



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

Paralelní a sériové řazení kotlů

Parallel and series connection of boilers

Recenzent
 prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

Článek pojednává o paralelním a sériovém řazení kotlů, regulovaných v kaskádě. Jsou uvedeny výhody a nevýhody obou způsobů zapojení a na příkladu paralelního zapojení kotlů popsáno regulační chování takové kaskády.

Klíčová slova: vytápění, kotel, sériové řazení, paralelní řazení

Article deals with parallel and series connection of boilers which are sequence controlled. There are given benefits and disadvantages of both connection manners and described their sequence control behaviour for the parallel connection example.

Key words: heating, boiler, series connection, parallel connection

Na první pohled se zdá, že řízení více kotlů nemůže vykazovat vážnější potíže. Teplovodní kotle představují soustavu s dobrým stupněm regulovatelnosti. Rovněž přizpůsobení výkonu se zdá poměrně jednoduché a logické. Pokud dodávané teplo nestačí, spíná další kotel a opět vypíná, jakmile potřeba tepla klesá.

Předpokládáme-li optimální provozní chování, vysokou přizpůsobivost a dlouhou životnost, dostáváme se k náročné problematice, kterou můžeme řešit pouze správným hydraulickým zapojením kotlů a vhodnou regulací. Tato problematika tak zahrnuje sériové a paralelní řazení kotlů v kaskádě. Standardně lze regulační chování znázornit na dvou kotlích řazených v kaskádě s tím, že principy řazení dvou kotlů jsou v naprosté většině použitelné i u více kotlů.

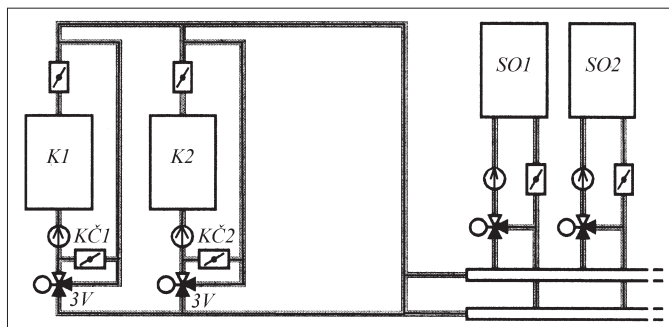
V dnešní době má zapojení více kotlů význam rovněž i pro zajištění dodávky tepla při výpadku jednoho z kotlů. Jak víceúrovňová tak především modulovaná regulace hořáku u zařízení s jedním kotlem přináší zlepšení stupně využití se zkrácením doby, kdy hořák nepracuje a tudíž i se snížením ztrát kotle. Pro zařízení s požadovaným tepelným výkonem větším než 80 kW, při dvoupolohové regulaci hořáku, lze doporučit pokrytí výkonu již dvěma či více kotli. U modulačně řízených kotlů se tato hranice posouvá nad 100 kW.

Při použití více kotlů je můžeme hydraulicky zapojit jak paralelně, tak sériově. Převážně se však používá paralelní řazení kotlů. Nejjednodušší, ne však vždy akceptovatelný, požadavek spočívá v tom, že není omezena teplota zpětné vody vzhledem k nízkoteplotní korozi a rovněž není požadováno zajištění minimálního průtoku kotlem.

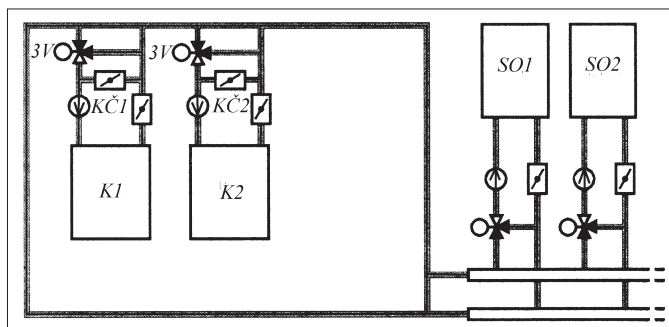
PARALELNÍ A SÉRIOVÉ ZAPOJENÍ

U paralelního řazení kotlů v kaskádě (obr. 1) se dostává oběma kotlům vratné vody o stejné teplotě. Pokud jsou oba kotle regulovány dvoupolohovým regulátorem, dělí se výkon, odpovídající průtokům, mezi všechny připojené kotle, tzn. když je potřeba tepla např. 50 %, rozdělí se výkon u dvou stejných kotlů na 25 % pro každý. Paralelní zapojení je často využíváno jako tzv. bezpečné zapojení, a to nejen s ohledem na jednodušší hydraulické propojení, nýbrž i proto, že další připojený kotel nemusí pracovat při nízkém výkonovém zatížení s malým stupněm využití. Paralelní napojení kotlů vyžaduje především správné a poměrně přesné hydraulické vyvážení (seřízení) průtoků vody, které musí být proporcionální k výkonovému podílu jednotlivých kotlů, aby umožňovalo plné předání výkonu každého kotle.

U sériového řazení kotlů (obr. 2) nedostávají kotle vratnou vodu o stejné teplotě. Výstupní (přívod) voda z řídicího kotle může být vratnou vodou



Obr. 1 Paralelní řazení kotlů v kaskádě



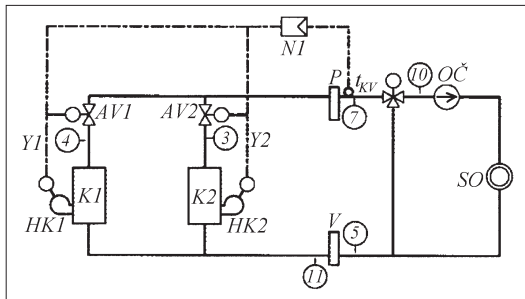
Obr. 2 Sériové řazení kotlů v kaskádě

(zpátečka) následujícího kotle v kaskádě. Kotle tak přebírají různý podíl celkového výkonu.

Převyšuje-li požadovaný výkon jmenovitý výkon vedoucího kotle (K1), zůstává doplnění výkonu na následném sepnutí druhého kotle (K2), který pak musí pracovat pouze s částečným zatížením. Poklesne-li opět potřeba tepla pod jmenovitý výkon vedoucího kotle, vede to k nekontrolovanému spínání, resp. vypínání hořáku u obou kotlů (při dvoupolohové regulaci každého kotle). Sériové řazení kotlů je vhodné především tam, kde se využívá nízkých teplot vratné vody ze soustavy (kondenzační technika, tepelná čerpadla) a soustava vyžaduje cca standardně vysoké teploty přívodní vody (jako druhý je řazený nízkoteplotní či klasický kotel).

PARALELNÍ ZAPOJENÍ

Obvyklé jednoduché řešení paralelního zapojení kotlů představuje obr. 3, kde je oběh otopné vody zajišťován pouze čerpadlem (čerpadly) ve spotřebitelském okruhu SO. Spínání hořáku probíhá na základě údajů teploty t_{kv} ze společného výstupu vody z kotlového okruhu. Podle průběhu doby



Obr. 3 Paralelní zapojení více kotlů bez čerpadla v kotlovém okruhu

doběhu DD (obvyklé hodnoty 5 až 10 min.), se nevyužívaný kotel hydraulicky oddělí od sítě automatickým ventilem AV1 nebo AV2.

Pořadí spínání kotlů se řídí různými aspekty. Pro regulaci kotlů lze využít dvou různých možností:

- Pevně stanovený postup je např. u kombinace kondenzačního kotle s kotlem klasickým. Kondenzační kotel je nastaven trvale jako vedoucí (řídící; master), aby se postihla výhoda vyššího stupně využití po co možná nejdelší provozní dobu.
- Automatické přepínání pořadí kotlů tak, aby měly za otopné období přibližně stejný počet provozních hodin.

Pro další úvahy označme kotel K1 za vedoucí a kotel K2 za další v pořadí, tj. následující. Při rostoucí potřebě tepla se nejdříve prodlužuje doba chodu vedoucího kotle až do stavu trvalého chodu. Při stále rostoucí potřebě tepla spíná hořák následujícího kotle K2 a otevírá automatický ventil AV2 podle požadavku zachování minimální teploty vody v kotli. Rozhodující je, že hořák kotle K1 stále pracuje v trvalém provozním režimu.

Obr. 4 ukazuje průběh teplot a spínání hořáků při chodu zařízení. Nápadné je, že teplota výstupní vody vedoucího kotle (4) vykazuje kolísání v rozsahu 20 K. V čase a se dosáhne vypínacího bodu (teploty) pro hořák kotle K2. Vzárust teploty setrvává, a tak je v čase b dosaženo vypínacího bodu (teploty) pro hořák kotle K1. Očekávání, že kotel K1, zůstane v trvalém provozu se tak nevyplní a dojde k taktování obou hořáků.

Teplotní úroveň je obzvláště nápadná v čase c pro průběh (7) regulované veličiny. Regulovaná teplota (7) se získá jako teplota po smísení výstupní vody – teploty (4) a (3). V čase c se ventil AV2 uzavře, čímž regulovaná teplota skokově vzroste na hodnotu (4), což regulačně předjímá určité problémy.

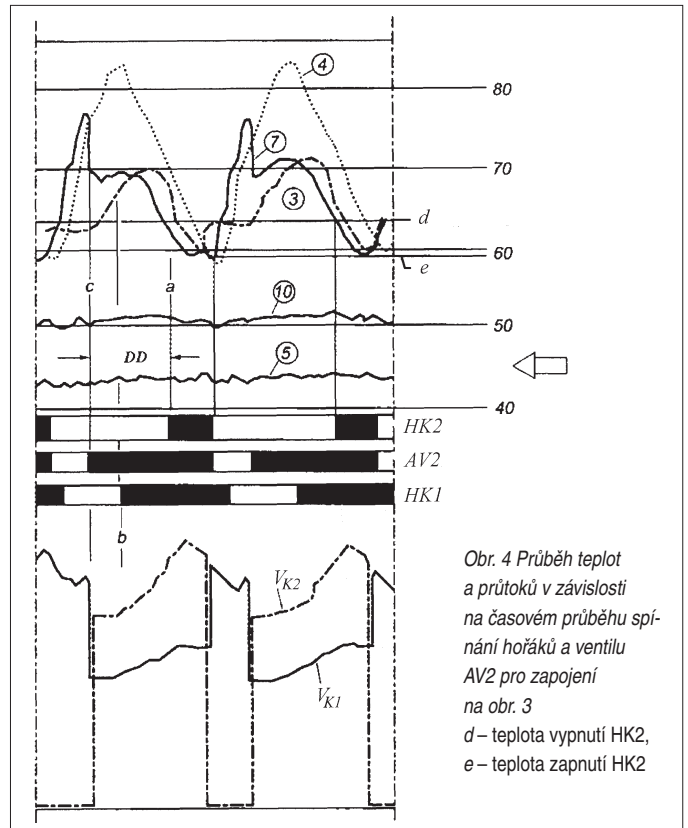
Ale nejen teplo-technické chování vykazuje nespojitost. Obr. 4 rovněž ukazuje skokové změny průtoků přes kotle V_{K1} a V_{K2} . V čase c tak významně vzroste při uzavření AV2 průtok V_{K1} . Stejně tak i významné změny tlakových ztrát ve spotřebitelském okruhu mohou při tomto napojení ovlivňovat průtok kotlem.

Příčinou je vedle nespojitého chování průběhu teploty rovněž nespojitě chování hydraulické. Závislost regulace na správném hydraulickém uspořádání a poměrech u kotle je vysvětlena na obr. 5.

Když se požadované hodnoty, tj. teploty výstupní vody z kotle t_{KP} nedosahuje, pak je žádoucí zvýšení výkonu hořáku Q. S ohledem na akumulační schopnost spotřebitelského okruhu SO se může teplota zpětné vody ze soustavy t_{KZ} jevit po nějakou dobu jako konstantní. Pro tepelnou bilanci pak platí:

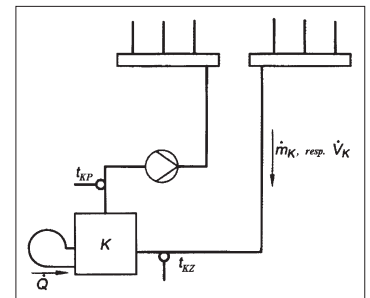
$$Q = m_K \cdot c \cdot (t_{KP} - t_{KZ}) \quad [W].$$

Pokud je zvýšení tepelného výkonu spojeno s redukcí průtoku m_K , bude regulovaná veličina t_{KV} nadměrně narůstat a to povede k předčasnému vypnutí hořáku. Při nárůstu průtoku m_K se i přes zvýšení výkonu bude regulovaná veličina t_{KP} snižovat a regulátor celý proces povede k dalšímu nepotřebnému zvyšování výkonu.



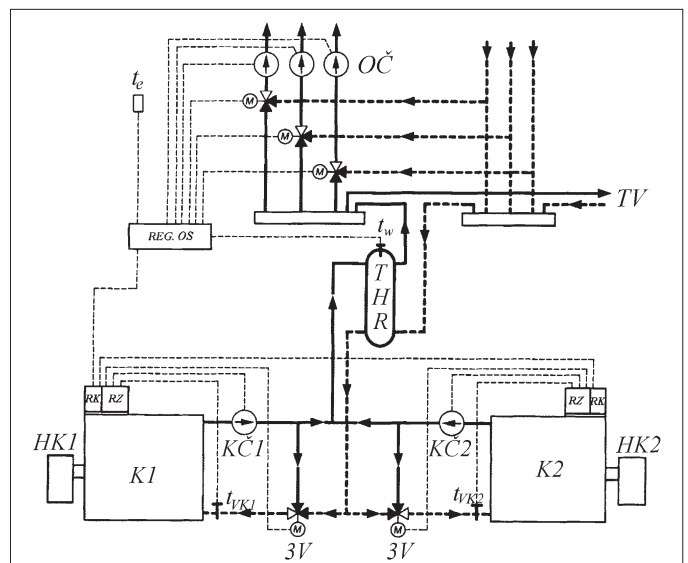
Obr. 4 Průběh teplot a průtoků v závislosti na časovém průběhu spínání hořáků a ventilu AV2 pro zapojení na obr. 3
d – teplota vypnutí HK2, e – teplota zapnutí HK2

Změnu průtoku m_K tak můžeme z hlediska regulačního považovat za poruchovou veličinu. Vhodné je zvolit takové hydraulické řešení, u kterého zůstává průtok otopné vody kotlem konstantní. Lze to zajistit např. osazením kotlovými čerpadly KČ pro každý kotel a nadprůtoky eliminovat termohydraulickým rozdělovačem THR.

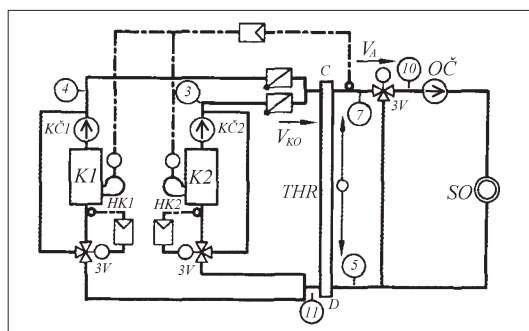


Obr. 5 Tepelná bilance kotle

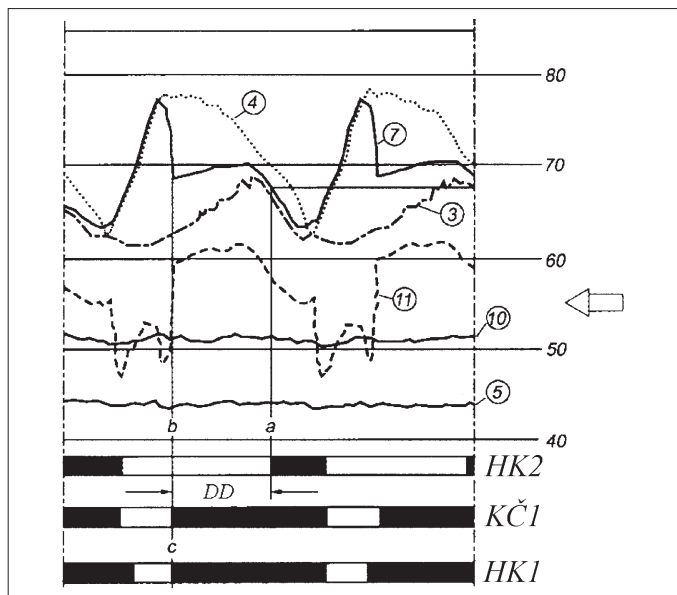
Obr. 6 ukazuje možné provedení tohoto principu.



Obr. 6 Paralelní zapojení dvou kotlů s termohydraulickým rozdělovačem (THR) a hlídání teploty zpětné vody u každého kotle.



Obr. 7
Paralelní
zapojení
dvou kotlů
s termohydrau-
lickým rozděl-
ovačem (THR)
a kotlovými
čerpadly

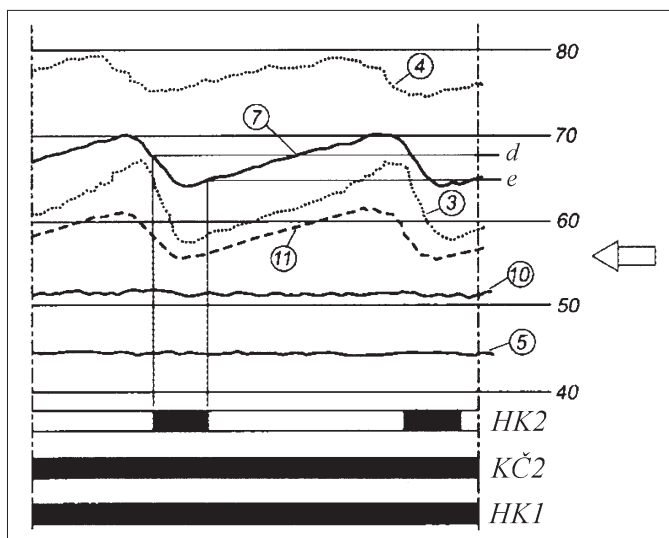


Obr. 8 Průběh teplot v závislosti na časovém průběhu spínání hořáků a čerpadla u K2 pro zapojení na obr. 7 [2]

Trojcestné ventily v kotlovém okruhu 3V umožňují zvýšení teploty vratné vody při startu kotlů ze studeného stavu s tím, že se současně sníží průtok spotřebitelskými okruhy SO. Dosažitelný konstantní průtok kotlem též odstraní možné problémy s překračováním nebo podkročením přípustného průtoku kotlem, který stanovil výrobce.

Podívejme se na chování soustavy zapojené podle obr. 7, kde uvažujeme, že trojcestné ventily 3V v kotlovém okruhu jsou nefunkční. Hydraulické poměry v THR jsou zřejmě na základě průběhu teplot (5) a (11) (obr. 8). Z obrázku je vidět, že $t_{11} > t_5$, tzn., že se projevuje nadprůtok od místa C do D v THR. Teplota ve snímaném místě (7) je výsledkem výstupních teplot z obou kotlů (3) a (4). Přímíchávání zpětné vody ze soustavy se neprojevuje. Za jiných provozních stavů mohou být účinky jiné (viz [1] o THR).

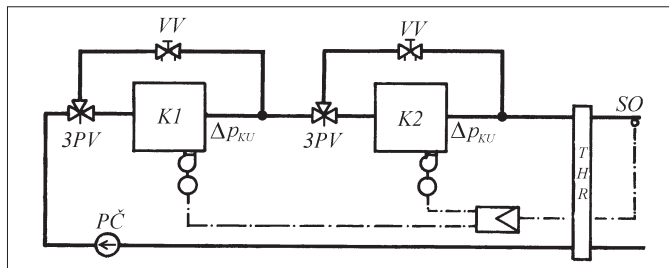
Výsledek měření přinesl poznatek, že i přes optimální hydraulické napojení opět taktuje hořák kotle K1. Příčinou je, že se v čase *b* podle doby doběhu DD vypíná čerpadlo kotle KČ2 a regulovaná veličina (7) se skokově mění, a tak hořák vedoucího kotle HK1 vypíná. Problém řeší prodloužení doby doběhu DD z obvyklých 5 až 10 min. na 40 až 50 min. Obr. 9 ukazuje výsledek takového opatření. Průběh regulované veličiny (teplota (7)) již nevykazuje žádné nespojitosti a taktování vedoucího kotle K1 je potlačeno. Po DD je kotlové čerpadlo druhého kotle KČ2 automaticky vypnuto. Prodloužený chod čerpadla u K2 je smysluplný rovněž z energetického hlediska. Umožňuje odvedení tepla z kotlového tělesa v době provozní přestávky do soustavy, a tak i snížení ztrát odstaveného kotle. Měření rovněž ukázalo, že dojde ke snížení četnosti sepnutí hořáků kotlů, a tím i ke snížení celkové produkce škodlivin za otopné období.



Obr. 9 Průběh teplot v závislosti na časovém průběhu spínání hořáků a optimalizovaném chodu čerpadla u K2 [2]
d – teplota vypnutí HK2, e – teplota zapnutí HK2

SÉRIOVÉ ZAPOJENÍ

Jednodušeji popsatelné regulační chování poskytuje sériové zapojení kotlů podle obr. 10. Každý přidávaný výkon výkonovým stupněm následujícího kotle v kaskádě způsobí nárůst teploty vody ve společné přívodní větvi. Aby se zmenšily tepelné ztráty přes odstavený kotel, nenechá se odstavený kotel protékat otopnou vodou a voda bude proudit jeho obtokem (vyvažovací ventil VV). Okruh kotle je proto opatřen trojcestným přepínacím ventilem 3PV.



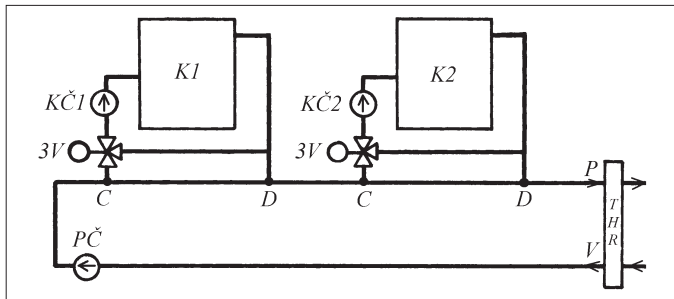
Obr. 10 Schéma sériového zapojení kotlů

S ohledem na regulační chování je technickým předpokladem, že objemový průtok kotlovým okruhem zůstává konstantní. Toho lze dosáhnout seřízením tlakové ztráty obtoku kotle. Tlaková ztrata obtoku kotle (vyvažovací ventil VV) je stejná, jako tlaková ztrata úseku od trojcestného přepínacího ventilu 3PV přes kotel K až k směšovacímu bodu potrubní sítě Δp_{KU} .

Z energetického hlediska je ale toto řešení zatíženo určitou nevýhodou. Na rozdíl od paralelního řazení kotlů v kaskádě, je každý kotel protékán celkovým jmenovitým množstvím vody, tudíž je zde cca čtyřnásobná tlaková ztrata kotlovým okruhem oproti paralelnímu zapojení kotlů. Oproti paralelním větším se tlakové ztráty sériově řazených kotlů sčítají. Rovněž vypnutý kotel, resp. jeho obtok, vykazuje stále přibližně stejné tlakové ztráty.

Provozní náklady na chod čerpadla (čerpadel) se zvyšují a realizace uvedeného sériového zapojení postrádá z energetického hlediska smyslu.

Sériové zapojení v jiné formě ukazuje obr. 11. Kotle jsou v bodech potrubní sítě C a D hydraulicky „odděleny“ od působení primárního čerpadla kot-



Obr. 11 Schéma sériového zapojení kotlů s hydraulickým „oddělením“ v bodech potrubní sítě C a D

lového okruhu. Lze tak dosáhnout jak konstantního průtoku celým kotlovým okruhem díky primárnímu čerpadlu PČ, tak konstantního průtoku přes jednotlivé kotle díky práci kotlových čerpadel KČ. Na rozdíl od zapojení podle obr. 3, je do THR přiváděn stále konstantní průtok přívodní otopné vody P a týž odváděn vratnou větví V z THR. Vše se děje nezávisle na tom, zda pracuje jeden či více kotlů.

Zmiňované řešení rovněž umožňuje použití THR i u klouzavé regulace teploty kotlové vody.

Výše popsaná nevýhoda pro zapojení podle schématu na obr.10 stran tlakových ztrát platí i pro toto zapojení podle schématu na obr.11. Avšak zapojení podle obr. 11 vykazuje jednu výhodu. Při vypnutí jednoho z kotlů, nevykazuje jeho okruh tlakovou ztrátu. U zařízení, kde je dominantní ekvitermní regulace tepelného výkonu zdroje tepla pro otopnou soustavu, je výkonové využití následujícího kotle poměrně malé, a tak se sériové řazení kotlů v zapojení podle schématu na obr. 11 stává i energeticky smysluplné.

Kontakt na autora: Jiri.Basta@fs.cvut.cz

Článek vznikl s podporou výzkumného záměru MSM č. 6840770011 Technika životního prostředí.

Použité zdroje:

- [1] Bašta, J. Hydraulika a řízení otopných soustav. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2003. – 252 s., 209 obr., ISBN 80–01–02808–9.
- [2] Roos, H. Hydraulik der Wasserheizung. R. Oldenbourg Verlag, Wien 1999. ISBN 3–486–26399–4.
- [3] Recknagel, Sprenger, Schramek, Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik R. Oldenbourg Verlag GmbH, München 2009. ISBN 978–3–8356–3134–2.
- [4] Siemens Ltd: Control of heating plants. Switzerland 2004. O.N. 0–91911-en. ■