

# Řízení kotlů v kaskádě



Ústav techniky prostředí

## Sequence control of boilers

Recenzent

Prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Článek pojednává o různých přístupech k řízení kotlů v kaskádě. Jsou uvedeny jednotlivé způsoby regulace, jejich výhody a nevýhody. Způsoby řízení kotlů v kaskádě jsou doplněny hydraulickými zapojeními a na příkladech je popsáno jejich regulační chování.

**Klíčová slova:** vytápění, regulace, kotel, kaskádová regulace

Article deals with different access to sequence control of boilers. There are given individual control manners their benefits and disadvantages. The manners of boilers sequence control are supplemented with hydraulic connections and there is described their control behaviour too.

**Key words:** heating, control, boiler, sequence control

Požadavek optimalizace spotřeby energie a ochrany ovzduší může být při řízení kaskády kotlů jen stěží zajištěn pouze hardwarovým přístupem. Je žádoucí uplatnit technologie digitálního řízení v kombinaci se správným návrhem hydraulického zapojení, optimalizací jednotlivých funkcí, prvků a provozních možností celého zařízení s minimální produkcí emisí, nízkou úrovní spotřeby energie a vysokou provozní vytižeností.

### POŽADAVKY NA ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ

Hlavní řídicí a optimalizační funkce můžeme popsat následovně. Spínání a vypínání dalších kotlů v kaskádě by mělo zahrnovat funkce:

- otevírání či zavírání uzavíracích armatur kotle,
- aktivace a deaktivace regulace teploty kotlové vody,
- spínání a vypínání chodu čerpadel kotlového okruhu,
- povolení či odstavení regulace hořáku.

Optimální spínací diference kotle klade určité požadavky na každý kotel:

- časově harmonizované spínání za účelem zajištění neskokového zásobování teplem vytápěného objektu,
- zamezení častému spínání (taktování) za účelem pokrytí sebemenšího zvýšení tepelných ztrát,
- zajistit minimální dobu chodu hořáku po jeho sepnutí, aby se mohl kondenzát ze spalin v kotlovém tělese a spalinových cest zcela odpařit (ochrana proti nízkoteplotní korozi kotle),
- spínat hořáky pouze tehdy, je-li to skutečně potřebné.

Zda je spuštění dalšího kotle či výkonového stupně skutečně nutné není otázkou statické odchylky mezi aktuální a žádanou teplotou, ale otázkou hodnoty integrálu odchylky přes definovanou blokovací (uzavírací) dobu.

Rozumným požadavkem je rovněž zohlednění aktuálního provozního stavu dalšího kotle v kaskádě:

- zahřátý kotel může být uveden do provozu rychleji než studený,
- u kotlů pracujících s vysokým stupněm využití i při částečném zatížení lze připojit další kotel, aby se podílel na části celkového výkonu kotelny,
- další kotel v kaskádě by měl být přednostně vypnut, pokud může výkon pokrýt vedoucí (master) kotel,
- při poruše jednoho kotle v kaskádě musí být umožněno automatické přepnutí na další,
- kotel v poruše musí být možné hydraulicky odpojit od kotlového okruhu (případně od soustavy).

Řízení kaskády kotlů by mělo umět reagovat i na dočasné výkonové špičky. V případě potřeby rychlého natápění, tj. ohřevu na vyšší teplotu, by regulace kaskády kotlů měla umožnit neprodlené zvýšení teplotní hranice

na požadované maximum, které odpovídá požadovanému výkonu. Rovněž tak i ostatní kotle by v případě potřeby měly umět sepnout bez zpoždění.

Regulace by měla umožňovat rovněž tzv. prioritní přepínání. Tzn., že podle koncepce zařízení, typu kotle, hořáku, rozdělení výkonu, hydraulického zapojení atd. je voleno automatické, nebo manuální přepínání mezi kotli (volba vedoucího kotle).

Všechna regulační opatření by měla vést jak k zajištění tepelného komfortu a dnes i k ochraně životního prostředí, tak k energeticky optimálnímu provozu. Účinnost kotlů moderní konstrukce je ve střední až maximální výkonové oblasti poměrně stálá a klesá až při značně malých hodnotách vytižení. Vzhledem k této vlastnosti je vhodné využít možnosti rovnoměrného výkonového zatížení u jednotlivých kotlů tak, aby každý kotel pracoval v optimální oblasti svého stupně využití.

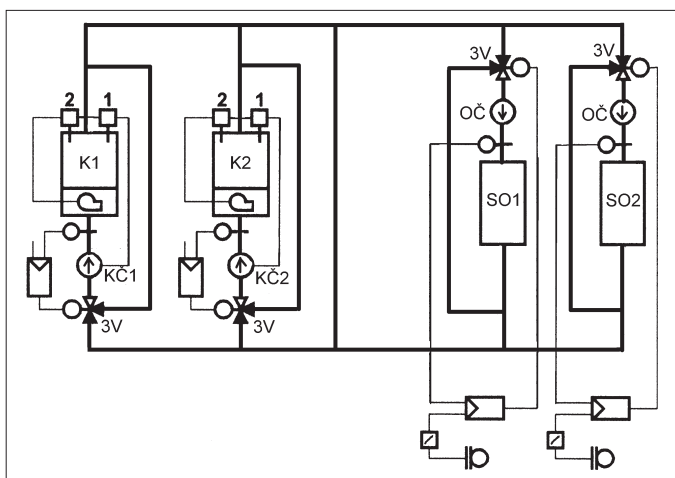
V přechodném období či během nočního útlumu, kdy je požadováno minimum energie, se vypíná i vedoucí kotel. Řídicí veličinou je aktuální venkovní teplota  $t_{e,akt}$ . Kotel se může opět uvést do provozu na základě venkovní tlumené teploty (spolu s jinými kritérii)  $t_{e,ged}$ . Odpovídající útlumová časová konstanta pro výpočet průběhu venkovní tlumené teploty (8 až 30 h) musí být určena na základě akumulčních schopností objektu a otopné soustavy.

### KRITÉRIA SPÍNÁNÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ

Řízení kotlů v kaskádě může být realizováno podle různých kritérií. Která kritéria jsou smysluplná, závisí na koncepci zařízení, hydraulickém řešení, provozních podmínkách a provozních požadavcích. Projektantovi tak nezbyvá než rozhodnout individuálně pro každý řešený případ. Často používaná kritéria pro spínání kotlů v kaskádě jsou:

- možnost využití manuálního ovládání,
- venkovní teplota (aktuální  $t_{e,akt}$ , tlumená  $t_{e,ged}$ , geometrická  $t_{e,gem}$ ),
- teplota kotlové vody  $t_k$ ,
- změna výkonu na základě spínacího poměru  $\varepsilon$ ,
- teplota přívodní vody do soustavy (event. spotřebitelských okruhů)  $t_{w1}$ ,
- teplota vratné vody proudící do kotle  $t_{w2k}$ ,
- maximální teplota přívodní a vratné vody  $t_{w1max}$ ,  $t_{w2max}$ ,
- teplota v zásobníku  $t_A$ ,
- zatížení hořáku  $q$  (výkon u modulačně řízených hořáků),
- stupeň modulace kondenzačních kotlů v průběhu provozu.

Kaskádu kotlů je možné řídit také podle aktuální zátěže (zátěží), a to především u DDC systémů či moderních skupinových (modulových) regulátorů



Obr. 1 Řízení kaskády kotlů kotlovým termostatem podle teploty kotlové vody s paralelním zapojením kotlů;

1. řídicí termostat, 2. bezpečnostní omezovač teploty

rů. Jako další kritérium lze pro řízení jednotlivých výkonových stupňů rovněž uvažovat míru otevření regulačních ventilů. Pro konkrétní podmínky lze využít i jiná kritéria, jako je např. přednostní ohřev teplé vody, rychlost natápění, preferované přepínání při poruše atd.

## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE VENKOVNÍ TEPLoty

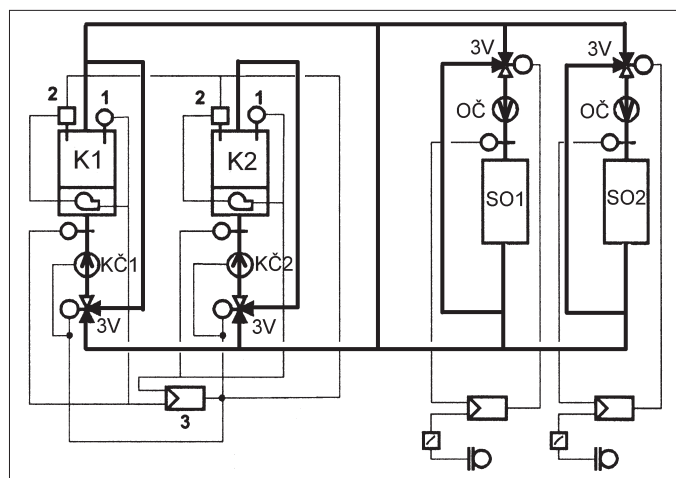
U kotelen, které jsou prioritně určeny k zásobování teplem otopných soustav je použitelné ekvitermní řízení – podle venkovní teploty vzduchu. I zde se využívá venkovní aktuální  $t_{e,akt}$ , tlumené  $t_{e,ged}$  a geometrická  $t_{e,geom}$  teploty [2], neboť aktuální teplota poměrně rychle kolísá a kotel v kaskádě by zbytečně brzo spínal či vypínal. Venkovní geometrickou teplotu lze využít i pro odstavování jednotlivých kotlů v kaskádě při venkovních teplotních špičkách (pro  $t_{e,akt} > 0\text{ °C}$ ). Toto řešení je poměrně standardní a v literatuře dostatečně podrobně popsáno [2].

## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE TEPLoty KOTLOVÉ VODY

U tohoto způsobu řízení kotlů v kaskádě se další kotel (či výkonový stupeň) sepne teprve tehdy, když teplota kotlové vody vedoucího kotle poklesne pod nastavenou mez spínací difference. Většinou požadované spínací intervaly a difference automaticky zvětšují relativně velké teplotní fluktuace přívodní vody. Takovéto regulační obvody mají tendenci oscilovat, což se mnohdy neodstraní ani použitím komplikovaných časovačů. Příliš velké zpoždění vykazuje značný pokles teploty vody vedoucího kotle, což na něj může působit škodlivě z hlediska nízkoteplotní koroze.

Zjištění, že nejnižší teplota vody vedoucího kotle za plného provozu je regulačně teplotou i při částečném vytížení, vede obslužný personál k tomu, že nastavuje stejné teplotní úrovně i u dalších kotlů v kaskádě. Za plného provozu přináší takovýto zásah sice požadovaný efekt, ale při provozu s částečným vytížením spínají a vypínají oba kotle současně.

Digitální regulátory teploty kotlové vody poskytují elegantní řešení těchto problémů. Např. dovolují provozovat libovolné množství spínacích kroků za provozu na požadované hodnotě a vnitřně nastavené spínací difference. Pokud aktuální hodnota teploty kotlové vody podkročí spodní spínací úroveň (bod), násobí se regulační odchylka dobou chodu hořáku, což matematicky představuje integrál, resp. jeho ekvivalent v podobě  $\sum(K \cdot \tau_{min})$ . Pokud po závěrné době integrál překročí definované minimum, je pevně připojen aktivní výkonový stupeň (kotel) a je regulován společně s dal-



Obr. 2 Řízení kaskády kotlů podle spínacího poměru  $\varepsilon$  s čidlem teploty vody umístěným v kotli;

1. čidlo teploty kotlové vody, 2. bezpečnostní omezovač teploty, 3. regulátor kaskády kotlů

ším nejvyšším výkonovým stupněm (kotlem). V případě klesajícího vytížení se aktivuje odpovídající opačný postup.

Využitím digitální technologie je tak možné průběžně korigovat nastavenou oblast u modulačních hořáků v jednotlivých fázích přes změnu (zpomalení) integrálu. Tento postup lze využít např. při řízení kotle podle teploty výstupní vody s *PI* regulátorem, k zamezení příliš rychlých výkonových změn hořáku.

## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE ZÁTĚŽE A SPÍNACÍHO POMĚRU

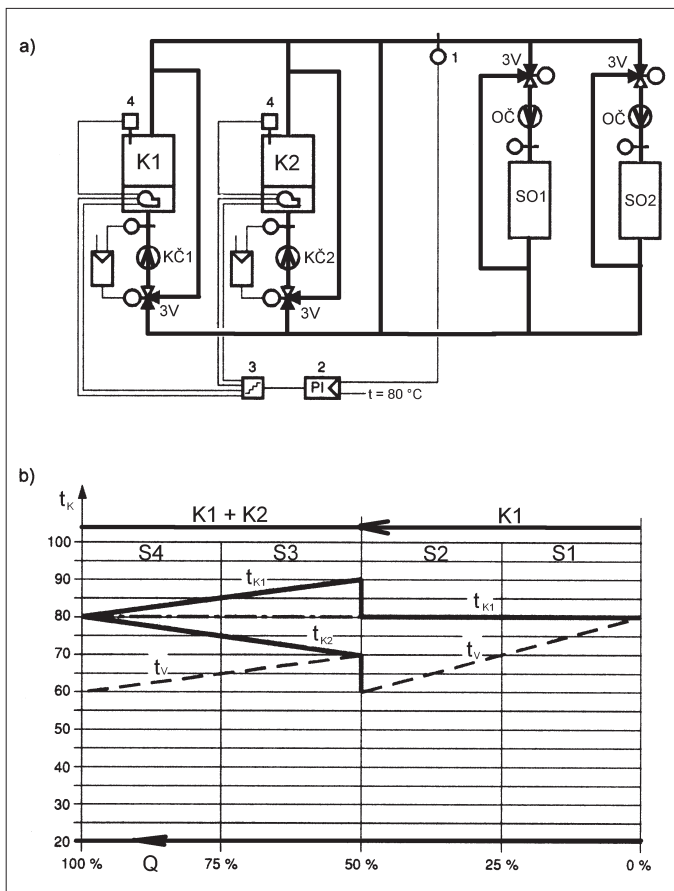
Regulace podle zátěže představuje řízení v závislosti na aktuální potřebě tepla, a to bez použití venkovního nebo prostorového čidla teploty. Kotle mají vlastní regulátor teploty. Následující kotle v kaskádě jsou spínány a vypínány na základě maximálního výkonu kotle (absolutní či relativní) a průběžně měřeného spínacího poměru  $\varepsilon$ . Ten je dán poměrem doby běhu hořáku  $\tau_{BR}$  k době celého cyklu  $\tau_{BRZ}$  (takto je definována i zátěž  $q$  u čistého řízení zátěží) [2].

U regulátoru kaskády kotlů se sleduje celková výkonová bilance tak, aby všechny kotle pracovaly s maximálním možným stupněm využití.

## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE TEPLoty PŘIVODNÍ VODY DO SOUSTAVY

U řízení podle teploty přívodní vody do soustavy či do spotřebitelských okruhů (většinou měřené v hlavním proudu vody na rozdělovači či v hlavě THR) je u termostaticky regulovaných kotlů jediným spínacím kritériem teplota vstupní vody do rozdělovače. Pokud sepnutý výkonový stupeň již výkonově nepostačuje, teplota poklesne pod regulačně nastavenou hodnotu a signalizuje doplňkovou potřebu tepla. Termostatem regulované kotle se však podílejí na krytí potřeby tepla i při provozu s nízkým vytížením a pracují v přerušovaném provozu. Teplota přívodní vody je tak udržována na požadované hodnotě ale neposkytuje žádné informace o tom, zda připojené kotle mohou být opět odpojeny.

U řízení kaskády kotlů s *P* chováním dochází k jednotnému spínání a vypínání hořáků (kotlů) přímo závisle na teplotě přívodní vody. Díky trvalé regulační odchylce a spínacímu zpoždění zaznamenáváme velké kolísání teploty přívodní vody a proto je toto řízení pro více jak dva kotle nevhodné. *P* regulátor má pouze tu výhodu, že přináší o něco delší doby chodu hořáku.



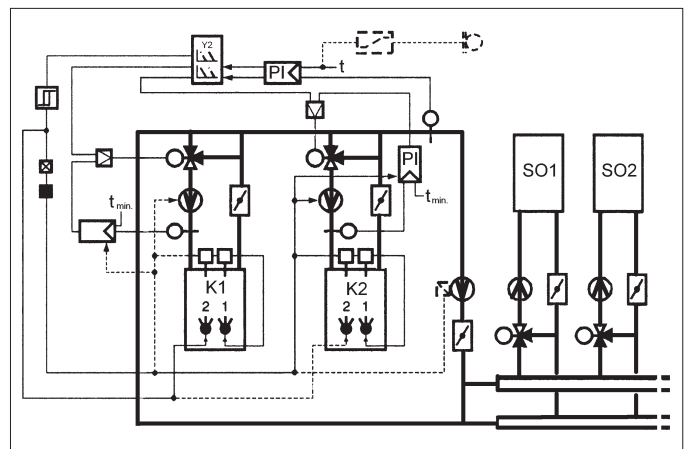
Obr. 3 Řízení kaskády kotlů podle teploty přívodní vody 1 s PI regulátorem 2, čtyřstupňovým spínačem 3 a paralelním zapojením kotlů s bezpečnostním omezovačem teploty 4 a) schéma zařízení, b) průběh teplot přívodní  $t_{k1}$ ,  $t_{k2}$  a vratné vody  $t_v$  v závislosti na vytížení kotle Q

Zlepšení lze dosáhnout použitím PI regulátoru, který je kombinován se spínačem jednotlivých výkonových stupňů (kotlů) – obr. 3. Ačkoli se výhodné vlastnosti PI regulátoru (regulace bez regulační odchylky) díky použití vícestupňového spínače opět zhorší, může být kolísání teploty přívodní vody udržováno v rozumně malém rozmezí. Nevýhodou takového řešení je, že dochází k častějšímu spínání hořáků a sklon zařízení s PI regulátorem k možnému taktování kotlů. Abychom tomu zabránili, používá se časový omezovač spínání a vypínání.

Za povšimnutí u tohoto způsobu řízení stojí rovněž to, že sepnutí následujícího kotle, který téměř ihned vyjede na požadovanou teplotu a vyrovná výkon, způsobí i odpovídající nárůst teploty vratné vody. Zatím co vedoucí kotel zůstává na plném výkonu, vzrůstá i jeho teplota přívodní vody, odpovídající nárůstu teploty vratné vody (obr. 3b [1]). Je na bezpečnostním opatření, aby zůstala dostatečná diference od definované bezpečné mezní teploty. U digitálních systémů lze zároveň se sepnutím následujícího kotle v kaskádě snížit požadovanou hodnotu teploty přívodní vody a následně opět posunout zpět na původní hodnotu.

Celá kaskáda může být provozována s konstantně nebo ekvitermně nastavenou hodnotou teploty. Zařízení vykazuje vyšší seřizovací náklady podle požadovaného provozního, resp. výkonového chování. K zabránění kondenzace vlhkosti obsažené ve spalinách se musí zamezit výrazným poklesům kotlové vody. Podle koncepce celého zařízení se mohou spínat následné kotle či výkonové stupně hořáků ekvitermně.

Takováto koncepce zařízení je dobře použitelná i u řízení kaskády kotlů s atmosférickými hořáky, hydraulicky řazenými paralelně, neboť jsou zde přípustné časté starty hořáků.



Obr. 4 Řízení sériově řazené kaskády kotlů podle teploty přívodní vody s PI sekvenčním regulátorem

Podstatného regulačně-technického vylepšení můžeme dosáhnout hydraulickým napojením kotlů v sérii a požadované odchylky dosahovat řízením trojcestné směšovací armatury v přívodním potrubí ke kotli. Rovněž i zde musí zpoždující člen zajišťovat dřívější vypnutí či zapnutí následujícího kotle. Toto řešení je použitelné i u dvoustupňových hořáků, neboť ke spínání druhého výkonového stupně hořáku dochází přes signál z akčního členu. Teplota kotlové vody je regulována prostřednictvím regulátoru kotle na pevně danou či ekvitermně určenou požadovanou hodnotu. Takovéto řešení není závislé na počtu kotlů v kaskádě a je dobře využitelné i u zařízení s více jak dvěma kotli. U velkých zařízení se pro snížení potřeby energie centrálního čerpadla využívá řízení změnou otáček. U sériového řazení kotlů je rovněž možné uplatnění prioritní volby přepínání v kaskádě kotlů (nezávisle na počtu kotlů).

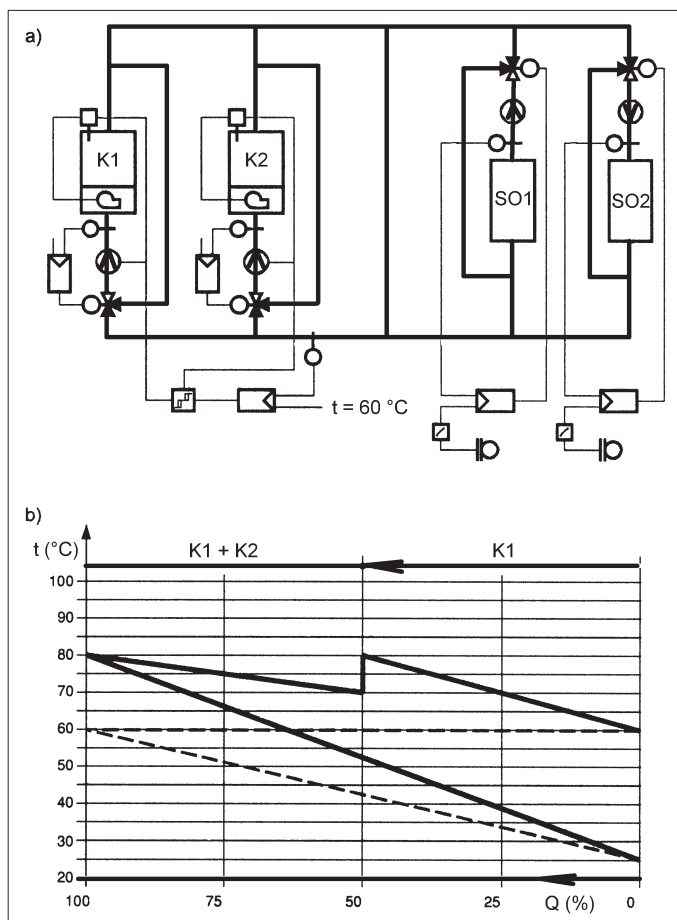
## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE SPOLEČNÉ TEPLoty VRATNÉ VODY (ZPÁTEČKY)

Teplota vratné vody je díky přímé závislosti na odevzdaném výkonu ideálním spínacím kritériem. Praktické zkušenosti ukazují, že je toto řízení s ohledem na nastavenou hodnotu velmi náročné a vyžaduje odpovídající náklady na uvedení do provozu a odladění. Obr. 5 ukazuje příklad aplikace s hydraulicky paralelním napojením kotlů a jednostupňovými hořáky. Rovněž tak mohou být v provozu zařízení s dvoustupňovým hořákem, která vyžadují přesné seřízení díky přímé vazbě na odevzdaný výkon a vyšší náklady (viz závislost teploty a výkonu).

K zamezení taktování kotlů se i zde používá obvyklých časových prodlev. Použitím P-regulátorů se dosahuje relativně dlouhých dob chodu hořáků. Výhodné jsou kotle s velkým vodním objemem, které lze uvažovat jako částečné „zásobníky“. Teplota přívodní vody tak může na krátký časový interval klesnout až na požadovanou teplotu vratné vody (zpátečky). Působí to rovněž pozitivně na doby chodu hořáků.

U kotlů, které jsou hydraulicky napojeny se směšovací armaturou (obr. 5), lze regulační čidlo umístit jak na přívodu, tak ve vratné větvi. Lze tak kombinovat výhody dříve uvedeného řízení kaskády s řízením kaskády kotlů podle teploty vratné vody.

Regulace podle teploty vratné vody s paralelním zapojením kotlů vyžaduje pečlivé hydraulické dimenzování a vyvážení (vyrovnání, zaregulování) jmenovitých průtoků jednotlivými kotli při uvedení do provozu. Nevyrovnané či lépe nesteré výkony jednotlivých kotlů působí nepříznivě na prioritní přepínání kotlů (změny průtoků prodlužují přepínání na novou požadovanou hodnotu). Pro více jak dva kotle v kaskádě není tento způsob řízení spínání kotlů v kaskádě příliš vhodný.



Obr. 5 Spínání kaskády kotlů paralelně hydraulicky napojených s dvoustupňovými hořáky podle teploty vratné vody, řízené P-regulátorem

a) schéma zařízení, b) průběh teplot přívodní  $t_{k1}$ ,  $t_{k2}$  a vratné vody  $t_v$  v závislosti na vytížení kotle  $Q$

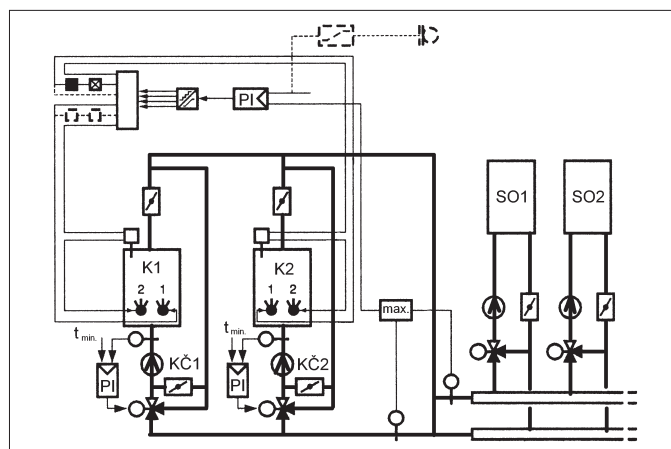
## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE MAXIMÁLNÍ TEPLoty PŘÍVODNÍ A VRATNÉ VODY

Řízení kotlů podle teploty přívodní vody, popsané v předchozím textu má určitou nevýhodu v tom, že se teplota vody přiváděná k rozdělovači snižuje, jakmile spotřebitelské okruhy nemají kontinuálně rostoucí potřebu tepla. Pokles teploty vody je zaznamenán čidlem a způsobí díky regulátoru nepotřebné sepnutí dalšího výkonu až do té míry, než je kotlová jednotka vypnuta omezovacím kotlovým termostatem.

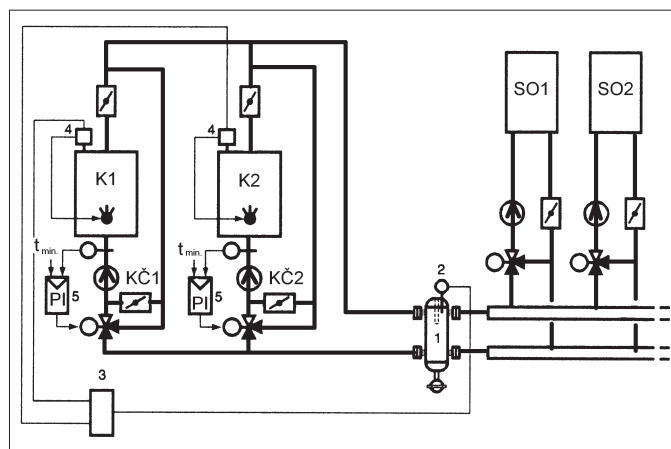
Popsanému provoznímu stavu lze zamezit umístěním čidla do vratné větve a nechat regulátor vyhodnotit vyšší teplotu od obou čidel (obr. 6). Poklesne-li potřeba tepla na nulu, pak do přívodní větve spotřebitelských okruhů již neproudí voda, nýbrž protéká přímo zpět ke kotli, tj. do vratného potrubí. Teplota vratné vody se takto zvyšuje až na teplotu vody v hlavní přívodní větvi k rozdělovači a informace od čidel přiměje regulátor k vypnutí hořáků.

## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ NAPOJENÝCH NA THR

Máme-li v kaskádě hydraulicky napojeny dva a více kotlů, pak může být průtok zajišťovaný kotlovými čerpadly i značně větší než celkový průtok požadovaný spotřebitelskými okruhy. Stejně tak tomu může být v přechodném období a za některých regulačních stavů právě naopak. Takovéto hydraulické chování má negativní dopad na tlakové a průtočné poměry v regulovaných spotřebitelských okruzích. Velmi elegantní řešení pak



Obr. 6 Řízení kaskády kotlů PI-čtyřstupňovým regulátorem podle maximální teploty přívodní či vratné vody



Obr. 7 Řízení paralelně napojených kotlů v kaskádě propojených se soustavou přes THR s omezením teploty vratné vody;

1. THR, 2. teplotní čidlo pro řízení výkonu, 3. regulátor kaskády kotlů, 4. bezpečnostní omezovač teploty kotlové vody, 5. regulátor pro udržování minimální teploty vratné vody

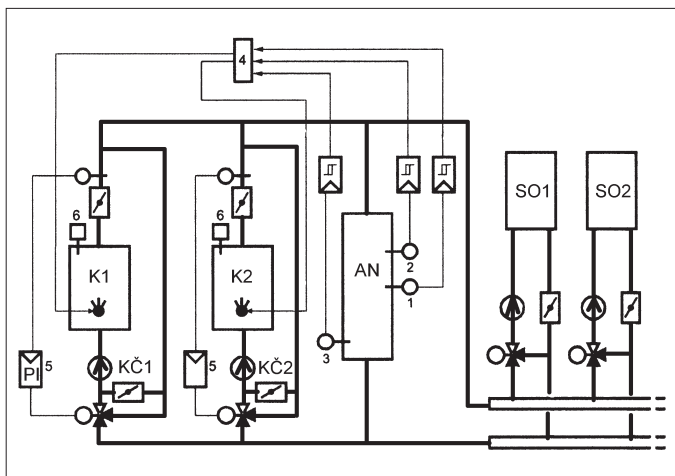
představuje použití termohydraulického rozdělovače (THR). Je však třeba mít na paměti, že THR v potrubní síti zvyšuje za většiny provozních stavů teplotu vratné vody natékající do zdroje tepla (pozor na stupeň využití u tepelných čerpadel a kondenzačních kotlů).

Teplotní čidlo pro řízení kaskády kotlů musí být umístěno v hlavě THR, kde reprezentativně snímá teplotu vody proudící do soustavy při různých provozních, resp. hydraulických stavech v THR. Teplota přívodní vody je regulována na základě informací z takto umístěného čidla a rovněž tak jsou spínány jednotlivé výkonové stupně zdroje tepla. Teplotní čidla instalovaná ve vratné větvi u jednotlivých kotlů hlídají minimální teplotu vratné vody a potřebu vypnutí kotlů, jakmile je snímána teplota vyšší než je teplota přívodní vody v hlavě THR. Bližší informace o řízení kotlů napojených na THR a dimenzování THR čtenář nalezne v [2].

## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE MÍRY AKUMULACE V ZÁSOBNÍKU

Dříve popsané metody řízení kaskády kotlů poskytují provozně spolehlivé a fungující zařízení odpovídající volbě spínacích kritérií a vhodné volbě jak regulátoru, tak koncepce řízení.

Snahy o co nejdelší doby chodu hořáků a jim odpovídající malé počty sepnutí však nejsou zcela optimálně naplněny a většinou jsou vykoupeny značným kolísáním teploty kotlové vody.



Obr. 8 Řízení kotlů podle míry akumulace v zásobníku u dvoustupňových hořáků (4 výkonové stupně) a paralelního zapojení kotlů

1 – čidlo zásobníku (spínání 1. stupně vedoucího kotle); 2 – čidlo zásobníku (spínání 2. stupně vedoucího kotle a následujícího kotle); 3 – čidlo zásobníku (vypínání); 4 – regulátor kaskády kotlů; 5 – regulátor pro udržování min. teploty vratné vody (nebo ochrana proti nízkoteplotní korozi kotle); 6 – bezpečnostní omezovač teploty kotlové vody

Chceme-li dosáhnout skutečně optimálních výsledků, povede naše cesta přes aplikaci vřazeného zásobníku tepla. Obr. 8 ukazuje jednu variantu takového zařízení. Z hlediska hydrauliky je voleno investičně příznivé paralelní napojení kotlů, neboť v této koncepci by sériové řazení nepřineslo žádné výhody. Zde mohou být použity jedno či dvoustupňové hořáky, nikoli však modulačně (plynule) regulované hořáky. Jednostupňové hořáky mohou při vhodné kombinaci s konstrukcí kotle přinést i výhody z hlediska procesu spalování.

Zásobník má za úkol maximalizovat doby chodu hořáků, resp. minimalizovat počty jejich startů. Je proto navrhován tak, že se uvažuje objem min. 10 l na 1 kW výkonu připojených kotlů. Mnohdy tak musí být s ohledem na velikost zařízení a prostorové možnosti navrhovány dva i více zásobníků. Pokud vychází více zásobníků, propojují se hydraulicky sériově.

Zařízení schématicky vyobrazené na obr. 8 se chová následujícím způsobem:

- Klesá teplota vody v zásobníku pod požadovanou hodnotu na čidle (1). Na základě této informace spíná vedoucí kotel.
- Pokud je výkon kotle roven či větší než okamžitá potřeba tepla, pak kotel běží v nepřetržitém provozu a zásobník se pomalu nabíjí.
- Pokud je dosaženo požadované teploty na čidle zásobníku (3), kotel vypíná. Toto platí obecně pro jakýkoli výkonový stav u všech kotlů (resp. hořáků), tj. je-li zásobník plně naakumulován vypíná se vždy veškerá výroba tepla.
- Je-li potřeba tepla větší, než poskytuje výkon vedoucího kotle, pak se zásobník vybijí. Jakmile teplota na čidle (2) podkročí požadovanou hodnotu, spíná následný kotel (s nastavenou odpovídající časovou prodlevou).
- Jakmile je nastartován druhý kotel, jsou v provozu oba kotle nezávisle na potřebě tepla u spotřebitelských okruhů a zásobník se nabíjí. Poté na základě informace od čidla (3) regulátor opět vypíná oba kotle. Během celého otopného období tak lze dosáhnout prodloužení doby chodu hořáků, a tak i zvýšení stupně využití.

Zásobník rovněž plní výbornou funkci hydraulického propojení kotlového okruhu s okruhy spotřebitelskými. Co se doby vybíjení týká, je výhodné použít údaj dvou čidel a časový integrál zátěže, který ve srovnání s pevně nastaveným zpožděním přináší určité výhody. Změna produkce tepla reaguje tím rychleji, čím je větší potřeba tepla. Rovněž se zde neobjevuje tak-

tování kotlů, neboť mezi vypnutím a zapnutím musí proběhnout vybití či nabití akumulované kapacity zásobníku. Zařízení je regulačně jednoduché a kolísání teplot je nepatrné.

Teplotu vstupní vody do zásobníku lze regulovat přes požadovanou teplotu výstupní vody z kotle, řízenou, resp. zajišťovanou směšovací armaturou ve vratném potrubí kotle. Předpokladem je správné dimenzování s odpovídající volbou minimální teploty kotlové vody. Tím se zajistí i ochrana kotle proti nízkoteplotní korozi.

Další optimalizací z hlediska úspory energie je ekvitermní řízení teploty vody v zásobníku. Díky akumulaci tepla reaguje zařízení zcela nezávisle na náhle vznikající změny výkonu (např. natápění). Jednoznačné výhody této koncepce jsou však vykoupeny vyššími investičními náklady a potřebou většího prostoru pro kotelnu.

## ŘÍZENÍ KOTLŮ V KASKÁDĚ PODLE ZÁTĚŽE HOŘÁKŮ

Tento způsob řízení se hodí pro kotle s modulačním hořákem. Teplota přívodní vody je regulována samostatně u každého kotle nepřetržitě pracujícím regulátorem s pevně či klouzavě nastavenou požadovanou hodnotou. Spínání či vypínání následujícího kotle je závislé na aktuální zátěži hořáku (nastavení klapky přívodu spalovacího vzduchu a časové zpoždění). Pokud je stupeň využití kotle při částečném vytížení vyšší než za jmenovitého výkonu (mírně vyšší u některých nízkoteplotních kotlů, vyšší u kondenzačních kotlů) spíná následující kotel dříve, než dosáhne vedoucí kotel svého jmenovitého výkonu. Jsou-li oba kotle v provozu, pak jsou řízeny modulačně v rozsahu výkonu od cca 30 do 100 %. Aby bylo možné rovnoměrné rozdělení zátěže na oba kotle, musí být hydraulicky napojeny paralelně.

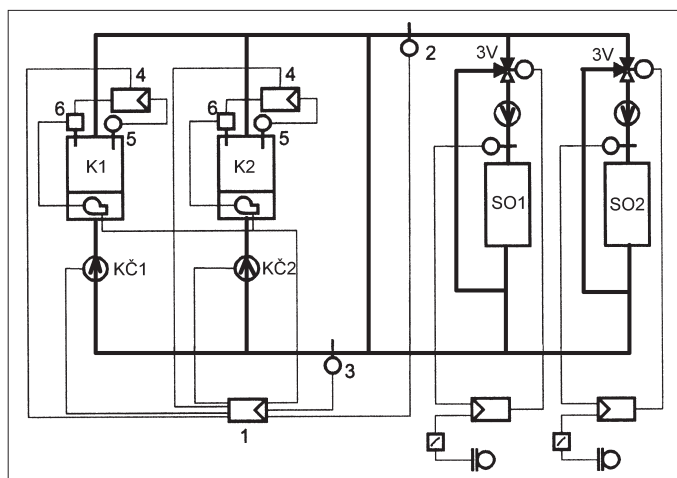
Principiálně se jedná o jednoduché řízení. Ale následkem dvoupolohového chování hořáků v základní, resp. startovací výkonové úrovni (cca do 30 %) dochází k mnohým regulačně-technickým potížím v přechodném období. Hořáky s modulovaným provozem mají speciální konstrukci, tak aby bylo optimálně řízeno množství přiváděného paliva a spalovacího vzduchu, potřebují však základní výkonový stupeň, ze kterého se dále může výkon plynule zvyšovat. Základní výkonový stupeň je nastavitelný a závislý na typu hořáku, druhu paliva a na konstrukci kotle.

## ŘÍZENÍ KONDENZAČNÍCH KOTLŮ V KASKÁDĚ S MODULAČNÍMI HOŘÁKY

Zaměříme se na otázku využití teploty přívodní vody do spotřebitelských okruhů a teploty vratné vody ke kotlům k řízení připojování a odpojování jednotlivých výkonových stupňů. V rámci využití kondenzačních kotlů nám již nepůjde o to, aby za všech provozních stavů měl každý jeden kotel co největší účinnost (resp. stupeň využití) jako v předchozích případech, ale aby zdroj tepla jako celek dosahoval co největšího stupně využití. Pak musíme na zařízení klást určité požadavky, resp. musí být splněna určitá kritéria:

- Zvolená teplota přívodní vody by neměla vykazovat velké kolísání a odchylky by se měly postihnout příslušným opatřením.
- Je potřeba zajistit co možná nejnižší teplotu vratné vody u kondenzačních kotlů.
- Je třeba optimalizovat stupeň využití zdroje tepla jako celku přes strategii doby chodu hořáků.

Jednotlivé kotle jsou opatřeny separátním regulátorem teploty kotlové vody. Vlečný kotlový regulátor udává jednotlivým kotlovým regulátorům potřebnou požadovanou teplotu kotlové vody (v současné době většinou přes Bus – systém) podle celkové potřeby tepla. Vlečný kotlový regulátor lze co nejvíce přizpůsobit různým provozním stavům a může za-



Obr. 9 Řízení kondenzačních kotlů v kaskádě s modulačními hořáky doplněné o řízení podle teploty přívodní a vratné vody;

1. vlečný regulátor kotlů; 2. čidlo teploty přívodní vody; 3. čidlo teploty vratné vody; 4. regulátor teploty kotlové vody; 5. čidlo teploty kotlové vody; 6. bezpečnostní omezovač teploty kotlové vody

jistit potřebné proměnné doby chodu hořáku. K tomu bychom měli požadovat:

- co možná nejmenší počet startů (potřebný příkon hořáků a kotlových čerpadel se minimalizuje)
- prodloužení doby chodu hořáků (snížení emisního zatížení při startech hořáků)
- spínat tolik kotlů, kolik je možné (výhodné, když je např. požadovaný průtok vody na straně spotřebitelských okruhů podstatně větší než na straně zdroje tepla).

Modulovaným provozem lze dosáhnout extrémně nízkých teplot spalin a tak získat obzvláště vysoký stupeň využití kotle. Na obr. 10 je znázorněno chování kaskády se čtyřmi nástěnnými kotli o stejném výkonu v závislosti na tepelném zatížení soustavy. To znamená, že je zakreslen statický diagram. Toto chování platí pro změny výkonu s malými změnami požadované hodnoty. Regulace kotlů zabraňuje rovněž jejich častému spínání – taktování.

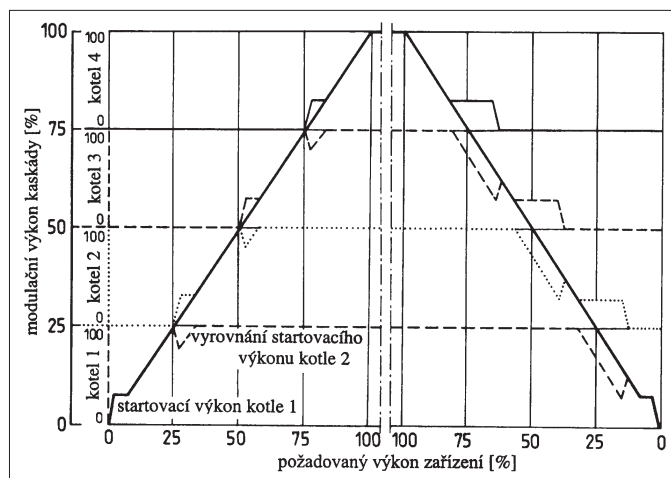
Levá část obrázku ukazuje spínání na plný výkon zařízení.

- kotel 1 startuje se základním výkonem a poté zvyšuje výkon (modulačně) až na 100 %
- kotel 2 startuje se základním výkonem
- kotel 1 snižuje výkon, aby vyrovnal základní výkon kotle 2 a dále při další potřebě tepla najíždí kotel 2 až na 100 % výkonu
- postupně se takto v kaskádě zapojí všechny kotle

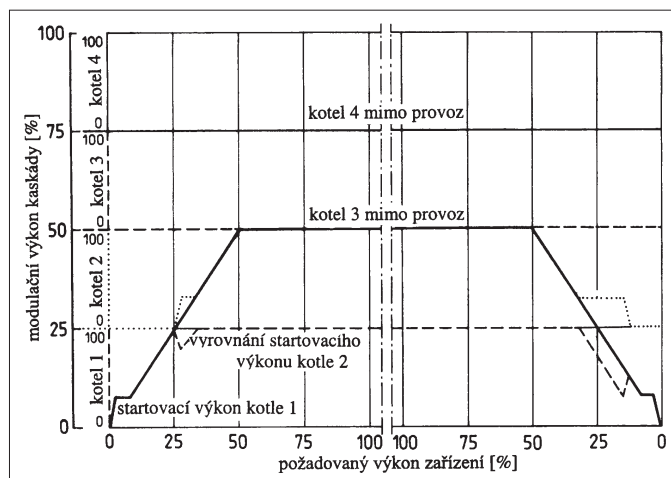
Pravá část obrázku ukazuje vypínání kotlů z plného výkonu zařízení.

- kotel 4 modulačně sjíždí na základní výkon
- kotel 3 modulačně sjíždí na nižší výkon, aby vyrovnal základní výkon kotle 4
- kotel 4 se vypíná
- kotel 3 modulačně zvyšuje výkon, aby vyrovnal vypnutí kotle 4 a následně při stále klesající potřebě tepla sjíždí na svůj základní výkon
- kotel 2 modulačně snižuje výkon o základní výkon kotle 3 a kotel 3 vypíná
- kotel 2 modulačně zvyšuje výkon, aby vyrovnal vypnutí kotle 3 a následně při stále klesající potřebě tepla sjíždí na svůj základní výkon
- při stále klesající potřebě tepla se kotle 1 a 2 chovají stejně jako kotle 3 a 4 až nakonec kotel 1 skokově vypíná ze svého základního (startovacího) výkonu.

Obr. 11 znázorňuje chování čtyř kotlů v kaskádě v podobě statického diagramu. Je zde zobrazen případ, kdy zařízení pracuje s 50% výko-



Obr. 10 Spínání a vypínání kotlů v kaskádě během provozu vytápění



Obr. 11 Spínání a vypínání kotlů v kaskádě během sníženého provozu

nem, např. při uzavření několika okruhů z důvodu poruchy nebo při přípravě TV v létě.

Levá část obr. 11 ukazuje spínání při sníženém výkonu.

- kotel 1 startuje se základním výkonem a modulačně najíždí na svůj 100% výkon
- kotel 2 startuje se základním výkonem
- kotel 1 modulačně sjíždí dolů, aby vyrovnal základní výkon kotle 2 a při další potřebě tepla najíždí kotel 2 na 100% výkonu
- kotle 3 a 4 nespínají, protože při snížené potřebě není jejich výkonu třeba

Pravá část obrázku ukazuje vypínání při sníženém výkonu.

- kotel 2 sjíždí modulačně na základní výkon
- kotel 1 sjíždí modulačně o základní výkon kotle 2 a ten vypíná. Kotel 1 modulačně zvyšuje výkon, aby vyrovnal základní výkon kotle 2 a při snižující se potřebě tepla sjíždí kotel 1 na základní výkon. Dále vypíná i kotel 1.

Kontakt na autora: jiri.basta@fs.cvut.cz

#### Použité zdroje:

- [1] Siemens Ltd., Control of heating plants. Switzerland 2004. O.N. 0-91911-en
- [2] Bašta, J., Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003. – 252 s., 209 obr., ISBN 80-01-02808-9
- [3] Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik R. Oldenbourg Verlag GmbH, München 2009. ISBN 978-3-8356-3134-2. ■