

Ing. Pavel KVASNIČKA ^{1),2)}
doc. Ing. Michal KABRHEL, Ph.D. ¹⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta stavební,
Katedra technických zařízení
budov

²⁾ Bosch Termotechnika s.r.o

Recenzenti:

Ing. Zdeněk Lyčka

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.

Hodnocení energetického chování kondenzačních plynových kotlů

Energy Performance Assessing of Condensing Gas Boilers

Článek pojednává o základních způsobech hodnocení energetického chování plynových kondenzačních kotlů. Seznamuje s metodami a způsoby, které vycházejí z příslušných norem a předpisů. Tyto metody se provádějí v laboratorních podmínkách akreditovaných zkušeben, dosahují různé přesnosti a jsou použitelné pro vývojem danou technickou úroveň plynových kotlů. V článku je popsána nová metodika určení sezónní energetické účinnosti vytápění, která vychází z EN 15 502-1:2012+A1:2015 (tato norma byla v současnosti přeložena a přežata jako ČSN EN15502-1+A1:2017) a je základem pro hodnocení dle směrnic ERP a tzv. štítkování plynových kondenzačních kotlů. Článek prezentuje univerzální hodnotící metodiku, díky které je možné informativně vyhodnotit rozdíly energetického chování kondenzačního kotle v příslušné otopné soustavě, které předchozí metodiky nedokázaly rozlišit. Lze tak vyhodnocovat různé vlivy, porovnávat případné návrhy a optimalizovat vhodnou volbu již ve fázi projektu. Tato metodika pak může být vhodným doplněním k ostatním způsobům hodnocení.

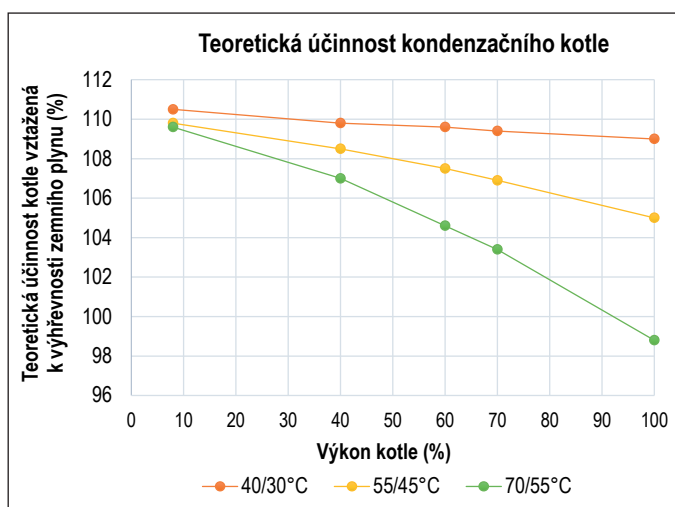
Klíčová slova: kotel, plyn, kondenzace, účinnost, stupeň využití, rosný bod, ekodesign

The article discusses basic methods to assess the energy performance of condensing gas boilers. It introduces methods and ways that are based on relevant standards and regulations. These methods are carried out in laboratory conditions of accredited testing facilities, they achieve different precision and they are useful for development of given technical level of gas boilers. The article describes a new methodology for determining the seasonal energy efficiency of heating, which proceeds from EN 15 502-1:2012+A1:2015 (this standard has been translated and transposed as ČSN EN15502-1+A1:2017) and is the basis for assessment according to the ERP guidelines and so called labeling of gas condensing boilers. The paper presents a universal assessment methodology that makes it possible to informatively assess differences in energy performance of condensing boiler in the heating system, which the previous methodologies failed to distinguish. Thus the different factors can be assessed, eventual proposals can be compared and appropriate solution can be optimized already in the design stage of the project. Therefore, this methodology can be a suitable complement to the other assessing methods.

Keywords: boiler, gas, condensation, efficiency, degree of utilization, dew point, ecodesign

ÚVOD

Pro hodnocení energetického chování kondenzačních plynových kotlů bylo vytvořeno několik parametrů, které byly určovány různými metodami. Se zdokonalováním plynových spotřebičů a vyššími požadavky na přesnost a použití se tyto metodiky postupně měnily. Článek prezentuje nejčastěji používané parametry a metody hodnocení.



Obr. 1 Teoretické hodnoty účinnosti kondenzačních kotlů při různých teplotách výstupní a vratné vody [4], [9]

Fig. 1 Theoretical values of condensing boilers' efficiency for different temperatures of outflow and return water [4], [9]

ZPŮSOBY HODNOCENÍ KONDENZAČNÍCH PLYNOVÝCH KOTLŮ

Účinnost plynového kotle

Účinnost η_k [%] plynového kotle byla vždy brána jako jeden z nejdůležitějších parametrů kotle, který vypovídá o jeho technické úrovni a hospodárnosti provozu.

Účinnost se dodnes určuje dvěma základními způsoby – přímou a nepřímou metodou [7], [9].

Přímá metoda spočívá ve výpočtu – v podílu výkonu plynového kotle Q_v (který ohřívá cirkulující otopnou vodu v otopné soustavě o příslušný teplotní rozdíl) ku příkonu plynového spotřebiče Q_p (který je dán spotřebou zemního plynu o určité výhřevnosti).

$$\eta_k = \frac{Q_v}{Q_p} = \frac{M_h c_v (t_1 - t_2)}{V_{ph} H_i} 100 \quad (1)$$

kde je:

- M_h průtočné množství vody kotlem za čas [kg/s],
- c_v měrná tepelná kapacita vratné otopné vody [kJ/kg.K],
- t_1 výstupní teplota otopné vody z kotle [°C],
- t_2 teplota vratné otopné vody [°C],
- V_{ph} spotřeba zemního plynu [m³/s],
- H_i výhřevnost zemního plynu [kJ/m³],
($H_i = 35\,870$ kJ/m³ při 0 °C a 101 325 Pa).

Nepřímá metoda určení účinnosti vychází z tepelných ztrát kotle. Princip je založen na teorii, kde účinnost ideálního zařízení je 100 % a pro

hodnocení reálného zařízení je pak těchto 100 % sníženo o dílčí tepelné ztráty. Nepřímá metoda je výhodná tam, kde se hledají potenciální úspory při provozu zdroje tepla, protože stanovuje hodnoty jednotlivých tepelných ztrát kotle. Vyhláška č.194/2013 Sb. [7], podle které je zpracovaná metodika kontroly kotlů a rozvodů tepelné energie, odkazuje v tomto smyslu na postup dle ČSN 07 0305 – Hodnocení kotlových ztrát. Rozhodujícími tepelnými ztrátami u kondenzačních kotlů jsou ztráty citelným teplem spalin a ztráty odevzdáním tepla do okolí. Tepelné ztráty odevzdáním tepla do okolí souvisí se sdílením tepla z povrchu kotle a u malých zdrojů tepla (např. nástěnných kotlů), které jsou obvykle součástí vytápěného prostoru, lze sdílení tepla z povrchu kotle zanedbat. Pokud tedy ostatní tepelné ztráty pro tyto případy zanedbáme, lze vzorec s ohledem na nejvýznamnější tepelnou ztrátu citelným teplem spalin pro nepřímou metodu určení účinnosti zapsat v následujícím zjednodušeném tvaru (2) dle [7].

$$\eta_k = 100 - \sum Z_i = 100 - \frac{V_{spal} c_{ssp} (t_{spal} - t_{vz})}{H_i} 100 \quad (2)$$

kde je:

- Z_i poměrné ztráty kotle [%],
- V_{spal} objem spalin [m^3/m^3],
- c_{ssp} střední měrná tepelná kapacita spalin [$kJ/m^3 \cdot K$],
- t_{spal} teplota spalin na výstupu z kotle [$^{\circ}C$],
- t_{vz} teplota spalovacího vzduchu na vstupu do kotle [$^{\circ}C$].

Na základě této metody fungují analyzátoři spalin běžně používané v praxi, které v podstatě po změření několika málo parametrů dokáží vyhodnotit i účinnost kotle. Norma ČSN 07 0305 uvádí zjednodušený výpočet dle Siegerta, který vychází z koncentrace CO_2 ve spalinách. Pak můžeme účinnost vyjádřit vztahem (3) dle [7], [12]:

$$\eta_k = 100 - K_1 \frac{(t_{spal} - t_{vz})}{CO_2} \quad (3)$$

kde je:

- K_1 konstanta pro použité palivo [-], (pro zemní plyn $K_1 = 0,48$ dle ČSN 07 03 05) [7],
- CO_2 obsah CO_2 ve spalinách kotle [%].

Z fyzikálního hlediska by se účinnost kondenzačního plynového kotle měla vztahovat ke spalnému teplu zemního plynu, ale obvyklou praxí je vztah k výhřevnosti zemního plynu. Hodnocení podle účinnosti dává pak obrázek jen o momentálním stavu při daných podmínkách a pevném výstupním výkonu. Nepostihne nikterak měnící se parametry a flexibilitu moderních kondenzačních kotlů. Navíc u kondenzačních kotlů byly obvykle v katalogích výrobců kotlů uváděny tzv. normované stupně využití, které byly měřeny v ideálních laboratorních podmínkách.

Roční stupeň využití

Roční stupeň využití kotle byl definován normou VDI 2067 [8], [13]. Je závislý na účinnosti kotle při jmenovitém výkonu, podílu roční doby provozu kotle k roční době plného vytížení kotle. Byl vhodný především u otopných soustav s konstantní provozní teplotou a kotlem s jednostupňovým hořákem bez plynulé regulace, kde byl určen především pohotovostní ztrátou kotle, komínovou ztrátou a ztrátou kotle do okolí. Roční stupeň využití kotle neumí zohlednit měnící se výkon kondenzačních kotlů, dynamicky se měnící výstupní teploty [8] a vyvíjející se flexibilitu a přizpůsobitelnost kondenzačních kotlů dané otopné soustavě.

Normovaný stupeň využití

Normovaný stupeň využití (η_N ; dále NSV) byl zaveden normou DIN 4702 [8], [14] pro nízkoteplotní a kondenzační kotle. Tento parametr je již

schopen zhodnotit celoroční nebo sezónní provoz kotlů s plynule se měnícím výkonem, s dynamicky se měnícími parametry (teplota výstupní otopné vody, teplota spalin a další). Hodnotí kotle jak v režimu vytápění, tak i v režimu přípravy teplé vody (dále TV), nebo při současném zajišťování vytápění i přípravy TV.

NSV se zjišťuje v podmínkách akreditovaných zkušeben, určuje se z 5 naměřených stupňů využití při dílčích zátěžích testovaného kotle. Dílčí zátěž je specifikovaná dle tab. 1 z výše uvedené normy DIN 4702. Je definovaná tzv. relativním výkonem kotle a stanovenou teplotou výstupní a vratné otopné vody. Měření probíhá při simulaci teplotního rozdílu 75/60 $^{\circ}C$ a 40/30 $^{\circ}C$. Pro kondenzační kotle se měří pouze při teplotním rozdílu 40/30 $^{\circ}C$.

Tab. 1 Tabulka z normy DIN 4702, část 8 – definice dílčích zátěží [8], [14]

Tab. 1 Table from the standard DIN 4702, part 8 – definition of partial loads [8], [14]

Relativní výkon kotle **) φ_K	Teplotní rozdíl			
	75/60 $^{\circ}C$		40/30 $^{\circ}C$	
	t_v [$^{\circ}C$]	t_r [$^{\circ}C$]	t_v [$^{\circ}C$]	t_r [$^{\circ}C$]
0,13	27	25	23	21
0,3	37	32	26	23
0,39	42	36	28	24
0,48	46	39	30	25
0,63	55	45	33	26

**) Pro standardní emisní faktor

Normovaný stupeň využití η_N je pak dán vztahem (4) dle [8], [14]:

$$\eta_N = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{\varphi_i}}} = \frac{\sum_{i=1}^5 Q_K \varphi_i D_i}{\sum_{i=1}^5 \frac{Q_K \varphi_i D_i}{\eta_{\varphi_i}}} \quad (4)$$

kde je:

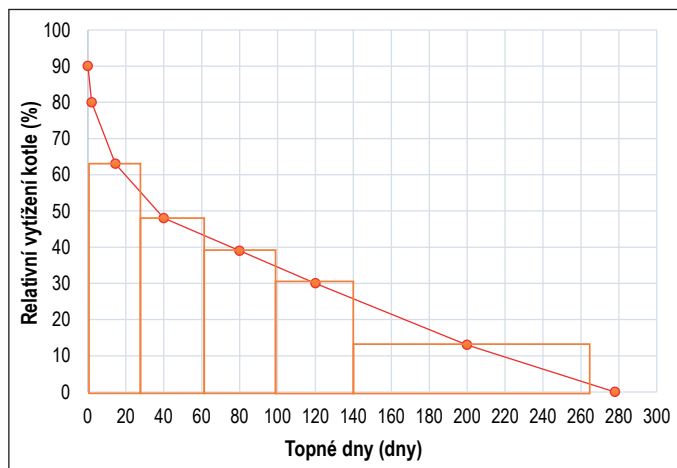
- Q_K jmenovitý výkon kotle [kW],
- φ_i relativní výkon kotle ve výkonové periodě i [-],
- D_i počet otopných dnů ve výkonové periodě i [den],
- η_{φ_i} stupeň využití při dílčím zatížení pro danou výkonovou periodu i [%].

Hodnoty relativního výkonu vychází ze sezónního odběrového diagramu tepla a jsou vybrány tak, aby rozdělily celkovou plochu pod odběrovou

Tab. 2 Příklad určení normovaného stupně využití pro kondenzační kotle v provozu s teplotním rozdílem 40/30 $^{\circ}C$ [8], [14]

Tab. 2 Example of determination of the standard utilization efficiency for condensing boiler operated with a temperature difference of 40/30 $^{\circ}C$ [8], [14]

Vytížení kotle [%]	Teplota teplotnosné látky t_1 / t_2 [$^{\circ}C$]	Stupeň využití při dílčím zatížení [%]
13	23/21	109,5
30	26/23	108,4
39	28/34	107,2
48	30/25	105,7
63	33/26	103
Výsledný normovaný stupeň využití η_N [%]		106,76



Obr. 2 Sezónní odběrový diagram – určení relativních výkonů pro dílčí zatížení [8], [14]

Fig. 2 Seasonal consumption chart – determination of the relative power for partial loads [8], [14]

křivkou na 5 různých obdélníků se shodnou plochou. Protože je plocha pod odběrovou křivkou ekvivalentní k celkovému dodanému množství tepla příslušným zdrojem za otopnou sezónu, tak pro každý relativní výkon vyjádřený v % případně shodný podíl sezónního dodaného tepla. Celkové množství tepla za otopné období je takto rozděleno na 5 shodných částí s různým výkonem, dodávaným po různý počet dnů. Tím se dosáhne, že ve výsledku jde o různé podmínky provozu, ale se stejným množstvím tepla.

NSV se používá např. při stanovení návratnosti vložené investice při navrhování rekonstrukce plynové kotelny, kde se nahrazují staré konvenční kotle novými kondenzačními.

Sezónní energetická účinnost vytápění

Vývojem předpisů (nařízení Komise (EU) č. 813/2013, zavedením předpisů Ekodesign a ERP [6], [10]) se změnil i způsob určování hodnotícího parametru plynových a tím i kondenzačních kotlů. Byla zavedena tzv. *sezónní energetická účinnost vytápění* η_s zjistitelná pro plynové kotle dle části normy EN 15 502-1:2012+A1:2015 [1]. Dle této normy a legislativy musí mít kondenzační kotle $\eta_s \geq 86$ %. Postup určení sezónní energetické účinnosti je dále v textu popsán pouze pro štítkované kotle (dle platné legislativy a ERP předpisů) se jmenovitým výkonem do 70 kW.

Nejdříve se měří tzv. *užitečná účinnost* při jmenovitém výkonu a při částečném zatížení (30 % jmenovitého výkonu). Měří se přímou nebo nepřímou metodou. Norma rozděluje kotle na kondenzační, nízkoteplotní a ostatní. Pro kondenzační kotle je možný pouze provozní režim č. 1, dle kterého je udržovaný konstantní průtok otopné vody, teplota vratné vody $t_2 = 30 \pm 0,5$ °C. Výstupní teplota otopné vody t_1 z kotle je udržována tak, aby teplotní rozdíl ($t_1 - t_2$) byl 20 ± 1 K. Jedno měření trvá cca 10 minut. Měření účinnosti mohou proběhnout pouze ve třech po sobě jdoucích cyklech. Pokud se výsledky (alespoň dvou z nich) neliší více než o 0,5 %, pak jsou z těchto měření stanoveny průměry. Pokud se ale výsledky odlišují více, než je předepsáno, provádí se měření alespoň v deseti po sobě jdoucích cyklech a z nich jsou hodnoty zpřůměrovány.

Měří se hmotnost ohřáté vody, která musí mít předepsané teploty, současně se měří průtok spotřebovaného plynu. Do výpočtu pak ale vstupuje tzv. správná hmotnost m , která se z původní naměřené hmotnosti koriguje s ohledem na vypařování. Množství tepla, které testovaný kotel předá vodě nahromaděné ve vážené nádobě, je pak úměrné správné hmotnosti m a teplotnímu rozdílu ($t_1 - t_2$) dle [1].

$$\eta_u = \frac{4,186 \cdot m(t_1 - t_2) + D_p}{10^3 V_{i(10)} H_i} 100 \quad (5)$$

kde je:

- η_u užitečná účinnost, která se pak odlišuje pro plné a částečné zatížení (η_{100} a η_{30}) [%],
- m správné množství vody korigované k vypařování [kg],
- H_i výhřevnost použitého plynu při 15 °C a 101 325 Pa, je uváděná pro suchý plyn [MJ/m³],
- $V_{i(10)}$ spotřeba plynu naměřená v průběhu zkoušky a opravená na 15 °C a 101 325 Pa [m³],
- D_p tepelná ztráta ze zkušebního zařízení [kJ] (odpovídá průměrné teplotě průtokové vody a tepelným ztrátám z oběhového čerpadla).

Tato účinnost je určena pro jmenovitý výkon a pro částečné zatížení (30 % jmenovitého výkonu) a pak dále přepočítána z výhřevnosti na spalné teplo [1].

Užitečná účinnost při jmenovitém výkonu:

$$\eta_4 = \eta_{100} \frac{H_i}{H_s} \quad (6)$$

kde je:

- η_{100} užitečná účinnost při jmenovitém příkonu Q_n nebo pro aritmetický průměr jmenovitého rozsahu kotle minimálního a maximálního příkonu,
- $\frac{H_i}{H_s}$ poměr výhřevnosti ku spalnému teplu pro odpovídající typ plynu.

Užitečná účinnost při částečné zátěži – při 30 % tepelného výkonu.

$$\eta_1 = \eta_{30} \frac{H_i}{H_s} \quad (7)$$

kde je:

- η_{100} užitná účinnost při 30 % jmenovitého výkonu Q_n nebo pro 30 % aritmetického průměru jmenovitého rozsahu kotle minimálního a maximálního příkonu.

Sezónní energetická účinnost vytápění η_s je pak vypočítána podle následujícího vztahu (8) dle [1]:

$$\eta_s = \eta_{son} - \sum F(i) \quad (8)$$

kde je:

- $F(i)$ jsou korekce zohledňující neodečet kontrolních teplot, pomocnou spotřebu energie, pohotovostní tepelné ztráty a spotřebu napětí při zapálení hořáku,
- η_{son} sezónní energetická účinnost během provozu, která se určí ze vztahu (9) dle [1]:

$$\eta_{son} = 0,85\eta_1 + 0,15\eta_4 \quad (9)$$

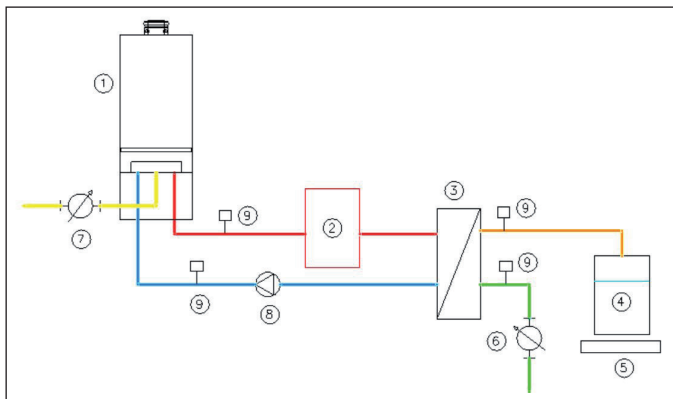
Následně je pak dle naměřené a vypočítané sezónní energetické účinnosti vytápění přiřazena testovanému kotli příslušná třída – viz tab. 3.

Norma a způsob hodnocení se používá jak pro samostatné kotle na vytápění, tak i pro kotle, které zajišťují i přípravu TV.

Tab. 3 Energetické třídy sezónní energetické účinnosti vytápění pro kotle [1]

Tab. 3 Energy classes of seasonal heating energy efficiency for boilers [1]

Třída sezónní energetické účinnosti vytápění	Sezónní energetická účinnost vytápění η_s [%]
A+++	$\eta_s \geq 150$
A++	$125 \leq \eta_s < 50$
A+	$98 \leq \eta_s < 125$
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G	$\eta_s < 30$



Obr. 3 Zjednodušené schéma testovacího okruhu s testovaným zařízením a tepelným výměníkem [1] (podrobné schéma s kompletní legendou je uvedeno v [1]): 1 – testované zařízení s pojistným ventilem a expanzní nádobou; 2 – akumulční nádoba na otopnou vodu; 3 – tepelný výměník; 4 – nádoba na otopnou vodu; 5 – váha; 6 – průtokoměr; 7 – regulátor tlaku plynu a plynoměr; 8 – oběhové čerpadlo; 9 – teploměr

Fig. 3 Simplified diagram showing a test circuit with a tested device and a heat exchanger [1] (detailed diagram with the entire description is given in [1]): 1 – tested device with a safety valve and expansion vessel; 2 – storage tank for heating water; 3 – heat exchanger; 4 – vessel for heating water; 5 – weight scale; 6 – flowmeter; 7 – gas pressure regulator and gas meter; 8 – circulation pump; 9 – thermometer

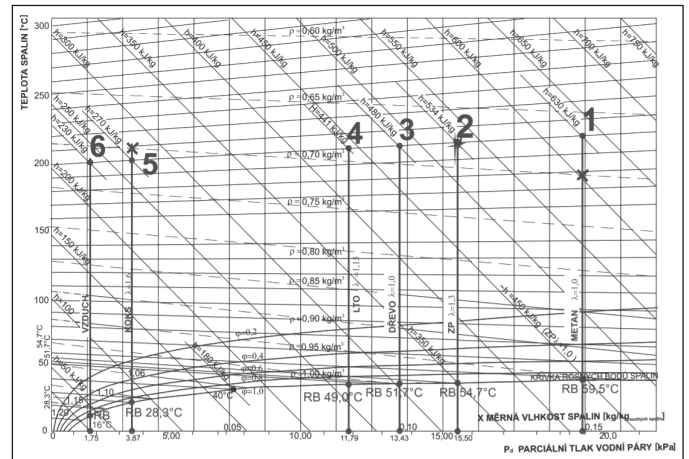
Roční spotřeba energie na vytápění pro průměrné klimatické podmínky může být vypočítána dle následujícího vztahu (10) z [1]:

$$Q_{HE} = \frac{H_{eh} P_{design}}{\eta_s} \frac{3,6}{1000} \quad [\text{GJ}] \quad (10)$$

kde je:

- H_{eh} předpokládaný roční počet hodin, kdy kotel pracuje při návrhovém výkonu (P_{design}) pro pokrytí roční potřeby na vytápění (Q_{HE}) [h], ($H_{eh} = 2066$ h),
- P_{design} jmenovitý výkon P_n násobený 800 a dělený 2066, nebo aritmetický průměr maximálního a minimálního výkonu P_a násobený 800 a dělený 2066 [kW].

Tento postup je propracovaný, ale poměrně složitý a lze ho provést pouze v akreditované zkušebně. Proto je v další části článku ukázán jiný postup pro univerzální zkoumání procesů spalování v tepelné technice, a tím



Obr. 4 Přibližný h-x diagram pro spaliny a ochlazování spalin různých paliv [2], [5]

Fig. 4 Approximate h-x diagram for flue gases and cooling of flue gas of various fuels [2], [5]

i kondenzační techniky, který je založen na fyzikálních zákonitostech, z nichž vychází h-x diagram spalin (viz obr. 4).

Univerzální metodika hodnocení kondenzačního kotle

Z h-x diagramu vlhkého vzduchu pro oblast spalin je možné stanovit entalpii – tj. energii, která je obsažená ve spalinách obsahujících vodní páru. Díky tomu můžeme samostatně s principem nepřímé metody a na základě znalosti několika dalších parametrů určit přesně okamžitou účinnost a následně také informativní sezónní stupeň využití [2], [3], [5]. Na základě toho lze dle potřeby např. v projekční činnosti porovnávat různé návrhy a optimalizovat příslušný výběr.

Určení tepelného obsahu – entalpie spalin

Tepelná energie, která je vázaná ve spalinách a kterou se kondenzační kotle snaží za vhodných podmínek maximálně využít, se skládá ze tří částí dle [2], [3], [5], [12] (vztahy jsou obdobné jako pro vlhký vzduch):

Entalpie suchých teoretických spalin:

$$h_{sts} = c_s t \quad (11)$$

Entalpie vodní páry:

$$h_{vp} = x(l + c_d t) \quad (12)$$

Entalpie přebytku vzduchu:

$$h_{pv} = a(\lambda - 1)c_v t \quad (13)$$

kde je:

- l skupenské – výparné teplo vody, $l = 2500$ [kJ/kg],
- c_d měrná tepelná kapacita vodní páry [kJ/(kg.K)],
- c_s měrná tepelná kapacita suchých spalin $c_s = 1,1$ [kJ.(kg.K)],
- c_v měrná tepelná kapacita vzduchu $c_v = 1,0$ [kJ/(kg.K)],
- t teplota spalin [°C],
- λ součinitel přebytku vzduchu [-],
- a součinitel teoretické potřeby spalovacího vzduchu [-], ($a = m_v/m_{st} = 1,073 - 1,077$) [5], [12],
- x měrná vlhkost spalin v kilogramech na kilogram suchých spalin [kg/kg_s].

Určení měrné vlhkosti spalin

Měrná vlhkost spalin nad teplotou kondenzace – do teploty rosného bodu (dále RB) je konstantní a určuje se ze složení spalin jako poměr m_{vp}/m_{st} ($x = \text{cca } 0,133 \text{ [kg}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ s. s.]}$) [5], kde m_{vp} je hmotnost vodní páry ve spalinách [kg] a m_{st} hmotnost suchých teoretických spalin při 0 °C a atmosférickém tlaku [kg].

Měrná vlhkost spalin v oblasti kondenzace – pod teplotou RB neboli na mezi sytosti se stanoví z následujícího vztahu (14) dle [5], [12]:

$$x'' = \frac{0,622 \cdot p_{vp}''}{(p - p_{vp}'')} [1 - a(\lambda - 1)] \quad (14)$$

kde je:

- x'' měrná vlhkost spalin [kg/kg_{s, s.}],
- p_{vp}'' parciální tlak vodní páry ve spalinách na mezi sytosti [kPa] (viz tabulka 1.2 z [2]),
- p atmosférický tlak vzduchu [kPa] (pro potřeby spalování při 0 °C a $p = 101,3 \text{ kPa}$),
- λ součinitel přebytku vzduchu [-],
- a součinitel teoretické potřeby spalovacího vzduchu [-] ($a = m_{vt}/m_{st} = 1,073 - 1,077$) [5], [12],
- m_{vt} hmotnost teoretického množství vzduchu [kg].

Výsledná entalpie je pak součtem uvedených dílčích entalpií (viz (15) ze vztahů (11), (12) a (13)), udává se v kJ.kg_{s, s.} (suchých spalin) při teplotě 0 °C a atmosférickém tlaku a musí se počítat pod teplotou rosného bodu s rozdílnou měrnou vlhkostí, viz vztah (14), dle teploty spalin [5], [12].

$$h = h_{sts} + h_{vp} + h_{pv} = c_s t + x(l + c_d t) + a(\lambda - 1)c_v t \quad (15)$$

Z teploty spalin, které odchází z kondenzačního kotle, resp. z entalpie odcházejících spalin stanovené dle vztahu (15), ze součinitele přebytku vzduchu λ a z entalpie spalin vyprodukovaných spálením používaného zemního plynu, je možné informativně určit okamžitý stupeň využití kondenzačního kotle a poté i sezónní stupeň využití [2], [5], [12]. Tyto výpočty vychází z předpokladu, že entalpie v odváděných spalinách z kotle je v podstatě hlavní tepelnou ztrátou z vyprodukovaného tepla hořákem. Dalším předpokladem je, že teplota spalin na výústění z výměníku je vyšší cca o 5 K, než je teplota výměníku ze strany vratné otopné vody. Tento předpoklad byl ověřen opakovaným měřením na řadě kondenzačních kotlů v provozu [11]. Díky této metodice lze dopředu vyhodnocovat různé vlivy na volbu kondenzační techniky v příslušných otopných soustavách (přesněji s příslušným teplotním rozdílem) a případně ovlivnit vhodnější volbu již ve fázi projektu.

Příkladem využití této metodiky může být porovnání dvou plynových kondenzačních kotlů s regulačními rozsahy 40 až 100 % a 10 až 100 %. Oba kondenzační kotle budou provozovány ve shodné otopné soustavě s teplotním spádem 60/40 °C a se shodným součinitelem přebytku vzduchu λ . Rozdíl mezi sezónním stupněm využití mezi oběma kotle, stanovený výše popsanou univerzální metodikou, činí 2,9 %. Dle aktuálního, legislativou daného hodnocení [1] dosahují oba kotle shodné třídy sezónní energetické účinnosti vytápění. Pokud se hodnotí pouze v teplotním pásmu, které je dáno rozsahem regulovatelnosti výkonů obou hodnocených kotlů, rozdíl ve stupni využití je velmi malý. Pokud se ale hodnotí ve využitelném rozsahu teplotních intervalů, projeví se vyšší efektivita u kotle s širším pásmem regulovatelnosti výkonu.

ZÁVĚR

V článku jsou představeny ve vývojové posloupnosti hlavní způsoby energetického hodnocení plynových kondenzačních kotlů. Z přehledu vy-

plývá, že máme k dispozici řadu možností, jak v současnosti energetické chování kondenzačních kotlů hodnotit.

Velmi komplexním parametrem je *normovaný stupeň využití* stanovený dle [14]. *Sezónní energetická účinnost vytápění* určená dle nové legislativy a podle [1] je sice přesná, ale velmi náročná na vyhodnocení. Jejím konečným výsledkem je přiřazení *třídy sezónní energetické účinnosti*, kde rozdíl mezi nejméně vyhovujícími třídami u kondenzačních plynových kotlů (B, A nebo případně i A+) je 8 % dosažené sezónní energetické účinnosti vytápění, což je mezi těmito třídami velmi hrubé dělení (viz tab. 3). Výsledky těchto hodnocení jsou plně závislé na úrovni testovaného kotle a na měření v akreditované zkušebně.

Univerzální metodika hodnocení energetického chování kondenzačních plynových kotlů vychází z fyzikálních zákonů a h-x diagramu pro vlhký vzduch a spaliny. Umožňuje na základě základních známých parametrů kotle a soustavy samostatně určit předběžný sezónní stupeň využití kondenzačního kotle v dané otopné soustavě i pro případy, které ostatní normativní způsoby hodnocení zmíněné v článku obvykle již nedokáží rozlišit. Tato metodika tak může pomoci provádět optimalizované návrhy a výběry například v projekční činnosti.

Kontakt na autora: pavel.kvasnicka@cz.bosch.com

Autoři děkují společnosti Bosch Termotechnika za podporu, propůjčení měřících přístrojů a dokumentace ke kondenzační technice. Dále děkují za konzultace doc. V. Jelínkovi a Ing. V. Valentovi.

Použité zdroje:

- [1] EN 15 502-1: 2012 + A1 2015 (E), která byla v současnosti přeložena a přežata jako ČSN EN 15502-1+A1:2017. Kotle na plyná paliva pro ústřední vytápění – Část 1: Obecné požadavky a zkoušky.
- [2] JELÍNEK, V. *Kondenzační technika u plynových spotřebičů*. Praha: GAS, 2010.
- [3] Přednášky: *Kotelny a komínová technika*. Aktualizováno 04.2013. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra TZB.
- [4] VALENTA, V. Kondenzační kotel pro každého. *TZB info* [online]. 1. 11. 2016. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>
- [5] JELÍNEK, V., VALENTA, V., VANKO, R. *Plynové kotelny s kondenzačními kotle*. CTI, 2000.
- [6] MATUŠKA, T., SEDLÁŘ, J., STRAKA, T. *Hodnocení tepelných čerpadel ve světle nové legislativy*. STP, 2016.
- [7] LAIN, M., VAVŘIČKA, R. *Kontrola klimatizačních systémů, kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie*. Metodické pokyny 2014. STP, 2014.
- [8] BAŠTA, J. Normovaný stupeň využití v praxi. Aktualizováno 09.2016. *TZB info* [online]. 1. 11. 2016. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/5344-normovany-stupen-vyuziti-v-praxi>
- [9] FÍK, J. Tepelné technické parametry plynových spotřebičů. Aktualizováno 05.2014. *TZB info* [online]. 1. 11. 2016. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2120-tepelne-technicke-parametry-plynovych-spotrebitcu-1-a-2>
- [10] KOPAČKOVÁ, D. Jak Ekodesign ovlivní nabídku kotlů pro ústřední vytápění? *TZB info* [online]. 17.8. 2015. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/vytapime-plynem/12934-co-se-zmeni-u-plynovych-kotlu-od-zari-2015>
- [11] KVASNIČKA, P., KABRHEL, M. Výměny plynových atmosférických kotlů za kondenzační, úspornější a ekologičtější. *TZB info* [online]. 10. 11. 2016. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/14978-vymeny-plynovych-atmosferickych-kotlu-za-kondenzacni-usporejssi-a-ekologictejsi-cast-1-a-cast-2>
- [12] DLOUHÝ, T., VALENTA, V. Zjišťování tepelné účinnosti plynových kotlů a kotelen. *TZB info* [online]. 12. 11. 2016. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4693-zjistovani-tepelne-ucinnosti-plynovych-kotlu-a-kotelen-1-dil,-2-dil-a-3-dil>
- [13] VDI 2067 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer anlagen. Verein Deutscher Ingenieure
- [14] DIN 4702, teil 8 Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors. Archiv Junkers, 1990.