

Ing. Karel MATĚJČEK  
Obchodně inženýrská činnost

# Hydraulická stabilita soustav s čerpadly s řízenými otáčkami oběžného kola

## Stability of Hydraulic Networks with Pumps with Controlled Rotational Speed of Impeller

Recenzent  
Ing. Jiří Fryba

Článek upozorňuje na možná úskalí hydraulické stability soustav, ve kterých jsou instalována čerpadla s řízenými otáčkami oběžného kola a nabízí doporučená a vyzkoušená funkční zapojení s těmito čerpadly.

**Klíčová slova:** Čerpadla, řízené otáčky oběžného kola, stabilita hydraulických soustav, elektronická komutace, regulace výkonu čerpadel, zdroj tepla, zdroj chladu, otopná soustava, chladicí soustava, frekvenční měnič

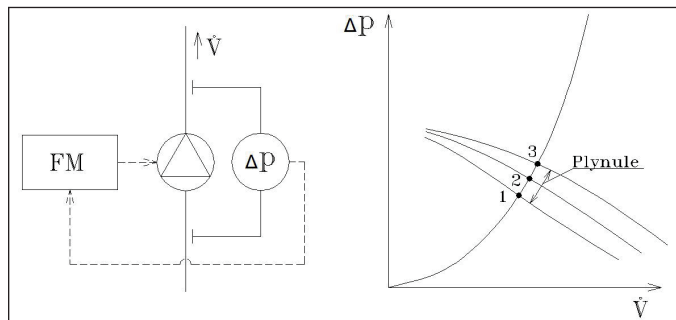
The paper points out possible difficulties in stability of hydraulic networks where are installed pumps with controlled rotational speed of impeller. It suggests recommended and proved functional installations of these pumps.

**Klíčová slova:** Pumps, controlled rotational speed of impeller, stability of hydraulic networks, electronic commutation, pump control, heat source, cold source, heating system, cooling system, frequency converter

### ÚVOD

Stále více se do provozů technických zařízení budov instalují čerpadla s řízenými otáčkami oběžného kola. Hlavním důvodem je úspora el. energie na provoz čerpadel, zajištění správné funkce celé soustavy (dosažení požadovaných průtoků teplosnosné látky – v tomto článku se jedná vždy o otopnou nebo chlazenou vodu a dispozičních tlaků ve větvích soustav) a od 1. 1. 2013 i požadavek směrnice ErP 2013/2015 („Energy related Products“), která stanovuje požadavky na design energetických spotřebičů vyhovující životnímu prostředí, v našem případě na čerpadla. Této směrnici vyhovují čerpadla s regulovaným výkonem, u mokroběžných čerpadel navíc s elektromotory s elektronickou komutací, tzv. EC motory. Nezáleží na tom, jakým způsobem je změna otáček oběžného kola čerpadla zajišťována, zda „vnitřní automatickou regulací otáček“ nebo napájením elektrickým proudem s frekvenčními měniči. Vždy záleží na tom, od které fyzikální veličiny jsou otáčky řízeny. Nasazení těchto čerpadel by vždy mělo přinést maximální možnou provozní úsporu elektrické energie s plným pokrytím požadovaného průtoku teplosnosné látky u všech spotřebičů. V mnoha případech ale projektanti a provozovatelé „nedomyslí“ dopad nasazení čerpadel s takto řízenými otáčkami oběžného kola na tlakové poměry v soustavě rozvodů teplosnosné látky a v tomto případě se některé větve soustavy stávají v podstatě nefunkční a z tohoto důvodu je pak nefunkční celá soustava.

Ještě v nedávné době byla investice do systému řízení otáček oběžného kola čerpadla značně finančně náročná. Vývojem nových technologií se tyto instalace zlevňují a v současné době se instalace čerpadel s řízenými otáčkami oběžného kola stávají standardem.



Obr. 1 Čerpadlo s řízením výkonu externím frekvenčním měničem s charakteristikou čerpadla v rozvodné síti teplosnosné látky

### REGULACE OTÁČEK OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA FREKVENČNÍM MĚNIČEM

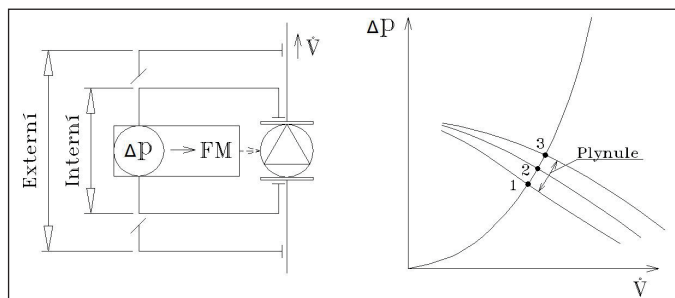
Tento způsob regulace je realizován napájením elektromotoru externím frekvenčním měničem (obr. 1). Jsou dodávána i čerpadla, kde frekvenční měnič je jako nástavba čerpadla.

### REGULACE OTÁČEK OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA S POUŽITÍM INTEGROVANÉHO REGULÁTORU

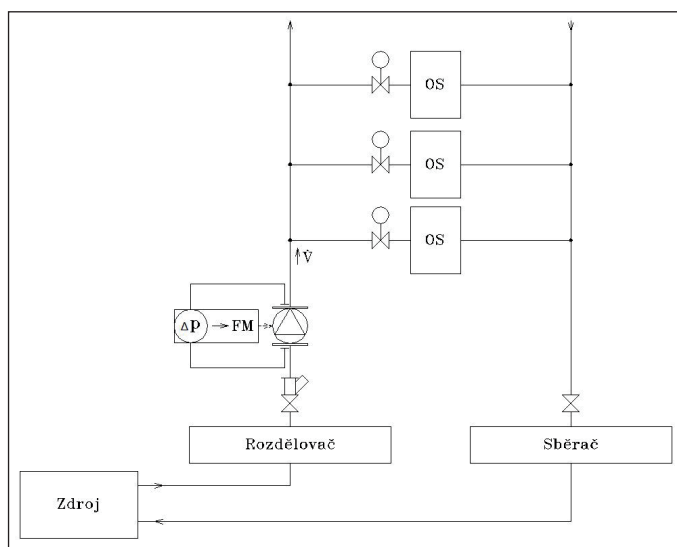
Postupem doby začali výrobci vyrábět a dodávat čerpadla s integrovaným regulátorem výkonu, který je součástí čerpadla. Mezi tato čerpadla patří i mokroběžná čerpadla s elektromotory s elektronickou komutací. Důležité ale je, zda u těchto čerpadel je řešeno pouze interní „snímání“ tlakové difference (dost často jde o tlakovou diferenci „vypočítanou z řešení elektroniky“) nebo zda regulační obvod umožňuje externí snímání tlakové difference, eventuálně externí řízení například signálem 0 až 10 V nebo 4 až 20 mA, jak je naznačeno na obr. 2.

### REGULACE OTÁČEK OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA PODLE DIFERENČNÍHO TLAKU SNÍMANÉHO INTERNĚ NA ČERPADLE V JEDNODUCHÉM OKRUHU

Jak již bylo uvedeno v úvodu, hlavním důvodem pro použití čerpadel s řízenými otáčkami oběžného kola je dosažení požadovaných průtoků teplosnosné látky a dispozičních tlaků ve větvích soustav s minimální spotřebou elektrické energie. Ve většině případů se otáčky oběžného kola



Obr. 2 Čerpadlo řízeno integrovaným regulátorem s charakteristikou čerpadla v síti

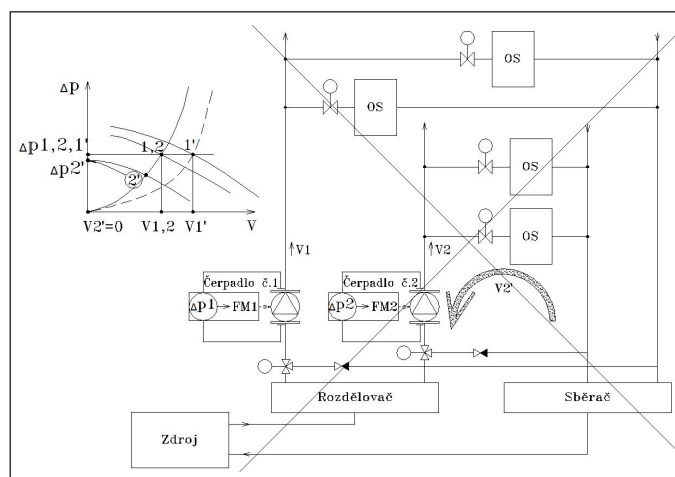


Obr. 3 Řízení otáček oběžného kola čerpadla podle interní tlakové diference

čerpadla řídí informací o rozdílu diferenčních tlaků ve zvolených místech v síti rozvodu teplotné látky. Rozlišujeme dva základní požadavky na tlakovou diferenci podle toho, zda se jedná o požadavek na diferenční tlak u koncového spotřebiče tepla nebo o požadavek na diferenční tlak mezi rozdělovačem a sběračem, který slouží jako zdroj tepla pro další okruhy s čerpadly. Je-li stanoven požadavek na zajištění požadovaného diferenčního tlaku u koncového spotřebiče tepla a nejsou instalována čerpadla v okruhu centrálního zdroje je důležité, zda se jedná o jeden okruh s jedním čerpadlem nebo o více okruhů s více čerpadly, připojenými k jednomu centrálnímu zdroji. V případě jednoho malého okruhu s jedním čerpadlem, je možné regulovat otáčky oběžného kola čerpadla podle diferenčního tlaku snímaného interně na čerpadle. Pro toto řešení mají výrobci čerpadel zpracovány a odzkoušeny různé druhy optimalizačních programů pro řízení otáček oběžných kol čerpadel. V těchto programech je zohledněn nejen diferenční tlak, ale i průtok a spotřeba elektrické energie. Na druhé straně systém regulace není schopen reagovat například na zanesení filtru, apod., jak je znázorněno na obr. 3.

### REGULACE OTÁČEK OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA PODLE DIFERENČNÍHO TLAKU SNÍMANÉHO INTERNĚ NA ČERPADLE S VÍCE OKRUHY

Když je použit stejný způsob konfigurace rozvodů teplotné látky pro více okruhů s čerpadly, připojenými k jednomu zdroji tepla bez čerpadla u zdroje podle obr. 4, bude tato sestava po značnou část roku nefunkční a dost často jedna z větví bude mít i nulový průtok. Dokonce se může stát, že „okruhem poteče teplosměnná látka obráceně“ – proti výtlačku čerpadla (pokud jsou na větvích směšovací ventily, není nutné osazovat za čerpadla zpětné klapky). Problém je, že při takovémto zapojení čerpadla reagují nejen na tlakové poměry ve vlastním okruhu, ale i na tlakové poměry vyvolané čerpadlem sousedním. Tento stav je znázorněn na obr. 4. Pro názornost budeme uvažovat za základní stav situaci, kdy oba okruhy jsou hydraulicky podobné (stejná charakteristika sítě), u obou okruhů cca 50 % regulačních ventilů u spotřebičů otopné soustavy (OS) zcela otevřených (viz pracovní bod 1 a 2 na obr. 4). V okruhu čerpadla č. 1 se začnou postupně otevírat ventily otopné soustavy (OS) a v okruhu čerpadla č. 2 je nadále stav na straně OS setrvalý. U čerpadla č. 1 se tak zmenší tlaková ztráta okruhu a čerpadlo začne zvyšovat otáčky a začne odebírat větší množství vody z okruhu zdroje (viz pracovní bod 1'). Zvětšením množství vody v okruhu zdroje od čerpadla č. 1 se na okruhu čerpadla č. 2 jako celku zvětší tlaková ztráta (nárůst tlakové ztráty v části zdroje), čerpadlo „to vyhodnotí“ tak, že se přivírají ventily



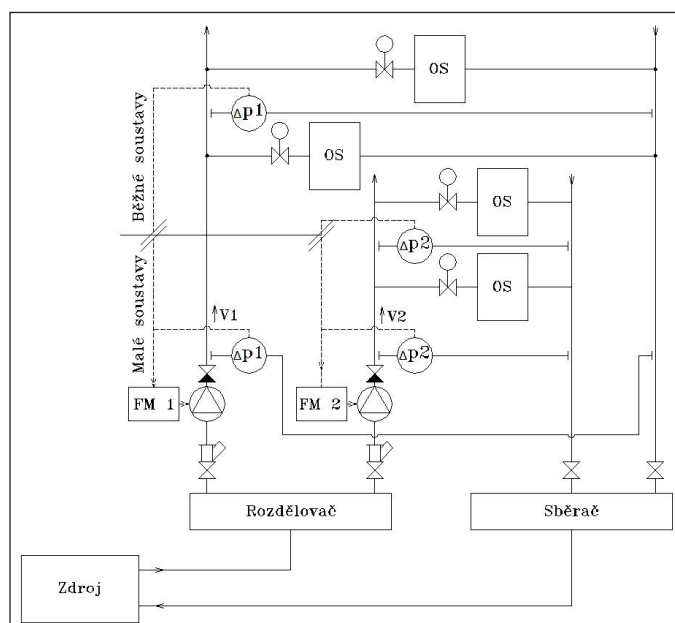
Obr. 4 Řízení otáček oběžného kola čerpadla podle interní tlakové diference pro více, než jeden okruh rozvodu teplotné látky

v „jeho“ OS a sníží otáčky oběžného kola (viz pracovní bod 2'). V tomto místě ale čerpadlo „nedokáže pracovat“ – nemá dostatečný výtlačk a pracovní bod čerpadla č. 2 se přesune až do nulového množství. V mnoha případech voda v okruhu začne proudit proti výtlačku tohoto čerpadla.

Pozn. Pro jednoduchost je křivka charakteristiky sítě čerpadla č. 2 znázorněna jen jako jedna křivka.

### REGULACE OTÁČEK OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA PODLE DIFERENČNÍHO TLAKU NA ROZVODNÝCH VĚTVÍCH

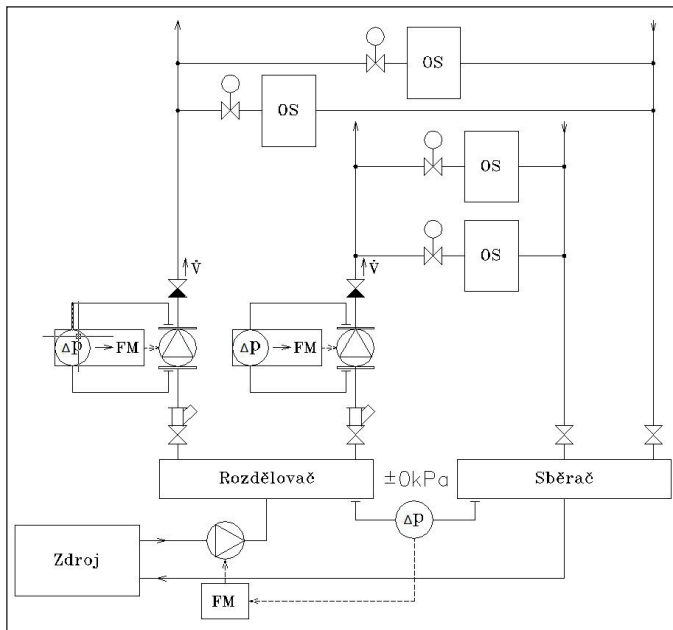
Na obr. 5 je znázorněna funkční konfigurace rozvodů teplotné látky, kdy se jedná o soustavu bez čerpadla u zdroje tepla. Tento případ se musí řešit snímaním a regulací tlakové diference vlastního okruhu. U tohoto zapojení dochází také ke vzájemnému ovlivňování čerpadel, ale vliv sousedních čerpadel je eliminován vlastním systémem regulace výkonu čerpadla a nemá vliv na funkčnost soustavy. I u tohoto zapojení je ale vhodné rozlišovat, zda se jedná o soustavu relativně malou (ne příliš rozsáhlou) – zde je možné regulovat diferenční tlak na větvích u rozdělovače a sběrače nebo o soustavu „běžně“ realizovanou, s relativně rozsáhlejšími rozvody. V takovém případě je vhodné snímat diferenční tlak až na rozvodech u OS.



Obr. 5 Řízení otáček oběžného kola čerpadla podle tlakové diference okruhů

**REGULACE OTÁČEK OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADLA PODLE DIFERENČNÍHO TLAKU NA ROZVODNÝCH VĚTVÍCH S ČERPADLEM U ZDROJE**

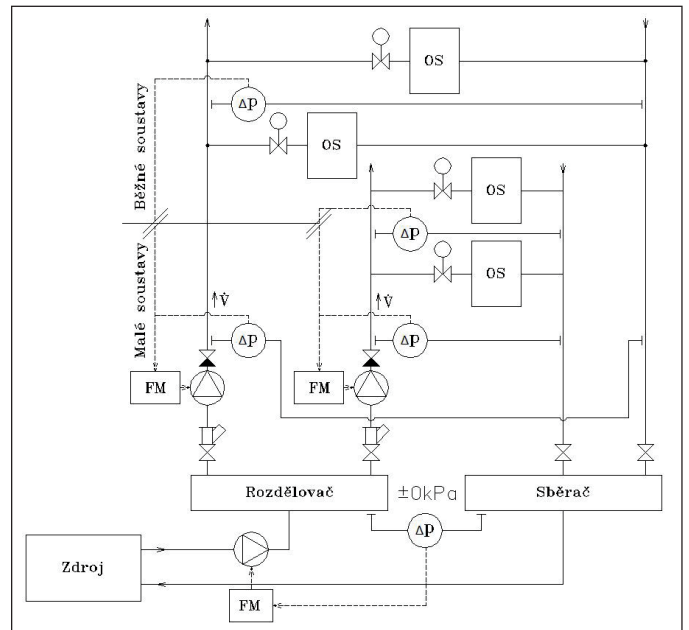
Pokud je čerpadlo s řízenými otáčkami oběžného kola situováno i u zdroje tepla a následně čerpadla, u jednotlivých skupin, musí být regulovány otáčky oběžného kola čerpadla u zdroje tepla pro hodnotu nulové tlakové difference mezi rozdělovačem a sběračem a výkon čerpadel u skupin pro hodnotu tlakové difference na rozvodných větvích, u malých soustav zjednodušeně na interní tlakovou diferenci na čerpadle. V tomto případě nedochází k vzájemnému ovlivňování jednotlivých čerpadel ve skupinách. Přesto je vhodné i v takovém případě regulovat výkony čerpadel podle diferenčního tlaku na rozvodných větvích – systém pak reaguje při snímání diferenčního tlaku u OS na proměnlivý průtok v rozvodech, zanesení filtru, apod. Toto uspořádání je znázorněno na obr. 6 a 7.



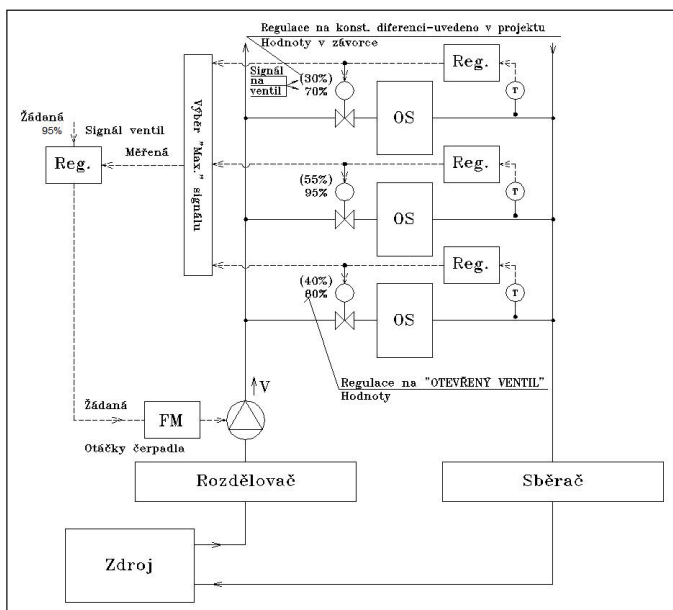
Obr. 6 Řízení otáček čerpadel pro menší soustavy

**REGULACE OTÁČEK OBĚŽNÉHO KOLA ČERPADEL „NA OTEVŘENÝ VENTIL“**

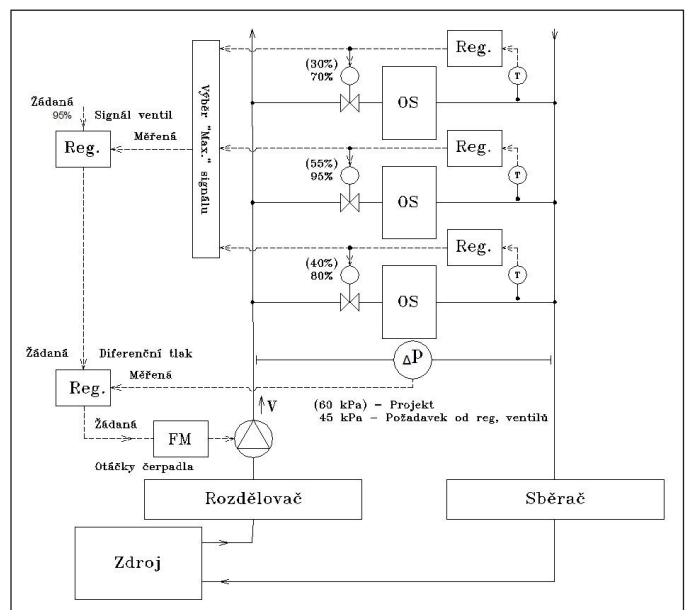
Obr. 8 znázorňuje uspořádání, které lze nazvat „regulace otáček oběžného kola čerpadel na „OTEVŘENÝ VENTIL““. Pokud totiž je pro regulaci řízení otáček oběžných kol čerpadel a regulačních ventilů u OS použit systém, ve kterém jsou známy jak velikosti signálů pro pohony regulačních ventilů a současně z tohoto systému jsou regulovány otáčky oběžného kola čerpadel (u větších systémů tzv. centrální řídicí systém CŘS), regulují se otáčky oběžného kola čerpadla podle „požadavku“ regulačních ventilů na polohu „Otevřeno“ (95 %). Je-li regulační ventil otevřen na 95 %, jsou otáčky oběžného kola čerpadla a tím i diferenční tlak čerpadla tak velký, jak tento ventil právě potřebuje. Pokud by byl ventil otevřen např. na 50 %, má čerpadlo zbytečně veliký diferenční tlak a ventil ho maří škrcením. Pokud by byl ventil otevřen na 100 %, není možné zjistit z tohoto signálu, zda není diferenční tlak malý. Pokud



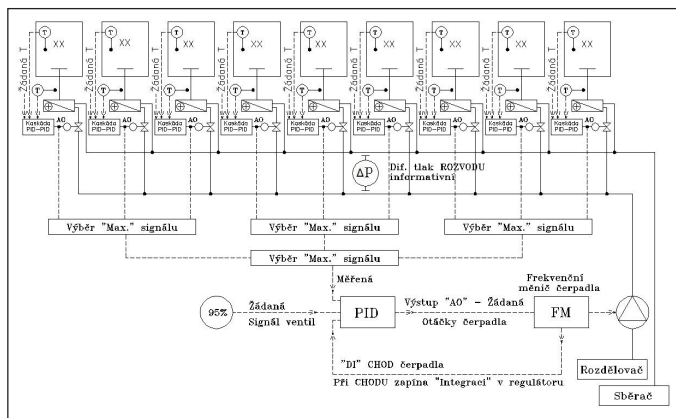
Obr. 7 Řízení otáček čerpadel pro běžné soustavy



Obr. 8 Regulace otáček oběžného kola čerpadla na „OTEVŘENÝ VENTIL“



Obr. 9 Regulace otáček oběžného kola čerpadla podle diferenčního tlaku na „OTEVŘENÝ VENTIL“



Obr. 10 Regulace otáček oběžného kola čerpadel podle polohy ventilů na „OTEVŘENÝ VENTIL“ z konkrétní aplikace

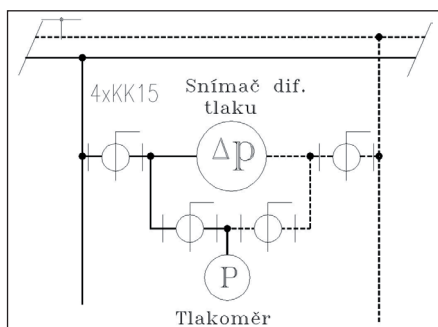
je v soustavě více regulačních ventilů, signál pro jejich otevření se softwarově zavede do modulu pro výběr maxima, z kterého dál vystupuje signál největšího požadavku a podle toho se regulují otáčky oběžného kola čerpadla. Pokud se regulují otáčky oběžného kola čerpadla na požadovaný diferenční tlak podle požadavku projektanta, jsou po většinu roku regulační ventily značně přivřeny a čerpadlo vykonává práci, která je pak na regulačních ventilech mařena - celý výpočet soustavy je počítán na výpočtové parametry, které se vyskytují jen několik dnů v roce.

Pro funkci systému je tato regulace plně dostačující. Problémy může mít obsluha zařízení při provozování systémů a v případech indikace vzniklých závad na rozvodech. Není totiž patrné, zda porucha spočívá ve zdroji tlaku (čerpadle) nebo v okruzích otopných soustav. Proto je vhodné i u této konfigurace regulace diferenční tlak na rozvodné větvi měřit. V tom případě je výhodnější otáčky oběžného kola čerpadla regulovat na diferenční tlak rozvodné větve (při zapnutí čerpadla jako výchozí hodnota dle prováděcího projektu) a postupně je přestavovat tak, aby jeden z ventilů byl otevřen na 95 % (tzv. vlečná regulace). Tento systém regulace je velmi stabilní, nenáchylný na kmitání. Tento případ je znázorněn na obr. 9.

Na dalších obrázcích jsou funkční schémata zařízení měření a regulace otáček oběžného kola čerpadla na „Otevřený ventil“ převzatá z reálného provozu. Obr. 10 znázorňuje způsob regulace otáček oběžného kola čerpadla podle regulačního signálu, přicházejícího na ventily, obr. 11 způsob regulace otáček oběžného kola čerpadla podle diferenčního tlaku, který se mění podle regulačního signálu, přicházejícího na ventily.

## SNÍMÁNÍ DIFERENČNÍHO TLAKU

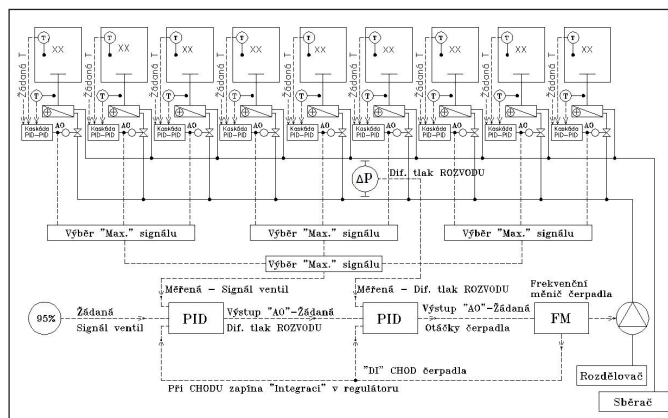
Aby byl celý systém regulace otáček oběžného kola čerpadla funkční, je důležité správné posouzení, čím je tlak snímán a jak je celý systém snímání tlaku realizován.



Obr. 12 Příklad zapojení snímače diferenčního tlaku – jednoduchá náhrada šesticestné armatury

Snímače tlakové difference musí mít správně zvolený rozsah měřené veličiny diferenčního tlaku a rozsah výstupního signálu.

Rozsah snímače by měl být takový, aby se měřená hodnota diferenčního tlaku pohybovala mezi 50 až 75 % rozsahu



Obr. 11 Regulace otáček na diferenční tlak rozvodných větví teplotnosné látky podle polohy ventilů na „OTEVŘENÝ VENTIL“ z konkrétní aplikace

snímače. Například pro požadovanou tlakovou diferenci 60 kPa se instaluje snímač 0 až 100 kPa, pro požadovanou tlakovou diferenci 100 kPa se instaluje snímač 0 až 150 kPa, pro požadovanou tlakovou diferenci  $\pm 0$  kPa se instaluje snímač s nulou uprostřed intervalu -25 až +25 kPa. Rozsah proudového výstupního signálu se běžně používá 4 až 20 mA (proudová smyčka), a napěťového 2 až 10 V (napěťová smyčka). Existují i snímače s rozsahem od 0 až do 20 mA a od 0 až do 10 V. Obecně je vždy přesnější a spolehlivější proudová smyčka se samostatným galvanicky odděleným napájením. Běžně se používá jeden napájecí zdroj se třemi galvanicky oddělenými výstupy. Napěťová smyčka je náchylnější na rušení a změnu odporu vodiče smyčky. Musí být vždy definován požadavek na dodavatele snímače tlakové difference, že minimální hodnota tlaku jednostranného přetížení snímače musí být rovna hodnotě statického tlaku soustavy a více - nesmí dojít k poškození snímače neúměrným tlakem při „najíždění“ systému a opomenutí otevření potrubní propojky. Snímač diferenčního tlaku musí být umístěn tak, aby nedocházelo k zavzdušňování vlastního snímače a signalizačního potrubí k snímači. Uzavíratelná propojka kolem snímače slouží k nastavení „0“ (nulové hodnoty) snímače a měření diferenčního tlaku jedním manometrem – eliminace třídy přesnosti manometru. Jednu z možností jednoduchého zapojení, které splňuje zmíněné podmínky, znázorňuje obr. 12.

## ZÁVĚR

Z popisů různých možností uspořádání sítí rozvodů tepla a chladu s oběhovými čerpadly a přístupů k regulaci jejich hydraulické stability a k ekonomii provozu, uvedených v článku, vyplývají důležité poznatky, týkající se provozních podmínek a situací v jednoduchých i složitých soustavách rozvodů tepla, které se v provozní praxi vyskytují. Pokud projekční návrh soustav zakládá možné příčiny popisovaných nežádoucích jevů, ovlivňujících negativně funkčnost soustavy, může se zkušený provozovatel pokusit odstranit zmiňované problémy uvedenými metodami.

Kontakt na autora: karel@ingmatejicek.cz

## Seznam označení

FM	měníč proudové frekvence (frekvenční měnič)
ZDROJ	rozumí se zdroj tepla nebo chladu
OS	otopná nebo chladicí soustava
REG	regulátor
PID	regulátor s funkcemi proporcionální, integrační a derivační
P	tlak [kPa]
V	průtok vody [kg.s <sup>-1</sup> ]
$\Delta p$	tlaková difference [kPa]