Některé možnosti zhospodárnění provozu plynové kotelny

Some possibilities of rationalizing gas boiler house operation

Prof. Ing. Karel HEMZAL, CSc.
ČVUT Fakulta strojní Praha

Článek navazuje na předchozí vyhodnocení provozu kotelny spalující zemní plyn za otopnou sezónu 1999/2000, uveřejněné ve VVI 1/2001. V předloženém příspěvku je vyhodnocení vlivu tří zásahů v kotelně, uskutečněných před zahájením otopného období 2000/2001. Na řídicím regulátoru byla rozšířena spínací diference z 8 na 10 K. Doba přepínání kotlů v kaskádě byla prodloužena ze 100 na 120 h a důsledně byly vyčištěny všechny filtry. Uvedené zásahy vedly k plynulejšímu a stabilnějšímu provozu kotlů, což je dokumentováno přiloženými grafy a tabulkami.
***Klíčová slova**: vytápění, kotelna, starty hořáků, regulace*

Recenzent
Ing. Zdeněk Lerl

The article continues the preceding evaluation of natural gas combusting boiler house operation during the heating period 1999/2000 published in VVI 1/2001. The presented contribution contains the evaluation of the impact of three interventions in the boiler house implemented before starting the heating period 2000/2001. The boiler controller switching difference was enlarged from 8 to 10 K. The switching-over period of boilers in cascade was extended from 100 to 120 h and all filters were cleaned out rigorously. The indicated interventions lead to more continuous and more stable operation of boilers which is documented by indicated graphs and tables.
***Key words:** heating, boiler house, burners starting, regulation*

OTOPNÁ SOUSTAVA A VYTÁPĚNÝ OBJEKT

Připomeňme, že jde o sokolovnu v Praze 6 v oblasti Hanspaulky [1]. V kotelně byly instalovány dva kotle VIADRUS s dvoustupňovými hořáky na zemní plyn, o výkonech 35/41 kW. Soustava je teplovodní, dimenzovaná na teploty 90/70 °C, s deskovými otopnými tělesy a dělená do tří hydraulických okruhů s dalším okruhem přípravy TUV.

Automatické řízení je ekvitermními regulátory kotlů, které pracují v kaskádě a dvěma ekvitermními regulátory topných okruhů řady Albatros Landis & Stafa, jedním pro řízení spojených okruhů tělocvičny a šaten se sprchami, druhým pro topný okruh bytu a přípravu TUV. Teplota ve vytápěných prostorách je řízena podle denního časového programu využití tělocvičny. K možné korekci teplot jsou v tělocvičně a v bytě umístěny prostorové regulátory s možností dálkové úpravy požadované teploty o ±2,5 K. Podle samostatného časového programu je řízena také příprava TUV. Okruhy jsou vybaveny trojcestnými regulačními ventily, příprava TUV je řízena spínáním samostatného čerpadla s uzavřením průtoku topné vody solenoidovým ventilem při vypnutí čerpadla.

Použité dva kotle (M – řídicí – hlavní „master“ a S – řízený „slave“) s dvoustupňovými hořáky jsou zapojeny v kaskádě, což umožnilo jemnější řízení výkonu kotelny taktováním, s odstupňováním výkonu v pěti stupních. Odstupňování výkonu kaskády je však hodně nerovnoměrné.

Úpravy zařízení před sezónou 2000/2001

Před zahájením vytápění byly učiněny do zařízení tři zásahy. Na regulátoru kotlů byla rozšířena spínací diference z doporučených 8 na 10 K. Přepínání kotlů v kaskádě bylo prodlouženo ze 100 na 120 h. Po této době jsou zaměněny funkce řídicí a podřízené u dvojice použitých kotlů. Vodní filtry byly před sezónou pečlivě vyčištěny.

PROVOZNÍ ZKUŠENOSTI

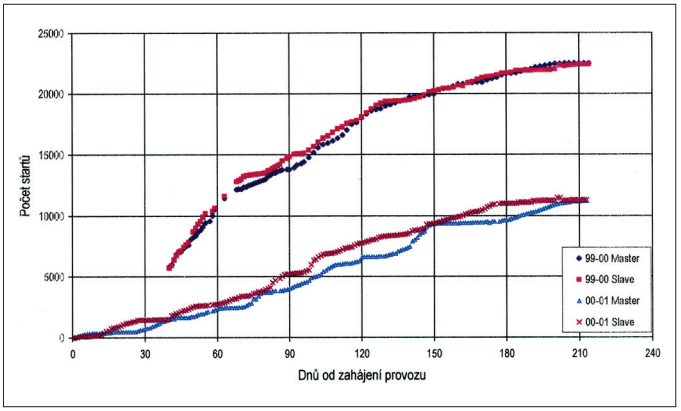
Z denních příp. dvoudenních záznamů, vedených provozovatelem po celou otopnou sezónu, byly vyhodnoceny zápisy těchto veličin:

- počitadla sepnutí hořáků prvního stupně každého z kotlů
- počitadla doby chodu prvního stupně hořáků
- a také týdenní zápisy stavu plynoměru.

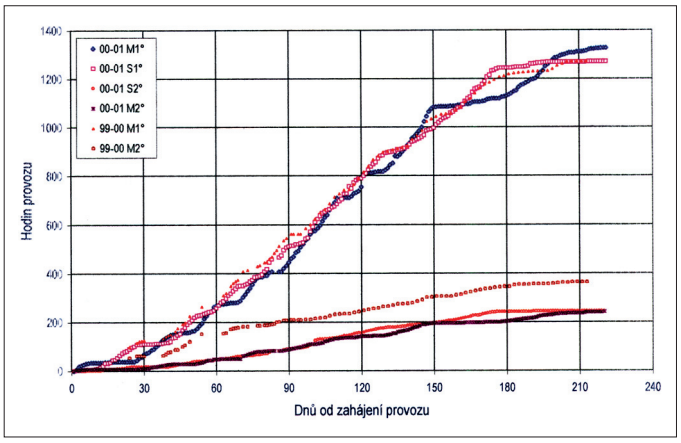
Vyhodnocení a grafická interpretace záznamů jsou uvedeny v následujících obrázcích. Pro posouzení změn jsou v nich uvedeny také výsledky v předchozí otopné sezóně.

Počet startů prvního stupně (1°) ***hořáku*** prvního (M) a druhého (S) kotle (zpočátku určených za řídicí a řízený) je v obr. 1. V průběhu je zřejmý podstatně menší počet sepnutí vůči minulému roku. Rozdílný je náběh křivek, poznamenaný v prvním roce provozu zkouškami montážní firmou a zejména zanesením filtrů [1]. Na četnost spínání má vliv především spínací diference kotlových regulátorů. Menší počet sepnutí hořáků prvního stupně snižuje produkci škodlivin. Dosažený počet 11 500 sepnutí prvního stupně hořáku každého z kotlů je poloviční vůči minulému otopnému období.

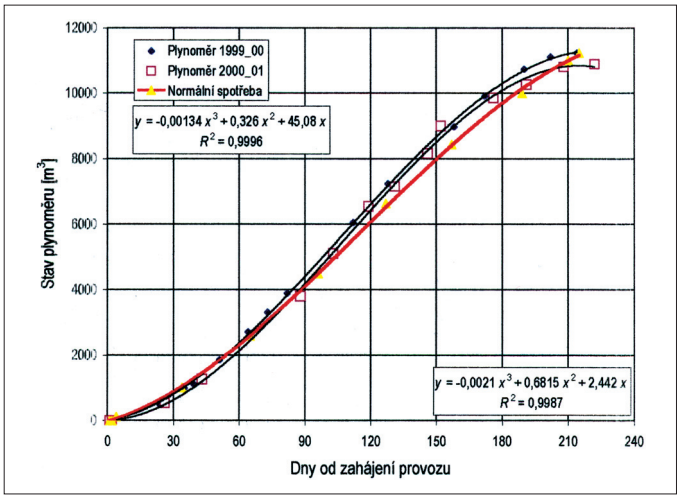
Vzhledem k setrvačnosti rozsáhlé otopné soustavy nebylo pociťováno žádné nepříjemné kolísání vnitřní teploty vytápěného prostoru. Kolísání teploty kotlové vody bylo eliminováno větším rozsahem změn zdvihu regulačních ventilů v každém cyklu.



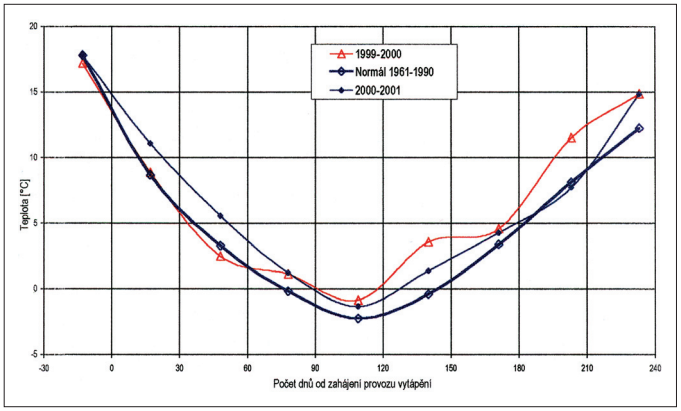
Obr. 1 Počet startů prvního stupně hořáku řídicího (Master) a řízeného (Slave) kotle – porovnání období 1999–2000 a 2000–2001



Obr. 2 Počet provozních hodin hořáků řídicího (Master) a řízeného (Slave) kotle – porovnání období 1999–2000 a 2000–2001



Obr. 3 Spotřeba plynu v otopném období



Obr. 4 Průměrné měsíční venkovní teploty v Praze na Hanspaulce 283 m n. m.

Provozní hodiny hořáků jsou v obr. 2. Za otopné období byl v provozu každý z hořáků prvního stupně prakticky stejnou dobu jako v minulé sezóně, asi 1300 hodin. U druhého stupně počet hodin klesl z 370 na 220 hodin. Z průběhu lze vidět, že po nastavených 120 hodinách provozu docházelo k záměně priorit kotlů, jejich řídicí a podřízená funkce se vyměnily za otopné období 10 krát.

Výsledky sledování ***spotřeby plynu*** jsou v obr. 3, kde jsou uvedeny záznamy stavu plynoměru. Největší strmost v inflexním bodě křivky udává největší nárůst spotřeby plynu kolem 100. dne provozu. Celková spotřeba 10 893 m^3 za 222 dnů otopného období (od 8. 10. 2000 do 15. 5. 2001) byla o 3 % nižší vůči předcházejícímu roku. V porovnání s „normálem“ (odpovídajícímu meteorologickému průměru za období 1961 až 1990) byl nárůst spotřeby plynu v druhé půlce otopného období vždy vyšší.

Když porovnáme křivku spotřeby s průběhem průměrných měsíčních venkovních teplot v obr. 4, vidíme soulad nejvyšší spotřeby s nejnižšími teplotami kolem 110. dne provozu – na přelomu roku (největší strmost křivek spotřeby plynu v inflexním bodě).

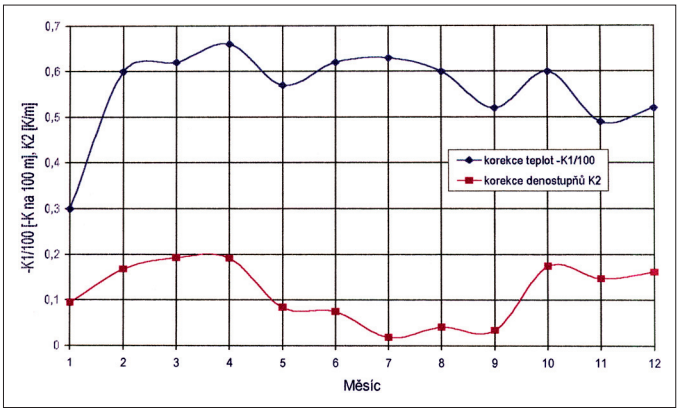
ZHODNOCENÍ OTOPNÝCH OBDOBÍ VZHLEDEM K METEOROLOGICKÝM PODMÍNKÁM – TAB. 1

Otopná období 1999 / 2000 i 2000 / 2001 byla teplejší než je dlouhodobý průměr. Pouze v říjnu a v lednu byly průměrné měsíční venkovní teploty nižší než „normál“ – dlouhodobý průměr. Průměrná teplota v otopném období říjen – květen 00/01 byla 5,6 °C oproti dlouhodobému průměru 4,1 °C. Budova je 283 m n. m., údaje byly získány přepočtem z hodnot, zjištěných meteorologickou stanicí v Praze – Ruzyni (podle [2]), která je ve výšce 364 m n. m. V tab. 1 a v grafu obr. 4 jsou opraveny modře vyznačené údaje pro leden až duben 2000 (chybně uvedené v [1]), podle osobního sdělení dr. Němce, ředitele městské pobočky Českého hydrometeorologického institutu v Praze [2].

V tab. 1 uvedené (meteorologické) denostupně dávají možnost porovnat otopná období mezi sebou. Obě období byla téměř shodná počtem denostupňů, $(DK)_{m19}$ = 3319 resp. 3171 d. K se liší jen o 4,7 %. Vzhledem k možnosti tlumeného provozu na 16 °C, které bylo využíváno v každém roce po rozdílnou dobu v týdnu, není možné vyvodit z jednoduchých výpočtů přesné kvantitativní závěry. Stejný závěr je možné udělat o přesnosti porovnání s klimatickými denostupni, danými dlouhodobým normálem. Příznivý vliv tlumeného provozu je možné vysledovat jen v tendenci spotřeby tepla, která by měla být vůči trvalému provozu na 19 °C vždy menší. Do výpočtů nejsou také zahrnuty denostupně za září a květen, které však dosahují jen asi 2 % celkových hodnot.

K vyhodnocení byla použita data meteorologické stanice v Ruzyni, která leží nejblíže sledované budově. Příznivé je také, že leží ve směru odkud vane převážně vítr. Použití údajů z Prahy – Karlova (262 m n. m.) není vhodné, neboť jsou ovlivněny účinkem „tepelného ostrova“ města, ve kterém je průměrná teplota asi o 1 K nad hodnotami odpovídajícími geografické poloze Prahy. Ještě větší nepřesností by byly postiženy výpočty s použitím údajů z Klementina (181 m n. m.).

Průběhy výškových gradientů průměrné měsíční teploty a denostupňů v ČR jsou zobrazeny v obr. 5. Použití gradientů je vyjádřeno algoritmy přepočtu, uvedenými v tab. 1. Jejich hodnoty se mění jen nepatrně se zeměpisnou šířkou a délkou míst v ČR. Jsou použitelné k přepočtu hodnot zjištěných v aktuálním roce i hodnot dlouhodobých průměrů.



Obr. 5 Výškové gradienty průměrných měsíčních teplot a denostupňů v ČR – podle [2]

ZHODNOCENÍ PROVOZU A MOŽNÉ DALŠÍ ÚPRAVY

Úsilí o co nejnižší spotřebu plynu přináší ***snížení provozních nákladů*** na vytápění objektu, které jsou největší výdajovou položkou v roční bilanci tělocvičné jednoty. Přispívá také k ***ozdravění prostředí*** v obytné oblasti Hanspaulky, neboť menší spotřeba plynu snižuje emise škodlivin. Spotřebu plynu příznivě ovlivňuje také možnost časově programovatelného řízení doby plného a tlumeného provozu vytápění a časově nastavitelné doby přípravy TUV podle plánu vytížení tělocvičny.

Prostorový termostat v bytě umožňuje ***komfortní přizpůsobení teplot*** bytu nezávisle na provozu tělocvičny. Termostat v tělocvičně umožňuje korekce teploty, standardně nastavené na 19 °C. Útlumová teplota byla 16 °C.

Použité regulátory mají nastavitelné hodnoty tzv. ***uvolňovacích integrálů*** [3], kterými lze ovlivňovat dynamiku obvodů řízených dvoupolohovými regulátory. Regulovanou veličinou je teplota vody na výstupu kotle t_k. Její hodnota je závislá na venkovní teplotě t_e, podle otopných křivek topných okruhů, s potřebným převýšením teploty pro spolehlivou činnost směšovacích ventilů, a je udržována v mezích *spínací diference* X_d. Vlivem setrvačnosti, způsobené akumulací tepla, překračuje teplota kotlové vody meze X_d na obě strany a kmitá s *maximálním rozkmitem* $X_{max} > X_d$. Přebytek výkonu kotle nad potřebou tepla v soustavě vede k častému spínání hořáků. K omezení četnosti spínání, k němuž by docházelo při nahodilém krátkodobém překračování rozmezí teploty, vymezeném spínací diferencí regulátoru, jsou vřazeny do pokynů pro změnu stavu chodu hořáků (zapnout při podkročení X_d – vypnout při překročení X_d) integrální funkce ***uvolňující zapnutí*** dalšího výkonového stupně při nedostatku tepla

$$I_Z = \int_0^{\tau} \left[\left(t_{kw} - \frac{X_d}{2} \right) - t_k \right] d\tau \geq 200 \text{ K.min}$$

pro druhý kotel a ≥ 50 K. min pro 2° hořáku a ***uvolňující vypnutí*** taktujícího výkonového stupně při přebytku tepla nad potřebou

$$I_v = \int_0^{\tau} \left[t_k - \left(t_{kw} + \frac{X_d}{2} \right) \right] d\tau \geq 50 \text{ K.min}$$

pro druhý kotel a ≥ 10 K. min pro 2° hořáku.

Tyto funkce jsou podstatně zdokonalenými funkcemi, které dříve vykonávala časová relé. Teplota t_k je teplota kotlové vody, měnící se v čase τ a t_{kw} její žádaná hodnota podle aktuálního požadavku topných okruhů. Daná kotelna pracovala s hodnotami I_z = 200 a I_v = 50 K. min pro spínání druhého kotle a s hodnotami 50 a 10 K. min pro spínání hořáku 2°. Rozdílné hodnoty odpovídají strmějšímu časovému průběhu ohřevu kotlové vody vzhledem k pozvolnějšímu průběhu při chladnutí. V integrovaných funkcích jsou zohledněny jak velikost odchylky teploty od žádané hodnoty tak také doba trvání odchylky. Při větší odchylce teploty jsou funkce dvoupolohového regulátoru uvolněny dříve než při menší odchylce.

Jejich optimální nastavení může mít příznivý vliv na chod použitých dvoustupňových kotlů, zapojených v kaskádě. O jejich přizpůsobení vytápěné budově se zatím neuvažovalo, i když s rostoucími cenami plynu se jejich úpravy mohou stát zajímavými. Úpravám by měla předcházet analýza provozu, získaná déledobějším sledováním provozu, které použité regulátory umožňují po připojení k počítači. Sběrem dat a jejich vyhodnocením by se získaly podklady pro podložené zásahy do uvedených funkcí.

Otopné období 1999 - 2000						364		OPRAVENÉ HODNOTY
	1999			2000				Σ / průměr
Praha Ruzyně, NV = 364 m n.m.	říjen	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	10/99 až 5/00
Počet denostupňů (D.K) 13	144	340	380	436	287	275	99	18	1979
Průměrná měsíční teplota T	8,4	2,1	0,7	-1,1	3,1	4,1	11	14,4	5,34
Odchylka od normálu DT.1961-90	0,2	-0,8	1,3	1,4	4	1,2	3,4	2,9	1,7
Průměrná teplota 1961-90 TN	8,2	2,9	-0,6	-2,5	-0,9	2,9	7,6	11,5	3,64
Přepočet pro Prahu Dejvice, Na Hanspaulce, NVm = 283 m n.m.						283			
Počet denostupňů (D.K)m13	130	328	367	428	273	259	83	11	1881
Průměrná měsíční teplota Tm	8,9	2,5	1,1	-0,9	3,6	4,6	11,5	14,9	5,78
Průměrná teplota 1961-90 TNm	8,7	3,3	-0,2	-2,3	-0,4	3,4	8,1	12,0	4,08

Otopné období 2000 - 2001						364			
	2000			2001					Σ / průměr
Praha Ruzyně, NV = 364 m n.m.	říjen	listopad	prosinec	leden	únor	březen	duben	květen	10/00 až 5/01
Počet denostupňů (D.K)13	83	235	377	451	340	286	180	18	1970
Průměrná měsíční teplota T	10,6	5,2	0,8	-1,6	0,9	3,8	7,2	14,4	5,16
Odchylka od normálu DT.1961-90	2,4	2,3	1,4	0,9	1,8	0,9	-0,4	2,9	1,5
Průměrná teplota 1961 až 90 TN	8,2	2,9	-0,6	-2,5	-0,9	2,9	7,6	11,5	3,64
Přepočet pro Prahu Dejvice, Na Hanspaulce, NVm = 283 m n.m.						283			
Počet denostupňů (D.K)m13	69	223	364	443	326	270	164	11	1872
Průměrná měsíční teplota Tm	11,1	5,6	1,2	-1,4	1,4	4,3	7,7	14,9	5,60
Průměrná teplota 1961 až 90 TNm	8,7	3,3	-0,2	-2,3	-0,4	3,4	8,1	12,0	4,08

Počet (D.K)m19 1999/2000	319	515	552	614	448	445	425		3319
Počet (D.K)m19 2000/2001	285	404	549	629	495	457	352		3171

Gradienty teplot a denostupňů

korekce teplot K1	-0,006	-0,0049	-0,0052	-0,003	-0,006	-0,0062	-0,007	-0,006
korekce denostupňů K2	0,1742	0,1473	0,1613	0,0941	0,1677	0,1925	0,1917	0,0839

ALGORITMY PŘEPOČTU

DT = T - TN
TN = T - DT
(DK)m = DK + (NVm - NV)* K2
Tm = T + (NVm - NV)* K1
TNm = TN + (NVm - NV)* K1
(DK)19 = (DK)13* (19 - T) / (13 - T)

Tab. 1 Zhodnocení otopných období vzhledem k meteorologickým podmínkám.

Literatura:

[1] HEMZAL, K., MAREŠ, J.: Zkušenosti z plynofikace kotelny. VVI 1/2001

[2] NĚMEC, L.: Průměrné měsíční teploty vzduchu a denostupně v r. 1999, 2000 a 2001– osobní sdělení

[3] HEMZAL, K.: Poznatky z provozu kotlů s dvoustupňovými hořáky. 16. konference o vytápění, Praha, STP 2001. ■