

Hydraulická zapojení regulačních ventilů

Hydraulic connection of control valves

Ing. Jiří BAŠTA, Ph.D.
ČVUT v Praze, Ústav techniky prostředí

Recenzent
prof. Ing. Karel Hemzal, Csc.

Příspěvek se zabývá možnostmi napojení okruhů otopných soustav ve vazbě na regulační armatury, čerpadla a rozdělovače.

Klíčivá slova: vytápění, hydraulika, regulace, armatury

The contribution deals with possibilities of heating systems circuits connections in connection with control valves, pumps and distributors.

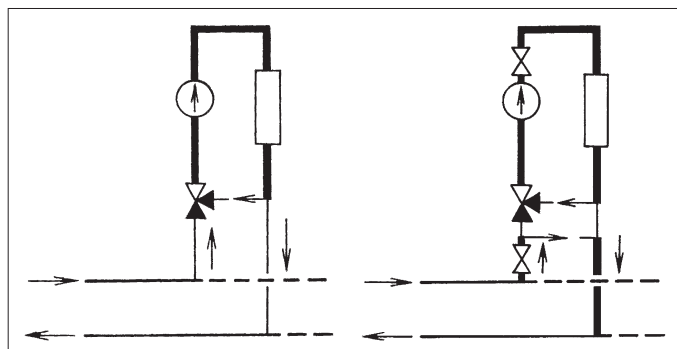
Key words: heating, hydraulics, control, valves

V závislosti na hydraulickém zapojení a umístění čerpadla (čerpadel) dosahujeme různých tlakových diferencí mezi rozdělovačem a sběračem, které nemusí být jen příznivé (velmi malé), ale i nepříznivé (= tlak ve sběrači je větší než v rozdělovači), jako je tomu v některých případech při umístění čerpadla ve spotřebitelském okruhu.

Obvyklá zapojení ve vytápění lze převést na několik základních, která umožňují regulaci výkonu. Nejdříve se zabýváme dvěma základními zapojeními, která umožňují rozdělení otopné vody do jednoho či více okruhů.

1. ZAPOJENÍ BEZ ČERPADLA V OKRUHU ZDROJE TEPLA

Každý okruh soustavy má své čerpadlo, které zajišťuje oběh vody pro tento okruh. To musí krytí tlakovou ztrátu spotřebitelského okruhu i tlakovou ztrátu kotlového okruhu. Pokud je spotřebitelských okruhů více, tj. pokud je více čerpadel, jde o jejich paralelní zapojení a výsledná charakteristika pro kotlový okruh je dána příslušným skládáním charakteristik. V kotlovém okruhu je průtok proměnný, ve spotřebitelském okruhu naopak konstantní. Tlakové rozdíly mezi rozdělovačem a sběračem jsou v každém místě připojení okruhů soustavy malé, ale přesto různé. Regulační křivky jednotlivých okruhů se mohou vzájemně ovlivňovat. To je vždy v případě, když se v některém z okruhů změní výkon (viz obr. 1 a 2).



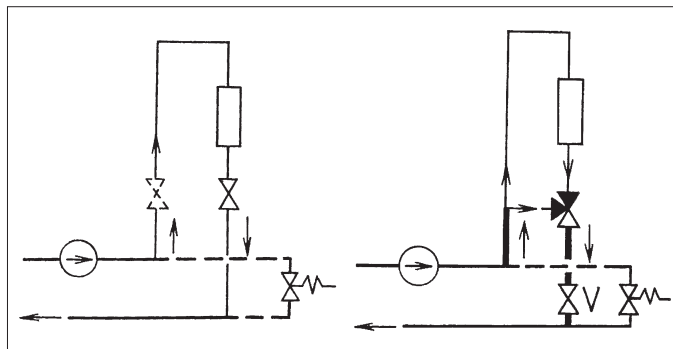
Obr. 1 Napojení okruhu s třícestnou směšovací armaturou a čerpadlem na tlakový rozdělovač

Obr. 2 Napojení okruhu se zkratem, třícestnou směšovací armaturou a čerpadlem na tlakový rozdělovač

2. ZAPOJENÍ S ČERPADLEM V OKRUHU ZDROJE TEPLA

Zde je (obr. 3, 4, 6 a 7) čerpadlo umístěno v kotlovém okruhu. Používá se beztlaký rozdělovač či termohydraulický rozdělovač (THR). Průtok je tak jednotlivými okruhy konstantní, neboť mezi rozdělovačem a sběračem je stálý tlakový rozdíl.

Každý spotřebitelský okruh, který pracuje s konstantním průtokem, má své čerpadlo (obr. 6 a 7), které slouží pouze potřebám okruhu. Jednotlivé regulované okruhy se neovlivňují (či jen zanedbatelně). Zapojení s regulační armaturou, jako je regulační ventil, přepouštěcí ventil, regulátor tlakové difference nebo zpětný ventil či klapka mezi rozdělovačem a sběračem je uvedeno na obr. 3, 4, 6 a 7. Tučně zakreslené čáry v obrázcích značí úseky s konstantním průtokem.



Obr. 3 Napojení spotřebitelského okruhu s průtočnou regulační armaturou a čerpadlem v okruhu beztlakého rozdělovače

Obr. 4 Napojení okruhu s třícestnou směšovací armaturou na zpátečce a průtočnou regulační armaturou s čerpadlem v okruhu beztlakého rozdělovače

3. PŘÍKLADY ZAPOJENÍ

Zapojení podle obr. 1

Zde jde o regulaci směšováním s oběhovým čerpadlem v každém spotřebitelském okruhu. Regulace výkonu se docílí směšováním přívodní vody z rozdělovače s vratnou vodou z jediného okruhu. Trojcestný ventil může být navržen jako směšovací ventil v přívodní větvi či jako rozdělovací ventil ve větvi vratné. Průtok v okruhu spotřebičů je konstantní, ale v primárním okruhu proměnný. Z tohoto důvodu se jednotlivé regulované okruhy vzájemně ovlivňují.

Zapojení podle obr. 2

Schéma ukazuje regulaci směšováním (principiálně obdobné zapojení z obr. 1), kde je použito ještě krátké spojovací potrubí mezi přívodní a vratnou větví, čímž zůstává rozdíl tlaků v přívodním okruhu nadále téměř nulový. Eventuální instalování kotlového čerpadla zůstává v síti spotřebičů bez odezvy, neboť čerpadlo kotlového okruhu pokrývá ztráty pouze kotlového okruhu. Jak v primárním tak i v okruhu spotřebičů jsou průtoky konstantní.

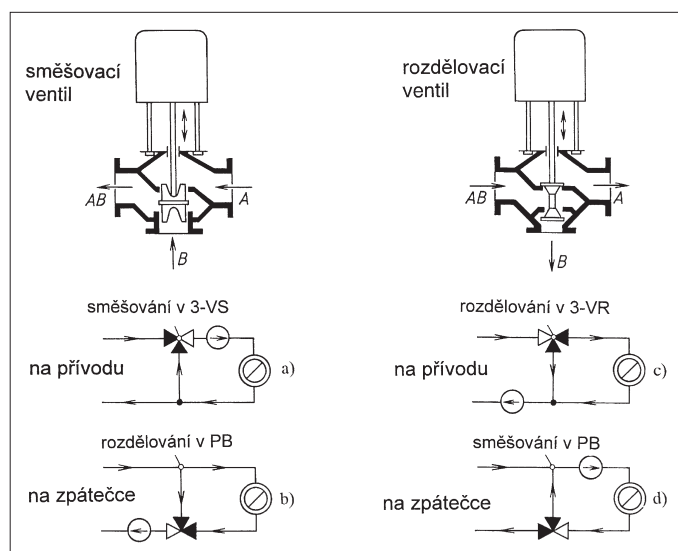
Zapojení podle obr. 3

Zde jde o jednoduché **zapojení s regulačním dvoucestným ventilem**. Jedná

se o kvantitativní regulaci změnou průtoku. Zařazení dvoucestného ventilu je možné jak v přívodní, tak ve zpětné větvi. U tohoto zapojení bude proměnný průtok jak kotlovým okruhem, tak okruhy spotřebitelskými. Uvedené zapojení sebou přináší změny tlakových poměrů a jako následek pak i velké teplotní rozdíly (spády) na otopných tělesech. U vzduchotechnických ohřivačů vzduchu hrozí při tomto zapojení zamrznutí. Vzhledem k některým uvedeným nevýhodám se zapojení používá jen zřídka.

Zapojení podle obr. 4

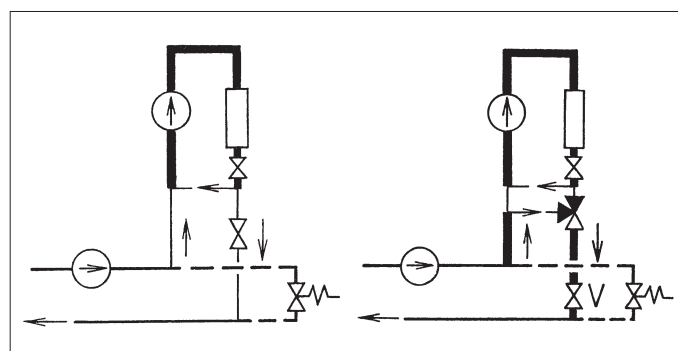
Jedná se o **zapojení s trojcestným ventilem** pro kvantitativní regulaci. K regulaci spotřebitelského okruhu dochází kvantitativně, tj. změnou průtoku. Zapojení může být provedeno též s rozdělovacím trojcestným ventilem v přívodní větvi (analogicky k obr. 5c) nebo se směšovací trojcestným ventilem na zpátečce (jak odpovídá obr. 4 či též obr. 5b). V primárním (kotlovém) okruhu je průtok konstantní a ve spotřebitelském proměnný. V potrubní síti primárního okruhu jsou přibližně konstantní tlakové poměry.



Obr. 5 Schéma umístění třícestného ventilu

Zapojení podle obr. 6

je **zapojení se směšováním v pevném bodě a dvoucestným ventilem**. Zapojení principiálně odpovídá obr. 3, avšak je zde použito oběhové čerpadlo ve spotřebitelském okruhu, které udržuje tímto okruhem konstantní průtok. Regulace výkonu se zajišťuje směšováním přívodní vody od rozdělovače a zpětné vody ze spotřebitelského okruhu – tedy jde o regulaci kvalitativní. V primárním



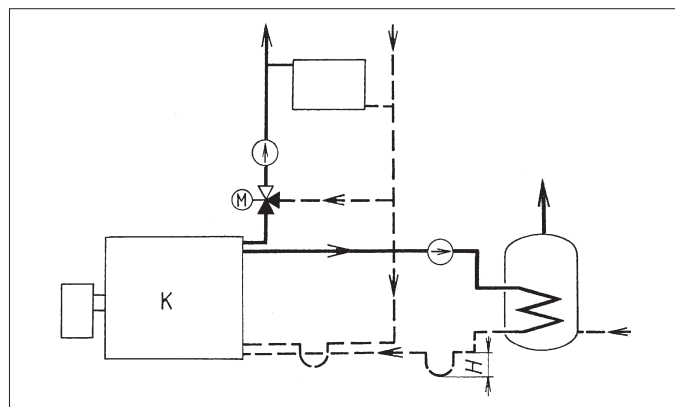
Obr. 6 Nápojení spotřebitelského okruhu s čerpadlem a průtočným regulačním ventilem na beztlaký rozdělovač s čerpadlem v okruhu zdroje tepla

Obr. 7 Nápojení spotřebitelského okruhu s čerpadlem, zkratem, třícestným směšovacím ventilem a průtočným regulačním ventilem na beztlaký rozdělovač s čerpadlem v okruhu zdroje tepla

okruhu je průtok proměnný tudíž zde dochází ke kolísání tlaků, neboť potřeba tepla jednotlivých spotřebitelských okruhů napojených na společný rozdělovač se může měnit.

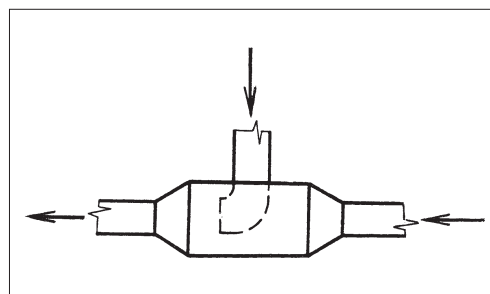
Zapojení podle obr. 7

Zde jde o **zapojení s trojcestným směšovacím ventilem a pevným zkratem**. Je to vlastně kombinace zapojení z obr. 4 a 6. Oběhové čerpadlo instalované ve spotřebitelském okruhu zajišťuje konstantní průtok tímto okruhem. Požadovaný výkon reguluje trojcestný směšovací ventil mísením přívodní vody z rozdělovače se zpětnou vodou z okruhu. Trojcestný ventil může být zařazen v přívodu a pak je rozdělovacím (analogicky obr. 5c), či ve zpátečce a tam je směšovací (jak odpovídá obr. 7 či jak je v obr. 5b). Průtoky v primárním (kotlovém) i sekundárním (spotřebitelském) okruhu jsou konstantní a stejně tak i tlakové poměry.



Obr. 8 Otopná soustava s jedním okruhem s třícestnou směšovací armaturou

U těchto zapojení se většinou používají ventily s rovnoprocentní či lineární statickou charakteristikou, které mají autoritu ventilu okolo $P_v = 0,5$. Při této autoritě je při plně otevřeném ventilu jeho tlaková ztráta rovna tlakové ztrátě okruhu s proměnným průtokem. U okruhů s konstantním průtokem lze docílit téhož prostřednictvím nastavení škrtících orgánů.

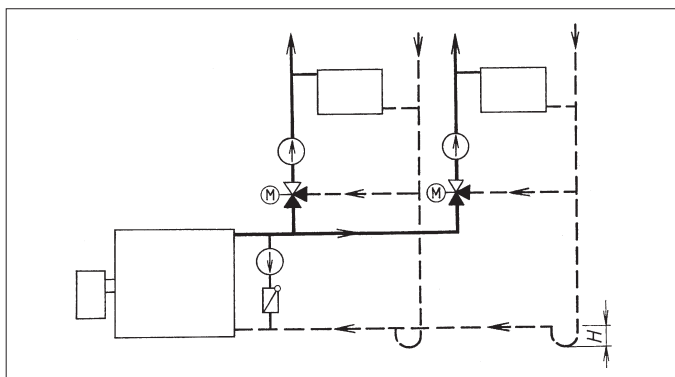


Obr. 9
Směšovací bod
s napojením zkratu
jako injektor

U rodinných domů se v praxi ustálilo zapojení s trojcestným směšovacím ventilem či klapkou podle obr. 1. Zde se směšuje kotlová přívodní voda s chladnější zpátečkou a tak se kvalitativně reguluje přívodní voda do spotřebitelského okruhu. Princip přimíchávání zpátečky je patrný z obr. 8. Natáčení klapky či zdvih ventilu se uskutečňuje ve většině případů automaticky pohonem.

Při směšováním v pevném bodě, v případě kdy je trojcestný ventil zapojen jako rozdělovací, dochází ke směšováním v bodě potrubní sítě, kde je napojeno zkratové potrubí. Zde může být potrubí zkratu zapojeno jako injektor (obr. 9).

Regulaci dvou spotřebitelských okruhů se směšovacími trojcestnými ventily ukazuje obr. 10. Zde je rovněž vyobrazena tlumicí smyčka, která zamezuje plíživému proudění přes zpátečku při odstavení jednoho okruhu a provozu druhého a tím natápění okruhu přes zpátečku.



Obr. 10 Otopná soustava se dvěma okruhy s třícestnou směšovací armaturou

Byla uvedena obvyklá zapojení vyskytující se ve vytápění. Nyní se zaměříme na tato **zapojení** resp. zrekapitulujeme je **vzhledem k použitému rozdělovači**. Zapojení lze rozdělit podle hydraulického propojení kotlového okruhu a okruhu rozdělovačů na soustavy:

- ☐ s tlakovým rozdělovačem (TR)
- ☐ s beztlakovým rozdělovačem (BTR)
- ☐ se zkratem v kotlovém okruhu (ZKO)
- ☐ s termohydraulickým rozdělovačem (THR).

Tlakový rozdělovač

Rozdělovač i sběrač jsou od sebe odděleny (obr. 11). U soustav s tlakovým rozdělovačem se sekundární okruhy vzájemně tlakově ovlivňují i přesto, že mají svá čerpadla navržená na jmenovité parametry. Konstantní průtoky na sekundární straně (čerpadla pracují se stále stejnými otáčkami) a zachování jmenovitého

tého či sníženého průtoku na straně primární, vyžaduje pečlivý návrh oběhových čerpadel a regulačních či vyvažovacích armatur.

Beztlaký rozdělovač

Rozdělovač a sběrač jsou vzájemně propojeny potrubím, ve kterém je většinou ještě vyvažovací armatura či přepouštěcí ventil, resp. regulátor tlakové difference zapojený jako přepouštěcí (obr. 11 vpravo). Přinejmenším musí být průměr propojovacího potrubí správně napočítán a v potrubí umístěn zpětný ventil či klapka. Dopravní množství čerpadel zdroje tepla je větší než jmenovitý průtok sekundárních okruhů. Přebytek se bez problémů přepouští spojkou rozdělovače. Použitím beztlakového rozdělovače se podstatně zlepší situace se vzájemným průtokovým a tlakovým ovlivňováním jednotlivých sekundárních okruhů mezi sebou. Rozhodující je dostatečné dimenzování rozdělovače a způsob provedení spojky rozdělovače a sběrače.

Zkrat v kotlovém okruhu

Praxe a měření na díle ukázalo, že v poměrně širokém rozsahu provozních stavů k žádnému přepouštění zkratem (ZKO) nedochází, neboť má velkou tlakovou ztrátu. Použití zkratu ve stejné dimenzi, jako má jím spojované potrubí, není zcela dostačující a proto se namísto něj používá termohydraulický rozdělovač (THR).

Termohydraulický rozdělovač

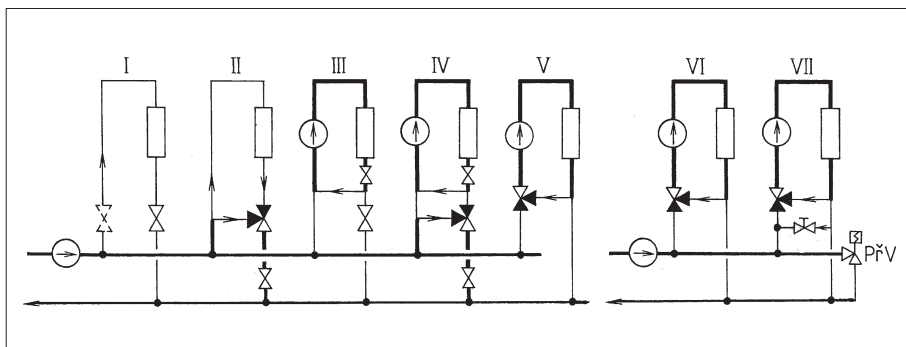
Termohydraulický rozdělovač (obr. 12) není principiálně nic jiného, než předimenzovaný zkrat kotlového okruhu. Na rozdíl od zkratu v kotlovém okruhu je v THR zanedbatelný rozdíl tlaků mezi příívodem a zpátečkou. Dosáhneme tak plného hydraulického propojení a vyloučíme protichůdné ovlivňování průtoků a tlaků primárního a sekundárního okruhu.

Dalším hlediskem je **rozdělení podle instalovaných čerpadel**. U rozdělovače bez jemu příslušejícího čerpadla dodává každé oběhové čerpadlo do spotřebitelských okruhů pouze takové množství, jaké okruh potřebuje. Musí krýt tlakovou ztrátu spotřebitelského okruhu i okruhu kotle. Průtok kotlovým okruhem je proměnný a tlakové difference v rozdělovači jsou rozdílné. Jednotlivé regulované okruhy se navzájem ovlivňují např. při náhlých změnách výkonu jedné spotřebitelské sítě.

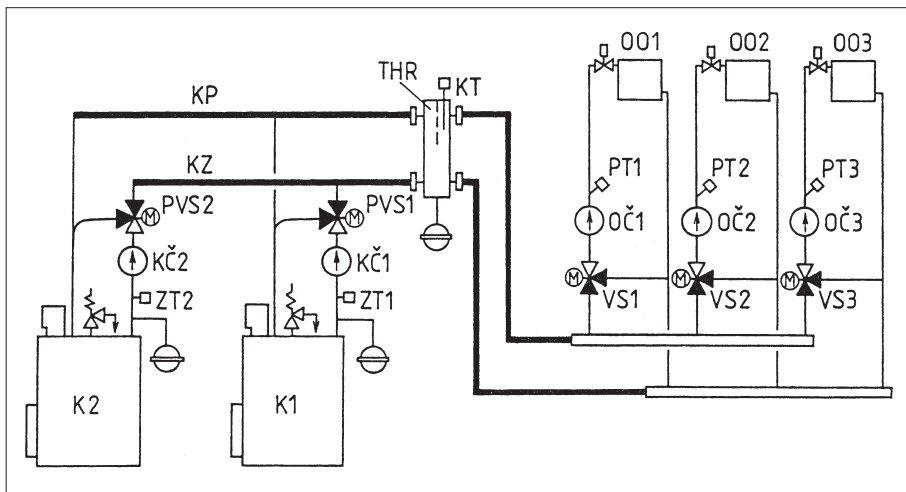
U rozdělovače s jemu příslušejícím čerpadlem je v kotlovém okruhu čerpadlo (či čerpadla) a v těchto případech je vhodné použít zapojení s beztlakovým nebo termohydraulickým rozdělovačem. Průtok kotlovým okruhem je konstantní a rozdíl tlaků mezi rozdělovačem a sběračem je malý. Každý spotřebitelský okruh musí mít své čerpadlo. K vzájemnému ovlivňování jednotlivých regulovaných okruhů téměř nedochází.

4. ZÁVĚR

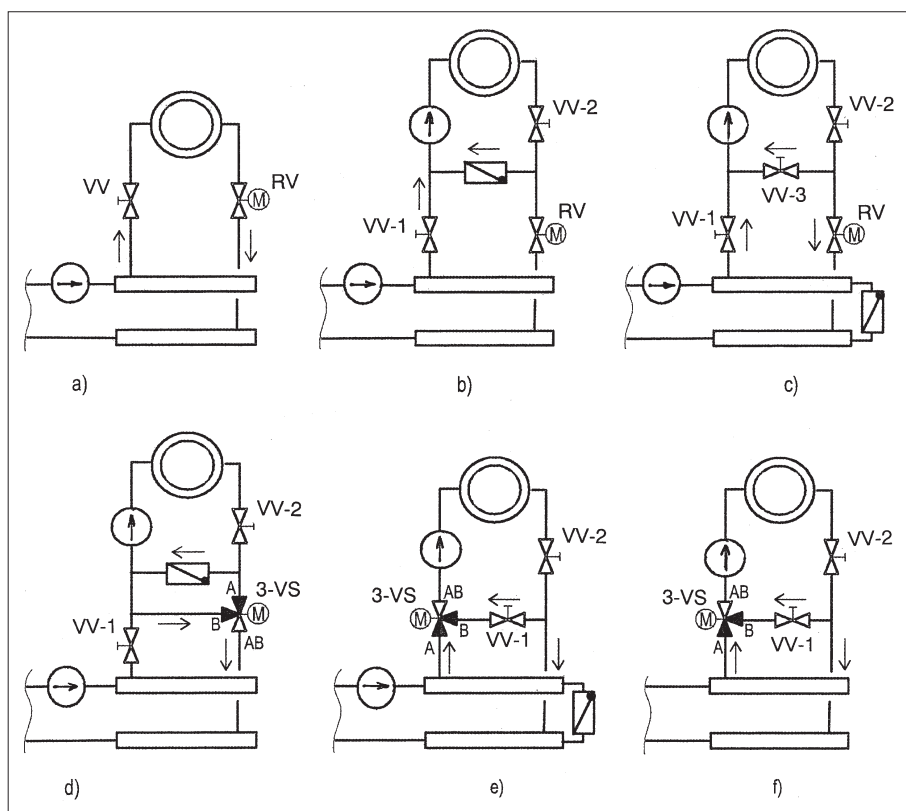
Tab. 1 předkládá souhrn v praxi nejčastěji používaných hydraulických zapojení otopných soustav. Pro doplnění a znázornění jsou nejčastěji používaná zapojení zakreslena se všemi potřebnými armaturami na obr. 13. Pro optimální funkci prezentovaných zapojení je přirozeně důležité správné dimenzování regulačních orgánů a čerpadel, ale též pečlivé hydraulické vyvážení soustavy. Lze si povšimnout, že zříci se nastavení projektovaného průtoku vyvažovacími ventily (hydraulické vyvážení potrubní sítě) lze jen tehdy, pokud navržené ventily mají



Obr. 11 Varianty hydraulického napojení spotřebitelských okruhů na tlakový (vlevo) a beztlaký (vpravo) rozdělovač

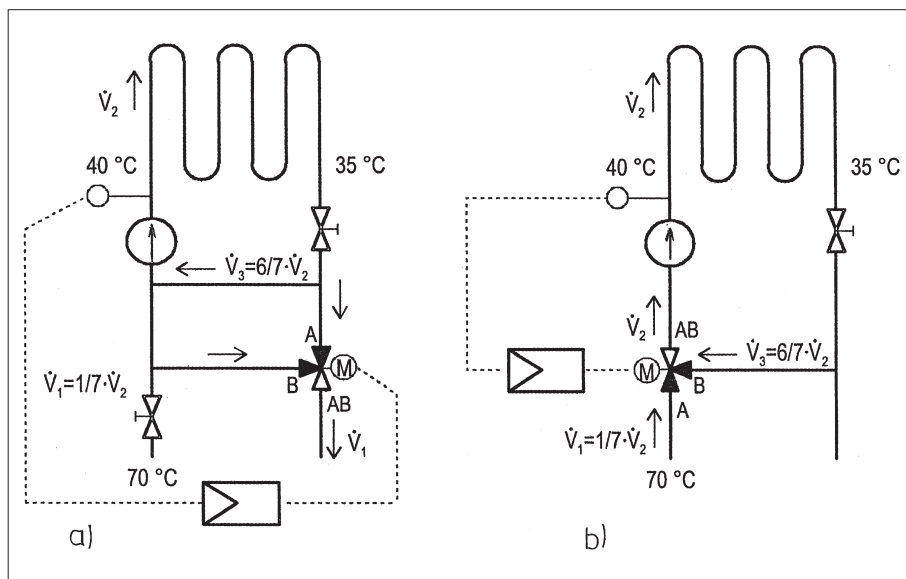


Obr. 12 Napojení dvou kotlů přes termohydraulický rozdělovač



Obr. 13 Základní hydraulická zapojení k tab. 1

- a) Kvantitativní regulace škrcením
b), c) Kvalitativní regulace směřováním v pevném bodě a s průtočným regulačním ventilem
d) Kvalitativní regulace směřováním v pevném bodě a s trojcestnou směšovací armaturou ve zpátečce a pevným zkratem
e), f) Kvalitativní regulace směřováním v trojcestné směšovací armatuře



Obr. 14 Zapojení trojcestné směšovací armatury – obr. k příkladu

- a) Kvalitativní regulace směřováním v pevném bodě a s trojcestnou směšovací armaturou ve zpátečce a pevným zkratem
b) Kvalitativní regulace směřováním v trojcestné směšovací armatuře

presně spočítanou k_f hodnotu a čerpadlo pracuje v napočítaném pracovním bodě. Z toho vyplývá, že vlastní provedení se od projektu odlišuje jen velmi nepatrně (v praxi téměř nemožné).

V případě zapojení trojcestného směšovacího ventilu do zpátečky a využití pevného zkratu, musí být směšovací ventil dimenzován jen na 1/7 jmenovitého obje-

V zásadě je každá regulace směřováním či rozdělováním možná trojcestným směšovacím či rozdělovacím ventilem. Vzhledem k jednodušší výrobě ventillové kuželky a sedla ventilu lze obecně říci, že směšovací ventily jsou levnější než ventily rozdělovací. Směšovacím ventilům je proto dáována přednost.

Jak ukazuje tab. 1, vedou velké rozdíly mezi teplotní úrovní kotlového okruhu (resp. okruhu rozdělovačů) a okruhu spotřebitelských sítí ke značnému zhoršení regulačního chování. Především se to projevuje při regulaci směřováním v trojcestném směšovacím ventilu (obr. 13 e, f) oproti regulaci směřováním v pevném bodě a rozdělováním ve ventilu, resp. při využití pevného zkratu (obr. 13 d). Následující příklad toto tvrzení objasňuje.

Příklad:

Řešení je pro soustavu s podlahovým vytápěním podle obr. 14, kdy ze zdroje tepla máme k dispozici vysokou teplotu vody.

Teploty na sekundární straně (okruh podlahového vytápění) 40/35 °C.

Teplota přívodní vody na primární straně (výstupní teplota z rozdělovače) 70 °C.

Pro průtok primární stranou platí

$$\dot{V}_1 = \frac{\dot{Q}_S}{\rho \cdot c \cdot (t_{1P} - t_{2S})}$$

kde

$\dot{V}_1$ je dílčí příslušný objemový průtok primární stranou

$\dot{Q}_S$ jmenovitý výkon spotřebitelského okruhu (okruhu podlahového vytápění)

ρ hustota vody při střední teplotě

c měrná tepelná kapacita vody

t_{1P} teplota přívodní vody – primár

t_{2P} teplota zpětné vody – primár, $t_{2P} = t_{2S}$

t_{1S} teplota přívodní vody – sekundár

t_{2S} teplota zpětné vody – sekundár

Pro průtok sekundární stranou platí

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{Q}_S}{\rho \cdot c \cdot (t_{1S} - t_{2S})}$$

Při uvažování jmenovitých podmínek (vstup A–AB 100 % otevřen, vstup B–AB uzavřen) a rovnosti hustoty a měrné tepelné kapacity pro primární a sekundární stranu, platí mezi průtoky a především pro příslušnou část průtoku primární stranou vztah

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \cdot \frac{(t_{1S} - t_{2S})}{(t_{1P} - t_{2S})} = \dot{V}_2 \cdot \frac{40 - 35}{70 - 35} = \frac{1}{7} \cdot \dot{V}_2$$

Tab. 1 Hydraulická zapojení regulačních armatur – souhrnný přehled

Č.	Charakteristika	Rozdělovač / sběrač	Obr.	Příznaky	Další odkazy	Použití	Nastavení
1	Škrcení (kvantitativní)	Tlakový	13 a	Silné vzájemné ovlivňování spotřebitelských okruhů, nepřilíží vysoká kvalita regulace, dosažitelné velké ochlazení.	Výrazné zlepšení kvality regulace regulátorem tlakové difference mezi rozdělovačem a sběračem.	Přenos tepla, zónová regulace, regulace jednotlivých místností, vhodné pro napojení CZT a kondenzační techniku.	Nastavení vyvažovacího ventilu (VV) při plně otevřeném regulačním ventilu (RV).
2	Směšování s průtočným regulačním ventilem (kvalitativní)	Tlakový Beztlaký	13 b 13 c	Možné výrazně různé teplotní úrovně v okruhu rozdělovačů a spotřebitelských okruhů, nízké teploty zpátečky, žádoucí nastavení primárního a sekundárního průtoku.	Vhodné pro napojení na CZT a kondenzační techniky s použitím tlakového rozdělovače.	Soustavy s otopnými tělesy, podlahové vytápění či napojení CZT.	Nastavení vyvažovacího ventilu (VV2) na jmenovitý průtok spotřebitelským okruhem při zcela otevřeném regulačním ventilu (RV); nastavení vyvažovacího ventilu (VV1) na příslušnou část primárního průtoku.
3	Rozdělování s trojcestným směšovacím ventilem a směšování v pevném bodě (kvalitativní)	Tlakový	13 d	Možné výrazně různé teplotní úrovně v okruhu rozdělovačů a ve spotřebitelských okruzích, dobré regulační chování, nejsou potřebná regulovaná čerpadla ve spotřebitelské síti.	Vzhledem k trvalému přiměšování přívodní vody přes trojcestný ventil do zpátečky není vhodné pro napojení na CZT a kondenzační techniku.	Podlahové vytápění.	Nastavení vyvažovacího ventilu (VV2) na jmenovitý průtok spotřebitelského okruhu při uzavřeném vstupu trojcestné armatury A-AB (3-VS); nastavení vyvažovacího ventilu (VV1) na příslušnou část primárního průtoku se zavřeným vstupem B-AB trojcestného směšovacího ventilu (3-VS).
4	Směšování s trojcestným směšovacím ventilem (kvalitativní)	Beztlaký Tlakový	13 e 13 f	Dobré regulační chování, možné různé teplotní úrovně v okruhu rozdělovačů a ve spotřebitelských okruzích.	Při záporné tlakové difference mezi rozdělovačem a sběračem lze použít i pro napojení na CZT či kondenzační techniku.	Standardní soustavy s otopnými tělesy. U podlahového vytápění vedou velké rozdíly teplotních úrovní mezi sítí rozdělovačů a spotřebitelskými okruhy k podstatnému zhoršení regulačních možností trojcestného ventilu (lépe zapojit dle č. 1, 2 či 3)	Nastavení vyvažovacího ventilu (VV) na jmenovitý průtok při zavřeném vstupu B-AB trojcestného směšovacího ventilu (3-VS).

mového průtoku podlahovou otopnou plochou. Při regulaci na částečný výkon se mění zdvih ze 100% (zmenšení části primárního průtoku přes vstup A–AB).

Při regulaci směšováním s trojcestným směšovacím ventilem v přívodním potrubí musí být ventil navržen na celkový průtok podlahovou otopnou plochou. Za jmenovitých podmínek musí být armatura nastavena tak, aby 6/7 celkového průtoku spotřebitelským okruhem protékalo přes vstup B–AB, resp. tímto vstupem bylo přiměšováno. Pro regulaci v přechodovém období (částečná potřeba tepla) to znamená, že je k dispozici již jen 14 % zdvihu ventilu do plného uzavření vstupu A–AB, pokud se jedná o lineární charakteristiku ventilu.

Literatura:

- [1] RECKNAGEL, H., SPRENGER, E., SCHRAMMEK, E. R. : Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 2000. München: R. Oldenbourg Verlag GmbH, 1999. 2011 s. ISBN 3-486-26215-7
- [2] ROOS, H.: Hydraulik der Wasserheizung. München : R. Oldenbourg Verlag GmbH, 1995. 232 s. ISBN 3-486-26453-2
- [3] BAŠTA, J.: Dimenzování směšovacích armatur a hydraulické propojení zdroje tepla s otopnou soustavou. VVI, 8, č. 2, 1999, s. 84–88
- [4] BURKHARDT, W., KRAUS, R.: Projektierung von Warmwasserheizungen. München : Oldenbourg Industrieverlag GmbH, 2001. 555 s. ISBN 3-486-26425-7