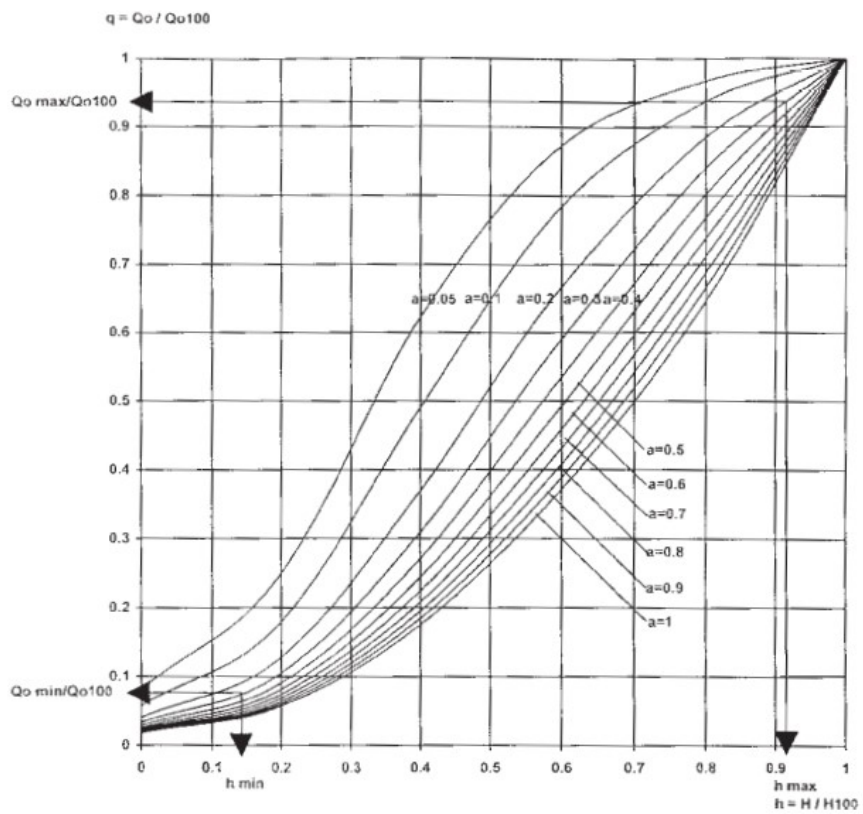
3.3.4 Deformace průtočné charakteristiky

Deformace průtočné křivky jde ruku v ruce s autoritou ventilu. Ideální průběh průtočné křivky odpovídá autoritě ventilu 1, což znamená, že při změně zdvihu regulační kuželky, bude mít regulační ventil maximální vliv na regulaci celé soustavy. Pokud ale autorita ventilu klesá, což je v praxi běžný fakt, mění se i průtočná charakteristika. Z obrázků 6, 7 a 8 je patrné, že při deformaci dochází k větším změnám průtoku při menším zdvihu regulační kuželky, a tím se snižuje regulační schopnost daného ventilu.

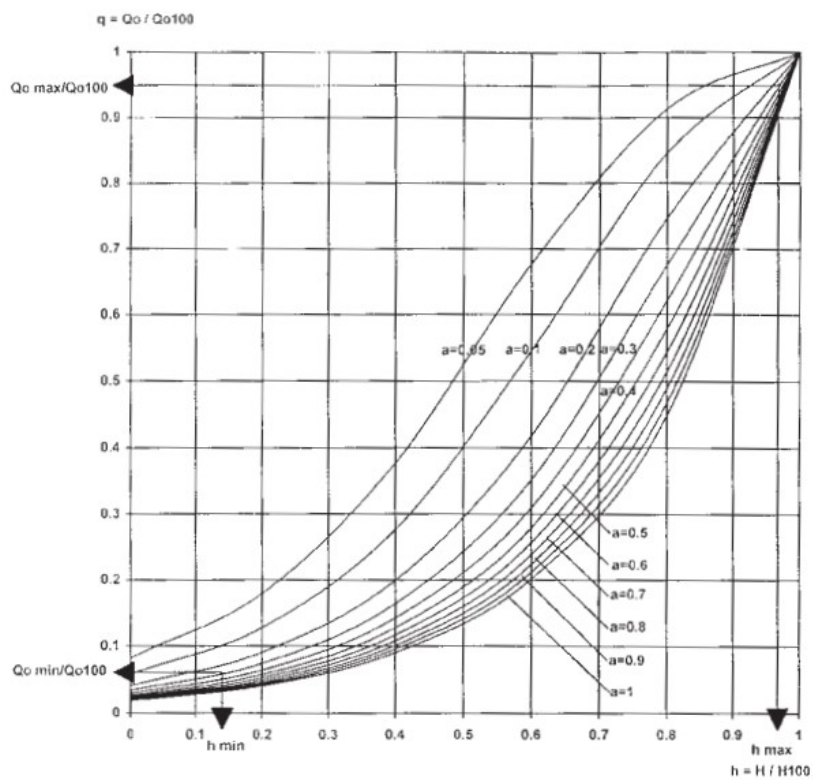


Obr.6 Deformace lineární průtočné charakteristiky

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ



Obr.7 Deformace rovnoprocenní průtočné charakteristiky



Obr.8 Deformace modifikované rovnoprocenní průtočné charakteristiky

3.3.5 Součinitel přenosu soustavy

Součinitel přenosu, nebo také zesílení, vyjadřuje závislost změny výkonové odezvy zařízení na změně zdvihu armatury. Je vyjádřena vztahem:

$$K_s = \frac{dP}{dh} = tg\alpha$$

dP změna výkonu odpovídající změně zdvihu dh

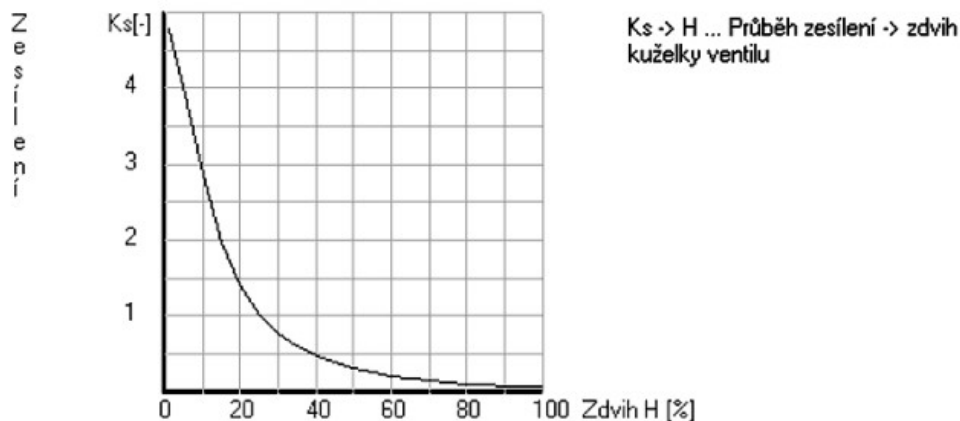
dh změna zdvihu odpovídající změně výkonu dP

α směrnice tečny bodu na regulační charakteristice soustavy

Smyslem zesílení je zjistit skutečný dopad regulace v celém průběhu zdvihu armatury. V ideálním případě by mělo být zesílení lineární, tudíž by součinitel přenosu měl být roven 1. Hodnoty menší než 1 znamenají menší citlivost, hodnoty větší než 1 znamenají větší citlivost.

Z obrázku 9 je patrné, že pro lineární charakteristiku je v první 20 % zdvihu velice vysoká odezva čili i menší zásah, má veliký dopad na spotřebič. Na druhé straně mezi 40–100 % má regulační prvek méně než poloviční dopad na spotřebič.

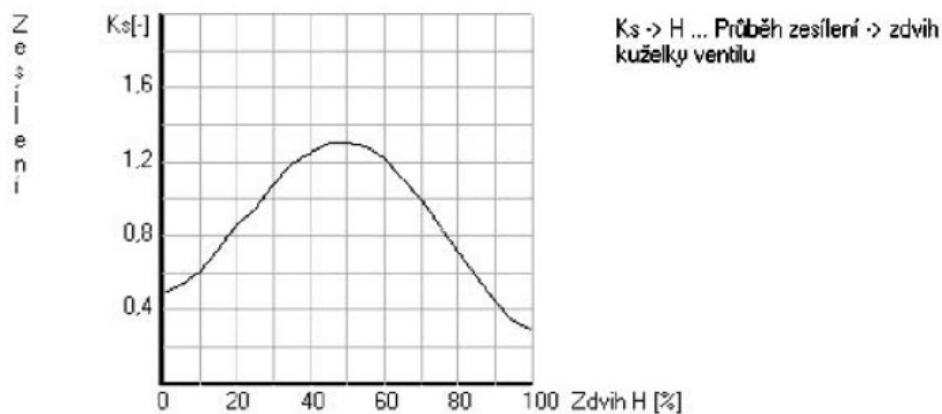
Použitelný rozsah je tedy mezi 20–40 %.



Obr.9 Zesílení soustavy lineární průtočné charakteristiky

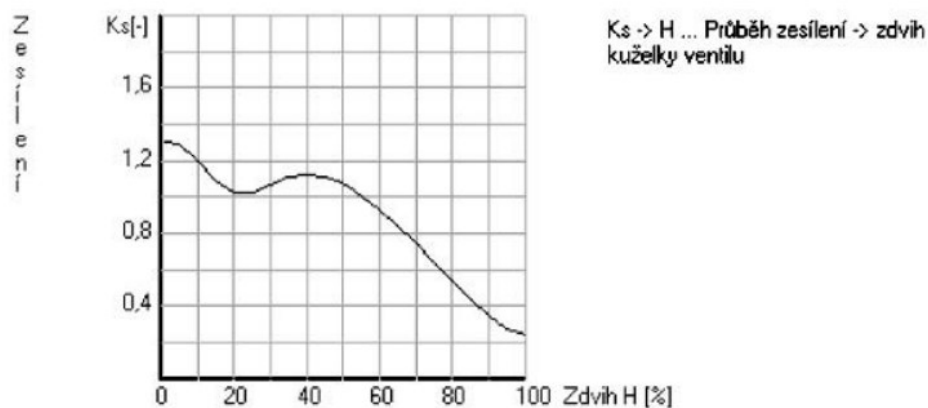
HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Rovnoprocentní průtočná charakteristika na obrázku 10 ukazuje již mnohem lepší zesílení. Mezi 20-80 % zdvihu jsme na odezvě 0,8 - 1,2. Toto rozmezí je už natolik široké, že se v něm dokážeme pohybovat ve většině průběhu celého roku.



Obr. 10 Zesílení soustavy rovnoprocentní průtočné charakteristiky

U modifikované rovnoprocentní charakteristiky si můžeme všimnout zlepšení v oblasti nízkého zdvihu regulační kuželky a mírnému zhoršení v oblasti 60 % zdvihu a výše. Jde tedy o to posoudit v jakých procentech zdvihu se bude ventil běžně pohybovat.



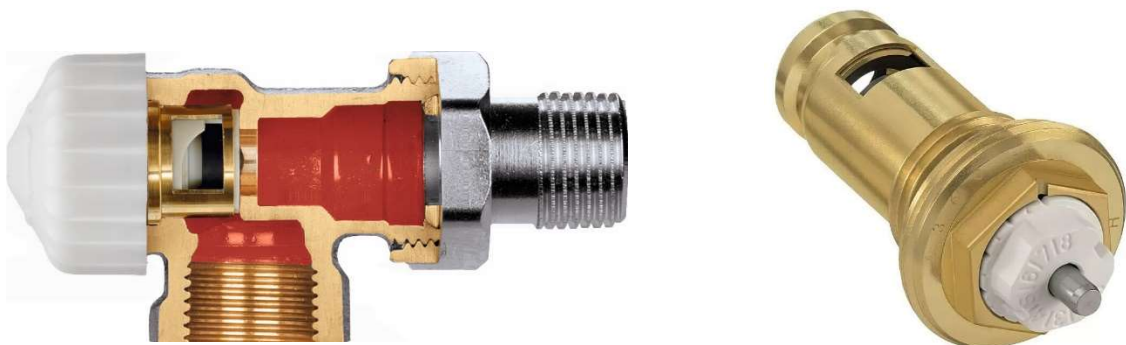
Obr. 11 Zesílení soustavy modifikované rovnoprocentní průtočné charakteristiky

3.4 Armatury dynamické regulace

Pro správnou funkci dynamické regulace u OS je potřeba osazovat správné regulační armatury. Ty nejčastější z nich si představíme níže.

3.4.1 Termostatické regulační ventily

Známý také pod zkratkou TRV je základním regulačním prvkem otopných těles. Osazuje se na většinu otopných těles, například u podlahových konvektorů, nebo deskových těles s bočním připojením. Můžeme se také setkat s obdobou TRV známou pod názvem ventilová vložka. Jedná se o funkčně téměř totožnou věc jako je TRV. Používá se u deskových topných těles v provedení ventil kompakt jako vestavěný regulační prvek. Obě zařízení fungují na stejném princip. V tělu ventilu je umístěná kuželka, která buď otevírá, nebo zavírá přívod do otopného tělesa. Její poloha se nastavuje v rámci statického vyvažování soustavy. Na obrázku 12b můžeme vidět, že na vložce jsou číselné hodnoty 1-8. Tato čísla reprezentují výšku polohy kuželky, kde 1 je nejmíň a 8 je nejvíc, která odpovídají určitému průtoku. Tyto parametry udává výrobce. Tento prvek sám o sobě není armaturou dynamické regulace, proto se často doplňuje o jednu z variant prvků z kapitoly 3.4.2.



Obr. 12a,b Termostatický regulační ventil (vlevo), ventilová vložka (vpravo)

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Poměrně nedávno se na trhu objevili TRV s automatickým nastavením průtoku (AFC). Při návrhu běžných TRV je pro návrh potřeba znát tlakovou ztrátu a průtok. U AFC ventilů stačí nastavit průtok a ventil se bude snažit udržet průtok na maximální hodnotě. Toto je zajišťováno omezovačem průtoku, který je implementován do těla TRV. V případě, kdy teplota v místnosti klesá, termostatická hlavice otevírá ventil a zvětšuje se průtok. V tu chvíli se aktivuje omezovač průtoku a omezí průtok na maximální přípustnou hodnotu.

Výhodou je nastavení všech TRV při sepnutí oběhového čerpadla bez potřeby dalších zásahů. Dobře se tak tento způsob využije při rekonstrukcích, kde není zřejmá izometrie rozvodů, pro výpočet tlakových ztrát nebo u velkých objektů, kdy montážní firmy nemusejí dále staticky vyvažovat soustavu. V bytových objektech také například odpadá potřeba vyvažovacího ventilu na bytových větvích.

Samoregulace sebou ale nese některá úskalí. Například pro správný a tichý provoz standartních TRV je potřeba udržet tlakovou ztrátu zhruba v rozmezí 3-15 kPa. Aby mohl správně fungovat TRV s AFC technologií, respektive aby začal fungovat omezovač průtoku, je potřeba vytvořit na ventilu tlakovou ztrátu alespoň 10-15 kPa. Pro bezhlučný provoz se doporučuje pracovat s tlakovou ztrátou do 45 kPa. Na první pohled je zřejmé, že se pohybujeme ve výrazně odlišných hodnotách.

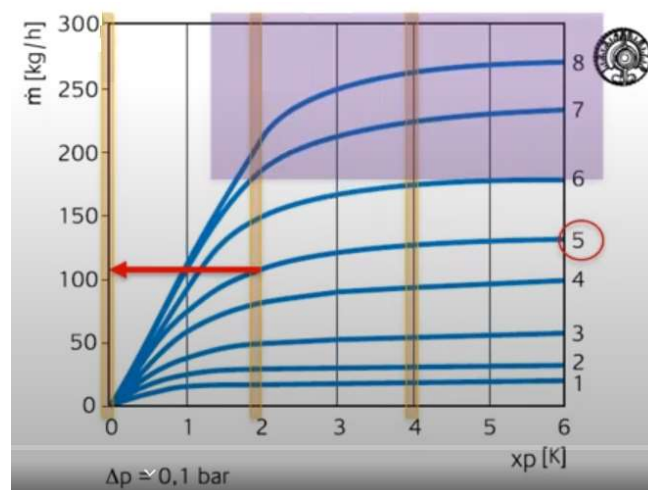
3.4.1 Termostatické hlavice a termostaty

Pokud bychom využili regulačního názvosloví, termostatická hlavice je typ P-regulátoru. Její funkce je hlídání teploty v místnosti a v případě teplotního rozdílu vysílání akční veličiny, aby akční člen, v tomto případě kuželka TRV,

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

změnila svou pozici, a tak upravila průtok tělesem. Aby byla schopna hlavice regulovat, potřebuje kontrolní veličinu, v tomto případě požadovanou teplotu. Tu je možné na hlavici nastavit.

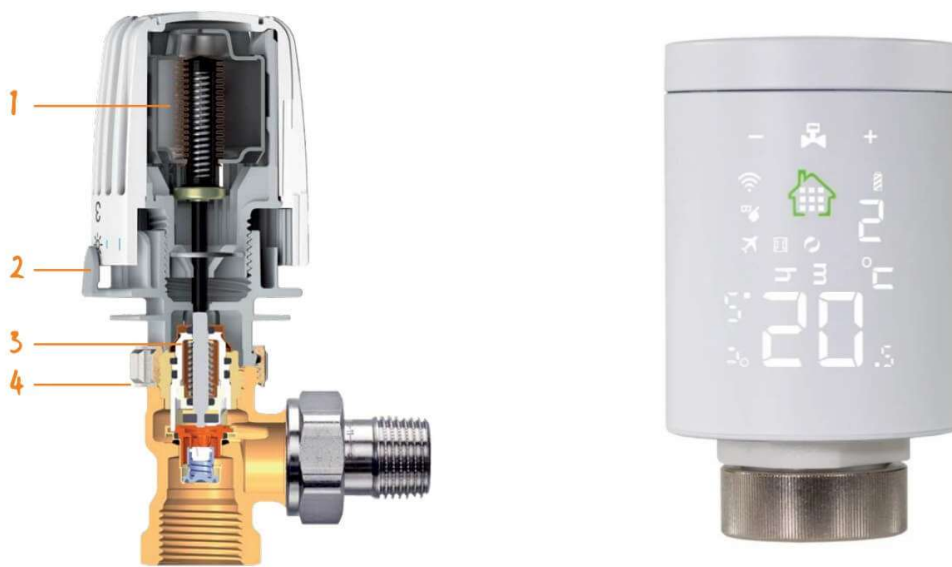
Dále je potřeba při návrhu termostatické hlavice uvažovat nad pásmem proporcionality. Je to regulační rozsah, ve kterém může hlavice regulovat. U otopných těles se běžně využívá pásmo proporcionality 0,5-2 K. Vysvětlím to na příkladu. Mějme situaci, kdy je na otopném tělese nainstalovaná hlavice od firmy IMI s pásmem proporcionality 1 K a požadavek na teplotu v místnosti bude 20 °C. Pokud bude teplota v místnosti 20 °C, kuželka TRV bude dle výrobce zdvižena do výšky 0,22 mm, což odpovídá příslušnému průtoku tělesem. Pokud se v místnosti objeví tepelné zisky, například sluneční zisky, nebo teplo z nějakého spotřebiče, bude teplota v místnosti narůstat. Ve chvíli, kdy teplota v místnosti dosáhne 21 °C, kuželka se zcela uzavře a tím se odstaví celé otopné těleso. Ve chvíli, kdy teplota v místnosti poklesne, kuželka se zase zvedne. Pokud by teplota v místnosti klesala dále pod 20 °C, kuželka by se lineárně zvedala společně s narůstajícím teplotní rozdílem. Pokud by teplota klesla na 19 °C, kuželka by byla ve výšce 0,66 mm, při 18 °C ve výšce 0,88 mm atd.



Obr. 13 Graf pásma proporcionality termostatické hlavice

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Nejčastěji se v bytových objektech můžeme setkat s ručně ovládanou termostatickou hlavicí, což je zástupce proporcionálního regulátoru. Hlavice se dnes nejčastěji dělají s kapalinovou nebo paroplynovou náplní. Na hlavici jde nejčastěji nastavit polohy 0-5, kdy stupeň „1“ odpovídá 14 °C a stupeň „5“ 28 °C. Podle pásma proporcionality se pak tepla řídí na základě nastaveného stupně.



Obr.14a,b Ruční termostatická hlavice (vlevo), Elektrohlavice (vpravo)

Další používanou variantou je elektronická termostatická hlavice, nebo také elektrohlavice. Jde o variantu proporcionálně-integračního regulátoru. Rozdílem mezi touto a ručně ovládanou hlavicí je možnost automatizace celého regulačního systému. Na elektrohlavicích je možné nastavit provozní a časové režimy, ve kterých mají v průběhu dne nebo jiného časového úseku pracovat. Některé nové elektrohlavice mají možnost řízení přes mobilní aplikace, což dozajista ocení spotřebitel. Zároveň jsou schopny ochránit kuželku TRV proti zatuhnutí pravidelným otevřením a zavřením ventilu.

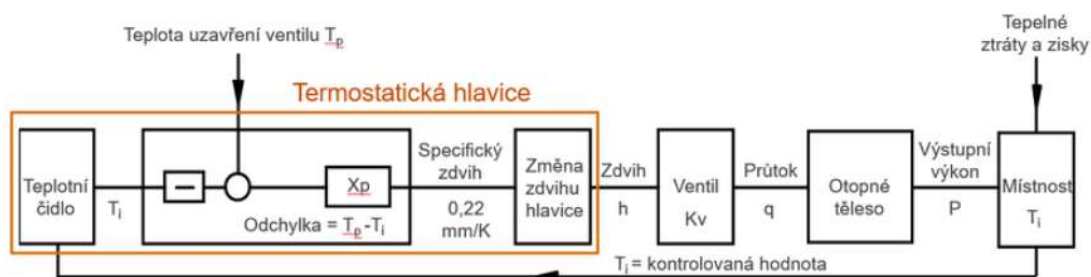
HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Posledním zařízením je prostorový termostat. Jedná se vlastně o regulátor, který je oddělen od otopných těles, a je schopen ovládat více těles v jednom provozním celku najednou. Aby mohl ovládat TRV u jednotlivých těles, je potřeba na tyto tělesa osadit servopohony nebo termopohony. Disponuje stejnými výhodami jako u výše zmíněných u elektrohlavic.



Obr. 15 Prostorový termostat

Pokud tedy spojíme TRV a termostatickou hlavici, dostaneme prvek, který je schopen regulace v dynamické soustavě. Na obrázku níže je schematicky vidět postup regulace, který byl popsán v kapitolách 3.4.1 a 3.4.2.



Obr. 16 Regulační smyčka termostatické regulace

3.4.2 Regulátory tlakové difference

Regulátor tlakové difference nebo také RDT je zařízení, které je schopné udržet na chráněném úseku konstantní dispoziční tlak i při změně průtoku soustavou. Tímto zajišťuje stabilní podmínky pro regulační ventily v chráněném úseku.

RDT se nejčastěji osazuje do zpátečky. Jeho konstrukce se skládá z regulační kuželky, membrány, komory, pružiny a přednastavovacího šroubu. Aby mohl správně fungovat, potřebuje znát stav dispozičního tlaku na přívodním úseku.

K tomu se často využívá vyvažovací ventil osazený na přívodním potrubí.

Jakožto prvek statické regulace bude zároveň sloužit jako odběrné místo pro kapiláru RDT. Přes kapiláru vstupuje dispoziční tlak do komory RDT, kde tlačí na membránu. Zároveň je k druhé straně membrány přiváděn dispoziční tlak ze zpátečky. Působením těchto dvou sil na membránu, dojde k nastavení regulační



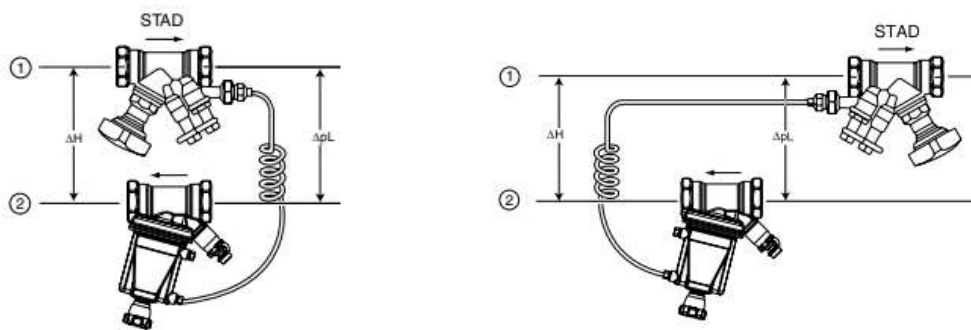
Obr.17 Regulátor diferenčního tlaku

kuželky. Aby bylo možné regulovat tlakovou diferencii ve větším rozsahu, je v komoře pružina, které měníme tuhost otáčením přednastavovacího šroubu, tím pádem nám pomáhá nadzvedávat kuželku a měníme tak tlakovou diferencii.

Pro správné nastavení je důležitá orientace vyvažovacího ventilu. Ve většině případů se setkáme s otočením vyvažovacího ventilu, kdy je regulační kuželka ve směru proudění média. Cílem této úpravy je oddělení tlakové ztráty vyvažovacího ventilu od tlakové ztráty chráněného úseku, jelikož je kapilára připojená až za

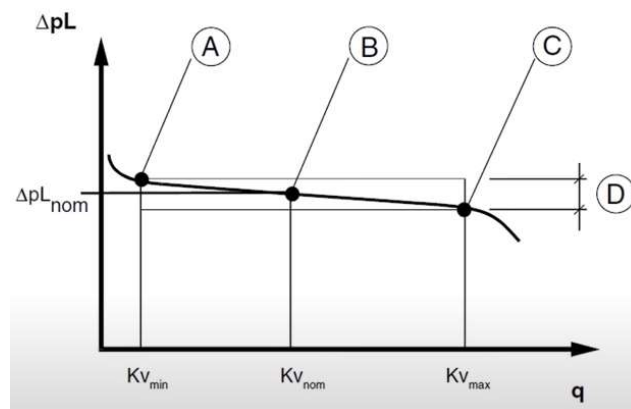
HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

regulační kuželkou. Může nastat situace, kdy je tlaková ztráta chráněného úseku pod minimální tlakovou ztrátou, kterou je RDT schopen regulovat. V tomto případě může tlaková ztráta vyvažovacího ventilu pomoci vytvořit minimální tlakovou ztrátu.



Obr. 18 Tlaková ztráta VV není součástí chráněného úseku (vlevo), je součástí (vpravo)

Aby mohl RDT správně pracovat, je potřeba udržet tlakovou diferenci v rozmezí, na kterou byl nastaven. Tomuto pásmu říkáme pásmo proporcionality (D) a je to úsek, kde je schopen RDT při nastaveném zdvihu pracovat. Pokud je na RDT nastavená tlaková diference 10 kPa, pásmo proporcionality je $\pm 25\%$ a regulátorem protéká nominální průtok (B), pak se tlaková diference rovná 10 kPa. Pokud bude regulátor přetížen průtokem a dostane se do bodu C, bude tlaková diference 7,5 kPa. Pokud bude průtok dále narůstat, tlaková diference bude prudce klesat. Obr.19



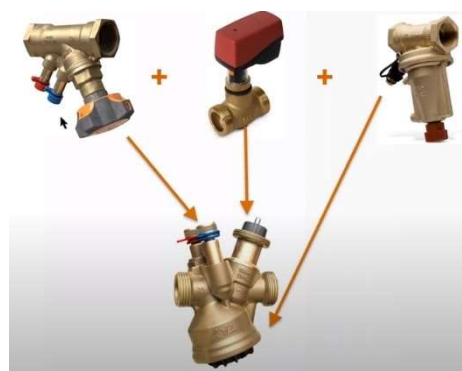
Pásmo proporcionality RDT

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

V opačném případě, kdy bude průtok snižovat, a dostaneme se do bodu A, bude talková diference 12,5 kPa. Za touto hodnotu už regulační kuželka nebude schopna udržet tlak čerpadla a tlaková diference bude rapidně narůstat.

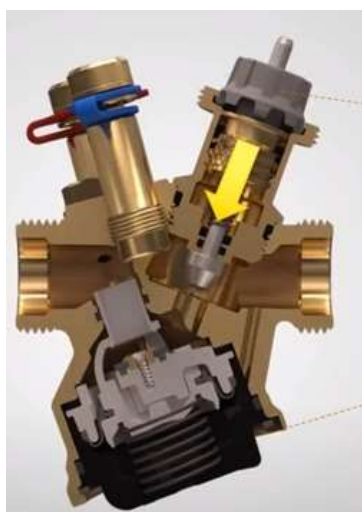
3.4.3 Tlakově nezávislé regulační ventily

Jedná se o zařízení, které sdružuje funkce tří dalších armatur. Je to regulační ventil, vyvažovací ventil a regulátor tlakové diference. Abychom mohli na armatuře regulovat průtok, je potřeba ji osadit pohonem, jinak by se armatura chovala jen jako omezovač průtoku. Díky omezovači průtoku



Obr.20 Sdružená funkce tlakově nezávislého regulačního ventilu

můžeme tyto armatury nazvat jako samozaregulovatelné ve smyslu, že při sepnutí oběhového čerpadla nedochází za tlakově nezávislými regulačními ventily k nadprůtoku. Výhodou je možnost provádění změn v soustavě bez potřeby opětovného vyvážení. To se například dobře využije v administrativních budovách nebo obchodních centrech. Ventil není při provozu ovlivňován ostatními ventily



Obr.21 Konstrukce TNRV

v soustavě, dá se tedy očekávat stabilní a přesná regulace. Často se tyto ventily využívají na přívodech do teplených výměníků vzduchotechnických jednotek, fancoilů nebo indukčních jednotek. Není vhodné je používat na větvích, kde je v chráněném úseku možnost regulace jednotlivých otopných těles. Při uzavření jednoho tělesa by poklesl průtok soustavou a tlakově nezávislý ventil by se otevřel na 100 %. Na

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

ostatních tělesech by tak vzniknul nadprůtok doprovázený hlukem. Variantou řešení je osadit kapiláru mezi ventilem a zpátečkou, která by udržovala tlak mezi přívodem a zpátečkou.

3.5 Dynamická regulace – kvalitativní

Oproti kvantitativní regulaci se liší regulovanou veličinou. Zde je měněna teplota otopné vody při konstantním tlaku, potažmo průtoku soustavy.

3.5.1 Ekvitermní regulace

Jedná se o způsob regulace teploty v interiéru, při které dochází ke změně teploty topné vody, na základě teploty exteriéru. Při snižující se venkovní teplotě se zvyšuje potřeba dodávky tepla do interiéru a je tak potřeba navýšit teplota otopné vody. Aby mohl ekvitermní regulátor správně fungovat, potřebuje nastavit kontrolní veličinu. Tou jsou v tomto případě ekvitermní křivky. Jde o soustavy křivek, které mají pro různé teploty interiéru nastavený průběh teploty otopné vody v závislosti na venkovní teplotě. Tyto křivky má v sobě implementovaný ekvitermní regulátor, uživatel si pak může vybírat, která křivka mu nejlépe vyhovuje. Nastavení vhodné křivky může nějakou dobu trvat.



Obr.22 Ekvitermní křivky pro teploty interiéru 15, 20 a 25 °C

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

U složitějších OS, kde mohou být na jednotlivých větvích různé požadavky na teplotu otopné vody, je potřeba namíchat vodu na správnou teplotu. Jednou z možností je vytvořit směšovací okruh, kde bude trojcestný směšovací ventil míchat přívodní teplou vodu a chladnější zpátečku, aby dále do větve pokračovala otopná voda o správné teplotě. Aby byl tento proces navázán na proces ekvitermní regulace, tak jsou trojcestné ventily a oběhová čerpadla napojeny na ekvitermní regulátor, který je řídí. Nedílnou součástí celého systému jsou teplotní čidla v interiéru a exteriéru, bez kterých bychom neměli zpětnou vazbu, a regulace by tak nemohla fungovat.

3.5.1 Směšování

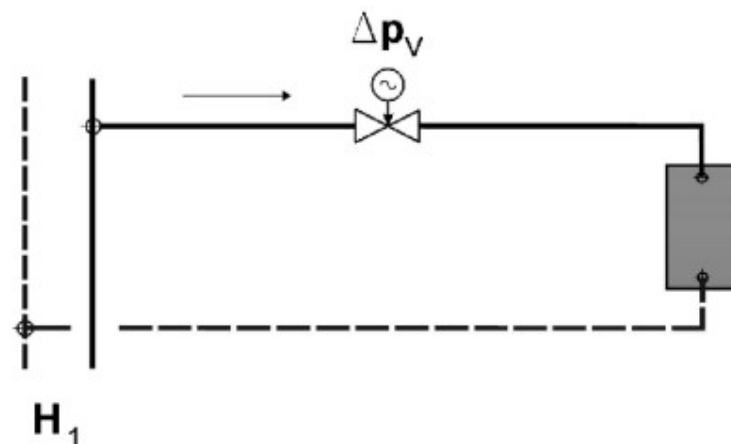
Dalším příkladem kvalitativní regulace je směšování, nebo-li přimíchávání části zpátečky do přívodního potrubí. Často se pro tento způsob regulace používají dvoucestné nebo třícestné směšovací (rozdělovací) ventily s elektrickým pohonem. Regulátor snímá teploty přívodu a zpátečky, porovnává teplotu zpátečky s kontrolní veličinou a vysílá akční veličinu elektrickému pohonu, který upraví polohu ventilu. Některé používané možnosti zapojení jsou popsány v následující kapitole.

3.6 Směšovací uzly

Abychom mohli dosáhnout potřebných výkonů na koncových spotřebičích, je někdy potřeba upravit parametry přívodní otopné vody. Ty lze upravovat jak pomocí kvantitativní, tak kvalitativní regulací. Často se pro to využívají směšovací uzly, které bývají osazeny dvoucestnými nebo třícestnými ventily.

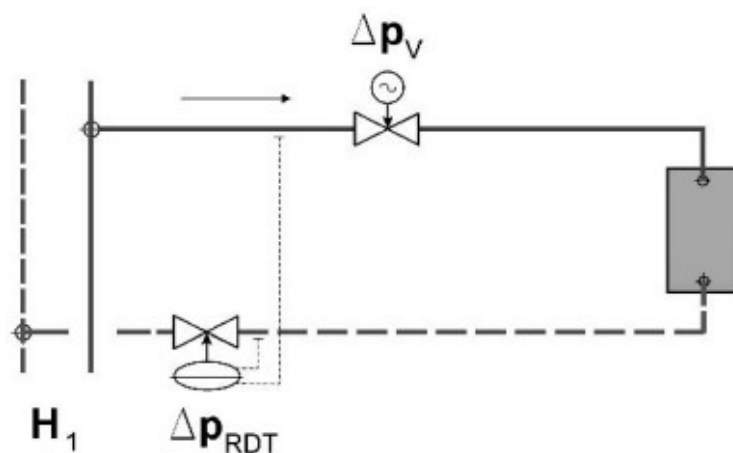
3.6.1 Dvoucestné regulační armatury

Nejjednodušším způsobem zapojení je osazení regulačního ventilu na přívodní potrubí. Výkon spotřebiče tak reguluje na základě změny průtoku z hlavní větve. Proto, aby mohl takový systém fungovat, je potřeba zajistit stabilitu regulace v průběhu provozu. Proto je důležité zvolit správnou průtočnou charakteristiku viz kapitoly 3.3.2–3.3.5. Z tohoto zapojení vycházejí další varianty, které vylepšují schopnost regulace a případně chrání větve před nežádoucími účinky.



Obr.23 Schéma regulace dvojcestným ventilem

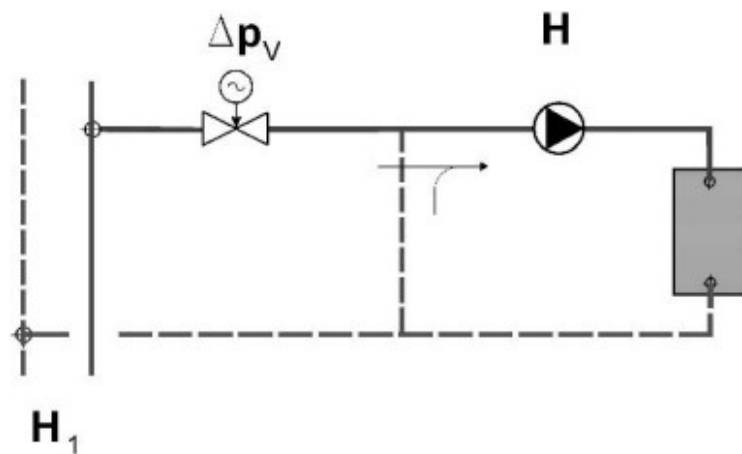
V případě, že je na větvi příliš velký dispoziční tlak, osazuje se na zpáteční potrubí RDT viz kapitola 3.4.2. Ten stabilizuje tlakovou diferencii pro správné fungování regulačního ventilu a spotřebiče.



Obr.24 Schéma regulace dvojcestným ventilem s RDT

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

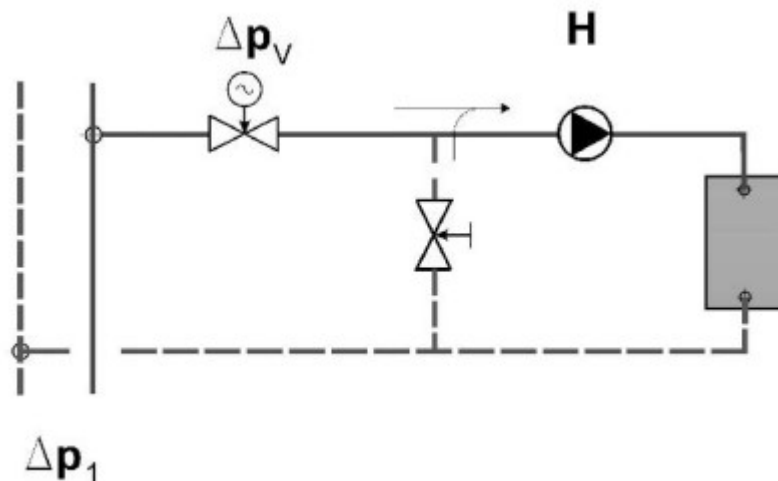
Další možností, jak regulovat soustavu směšovacím uzlem, je vytvoření pevného zkratu za regulačním ventilem. Ventil potom na základě svého zdvihu určuje směšovací poměr. Jde o jednoduchý způsob, jak nastavit větší průtok na sekundární větví, když je požadovaná teplota na sekundárním okruhu menší, než je přiváděna primární větví. Je potřeba si dát velký pozor na správné nadimenzování regulačního ventilu. Při předimenzování hrozí otočení proudění ve zkratu, čímž bychom od určitého zdvihu ztratili schopnost regulace, a zároveň bychom si ohřivali zpátečku.



Obr.25 Schéma regulace dvojcestným ventilem s pevným zkratem

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Následující způsob se využije v situacích, kdy je průtok sekundární větve větší než na primární větvi. Vyvažovací ventil na zkratu se nastaví na tlakovou ztrátu primárního okruhu a regulačního ventilu při hmotnostním průtoku, který odpovídá rozdílu průtoků primární a sekundární větve.

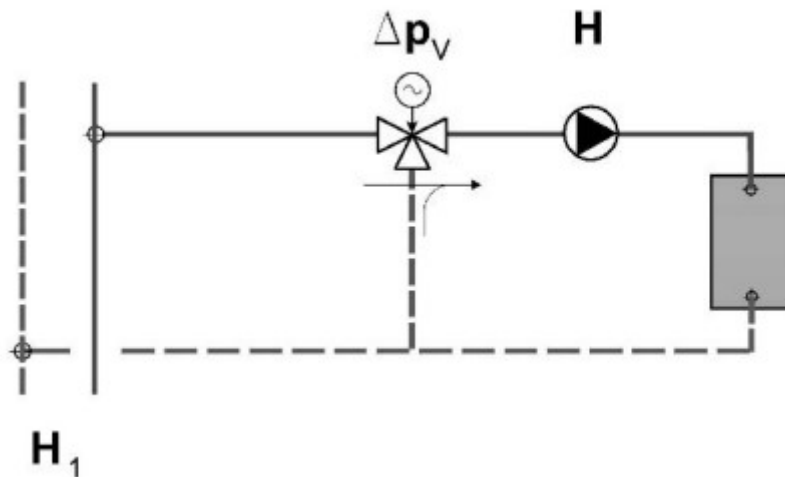


Obr.26 Schéma regulace dvojestným ventilem s nastavitelným zkratem

3.6.2 Trojcestné regulační armatury

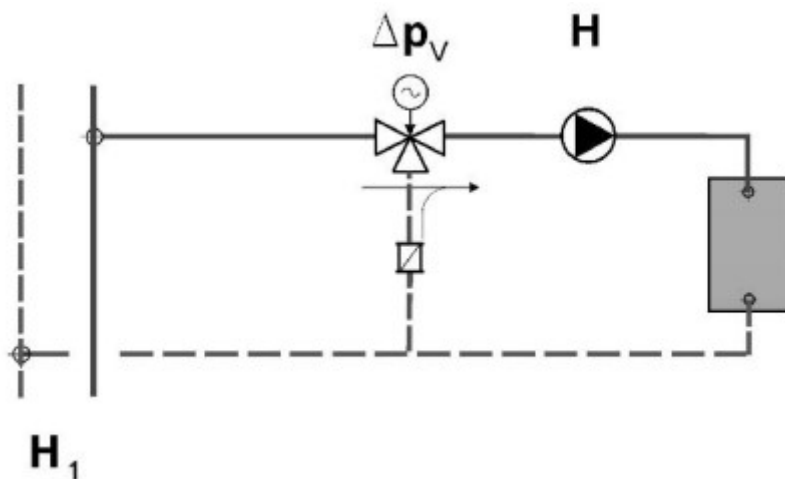
Znovu budeme vycházet z nejjednoduššího možného zapojení trojcestného ventilu. Pro zjednodušení uvažujme, že vstup do trojcestného ventilu z primární strany je vstup „A“, ze zkratu je vstup „B“ a do sekundární větve výstup „AB“. Stejně jako u varianty s dvojestným ventilem zde vzniká riziko, že při příliš velkém diferenčním tlaku na primární straně, může dojít ke zpětnému proudění ve zkratu. V praxi se může stát, že v určité poloze ventilu může dojít k úplnému zastavení proudění do portu B a při dalším otevírání portu A již nedochází k požadované regulaci. Samozřejmě se tím opět nechtěně nahřívá zpátečka.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ



Obr.27. Schéma regulace trojcestným ventilem

Jako první varianta, jak zabránit zpětnému proudění, je vložit do zkratu zpětnou klapku. Ta sice zamezí zpětnému proudění z portu B, tudíž nebude docházet k nahřívání zpátečky, ale z regulačního hlediska to na věci nic nemění, jelikož má trojcestný ventil výrazně snížený regulační rozsah.

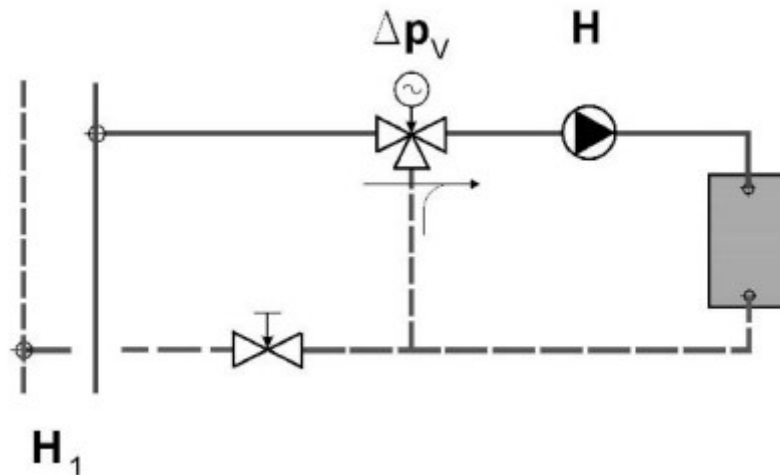


Obr.28 Schéma regulace trojcestným ventilem se zpětnou klapkou na zkratu.

Varianta, která má opravdu schopnost zabránit zpětnému proudění a zároveň má vliv na regulační schopnost trojcestného ventilu, je osazení vyvažovacího ventilu na zpátečku primárního okruhu. Pokud je port A otevřený na 100 %, je tlaková diference na primární straně eliminována. Pokud se port A začne zavírat, klesá tak

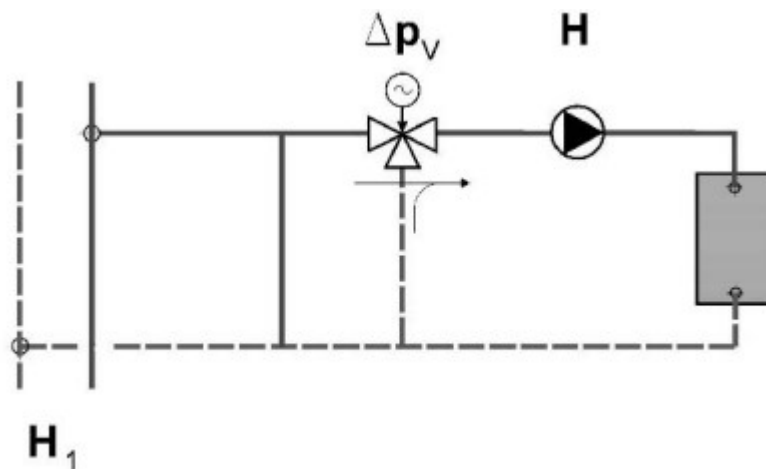
HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

kompensační schopnost vyvažovacího ventilu a narůstající diferenční tlak začne deformovat směšovací charakteristiku ventilu. Pro použití této varianty je potřeba minimalizovat vznik diferenčních tlaků na vstupech A a B.



Obr.29 Schéma regulace trojcestným ventilem s vyvažovacím ventilem na zpátečce

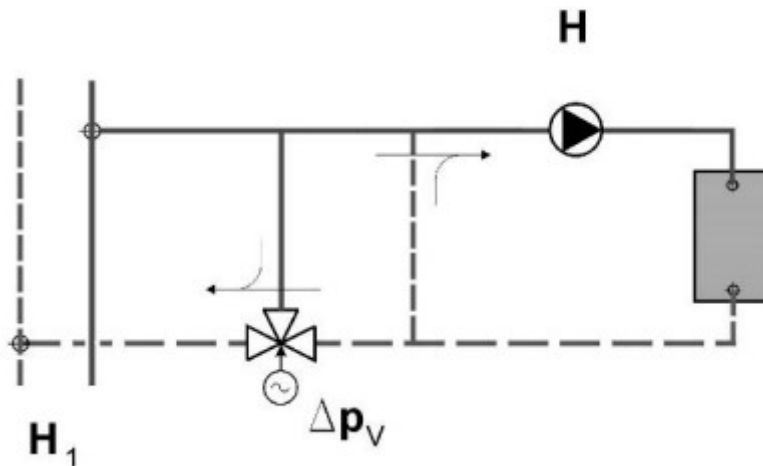
Jednou z hojně využívaných variant v aplikacích, kde není kladen důraz na řádné vychlazení zpátečky, je vložení pevného zkratu před regulační ventil. Toto provedení při správném návrhu eliminuje diferenční tlaky mezi vstupy A a B. Při zavírání vstupu A dochází k přepouštění vody z přívodního do zpětného potrubí. Autorita ventilu se také bude vždy blížit 1.



Obr.30 Schéma regulace trojcestným ventilem s pevným zkratem před regulačním ventilem

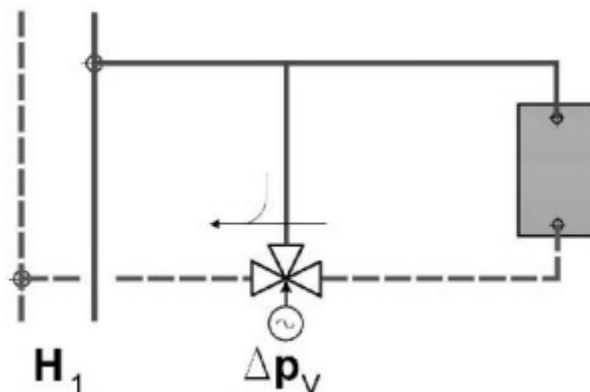
HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Obdobným způsobem zapojení je vložení trojcestného ventilu do zpátečky a pevný zkrat se provede na sekundární větvi. To lze využít v aplikacích, kde je průtok sekundární větve větší než na primární, způsobené nižší požadovanou teplotou sekundární strany.



Obr.31 Schéma regulace trojcestným ventilem na zpátečce s pevným zkratem před regulačním ventilem

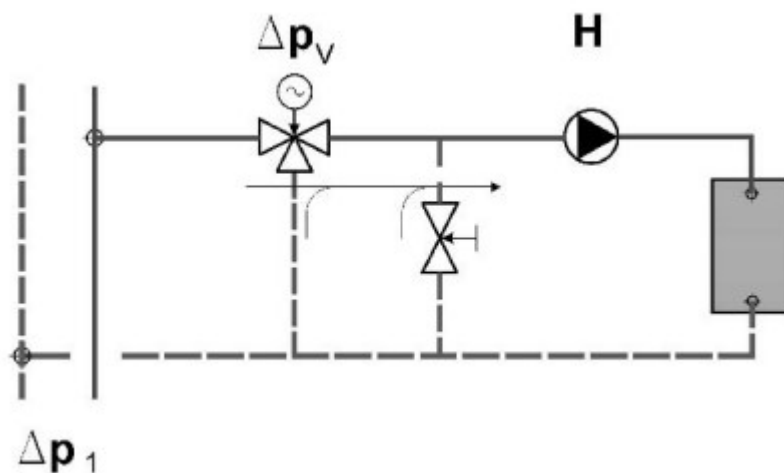
Podobným způsobem se může zdát následující schéma se zapojením trojcestného ventilu do zpátečky. Jedná se o čistě kvantitativní způsob regulace, kdy k regulaci dochází pouze změnou průtoku. Tento způsob se často využívá u chladicích a klimatizačních soustav, kde jsou velmi malé rozdíly mezi teplotou přívodu a zpátečky.



Obr.32. Schéma regulace trojcestným ventilem na zpátečce

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Posledním zmíněným zástupcem je trojcestný ventil na přívodní potrubí se zkratem na sekundární větvi vybavený ručním regulačním ventilem. Tento způsob se využije v aplikacích, kde je průtok na sekundární větvi větší, tudíž je požadovaná teplota otopné vody nižší. Ze sekundární větve do primární tak pokračuje pouze průtok, který odpovídá průtoku na vstupu A, zbylý průtok je veden přes zkrat. Zároveň je zvětšen regulační rozsah trojcestného ventilu, jelikož je možné míchat vodu ve dvou stupních, nejdříve na trojcestném ventilu a poté na zkratu.



Obr.33 Schéma regulace trojcestným ventilem se zkratem s vyvažovacím ventilem za regulačním

3.6.3 Soustavy rozdělovačů

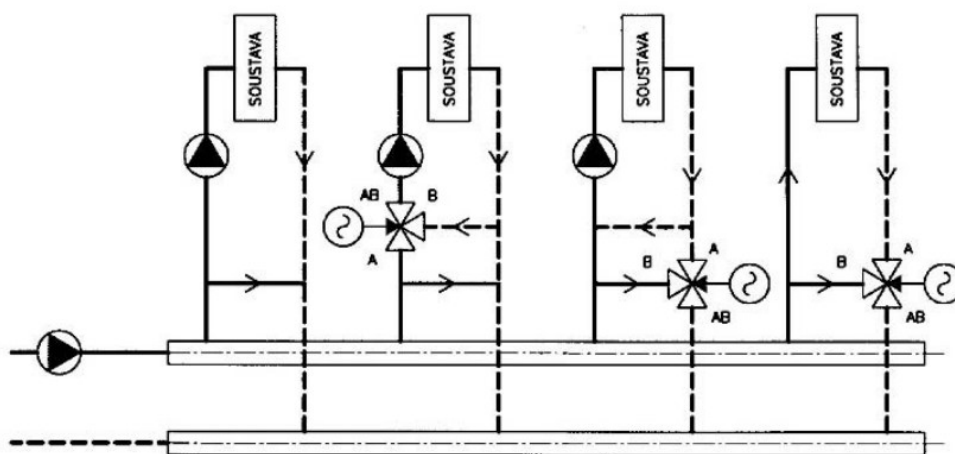
Principem pro správné fungování jednotlivých větví mezi sebou je jejich napojení s primární stranou, v tomto případě s okruhem zdroje tepla. Tímto místem bývá ve většině soustav rozdělovač a sběrač. V zásadě jsou tři možnosti zapojení.

Tlakový rozdělovač s konstantním průtokem

Z primární větve je teplonosná látka hnána do rozdělovače čerpadlem s konstantním průtokem, kde se rozděluje do jednotlivých větví. Toto čerpadlo je

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

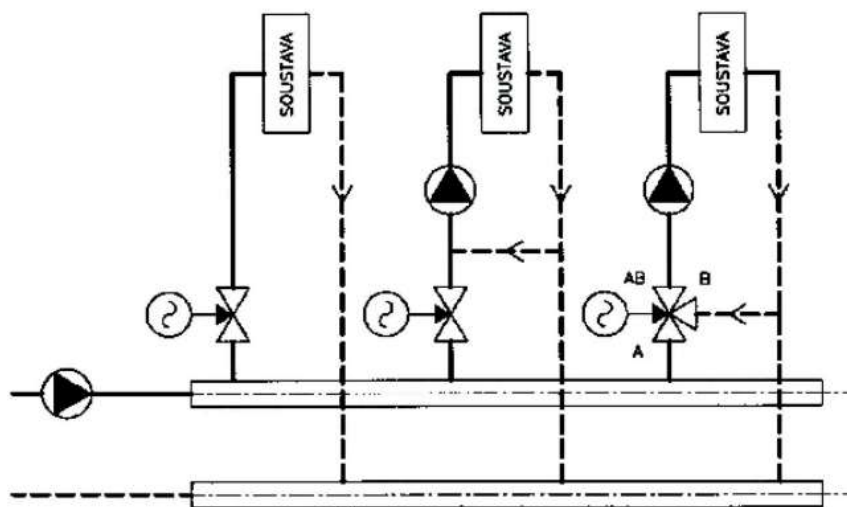
dimenzováno na větve s největší tlakovou ztrátou. Ostatní větve jsou uzpůsobeny tak, aby byly schopny přebytečný průtok eliminovat, buď škrťací armaturou, která vytvoří potřebnou tlakovou ztrátu větve, nebo je přebytečný průtok přepouštěn do zpátečního potrubí. Druhá varianta sebou nese riziko nahřívání zpátečky.



Obr.34 Schéma zapojení tlakového rozdělovače s konstantním průtokem

Tlakový rozdělovač s proměnným průtokem

Rozdílem oproti předchozí variantě je možnost upravovat průtok primárního čerpadla, které vytváří tlakovou diferenci, jenž v aktuální chvíli potřeba pro regulační uzly. Zároveň při správném návrhu eliminuje nahřívání zpátečky.

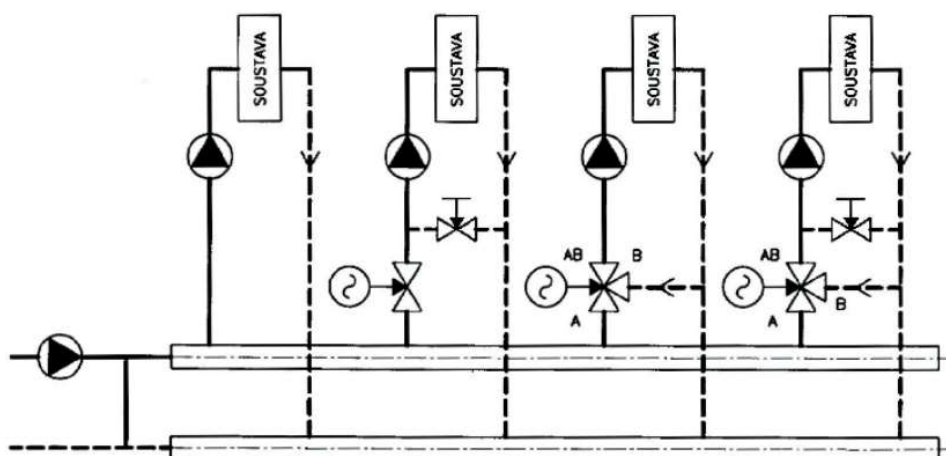


Obr.35 Schéma zapojení tlakového rozdělovače s proměnným průtokem

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Beztlaký rozdělovač

Hlavní myšlenkou je propojení přívodu a zpátečky na primární větví. Tímto propojením eliminujeme diferenční tlak od primárního čerpadla. Jednotlivá čerpadla na sekundárních větvích si pak vytvářejí tlakovou diferencii, kterou potřebují pro provoz dané větve. Propojení přívodu a zpátečky můžeme v praxi dosáhnout připojením akumulární nádrže například u instalací s teplenými čerpadly pomocí hydraulického vyvažovače diferenčních tlaků (HVDT), lidově anuloidem, nebo prostým zkratem.



Obr.36 Schéma zapojení beztlakového rozdělovače

3.7 Problémy spojené s provozem OS

I když je vyvážení a regulace nedílnou součástí každé otopné soustavy pro ekologické a ekonomické vytápění objektů, existují faktory, které mohou narušit funkčnost celého systému.

3.7.1 Kvalita vody

Kvalita otopné vody je prvním parametrem, kterému je potřeba věnovat pozornost. Nejčastějším způsobem dopouštění otopné vody do systému je z vodovodní řady. I když studená pitná voda podléhá přísné legislativě, jejím hlavním cílem je bezpečnost a zdraví člověka. Není vždy pravidlem, že co je dobré pro člověka, je

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

dobré i pro komponenty otopné soustavy. Jelikož se výrobci předhánějí ve vyvíjení sofistikovanějších a účinnějších zařízení, obsahují tyto výrobky více jemných součástí, kterou jsou více náchylné k poškození. Ať už se jedná o mechanické poškození, nebo poškození chemickou reakcí, kvalita vody je nedílnou součástí návrhu otopné soustavy. Mezi nejčastěji sledované parametry otopné vody jsou pH, tvrdost vody, obsah chloridů, síranů, železa, manganu a dalších látek. Často se do vody přidávají různé inhibitory například inhibitor koroze.

3.7.2 Kovy v otopné vodě

Taktéž souvisí s kvalitou otopné vody, ale je potřeba jim věnovat speciální pozornost. Kovy se běžně uvolňují do soustavy z konstrukčních materiálů. Díky jejich magnetickému potencionálu jsou schopny vážně poškodit zařízení jako jsou oběhová čerpadla, tepelné výměníky nebo nové kotle, které obsahují magnetické vložky pro zvýšení účinnosti. Tím, že zanášejí jednotlivé součástky, snižují životnost komponentů, celkově snižují výkon a zvyšují energetickou náročnost otopné soustavy. Běžně se před náchylné komponenty osazují filtry s magnetickou vložkou, která tyto kovové úlomky zachycuje.

3.7.3 Plyny v otopné vodě

Plyny se do soustavy mohou dostat několika způsoby. V první řadě je otopná soustava před napuštěním naplněná vzduchem. Při napouštění otopné soustavy se často používá voda z řadu, která v sobě už obsahuje určité množství vzduchu, cca 25 l na 1 m³ vody. Hned po napuštění je tedy vzduch v soustavě jednak z napuštěné vody, jednak také mohl někde vzniknout vzduchový polštář neúplným napuštěním soustavy. To samé platí v případě dopouštění. Dalším způsobem může být difúze. Ta se častěji vyskytuje u plastových potrubí, proto se velká část z nich vyrábí

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

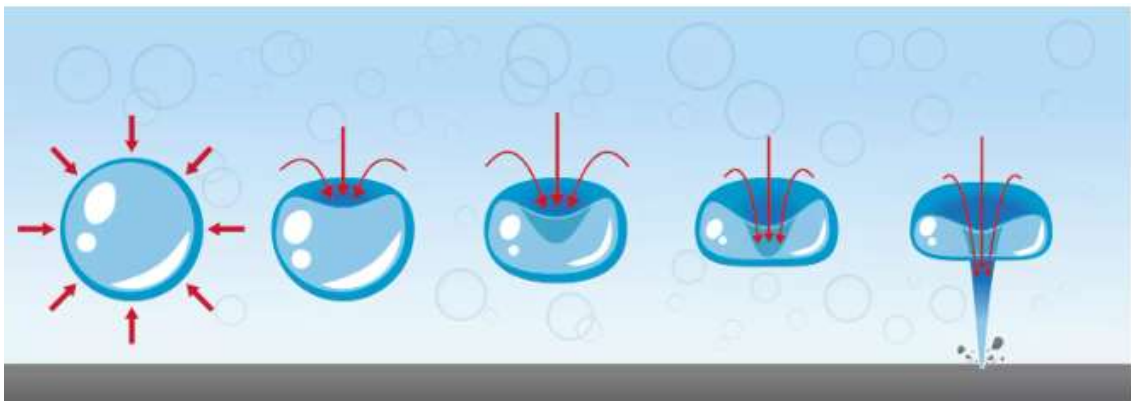
s kyslíkovou bariérou, která by tomuto vlivu měla zabránit. Kovové materiály mají difúzi zanedbatelnou. Posledním častým způsobem jsou netěsnosti.

Nejčastějšími plyny, které se do vody dostávají, jsou kyslík, dusík, vodík, sirovodík a metan. Důsledkem jejich přítomnosti v otopné vodě může být hluk, který vzniká při narušení cirkulace vody. V nejnvýše položených místech soustavy může dojít ke shromažďování plynných látek v takové míře, že se otopným tělesům výrazně sníží výkon, který může vést až k úplnému odstavení tělesa. Horším důsledkem plynů v soustavě je chemická reakce s kovovými materiály, oxidace a následný vznik koroze viz kapitola 3.7.2.

Voda jednoduše jímá a rozpouští plyny, pro jejich odstraňování ze soustavy instalujeme odvzdušňovací ventily. Plyny se obecně shromažďují v místech s nejmenším hydrostatickým tlakem. Jsou to vesměs ta místa, která jsou položena nejnvýše v soustavě, popřípadě v nějakém funkčním celku nebo i samotném zařízení. Odvzdušňovací zařízení můžeme nalézt na otopných tělesech, v nevyšších bodech kotlů, zásobníků, rozdělovačů, ale i celých stoupaček nebo celé soustavy. Funkce těchto ventilů spočívá v jednoduchém principu, kdy se v odvzdušňovací armatuře hromadí zachycený plyn, který tlačí na pružinu. Ve chvíli, kdy se nashromáždí dostatek plynu, který bude mít potřebný tlak, aby přetlačil pružinu, armatura vypustí vzduch a zase se uzavře. K odlučování rozpuštěných plynů se využívají speciální filtry, které kromě filtračních sítok obsahují čeřidla, o která se voda roztříští, zpomalí, a odloučí se plynné látky, které se opět shromažďují v nejvyšším bodě filtru.

3.7.4 Kavitace

Jedná se o fyzikální jev, který vzniká při náhlém lokálním poklesu tlaku. K takovém poklesu v soustavě dochází v místech s náhlou změnou rychlosti jakou jsou kolena, T-kusy, ale i armatury nebo čerpadla. V těchto místech vzniká podtlak, který vede k porušení povrchového napětí teplotnosné látky (pro vodu to je 67,91 mN/m při teplotě vody 50 °C). Narušením dojde k odtrhávání jednotlivých proudnic, mezi kterými se vytvoří mikrobublinky vakua. Ty se záhy hned implodují za vzniku rázové vlny.



Obr.37 Imploze mikrobublinky vakua a následný tlakový ráz

Ta se projevuje jednak hlukem, a druhak může mít za následek mechanické poškození konstrukčních materiálů. Na vznik kavitace má tedy vliv velikost podtlaku, soudržnost teplotnosného média a jeho teplota, která přímo souvisí se soudržností. Čím vyšší je teplota, tím menší je soudržnost. Aby se předešlo kavitaci, je potřeba navrhnout dostatečnou dimenzi potrubí a armatur. U čerpadel je potřeba sledovat tlak na straně sání, aby nevznikal příliš velký podtlak, který by měl za následek vznik kavitace. Proto výrobci čerpadel udávají minimální výšku vodního sloupce, která musí být před čerpadlem, aby se zabránil vznik kavitace.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Hydraulické údaje

Maximální provozní tlak P_N	10 bar
Dopravní výška H_{max}	5,5 m
Čerpací výkon Q_{max}	12,7 m ³ /h
Minimální výška přítoku při 50 °C	3 m
Minimální výška přítoku při 95 °C	10 m
Minimální výška přítoku při 110 °C	16 m
Min. teplota média T_{min}	-20 °C
Max. teplota média T_{max}	110 °C
Min. okolní teplota T_{min}	-20 °C
Max. okolní teplota T_{max}	40 °C

Obr.38. Specifikace čerpadla Wilo Yonos MAXO 40/0,5-4 PN 6/10

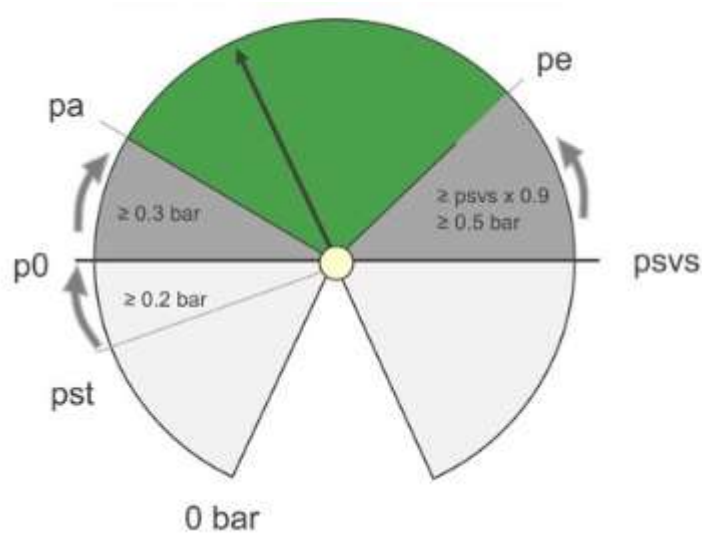
3.7.5 Udržování tlaku v soustavě

Při provozu otopné soustavy běžně dochází ke změnám teploty otopné vody, která mění svůj objem. Zvětšující se objem by v soustavě navyšoval tlak a jelikož by se voda neměla kam rozpínat, mohlo by to vést až k destrukci konstrukčních prvků otopné soustavy.

Proto do soustavy navrhujeme expanzní nádoby, které vytváří dostatečný rezervní objem pro rozpínání otopné vody při zachování tlakových poměrů v přijatelném rozmezí dané soustavy. Každá soustava má nastavenou oblast pro udržování tlaku, která úzce souvisí s návrhem expanzní nádoby. Spodní mez je vymezená hydrostatickým tlakem mezi přípojovacím bodem zařízení pro udržování tlaku a nejvyšším bodem soustavy p_{st} . K tomuto tlaku se připočte bezpečnostní rezerva 0,2 bar. Tuto hodnotu nazýváme jak minimální tlak soustavy p_0 . Hodnota p_0 by měla být větší než minimální hodnota přetlaku v soustavě, která vyžaduje oběhové čerpadlo, z důvodů zamezení vzniku kavitace, viz kapitola 3.7.4. Počáteční tlak v soustavě p_{ini} / p_a je pak minimální tlak v průběhu provozu soustavy a měl by být minimálně o 0,3 bar vyšší než p_0 . Otevírací tlak pojistného ventilu p_{sv} je stanoven

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

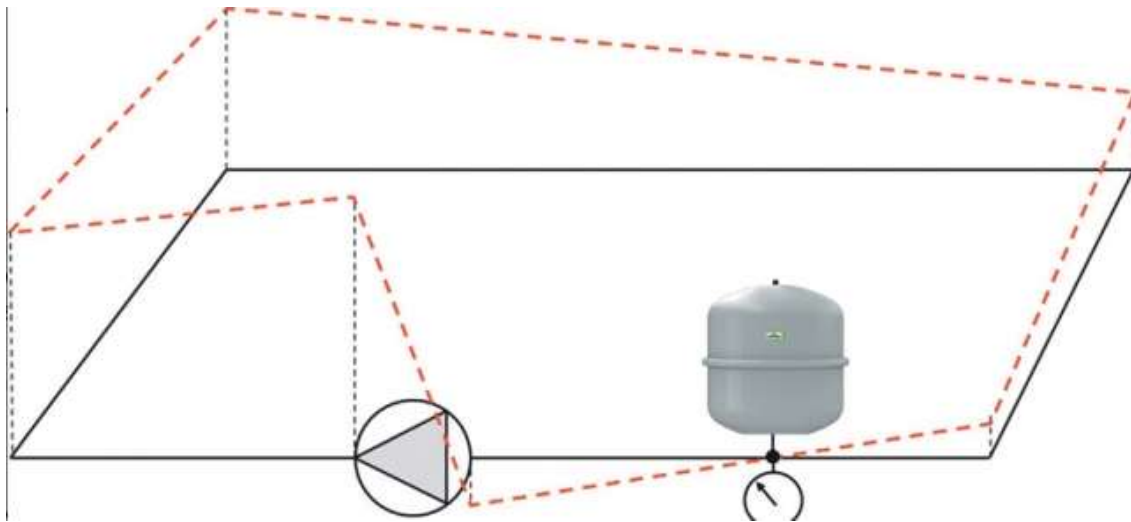
podle zařízení s nejnižším maximálním možným provozním tlakem. Z pravidla to často bývají kotle nebo oběhová čerpadla. Od toho tlaku je pak odvozen konečný tlak p_{fin} / p_e v soustavě. Pro pojistný ventil do 5 bar je doporučeno mít p_{fin} menší alespoň o 0,5 bar. Pro pojistné ventily nad 5 bar to je 10 % z p_{sv} .



Obr.39. Pracovní oblast udržování tlaku

Důležité je i umístění expanzní nádoby (EN). V bodě napojení EN na OS vzniká takzvaný nulový bod (NB). V NB je tlak v soustavě roven hydrostatickému tlaku. Pokud tedy umístíme EN na výtláčnou stranu čerpadla, dojde v NB k vyrovnání statického a dynamického tlaku v soustavě. Vše za NB bude v relativní podtlaku vůči hydrostatickému tlaku (stále se pohybujeme v přetlaku vůči atmosférickému tlaku). Může tedy dojít k nasávání vzduchu do soustavy. Pokud umístíme EN na sací stranu čerpadla, bude v relativním podtlaku pouze úsek mezi EN a čerpadlem, výrazně se tak eliminuje riziko zavzdušnění. Zároveň osazením EN na zpátečku snižujeme namáhání membrány teplotou a tím prodlužujeme její životnost.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ



Obr. 40 Průběh dynamického tlaku v soustavě

Kromě standardních membránových expanzních nádob je možné připojit k EN řídicí jednotku nebo také expanzní automat. Ten je schopen dynamicky pracovat s přetlakem vzduchu, který tlačí na membránu EN. Pokud to soustava vyžaduje, může expanzomat vypustit z expanzní nádoby vzduch a tím i zvýšit využitelnost objemu EN pro rozpínající se vodu. Pokud tlak v soustavě opět klesne, expanzomat vzduch do EN opět dopustí. Tímto je tedy možné výrazně zmenšit potřebný objem EN.

4. Běžné vyvažování vs. technologie AFC

V této kapitole bude analyzováno provedení soustavy s dnes běžně používanými TRV oproti TRV s technologií AFC. Budou se porovnávat tlakové poměry v soustavě a s ním spjatý návrh oběhového čerpadla, investiční náklady a v poslední řadě rychlost instalace. V softwaru Protech GDS byly v rámci projektu navrženy a vyváženy dvě otopné soustavy.

4.1 Běžná soustava

Zde je popsán základní princip regulace toho systému. K jednotlivých otopným tělesům jsou instalovány TRV bez omezovače průtoku s termostatickou hlavicí pro statické a dynamické vyvážení otopných těles. Na patrovém rozdělovači jsou osazeny vyvažovací ventily, které staticky vyvažují jednotlivé byty. Před každým rozdělovačem je instalovaný další vyvažovací ventil, který staticky vyvažuje rozdělovače mezi sebou. Na patě stoupačky je osazený RDT s vyvažovacím ventilem pro zajištění stálé tlakové difference na stoupačce. Nakonec je v kotelně na hlavní rozdělovači a sběrači vytvořen směšovací uzel, který umožňuje kvantitativní i kvalitativní dynamickou regulaci.

Tato soustava je rozdělena do tří větví. První je pro byty (V1), druhá pro komerční prostory (V2) a třetí je větev vzduchotechniky, která je v obou variantách stejná, tudíž se v analýze neobjevuje.

Pro V1 je potřeba pokrýt tlakovou ztrátu 70,8 kPa. A je zde proto navrženo oběhové čerpadlo Wilo Stratos MAXO 100/0,5-12.

Pro V2 je potřeba pokrýt tlakovou ztrátu 50,8 kPa. A je zde proto navrženo oběhové čerpadlo Wilo Stratos MAXO 65/0,5-6.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Celkově jsou v soustavě instalovány tyto regulační zařízení:

Armatura	DN	Počet	Cena za kus	Cena celkem
		ks	Kč	Kč
V exakt II	20	141	870,00	122 670,00
Ventilová vložka KORADO	15	283	340,00	96 220,00
Multilux KORADO	15	84	1 515,00	127 260,00
STAD	10	56	2 473,00	138 488,00
STAD	15	41	2 480,00	101 680,00
STAD	20	4	2 823,00	11 292,00
STAD	25	14	3 015,00	42 210,00
STAD	40	3	4 877,00	14 631,00
STAD	50	3	5 983,00	17 949,00
STAF	65	2	16 018,00	16 018,00
STAP 20-80	50	1	13 674,00	13 674,00
TA-PILOT-R	65	2	94 178,00	94 178,00
STAP 5-25	15	3	6 047,00	18 141,00
CV 316 RGA	50	1	13 375,00	13 375,00
CV 316 RGA	100	1	21 090,00	21 090,00
Wilo Stratos MAXO 100/0,5-12	100	1	145 600,00	145 600,00
Wilo Stratos MAXO 65/0,5-6	65	1	73 700,00	73 700,00
				1 068 176,00

Tab.1 Cena regulačních armatur pro variantu s běžným vyvážením

4.2 Soustava s technologií AFC

Zde je popsán základní princip regulace toho systému. K jednotlivých otopným tělesům jsou instalovány TRV s omezovačem průtoku tedy AFC ventily s termostatickou hlavicí pro statické a dynamické vyvážení otopných těles. Na patrovém rozdělovači jsou pouze uzavírací a měřicí armatury. Před každým rozdělovačem je instalovaný vyvažovací ventil, který staticky vyvažuje rozdělovače mezi sebou. Na patě stoupačky je pak osazeny RDT s vyvažovacím ventilem pro zajištění stálé tlakové difference na stoupačce. Nakonec je v kotelně na hlavní rozdělovači a sběrači vytvořen směšovací uzel, který umožňuje kvantitativní i kvalitativní dynamickou regulaci.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Pro V1 je potřeba pokrýt tlakovou ztrátu 42,2 kPa. A je zde proto navrženo oběhové čerpadlo Wilo Stratos MAXO 100/0,5-6.

Pro V2 je potřeba pokrýt tlakovou ztrátu 57,0 kPa. A je zde proto navrženo oběhové čerpadlo Wilo Stratos MAXO 65/0,5-6.

Celkově jsou v soustavě instalovány tyto regulační zařízení:

Armatura	DN	Počet	Cena za kus*	Cena celkem
		ks	Kč	Kč
TRV Eclipse P	20	141	1 384,00	195 144,00
Ventilová vložka KORADO Eclipse	15	283	784,00	221 872,00
Multilux V Eclipse	15	84	2 434,00	204 456,00
STAD	10	3	2 473,00	7 419,00
STAD	15	1	2 480,00	2 480,00
STAD	20	14	2 823,00	36 699,00
STAD	25	4	3 015,00	12 060,00
STAD	40	5	4 877,00	24 385,00
STAF	65	2	16 018,00	16 018,00
STAF	80	1	29 919,00	29 919,00
STAP 20-80	40	1	10 819,00	10 819,00
STAP 20-80	50	2	13 674,00	27 348,00
CV 316 RGA	50	1	13 375,00	13 375,00
CV 316	100	1	21 090,00	21 090,00
Wilo Stratos MAXO 100/0,5-6	100	1	107 175,00	107 175,00
Wilo Stratos MAXO 65/0,5-6	65	1	73 700,00	73 700,00
				1 003 959,00

*ceny jsou převzaty z ceníku firmy IMI Hydronic Engineering

Tab.2 Cena regulačních armatur pro variantu s technologií AFC

4.3 Porovnání

Níže v tabulce jsou porovnány posuzované hodnoty daných soustav.

Kategorie	Běžná instalace	AFC instalace
Talkové poměry [kPa]	70,8 / 50,8	42,2 / 57,0
Příkon čerpadla v provozním bodě [kW]	0,58 / 0,16	0,32 / 0,19
Investiční náklady [Kč]	1 068 176,00	1 003 959,00
Rychlost instalace [1/0]	0	1

Tab.3 Srovnání instalace s běžnými TRV, oproti TRV s AFC technologií

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Pokud porovnáme potřebný dispoziční tlak, který je dodáván soustavě oběhovým čerpadlem, je patrné, že na větvi V1 vychází o 40 % nižší tlaková ztráta u instalace s AFC technologií. Naproti tomu na větvi V2 vychází o 11 % lépe běžná instalace. Vzhledem k výraznějším tlakovým rozdílům na větvi V1 vychází v této kategorii lépe soustava s AFC.

Příkon čerpadla v provozní době částečně vychází z první kategorie. Zde jsou pouze porovnány elektrické příkony oběhových čerpadel, které platí jen pro návrhový pracovní bod čerpadla. Pro posouzení celkové dodané elektrické energie pro provoz oběhové čerpadla by bylo nutno provést simulaci.

V porovnání investičních nákladů je situace velice podobná, avšak i přes velmi malé rozdíly vychází soustava s AFC o 6 % levněji než běžná soustava.

Největší rozdíl při volbě soustavy je rychlost instalace při použití AFC systému, která vychází z použití výrazně menšího množství regulační armatur. Dále je výhodou i automatické vyregulování jednotlivých otopných těles. Instalatér pouze nastaví požadovaný průtok a armatura s technologií AFC si již hlídá, aby daným tělesem protékal právě nastavený průtok, viz kapitola 3.4.1.

Jednoznačně pak z této analýzy vychází lépe soustava s technologií AFC a je tedy dále rozpracovaná v projektu.

5. Výpočty

V následující části jsou shrnuty postupy návrhů jednotlivých částí otopného systému.

5.1 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty byly počítány pomocí softwaru Protech – TV. Výstup z programu je k nahlédnutí v příloze č.1 této práce.

5.2 Návrh otopných těles

Návrh otopných těles byl proveden pomocí softwaru Protech – GDS. Výstup z programu je k nahlédnutí v příloze č.2 této práce.

5.3 Vyvážení otopné soustavy

Vyvážení otopné soustavy bylo provedeno pomocí softwaru Protech – GDS. Výstupem jsou dvě vyvážené soustavy. Vzájemně se liší způsobem regulace otopných těles. První varianta je vyvážená „běžným“ způsobem, tedy za použití standartních TRV, ve druhé variantě jsou použity TRV s technologií AFC viz 3.4.1. Soustavy jsou vzájemně porovnány v kapitole 4. Obě soustavy jsou k nahlédnutí v příloze č. 3 této práce.

5.4 Návrh zdroje tepla

Návrh tepelného čerpadla země-voda a primární strany byl proveden ve spolupráci s firmou GEROTop spol. s r.o. Podkladem pro návrh tepelného čerpadla a primární strany byl situační výkres, lokalita pro zjištění parametrů podloží a přípojný výkon 256 kW, který by měl pokrýt 90 % tepelné ztráty. Výsledkem je kaskáda 4 tepelných čerpadel země-voda IVT GEO 264. Primární strana je navržena formou zemních vrtů. Aby bylo TČ schopno pokrýt tepelných ztrát objektu, je potřeba vytvořit vrtné pole o 30 vrtech s hloubkou 300 m a minimální roztečí 12 m.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Výrobce udává, že zhotovení takto hlubokých vrtů je možné, ale bude nutné řízení EIA pro posouzení vlivů na životní prostředí.

Bivalentním zdrojem pro teplená čerpadla bude nástěnný plynový kotel Buderus GB272-85 se jmenovitým výkonem 85 kW. Tento kotel bude sloužit jako podpora vytápění při venkovních teplotách pod bodem bivalence tepelných čerpadel a zároveň jako zdroj tepla pro termickou dezinfekci teplé užitkové vody.

5.5 Návrh akumulční nádoby

Abychom vyrovnali časový rozdíl mezi maximální nabídkou a maximální poptávkou otopné vody a snížili tak počet startů tepelných čerpadel, navrhuji do soustavy akumulční nádrž dle následujícího vzorce.

$$V_{AKU} = Q_{TČ} \cdot 10 \text{ l/kW [l]}$$

V_{AKU} [l]

objem akumulční nádrže

$Q_{TČ}$ [l]

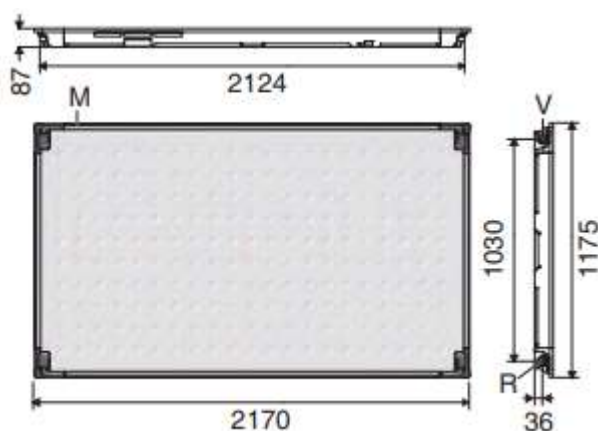
jmenovitý výkon jednoho tepleného čerpadla

$$V_{AKU} = 64 \cdot 10 \text{ l/kW} = 640 \text{ l}$$

Navrhuji akumulční nádrž Dražice NAD 1000 V3 s objemem 1000 l.

5.6 Návrh fototermických kolektorů

Fototermické panely byly umístěny na střechu objektu A2 s respektem vůči ostatním zařízením, která by se taktéž vyskytovala na střeše, ale nejsou součástí tohoto projektu (VZT zařízení, FVE). Použité fototermické panely jsou Logasol SKT1.0 ve vodorovném provedení kvůli menším roztečím jednotlivých řad pro potenciální vzájemné zastínění. V projektu je tedy instalováno 67 panelů v 15 řadách. Orientace všech řad je na jih a jednotlivé panely jsou ve sklonu 40°.



Obr.41 Fototermický panel Logasol SKT1.0-w

Touto orientací jsou schopny dosáhnout maximálního výkonu při nejmenší ploše absorberů. To dokazuje tabulka korekčních faktorů panelu, ze kterých lze odečíst koeficient, kterým je potřeba přenásobit plochu absorberů, aby bylo dosaženo stejných energetických zisků jako při optimální jižní orientaci. Pro výše zmíněné orientace je korekční faktor roven 1.

Úhel sklonu	Korekční faktory při odchylce orientace kolektorů od jihu													
	Odchylka na západ o						Jih	Odchylka na východ o						
	90°	75°	60°	45°	30°	15°		0°	-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°
65°	1,39	1,27	1,18	1,13	1,09	1,07	1,07	1,09	1,12	1,17	1,25	1,35	1,48	
60°	1,34	1,23	1,15	1,10	1,06	1,05	1,04	1,06	1,08	1,14	1,20	1,30	1,43	
50°	1,27	1,18	1,11	1,06	1,03	1,01	1,01	1,02	1,05	1,09	1,15	1,23	1,35	
45°	1,25	1,17	1,10	1,05	1,02	1,00	1,00	1,01	1,04	1,08	1,13	1,21	1,31	
40°	1,23	1,15	1,09	1,04	1,02	1,00	1,00	1,01	1,03	1,07	1,12	1,19	1,29	
30°	1,20	1,14	1,09	1,05	1,03	1,01	1,01	1,02	1,04	1,06	1,11	1,17	1,24	
25°	1,19	1,14	1,09	1,06	1,04	1,02	1,02	1,03	1,04	1,07	1,11	1,16	1,23	
20°	1,19	1,14	1,10	1,07	1,05	1,04	1,04	1,04	1,06	1,08	1,11	1,16	1,21	
15°	1,18	1,14	1,11	1,09	1,07	1,06	1,06	1,07	1,08	1,10	1,13	1,16	1,20	
10°	1,18	1,15	1,13	1,11	1,10	1,09	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,17	1,19	
5°	1,18	1,17	1,15	1,15	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	

Obr.42. Tabulka korekčních faktorů panelu Logasol SKT1.0-w

5.7 Návrh zásobníků teplé vody

Vzhledem ke třístupňové přípravě teplé vody je zapotřebí akumulovat teplo získané z bivalentních zdrojů do zásobníků teplé vody.

5.7.1 Solární zásobníky

Na střeše objektu je navrženo pole 67 fototermických panelů, které slouží k předehřevu teplé vody. Vzhledem k rozsahu fototermického pole a hodinové potřebě teplé vody jsou do projektu navrženy 2 typy zásobníků. Předehřívací, kde se akumuluje předehřátá voda, a pohotovostní, který slouží k okamžité spotřebě teplé vody. Zásobníky jsou propojeny tak, aby bylo možné vodu přepravovat mezi jednotlivými nádržemi.

Výrobce fototermických panelů doporučuje navrhnout objem předehřívacích a pohotovostních zásobníků podle následujících vzorců.

$$V_{VWS,min} = A_K \cdot 20 \text{ l/m}^2$$

$$67 \cdot 2,43 \cdot 20 = 3\,256 \text{ l}$$

$A_K \text{ [m}^2\text{]}$	plocha apertury kolektorů
$V_{VWS,min} \text{ [l]}$	minimální objem předehřívacího zásobníku

Pro potřeby pohotovostního zásobníku v dalším kroku uvažuji akumulační objem na **6 000 l**.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

$$\frac{V_{BS} + V_{VWS}}{A_K} \geq 50 \text{ l/m}^2$$

$$V_{BS} \geq 50 \cdot A_K - V_{VWS} = 50 \cdot 67 \cdot 2,43 - 6\,000 = 1\,990 \text{ l}$$

A_K [m ²]	plocha apertury kolektorů
$V_{VWS,min}$ [l]	minimální objem přehřívacího zásobníku
V_{BS} [l]	minimální objem pohotovostního zásobníku

Volím objem pohotovostního zásobníku **2 000 l**.

Do projektu jsou navrženy 2 přehřívací zásobníky Reflex AquaLoad AL 3000/R2_C a 1 pohotovostní zásobník Reflex AquaLoad AL 2000/R2_C.

5.8 Návrh tepelných výměníků

V projektu se vyskytují 3 deskové a 1 vlnocový tepelné výměníky. Deskové výměníky jsou navrženy pomocí konfigurátoru od firmy REFLEX CZ, s.r.o.

5.8.1 Výměník pro odběr tepla z šedé vody

Aby bylo možné navrhnout vlnocový výměník, je potřeba znát množství tepla, které je možné odebrat ze šedé vody. K tomu slouží zjednodušená bilance produkce šedé vody:

Činnost	Produkce	Ekvivalentní	Celkem
	l/EO/den	obyvatel	l/den
Sprchování / Koupání	80	240	14 400
Mytí v umyvadle	4	280	1 120
			15 520

Tab.4 Bilance produkce šedé vody

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Hodinová produkce šedé vody: **0,65 m³/h**

Využitelný výkon:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T [W]$$

$$Q = 647,2 \cdot 1,163 \cdot 15 = 11,3 \text{ kW}$$

$m [kg/h]$	Hmotnostní průtok: 647,2 kg/h
$c [Wh/kg \cdot K]$	Měrná tepelná kapacita: 1,163 Wh/kg·K
$t_1 [^{\circ}C]$	Teplota šedé vody v sedimentačním zásobníku: 35 °C
$t_2 [^{\circ}C]$	Teplota šedé vody po odevzdání tepla: 20 °C
$\Delta T [K]$	$t_1 - t_2 = 15 K$

Délka vlnovce je navržena dle následujících vzorců:

$$Q = U \cdot L \cdot \Delta t_m [W]$$

$U [W/m \cdot K]$	Součinitel prostupu tepla výměníku
$L [m]$	Délka výměníku
$\Delta T_m [K]$	Střední logaritmický teplotní rozdíl

$$\Delta t_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} [K]$$

$\Delta T_1 [K]$	Teplotní spád ochlazovaného média (35–20 = 15 K)
$\Delta T_2 [K]$	Teplotní spád ohřivaného média (25–15 = 10 K)

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

$$U \approx 150 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\Delta t_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} = \frac{15 - 10}{\ln \frac{15}{10}} = 12,3 \text{ K}$$

$$L = \frac{Q}{U \cdot \Delta t_m} = \frac{11\,300}{150 \cdot 12,3} \cong 6,2 \text{ m}$$

Pro přenos tepla ze šedé vody bude do sedimentační nádrže vložen vlnovec o délce 6,2 m.

5.8.2 Výměník pro předávání tepla z šedé vody

V tomto výměníku dochází k prvnímu předeřtí studené pitné vody teplem ze šedé vody. Návrh je proveden pomocí konfigurátoru.

Teploty na primární straně vychází z návrhu vlnovcového výměníku viz kapitola 6.7.1. Na sekundární straně vstupuje do výměníku voda o teplotě 10 °C, což zhruba odpovídá průměrné teplotě studené pitné vody z řadu. Výstupní teplota je 24 °C, jedná se o snahu o maximalizaci výstupní teploty v co největší míře.

Zadat údaje zařízení

Typ výměníku tepla

Výkon

Údaje o zařízení

Strana 1	Strana 2
Médium <input type="text" value="Voda"/>	<input type="text" value="Voda"/>
Koncentrace <input type="text" value="100,0 %"/>	<input type="text" value="100,0 %"/>
Vstupní teplota <input type="text" value="25,0 °C"/>	<input type="text" value="10,0 °C"/>
Výstupní teplota <input type="text" value="15,0 °C"/>	<input type="text" value="24,0 °C"/>
Hmotnostní průtok <input type="text" value="0,3 kg/s"/>	<input type="text" value="0,2 kg/s"/>
Objemový průtok <input type="text" value="0,9 m³/h"/>	<input type="text" value="0,7 m³/h"/>
Max. tlaková ztráta <input type="text" value="25,0 kPa"/>	<input type="text" value="25,0 kPa"/>

Obr. 43. Vstupní údaje pro návrh výměníku pro předeřtí z šedé vody

Po provedení návrhu byl navržen výměník Longtherm RHB-31-2-30.

5.8.3 Solární výměník

Prvním je výměník pro předeřev teplé vody od fototermických panelů. Na následujícím obrázku č.44 jsou vidět vstupní parametry. Na primární straně je použita nemrznoucí směs se 44 % koncentrací propylenglykolu, kterou doporučuje výrobce fototermických panelů. Ačkoliv je maximální provozní teplota panelu 120 °C, je uvažováno, že průměrná maximální teplota směsi bude 90 °C. Výstupní teplotu uvažují na 50 °C, dT se tedy rovná 40 K. Výrobce udává, že každým panelem protéká 50 l/h. Z těchto informací lze téměř stanovit přenášený výkon.

$$V = V_k \cdot n_k = 50 \cdot 67 = 3\,350 \text{ l/h}$$

V [l/h]	objemový průtok
V_k [ks]	objemový průtok jednoho kolektoru
n_k [ks]	počet kolektorů

$$m = V \cdot \rho_{glykol} = 3\,350 \cdot 979,03 = 3\,280 \text{ kg/h}$$

m [kg/h]	hmotnostní průtok
ρ [kg/m ³]	objemová hmotnost – pro 44 % směs = = 979,03 kg/m ³

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = 3\,280 \cdot 1,075 \cdot 40 = \mathbf{141 \text{ kW}}$$

Q [W]	přenášený výkon
m [kg/h]	hmotnostní průtok
c [Wh/kg · K]	měrná tepelná kapacita – pro 44 % směs = 1,075 Wh/kg · K
ΔT [K]	teplotní spád

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Na sekundární straně proudí pitná voda, která je předehřátá teplem z šedé vody. Předpokládaná teplota na vstupu je 30 °C a na výstupu je požadovaná teplota 60°C.

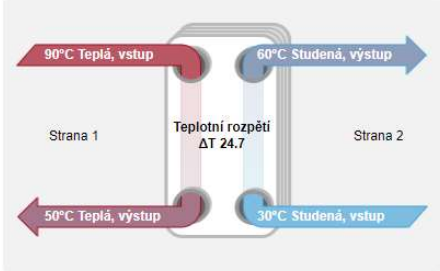
Zadat údaje zařízení

Typ výměníku tepla Výměník tepla **Pájený**

Výkon Výkon **141** kW

Údaje o zařízení

	Strana 1	Strana 2
Médium	Propylenglykol	Voda
Koncentrace	44,0 %	100,0 %
Vstupní teplota	90,0 °C	30,0 °C
Výstupní teplota	50,0 °C	60,0 °C
Hmotnostní průtok	0,9 kg/s	1,1 kg/s
Objemový průtok	3,4 m ³ /h	4,1 m ³ /h
Max. tlaková ztráta	25,0 kPa	25,0 kPa



Obr. 44. Vstupní údaje pro návrh výměníku pro předehřev z fototermiky

Po provedení návrhu byl navržen výměník Longtherm RHB-31-40.

5.8.4 Výměník pro dohřev teplé vody

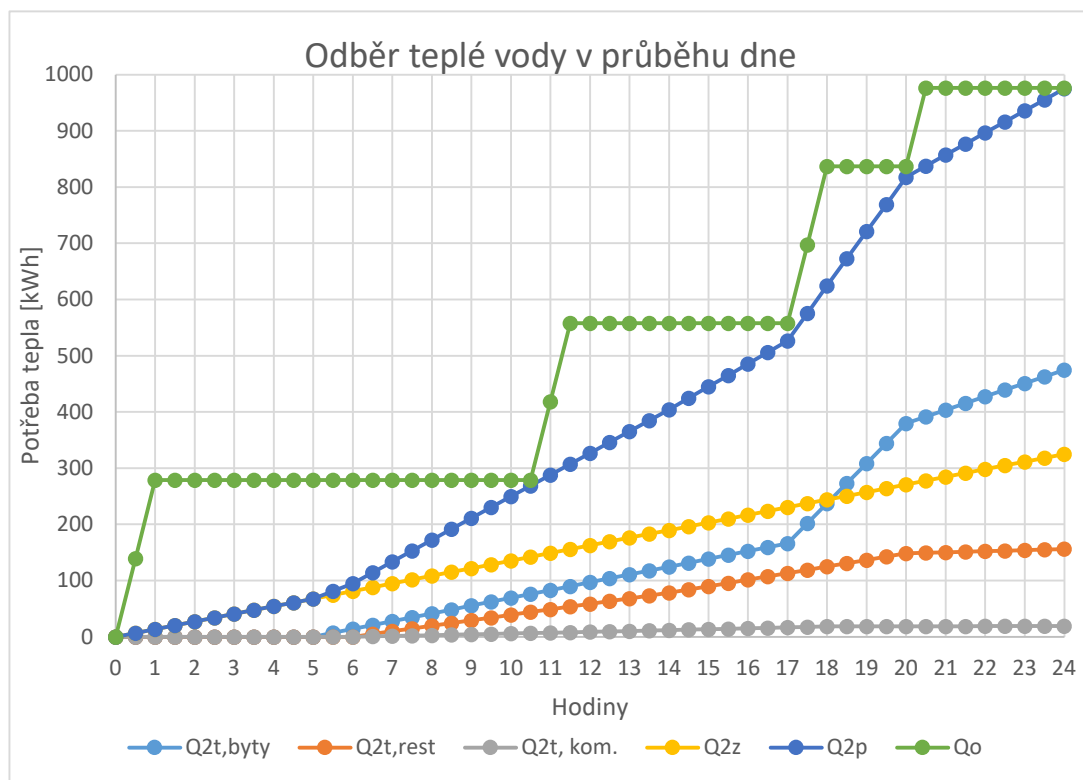
Celá příprava teplé vody je koncipovaná jako třístupňový systém. Nejprve se studená voda předehřeje o teplo z šedé vody, dále se přehřeje o solární výměník a pokud teplota vody za solárním výměníkem nemá 60 °C, je dohřáta přes okruh vytápění. Ačkoliv je při přípravě teplé vody použito více zdrojů tepla, bude tento výměník dimenzován na to, aby dokázal pokrýt veškerou potřebu tepla na přípravu teplé vody. Na primární straně bude uvažováno s teplotní spádem 60/40. Na sekundární straně bude teplota na přívodu 10 °C, která odpovídá teplotě studené vody z řadu, a výstupní teplota by měla být 55 °C. Z bilance spotřeby teplé vody vychází spotřeba 12,97 m³/den.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Provoz	M.J.	Σ M.J.	\varnothing spotřeba TV	Spotřeba TV
		ks	l/mj*den	l/den
Byty	osoba	240	40	9 600
Restaurace	jídlo	150	20	3 000
Komerce	zaměstnanec	37	10	370
				12 970

Tab.5 Bilance spotřeby teplé vody

Abychom zajistili co nejmenší počet startů kompresoru tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody, je nahřívání rozloženo do 4 časových period viz graf níže. Je proto využít nabíjecí výkon tepelného čerpadla 279 kW.



Obr.45. graf odběru teplé vody v průběhu dne

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Zde jsou vstupní hodnoty, které jsou podkladem pro návrh tepelného výměníku.

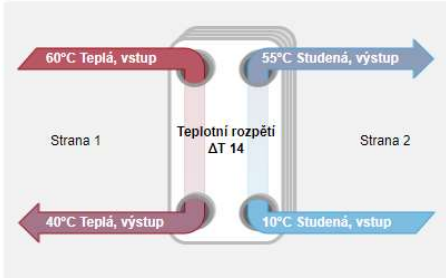
Zadat údaje zařízení

Typ výměníku tepla

Výkon kW

Údaje o zařízení

Strana 1		Strana 2	
Médium	<input type="text" value="Voda"/>	<input type="text" value="Voda"/>	<input type="text" value="Voda"/>
Koncentrace	<input type="text" value="100,0"/> %	<input type="text" value="100,0"/> %	<input type="text" value="100,0"/> %
Vstupní teplota	<input type="text" value="60,0"/> °C	<input type="text" value="10,0"/> °C	<input type="text" value="10,0"/> °C
Výstupní teplota	<input type="text" value="40,0"/> °C	<input type="text" value="55,0"/> °C	<input type="text" value="55,0"/> °C
Hmotnostní průtok	<input type="text" value="3,3"/> kg/s	<input type="text" value="1,5"/> kg/s	<input type="text" value="1,5"/> kg/s
Objemový průtok	<input type="text" value="12,1"/> m ³ /h	<input type="text" value="5,4"/> m ³ /h	<input type="text" value="5,4"/> m ³ /h
Max. tlaková ztráta	<input type="text" value="25,0"/> kPa	<input type="text" value="25,0"/> kPa	<input type="text" value="25,0"/> kPa



Obr.46. Vstupní údaje pro návrh výměníku pro dohřev z okruhu vytápění

Po provedení výpočtu byl navržen tepelný výměník Longtherm RMB-110-40.

5.9 Expanzních nádob

V soustavě jsou navrženy tři expanzní nádoby pro vyvažování objemových změn vody. Pro solární okruh a primární okruh TČ je navržena expanzní nádoba samostatně, pro okruh vytápění je navržena s expanzomatem.

5.9.1 Expanzomat pro okruh vytápění

Pro návrh expanzní nádoby a expanzomatu byl použit konfigurátor od firmy REFLEX CZ, s.r.o. V tabulce níže jsou popsány vstupní parametry.

Teploty	Maximální teplota	t_{max}	70	°C
	Zpáteční teplota	t_r	50	°C
	Bezpečnostní omezovač teploty	t_{stb}	75	°C
	Minimální teplota soustavy	t_{min}	10	°C
Tlaky	Statický tlak	p_{st}	2,6	bar
	Počáteční tlak	p_a	3,1	bar
	Minimální provozní tlak	p_0	2,8	bar
	Minimální přívodní tlak pro čerpadla	p_z	1,0	bar
	Konečný tlak	p_e	3,5	bar
	Otevírací tlak pojistného ventilu	p_{sv}	4,0	bar
Soustava	Výkon zdroje tepla	Q	293	kW
	Objem soustavy	V	6 460	l

Tab.6 Vstupní údaje pro návrh expanzní nádoby pro okruh vytápění

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Výstupem z konfigurátoru bylo navržení expanzní nádoby Variomat VG 200 a expanzomatu Variomat VG 2-1/60. Zároveň bylo do soustavy navržen odlučovač nečistot, odlučovač mikrobublin a doplňování vody do soustavy.

Pro odlučovač nečistot byl navržen filtr Exdirt s magnetickou vložkou Exferro D/TW. K tomuto filtru bude ze shora připojen odlučovač mikrobublin Exvoid T 1/2. Dopouštěcí sestava je složená z těchto komponent. Fillset Impuls, kdy se jedná o armaturu, která sdružuje funkci uzavírací armatury, systémového oddělovače s integrovaným filtrem a impulsního vodoměru. Druhým komponentem je Fillsoft FG II. Jde o pouzdro pro vložky na demineralizaci a deionizaci doplňovací vody.

5.9.2 Solární expanzní nádoba

Pro návrh expanzní nádoby byl opět použit konfigurátor od firmy REFLEX CZ.

Teploty	Stagnační teplota	t_{stag}	120	°C
	Zamezení odpaření do	t_{odp}	120	°C
	Podíl nemrznoucího prostředku		44	%
	Minimální teplota soustavy	t_{min}	-28	°C
Tlaky	Statický tlak	p_{st}	2,3	bar
	Počáteční tlak	p_a	4,2	bar
	Minimální provozní tlak	p_0	3,9	bar
	Minimální přívodní tlak pro čerpadla	p_z	3,1	bar
	Konečný tlak	p_e	5,4	bar
	Otevírací tlak pojistného ventilu	p_{sv}	6,0	bar
	Rozsah páry		0,2	-
Soustava	Objem soustavy	V	452	l

Tab. 7 Vstupní údaje pro návrh expanzní nádoby pro solární okruh

Výstupem z konfigurátoru byla navržena expanzní nádoba Reflex S 200 s odlučovačem mikrobublin Exvoid T 1/2 S.

5.9.3 Expanzní nádoba pro primární okruh TČ

Ani tato expanzní nádoba není výjimkou a je navržena pomocí konfigurátoru od firmy REFLEX CZ.

Teploty	Nejvyšší nastavená teplota na regulátoru	t_{max}	33	°C
	Maximální vstupní teplota	t_v	30	°C
	Teplota na zpátečce	t_r	33	°C
	Minimální teplota soustavy	t_{min}	-5	°C
	Podíl nemrznoucí směsi (PP-glykol)		30	%
Tlaky	Statický tlak	p_{st}	0,3	bar
	Počáteční tlak	p_a	1,3	bar
	Minimální provozní tlak	p_0	1,0	bar
	Minimální přívodní tlak pro čerpadla	p_z	1,0	bar
	Konečný tlak	p_e	2,0	bar
	Otevírací tlak pojistného ventilu	p_{sv}	2,5	bar
Soustava	Objem soustavy	V	11 896	l

Tab.8 Vstupní údaje pro návrh expanzní nádoby pro primární okruh TČ

Výstupem z konfigurátoru byla navržena expanzní nádoba Reflex DE 800.

5.10 Pojistných ventilů

Aby bylo zabráněno vzniku příliš vysokých tlaků v soustavě, které by mohly poničit samotnou soustavu nebo celý objekt, je potřeba do soustavy přidat pojistné ventily. Tyto ventily případný přebytečný tlak odpustí a soustava tak bude chráněna.

V tabulce níže jsou vypsána všechna zařízení, které mají svůj vlastní pojistný ventil s napočítanou příslušnou dimenzí ventilu PjV , vyjádřenou pomocí nejmenšího průtočného průřezu A_0 , pro PjV 1/2 je maximální hodnota 177 mm^2 .

Pro vodu:
$$A_0 = \frac{2 \cdot Q}{\alpha_v \cdot p_{sv}^{0,5}} [\text{mm}^2]$$

Pro páru:
$$A_0 = \frac{2 \cdot Q}{\alpha_v \cdot K} [\text{mm}^2]$$

A_0 [mm^2]	skutečný průřez sedla pojistného ventilu
Q [W]	přenášený výkon
α_v [–]	výtokový součinitel (pro 1/2“ = 0,54)
p_{sv} [kPa]	otevírací tlak pojistného ventilu
K [kW/mm^2]	konstanta pro stav syté vodní páry (0,5)

Druhým navrženým parametrem je dimenze připojovacího potrubí d , která se stanoví na základě těchto vzorců:

Pro vodu:
$$d_v = 10 + 0,6 \cdot Q^{0,5} [\text{mm}]$$

Pro páru:
$$d_s = 15 + 1,4 \cdot Q^{0,5} [\text{mm}]$$

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Se vznikem páry uvažují pouze u solárních kolektorů.

Zařízení	Q	p _{sv}	A ₀	d	P _{JV}
	kW	kPa	mm ²	mm	
TČ1 - primární str.	64	250	15,0	14,8	1/2"
TČ2 - primární str.	64	250	15,0	14,8	1/2"
TČ3 - primární str.	64	250	15,0	14,8	1/2"
TČ4 - primární str.	64	250	15,0	14,8	1/2"
TČ1 - sekundární str.	64	400	11,9	14,8	1/2"
TČ2 - sekundární str.	64	400	11,9	14,8	1/2"
TČ3 - sekundární str.	64	400	11,9	14,8	1/2"
TČ4 - sekundární str.	64	400	11,9	14,8	1/2"
Akumulační nádrž	293	400	54,3	20,3	1/2"
Teplený výměník - šedé voda - nabíjecí	11,3	400	2,1	12,0	1/2"
Teplený výměník - šedé voda - předeheřev	11,3	400	2,1	12,0	1/2"
Teplený výměník - fototermika - nabíjecí	141	600	21,3	17,1	1/2"
Teplený výměník - fototermika - předeheřev	141	400	26,1	17,1	1/2"
Teplený výměník - dohřívací - vytápění	293	400	54,3	20,3	1/2"
Teplený výměník - dohřívací - TV	293	400	54,3	20,3	1/2"
ZTV1 - nahřívací	293	400	54,3	20,3	1/2"
ZTV2 - nahřívací	293	400	54,3	20,3	1/2"
ZTV - pohotovostní	293	400	54,3	20,3	1/2"
Fototermické pole 1 (3 panely)	6,3	600	46,7	18,5	1/2"
Fototermické pole 2 (3 panely)	6,3	600	46,7	18,5	1/2"
Fototermické pole 3 (4 panely)	8,4	600	62,2	19,1	1/2"
Fototermické pole 4 (4 panely)	8,4	600	62,2	19,1	1/2"
Fototermické pole 5 (3 panely)	6,3	600	46,7	18,5	1/2"
Fototermické pole 6 (3 panely)	6,3	600	46,7	18,5	1/2"
Fototermické pole 7 (3 panely)	6,3	600	46,7	18,5	1/2"
Fototermické pole 8 (3 panely)	6,3	600	46,7	18,5	1/2"
Fototermické pole 9 (5 panelů)	10,5	600	77,8	19,5	1/2"
Fototermické pole 10 (5 panelů)	10,5	600	77,8	19,5	1/2"
Fototermické pole 11 (5 panelů)	10,5	600	77,8	19,5	1/2"
Fototermické pole 12 (5 panelů)	10,5	600	77,8	19,5	1/2"
Fototermické pole 13 (7 panelů)	14,7	600	108,9	20,4	1/2"
Fototermické pole 14 (7 panelů)	14,7	600	108,9	20,4	1/2"
Fototermické pole 15 (7 panelů)	14,7	600	108,9	20,4	1/2"

Tab.9 Návrh pojistných ventilů

5.11 Návrh oběhových čerpadel

č. čerpadla	Průtok	Dopravní výška	Čerpadlo
	m^3/h	m	
Č1	28,8	4,5	Wilo Yonos MAXO 80/0,5-6
Č2	28,8	4,5	Wilo Yonos MAXO 80/0,5-6
Č3	25,5	3,5	Wilo Stratos MAXO 100/0,5-6
Č4	18,5	4,2	Wilo Stratos MAXO 100/0,5-6
Č5	4,9	4,4	Wilo Stratos MAXO 65/0,5-6
Č6	2,0	2,6	Wilo Stratos PICO 30/0,5-6
Č7	5,4	3,8	Wilo Yonos MAXO 40/0,5-6
Č8	2,0	3,1	Wilo Yonos PICO 30/0,5-4
Č9	3,4	7,1	Wilo Yonos MAXO-Z 50/0,5-8
Č10	6,0	3,2	Wilo Yonos MAXO 50/0,5-8
Č11	0,4	3,6	Wilo Stratos PICO 25/0,5-6
Č12	1,2	5,1	Wilo Stratos PICO 30/0,5-6
Č13	0,5	4,8	Wilo Stratos PICO 25/0,5-6

Tab.10 Návrh oběhových čerpadel

6. Zdroje

- [1] LDM. Regulační armatury [online]. ING. DOUBRAVA, Jiří. 2006 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č.193/2007 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu [online]. 2007 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-193>
- [3] doc. Ing. BAŠTA, Ph.D., Jiří. Regulace v technice prostředí staveb. České vysoké učení technické. Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, 2014.
- [4] TZB INFO. Regulační armatury - teoretická základna I-IV [online]. doc. Ing. BAŠTA Ph.D., Jiří. 2004 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2198-regulacni-armatury-teoreticka-zakladna>
- [5] Webinaře [online]. IMI HYDRONIC ENGINEERING. 2021 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.imi-hydronic.com/cs/webinare>
- [6] TZB INFO. Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění [online]. ING. MATZ, PH.D, Václav. 2010 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

[7] MLÁDEK, Ondřej. POROVNÁNÍ KVALITATIVNÍHO A KVANTITATIVNÍHO ŘÍZENÍ OTOPNÝCH SOUSTAV [online]. FAKULTA STROJNÍ, ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ, 2019 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/84701/F2-BP-2019-Mladek-Ondrej-Bakalarska%20prace%20%20Porovnani%20kvalitativniho%20a%20kvantitativniho%20rizeni%20otopnych%20soustav.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

[8] NEUFELD, Andreas. ATLAS COPCO. Co je kavitace čerpadla a jak se tomu vyhnout? [online]. 2021 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.atlascopco.com/cs-cz/constructionequipment/resources/blog/cavitation-in-centrifugal-pump>

[9] REFLEX CZ, S.R.O. TZB INFO. Úprava vody v otopných soustavách [online]. 2019 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/provoz-a-udrzba-vytapeni/19429-uprava-vody-v-otopnych-soustavach>

[10] ČSN EN 14868. Ochrana kovových materiálů proti korozi - Návod na stanovení pravděpodobnosti koroze v uzavřených vodních oběhových soustavách. ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI, ČSN, 2006.

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

[11] ING. DUFKA, Jaroslav. ESTAV.CZ. Co způsobují plyny v otopné soustavě? [online]. 2018 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/4914.co-zpusobuji-plyny-v-otopne-soustave>

[12] ING. VANĚK, Vladimír. REFLEX CZ, S.R.O. Odplynění otopných a chladicích soustav [online]. 2017 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/15846-odplyneni-otopnych-a-chladicich-soustav>

[13] IMI HYDRONIC ENGINEERING. Proč věnovat pozornost udržování správného tlaku v otopné soustavě? [online]. 2020 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/20710-proc-venovat-pozornost-udrzovani-spravneho-tlaku-v-otopne-soustave>

[14] JEDLIČKOVÁ, Alžběta. ZPĚTNÉ VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD V BYTOVÉM DOMĚ [online]. Fakulta stavební Katedra technických zařízení budov, 2022 [cit. 2023-12-21]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/102437/F1-BP-2022-JedlickovaAlzbetazpetne%20vyuziti%20odpadnich%20vod%20v%20bytovem%20dome.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE.
Vedoucí práce Ing. Zuzana Veverková, Ph.D.

7. Seznam obrázků

Obr.1 Regulační schéma monitorování

Zdroj: Přednáška prof. Ing. Karla Kabeleho, CSc., ČVUT K125 – 125VPVA

Obr.2 Regulační schéma ovládání

Zdroj: Přednáška prof. Ing. Karla Kabeleho, CSc., ČVUT K125 – 125VPVA

Obr.3 Regulační schéma ručního ovládání

Zdroj: Přednáška prof. Ing. Karla Kabeleho, CSc., ČVUT K125 – 125VPVA

Obr.4 Regulační schéma automatického ovládání

Zdroj: Přednáška prof. Ing. Karla Kabeleho, CSc., ČVUT K125 – 125VPVA

Obr.5 Graf průtočných charakteristik

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.6 Deformace lineární průtočné charakteristiky

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.7 Deformace rovnoprocentní průtočné charakteristiky

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.8 Deformace modifikované rovnoprocentní průtočné charakteristiky

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.9 Zesílení soustavy lineární průtočné charakteristiky

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr. 10 Zesílení soustavy rovnoprocentní průtočné charakteristiky

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.11 Zesílení soustavy modifikované rovnoprocentní průtočné charakteristiky

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.12a,b Termostatický regulační ventil (vlevo), ventilová vložka (vpravo)

Zdroj: <https://www.imi-hydronic.com/cs/product/v-exact-ii>

Zdroj: <https://www.imi-hydronic.com/cs/product/termostaticke-vlozky>

Obr. 13 Graf pásma proporcionality termostatické hlavice

Zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=Q5jpu-vLJn0>

Obr.14a,b Ruční termostatická hlavice (vlevo), Elektrohlavice (vpravo)

Zdroj: <https://www.eshop-koupelny-topeni.cz/termostaticka-hlavice-k-6000-09500>

Zdroj: <https://www.duoelektro.cz/chytra-domacnost/64684-bezdratova-termohlavice-evolveo-heat-m30v2-8595683201490.html>

Obr. 15 Prostorový termostat

Zdroj: https://www.koupelny-radiatory.cz/elektrobock-pt22-digitalni-prostorovy-termostat-tydenni?gclid=CjwKCAiA-bmsBhAGEiwAoaQNmidawzS-QATEZn5GcNEwOTA_0o3QtVxb2TiSTV92zI2juO3fWF7wRxoC0DsQAvD_BwE

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Obr. 16 Regulační smyčka termostatické regulace

Zdroj: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/22314-jak-funguje-termostaticky-ventil-a-hlavice>

Obr.17 Regulátor diferenčního tlaku

Zdroj: <https://www.bola.cz/regulator-tlaku-diferencni-imi-ta-stap-dn-15-s-vypoustenim-52265015>

Obr. 18 Tlaková ztráta VV není součástí chráněného úseku (vlevo), je součástí (vpravo)

Zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=vwLCLAfnp8Y>

Obr. 19 Pásmo proporcionality RDT

Zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=vwLCLAfnp8Y>

Obr.20 Sdružená funkce tlakově nezávislého regulačního ventilu

Zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=KWjSwVyZj5M>

Obr.21 Konstrukce TNRV

Zdroj: <https://www.youtube.com/watch?v=KWjSwVyZj5M>

Obr.22 Ekvitermní křivky pro teploty interiéru 15, 20 a 25 °C

Zdroj: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>

Obr.23 Schéma regulace dvojcestným ventilem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

Obr.24 Schéma regulace dvojcestným ventilem s RDT

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

Obr.25 Schéma regulace dvojcestným ventilem s pevným zkratem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

Obr.26 Schéma regulace dvojcestným ventilem s nastavitelným zkratem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

Obr.27. Schéma regulace trojcestným ventilem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

Obr.28 Schéma regulace trojcestným ventilem se zpětnou klapkou na zkratu.

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

Obr.29 Schéma regulace trojcestným ventilem s vyvažovacím ventilem na zpáteče

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

Obr.30 Schéma regulace trojcestným ventilem s pevným zkratem před regulačním ventilem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/lm_sbormik2006.pdf

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Obr.31 Schéma regulace trojcestným ventilem na zpátečce s pevným zkratem před regulačním ventilem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.32. Schéma regulace trojcestným ventilem na zpátečce

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.33 Schéma regulace trojcestným ventilem se zkratem s vyvažovacím ventilem za regulačním

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.34 Schéma zapojení tlakového rozdělovače s konstantním průtokem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.35 Schéma zapojení tlakového rozdělovače s proměnným průtokem

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.36 Schéma zapojení beztlakového rozdělovače

Zdroj: https://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbornik2006.pdf

Obr.37 Imploze mikrobublínky vakua a následný tlakový ráz

Zdroj: <https://www.atlascopco.com/cs-cz/construction-equipment/resources/blog/cavitation-in-centrifugal-pump>

Obr.38. Specifikace čerpadla Wilo Yonos MAXO 40/0,5-4 PN 6/10

Zdroj: <https://wilo.com/cz/cs/Produkty-a-aplikace/cs/vyroby-a-expertiza/wilo-yonos-maxo/yonos-maxo-40-0-5-4-pn-6-10>

Obr.39. Pracovní oblast udržování tlaku

Zdroj: <https://vytapani.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/20710-proc-venovat-pozornost-udrzovani-spravneho-tlaku-v-otopne-soustave>

Obr.40 Průběh dynamického tlaku v soustavě

Zdroj: <https://vytapani.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/12490-kam-umistit-expanzni-nadobu-a-cerpadlo-v-systemu-ustredniho-vytapani>

Obr.41 Fototermický panel Logasol SKT1.0-w

Zdroj: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/fuer_partnerplanunsdokumente/solar_technology/pp_logasol_2019_cz.pdf

Obr.42. Tabulka korekčních faktorů panelu Logasol SKT1.0-w

Zdroj: https://www.buderus.com/cz/media/country_pool/fuer_partner/planunsdokumente/solar_technology/pp_logasol_2019_cz.pdf

Obr.43. Vstupní údaje pro návrh výměníku pro přehřev z šedé vody

Zdroj: <https://rsp.reflex.de/?lang=cs>

Obr.44. Vstupní údaje pro návrh výměníku pro přehřev z fototermiky

Zdroj: <https://rsp.reflex.de/?lang=cs>

HYDRAULIKA SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ

Obr.45. Graf odběru teplé vody v průběhu dne

Zdroj: vlastní

Obr.46. Vstupní údaje pro návrh výměníku pro dohřev z okruhu vytápění

Zdroj: <https://rsp.reflex.de/?lang=cs>

8. Seznam tabulek

Tab.1 Cena regulačních armatur pro variantu s běžným vyvážením

Tab.2 Cena regulačních armatur pro variantu s technologií AFC

Tab.3 Srovnání instalace s běžnými TRV, oproti TRV s AFC technologií

Tab.4 Bilance produkce šedé vody

Tab.5 Bilance spotřeby teplé vody

Tab.6 Vstupní údaje pro návrh expanzní nádoby pro okruh vytápění

Tab.7 Vstupní údaje pro návrh expanzní nádoby pro solární okruh

Tab.8 Vstupní údaje pro návrh expanzní nádoby pro primární okruh TČ

Tab.9 Návrh pojistných ventilů

Tab.10 Návrh oběhových čerpadel