

## Stanovení účinnosti kotlů

Datum: 21.4.2014 | Autor: Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, Ing. Jan Koloničný, Ph.D., doc. Dr. Ing. Tadeáš Ochodek, VŠB, TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, M. Holubčík, S. Jelušová, Ing. Lubomír Martiník | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

**Účinnost kotlů je významným technicko-ekonomickým parametrem a udává míru využití energie paliva. Cílem tohoto příspěvku je prezentovat základní přístupy ke stanovení účinnosti přímou a nepřímou metodou. V příloze článku je uveden seznam technických norem, včetně jejich platnosti, zabývajících se stanovováním účinnosti pro různé typy kotlů.**

### 1. Úvod

Kotle slouží k přeměně chemicky vázané energie paliv na tepelnou energii média, vhodného k žádoucí distribuci tepla pro vytápění, nebo pro další transformaci na jiné formy energie (pára). Pracovním médiem je ve většině případů voda.

Účinnost transformace energie je nejvýznamnějším technicko-ekonomickým parametrem uvedených zařízení, neboť udává míru využití energie paliva a je logické, že nevyužitá energie představuje ztráty, ať už ve formě tepla, nebo nespálené hořlaviny paliva – stanovení ztrát je podstatou nepřímé metody stanovení účinnosti. Obecně je definována účinnost jako poměr výkonu (využitá energie) k příkonu (přivedená energie) – stanovení tohoto typu je podstatou přímé metody stanovení účinnosti.

Postup stanovení účinnosti je podrobně stanoven v příslušných normách. Pro kotle větších výkonů je to norma ČSN 070305, ČSN EN 12952-15 a ČSN EN 12953-11. V dalším textu budou popisovány obecné postupy výpočtu účinností dle české normy ČSN 070305, která počítá účinnost nepřímou metodou relativním způsobem, tj. vše se vztahuje na jednotkovou hmotnost paliva (obvykle 1 kg). Postupy uvedených evropských norem k výpočtu účinností nepřímou metodou přistupují absolutním způsobem, tj. je počítáno s absolutním množstvím tepla přivedeného do kotle a s absolutním množstvím jednotlivých tepelných a palivových ztrát. Pro kotle malých výkonů je stěžejní norma ČSN EN 303-5. Výčet platných norem je uveden v příloze tohoto článku.

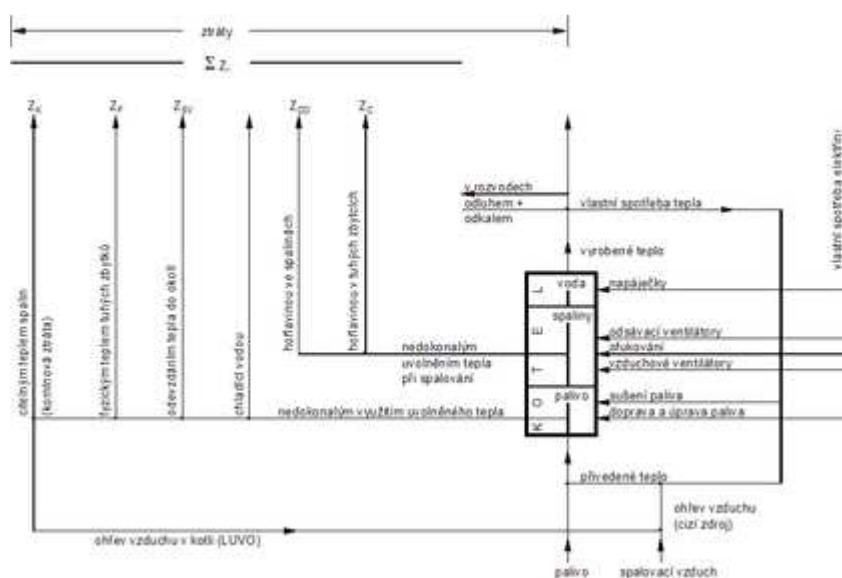
Složitost postupu stanovení účinnosti konkrétního kotle souvisí s účelem jejího stanovení. Pro garanční zkoušky kotle bude použit naprosto jiný postup než postup pro orientační stanovení účinnosti kotle v rodinném domku (viz kap. 4.4.3). Cílem tohoto příspěvku je prezentovat základní přístupy ke stanovení účinnosti přímou a nepřímou metodou.

### 2. Energetická bilance kotlů [1]

Struktura energetické bilance kotle (viz obr. č. 1) znázorňuje všechny vyskytující se ztráty včetně vlastní spotřeby tepla a elektrické energie.

Vzhledem k charakteru kotle jako energetické soustavy je základním ukazatelem hospodárnosti poměr množství vyrobeného tepla (v nosném médiu) a množství tepla přivedeného do soustavy v palivu. Uvedený poměr se nazývá účinnost kotle. Účinnost je charakterizovaná hranicemi soustavy a je ovlivněna:

- Ztrátami nedokonalým využitím uvolněného tepla.
- Ztrátami nedokonalým uvolněním tepla při



obr. č. 1 Energetická bilance kotle

spalování.

Body a) a b) definují hrubou účinnost kotle, resp. kotelny.

- c) Ztrátami páry, vody a kondenzátu.
- d) Ztrátami paliva při dopravě a přepravě.
- e) Vlastní spotřebou tepla.

Body a) až e) definují čistou tepelnou účinnost kotelny.

f) Vlastní spotřebou elektrické energie.

Body a) až f) definují čistou energetickou účinnost kotelny.

Při stanovování účinnosti kotle se vychází z tepelné bilance:

$$\dot{Q}_{in} = \dot{Q}_{out} + \sum \dot{Q}_{Z_i} \quad [\text{J/s}] \quad (1)$$

kde je

- $\dot{Q}_{in}$  – teplo, které je přivedeno do kotle palivem a vzduchem ohřátým cizím zdrojem za určitý časový úsek v J/s,
- $\dot{Q}_{out}$  – teplo odevzdané vodě nebo páře, tedy teplo vyrobené za stejný časový úsek v J/s,
- $\sum \dot{Q}_{Z_i}$  – součet tepelných ztrát za uvažovaný časový úsek v J/s.

Po úpravě vztahu (1) platí:

$$1 = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} + \frac{\sum \dot{Q}_{Z_i}}{\dot{Q}_{in}} \quad [-] \quad (2)$$

$$100 = \eta + \sum Z_i, \quad \text{resp. } \eta = 100 - \sum Z_i \quad [\%] \quad (3)$$

kde je

- $\eta$  – účinnost kotle  $\eta = (\dot{Q}_{out} / \dot{Q}_{in}) \cdot 100$  v %,
- $Z_i$  – poměrná ztráta  $Z_i = (\dot{Q}_{Z_i} / \dot{Q}_{in}) \cdot 100$  v %.

Z uvedených vztahů vychází dvě možné metody stanovení účinnosti:

- **Přímá metoda**, je založena na stanovení potřebných energetických vstupů a výstupů. Tato metoda vychází z podstaty definice účinnosti. U kotlů na tuhá paliva bývá největší problém s dostatečně přesným stanovením spotřeby paliva. Neboť jsou často na kotlích instalovány mezizásobníky paliva apod. U malých kotlů je problém zejména s určením tzv. „základní vrstvy“ hořícího paliva na počátku a na konci měření účinnosti. Díky tomuto faktu je přímá metoda velmi často zatížena značnou chybou měření a výhodnější je pro stanovení účinnosti použít nepřímou metodu měření. Při certifikaci malých teplovodních kotlů (ČSN EN 303-5) je vyžadováno stanovení účinnosti přímou metodou.
- **Nepřímá metoda**, je založena na stanovení jednotlivých ztrát. Výsledkem této metody jsou hodnoty kotlových ztrát, což představuje informaci o funkčnosti a kvalitě samotného kotle. Analýza jednotlivých

ztrát může poskytnout informaci o jejich potenciálním snížení (rezervách) a tedy o možnostech zvýšení účinnosti kotle (tuto informaci účinnost stanovená přímou metodou neposkytne).

### 3. Přímá metoda stanovení účinnosti

Základní vztah pro přímý způsob stanovení účinnosti je:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Teplu přivedené do kotle za čas  $\Delta t$  (doba trvání zkoušky) se určí dle vztahu:

$$\dot{Q}_{in} = \dot{M}_{pv} \cdot Q'_i + \dot{M}_{pv} \cdot c_{pv} \cdot (t_{pv} - t_o) + \dot{O}_{air} \cdot c_{air} \cdot (t_{air} - t_o) \quad (5)$$

[J/s]

kde je

- $\dot{M}_{pv}$  – množství přivedeného paliva za čas  $\Delta t$  v kg/s, resp. v  $\mathbf{m}^3_N/s$  (pozn.  $\mathbf{m}^3_N$  je  $m^3$  při teplotě 0 °C a tlaku 101 325 Pa),
- $Q'_i$  – výhřevnost paliva v J/kg, resp.  $J/\mathbf{m}^3_N$ ,
- $c_{pv}$  – měrná tepelná kapacita paliva v J/(kg·K), resp.  $J/(\mathbf{m}^3_N \cdot K)$ ,
- $c_{air}$  – měrná tepelná kapacita spalovacího vzduchu v  $J/(\mathbf{m}^3_N \cdot K)$ ,
- $t_{pv}$  – teplota přiváděného paliva po zahřátí cizím zdrojem v °C,
- $t_o$  – teplota okolí v °C,
- $\dot{O}_{air}$  – množství spalovacího vzduchu za čas  $\Delta t$  v  $\mathbf{m}^3_N/s$ ,
- $t_{air}$  – teplota přiváděného vzduchu ohřátého cizím zdrojem v °C.

První člen pravé strany ve vztahu (5) vyjadřuje chemicky vázané teplo v palivu, druhý fyzické teplo paliva a třetí teplo přiváděné spalovacím vzduchem. Hodnoty druhého a třetího členu jsou v porovnání s hodnotou prvního členu zanedbatelné a počítá se s nimi pouze v případě ohřevu paliva anebo vzduchu pomocí cizího zdroje (ne ve vlastním kotli).

Teplu předané vodě a páře (vyrobené teplo) za čas  $\Delta t$  se určí dle vztahu:

$$\dot{Q}_{out} = \dot{M}_p \cdot i_p - \dot{M}_n \cdot i_n + \dot{M}_o \cdot (i_o - i_n) \quad [\text{J/s}] \quad (6)$$

kde je

- $\dot{M}_p$  – množství vyrobené páry za čas  $\Delta t$  v kg/s,
- $i_p$  – entalpie vyrobené páry v J/kg,
- $\dot{M}_n$  – množství napájecí vody za čas  $\Delta t$  v kg/s,
- $i_n$  – entalpie napájecí vody v J/kg,
- $\dot{M}_o$  – množství odluhu za čas  $\Delta t$  v kg/s,
- $i_o$  – entalpie odluhu v J/kg.

Dle hmotnostní bilance platí:

$$\dot{M}_n = \dot{M}_p + \dot{M}_o \quad [\text{kg/s}] \quad (7)$$

Pro teplovodní kotle se určí teplo předané vodě dle vztahu:

$$\dot{Q}_{out} = \dot{M}_n \cdot c_n \cdot (t_{vy} - t_{vs}) \quad [\text{J/s}] \quad (8)$$

kde je

- $c_n$  – střední měrná tepelná kapacita vody v daném teplotním intervalu v J/(kg·K),
- $t_{vy}$  – výstupní teplota napájecí vody (za kotlem) ve °C,
- $t_{vs}$  – vstupní teplota napájecí vody (před kotlem) ve °C.

Přivedené a vyrobené teplo, které se vztahuje na dobu trvání zkoušky, lze vyjádřit v W, což představuje průměrnou hodnotu za dobu trvání zkoušky.

Největší problém, při požadavku na přesnost, představuje měření množství spáleného paliva  $\dot{M}_p$ .

#### 4. Nepřímá metoda stanovení účinnosti

Stanovení účinnosti nepřímou metodou vychází z úvahy, že teoretická účinnost ideálního stroje (100 %) je u reálného zařízení (kotle) snížena o jednotlivé ztráty [viz vztah (3) a obr. č. 1].

Součet ztrát  $\sum Z_i$  se vypočítá dle vztahu:

$$\sum Z_i = Z_c + Z_{CO} + Z_f + Z_k + Z_{sv} \quad [\%] \quad (9)$$

kde je

- $Z_c$  – ztráta způsobená únikem hořlaviny v tuhých zbytcích v %,
- $Z_{CO}$  – ztráta způsobená únikem hořlaviny ve spalinách v %,
- $Z_f$  – ztráta způsobená únikem tepla v tuhých zbytcích v %,
- $Z_k$  – ztráta způsobená únikem tepla ve spalinách (komínová ztráta) v %,
- $Z_{sv}$  – ztráta způsobená odevzdáním tepla do okolí, tj. ztráta tepla způsobená přestupem tepla sáláním a vedením v %.

##### 4.1. Ztráta $Z_c$ způsobená únikem hořlaviny v tuhých zbytcích

Ztráta  $Z_c$  se vyskytuje při spalování tuhých paliv. Skládá se z dílčích ztrát:

$$Z_c = Z_{Cs} + Z_{Cp} + Z_{Cu} + Z_{Cr} \quad [\%] \quad (10)$$

kde je

- $Z_{C\check{s}}$  – ztráta způsobena únikem hořlaviny ve škváře v %,  
 $Z_{Cp}$  – ztráta způsobena únikem hořlaviny v popílků v %,  
 $Z_{Cu}$  – ztráta způsobena únikem hořlaviny v úletu v %,  
 $Z_{Cr}$  – ztráta způsobena únikem hořlaviny v propadu roštu v %.

Uvedené ztráty ( $Z_{C\check{s}}$ ,  $Z_{Cp}$ ,  $Z_{Cu}$  a  $Z_{Cr}$ ) se vypočtou dle vztahu:

$$Z_{Cx} = \frac{A^r \cdot X_x \cdot C_x \cdot Q_{Cx}}{Q_i^r \cdot (1 - C_x)} \cdot 100 \quad [\%] \quad (11)$$

kde je

- $x$  – index pro jednotlivé úniky hořlaviny v tuhých zbytcích ( $\check{s}$  – škvára,  $p$  – popílek,  $u$  – úlet a  $r$  – rošt),  
 $A^r$  – obsah popele ve spalovaném palivu v kg popele/kg paliva,  
 $X_x$  – poměrná část popele zachyceného v daném úniku tuhých zbytků v kg popele z jednotlivých úniků  $x$ /kg celkového popele,  
 $C_x$  – podíl hořlaviny v uvažovaném úniku tuhých zbytků v kg hořlaviny/kg popele z tuhých zbytků  $x$ ,  
 $Q_{Cx}$  – výhřevnost hořlaviny uvažovaného druhu tuhých zbytků (obvykle 32 600 000) v J/kg,  
 $Q_i^r$  – výhřevnost spalovaného paliva v J/kg.

Vztah (11) vyjadřuje poměr tepla vázaného v hořlavině daného tuhého zbytku (vzniklého z 1 kg přivedeného paliva) k množství tepla vázaného na 1 kg přivedeného paliva obvykle vyjádřeného výhřevností.

Ztráta  $Z_C$  se při spalování kapalných a plyných paliv při správném vedení spalování nevyskytuje. Při vzniku sazí (uhlíku) [7], charakterizovaných hodnotami sazového čísla dle Bacharacha vyššími než 4, se ztráta vypočítá dle vztahu platného pro spalování kapalných paliv:

$$Z_{Cs} = \frac{32\,600 \cdot C_s \cdot O_p}{Q_i^r} \cdot 100 \quad [\%] \quad (12)$$

kde je

- $Z_{Cs}$  – ztráta způsobena únikem hořlaviny ve formě sazí v %,  
 $C_s$  – koncentrace sazí (nеспáleného uhlíku) ve spalinách v  $\text{kg/m}^3_{\text{N}}$ ,  
 $O_p$  – objem vlhkých spalin vzniklých z 1 kg paliva v  $\text{m}^3_{\text{N}}/\text{kg}$ .

#### 4.2. Ztráta $Z_{CO}$ způsobená únikem plyné hořlaviny ve spalinách

Ztráta  $Z_{CO}$  způsobená únikem plyné hořlaviny ve spalinách vyjadřuje ztrátu při uvolňování tepla v důsledku nedokonalého spalování hořlaviny paliva, což je doprovázeno výskytem hořlavých složek ve spalinách (např. CO,  $C_xH_y$ ). Nejběžnější je výskyt CO, který tvoří podstatnou část ztráty. Při určování hodnoty ztráty se počítá poměr tepelného

obsahu hořlavých složek spalin vzniklých z 1 kg resp. z 1  $\text{m}^3_{\text{N}}$  paliva k množství tepla vázaného na 1 kg resp. 1  $\text{m}^3_{\text{N}}$  paliva.

$$Z_{CO} = \frac{\sum Q_{Hi} \cdot \varpi_i \cdot O_{ps}}{Q_i^r} \cdot 100 \quad [\%] \quad (13)$$

kde je

- $\varpi_i$  – objemový podíl hořlavé složky v suchých spalinách,
- $Q_{Hi}$  – výhřevnost hořlavých složek (CO – 12 610 000, H<sub>2</sub> – 10 798 000, CH<sub>4</sub> – 35 818 000) v J/  
 $\text{m}^3_{\text{N}}$ ,
- $O_{ps}$  – množství suchých spalin vzniklých z 1 kg, resp. z 1  $\text{m}^3_{\text{N}}$  paliva v /kg resp.  $\text{m}^3_{\text{N}}/\text{m}^3_{\text{N}}$ .

#### 4.3. Ztráta $Z_f$ způsobená únikem tepla v tuhých zbytcích

Ztráta  $Z_f$  způsobená únikem tepla v tuhých zbytcích po spalování se vyskytuje jen při spalování tuhých paliv. Vypočítá se dle vztahu:

$$Z_f = Z_{fs} + Z_{fp} + Z_{fu} + Z_{fr} \quad [\%] \quad (14)$$

kde je

- $Z_{fs}$  – ztráta způsobená únikem tepla ve škváře v %,
- $Z_{fp}$  – ztráta způsobená únikem tepla v popílku v %,
- $Z_{fu}$  – ztráta způsobená únikem tepla v úletu v %,
- $Z_{fr}$  – ztráta způsobená únikem tepla v propadu roštem v %.

Uvedené ztráty se vypočítají dle vztahu:

$$Z_{fi} = c_i \cdot t_i \cdot \frac{X_i \cdot A^r}{(1 - C_i) \cdot Q_i^r} \cdot 100 \quad [\%] \quad (15)$$

kde je

- $c_i$  – střední měrná tepelná kapacita daného tuhého zbytku (popílek, úlet a propad – 840, škvára – 1 260) v J/(kg·K),
- $t_i$  – teplota daného tuhého zbytku na výstupu z kotle ve °C.

#### 4.4. Ztráta $Z_k$ způsobená únikem tepla ve spalinách (komínová ztráta)

Ztráta  $Z_k$  způsobená únikem tepla ve spalinách (komínová ztráta, ztráta citelným teplem spalin) se vyjadřuje poměrem tepla unikajícího ve spalinách k množství tepla přivedeného v 1 kg, resp. 1  $\text{m}^3_{\text{N}}$  paliva:

$$Z_k = \frac{O_p \cdot c_p \cdot (t_k - t_{at})}{Q_i^r} \cdot 100 \quad [\%] \quad (16)$$

kde je

- $O_p$  – objem vlhkých spalin vzniklých spálením 1 kg, resp. 1  $\text{m}^3$  paliva při daném přebytku spalování resp. obsahu kyslíku ve spalinách v  $\text{m}^3/\text{kg}$ , resp. v  $\text{m}^3/\text{m}^3$ ,
- $c_p$  – střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin produkovaných daným palivem mezi teplotami  $t_{vz}$  a  $t_k$  a při atmosférickém tlaku v  $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ,
- $t_k$  – teplota spalin na výstupu z kotle ve  $^{\circ}\text{C}$ ,
- $t_{air}$  – teplota vzduchu na vstupu do kotle ve  $^{\circ}\text{C}$ ,
- $Q'_i$  – výhřevnost spalovaného paliva v  $\text{J}/\text{kg}$ , resp.  $\text{J}/\text{m}^3$ .

Přesný výpočet  $O_p$  je značně složitý a vychází ze spalovacích rovnic, prvkového složení hořlaviny spalovaného paliva a přebytku spalovacího vzduchu (tedy obsahu kyslíku ve spalinách). Přesný výpočet  $c_p$  vychází ze středních měrných tepelných kapacit jednotlivých složek spalin ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , atd.) mezi teplotami  $t_{vz}$  a  $t_k$  při atmosférickém tlaku. Koncentrace jednotlivých složek spalin se stanovuje výpočtem ze spalovacích rovnic nebo přímým měřením koncentrací složek ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , atd.) ve spalinách. Závislosti měrných tepelných kapacit pro jednotlivé složky spalin na teplotě a tlaku jsou dány nomogramy, tabulkami nebo polynomickými rovnicemi. Jednotlivé normy zabývající se stanovováním účinnosti kotlů (uvedené v příloze) si s ohledem na požadovanou přesnost stanovení účinnosti postup výpočtu  $O_p$  a  $c_p$  více nebo méně zjednodušují.

**Komínová ztráta je při standardním provozu kotle rozhodující pro výslednou účinnost (je obvykle největší ze všech ztrát).** V některých případech není nutné ji stanovovat poměrně složitě dle vztahu (16) a je možné použít přibližných empirických výpočtů (viz kap. 4.4.1., 4.4.2. a 4.4.3).

#### 4.4.1. Komínová ztráta dle Siegerta – pomocí $\text{CO}_2$ [2]

Pro přibližný výpočet komínové ztráty při spalování tuhých paliv, topného oleje a zemního plynu lze použít vztah dle Siegerta. Tato zjednodušená metoda vznikla v době, kdy ještě nebyly rozšířeny analyzátoři s elektrochemickými převodníky a koncentrace  $\text{CO}_2$  se měřila chemickou metodou proplachováním emisí v hydroxidu draselném. Tento vztah užívá konstant, které vyjadřují průměrné parametry paliv daného typu a podchycují vlhkost uhelných paliv.

$$Z_k = K_1 \cdot \frac{t_k - t_{vz}}{\omega_{\text{CO}_2}} \quad [\%] \quad (17)$$

kde je

- $K_1$  – konstanta dle druhu paliva (viz tab. č. 1 a tab. č. 2),
- $t_k$  – teplota spalin na výstupu z kotle ve  $^{\circ}\text{C}$ ,
- $t_{vz}$  – teplota vzduchu na vstupu do kotle ve  $^{\circ}\text{C}$ ,
- $\omega_{\text{CO}_2}$  – obsah  $\text{CO}_2$  ve spalinách v  $\%_{\text{obj.}}$ .

tab. č. 1 Hodnoty konstanty  $K_1$  pro vztah (17)

palivo	konstanta $K_1$
koks	0,80
černé uhlí	$1,0 \cdot K_2$
hnědé uhlí	$1,1 \cdot K_2$

tab. č. 2 Hodnoty konstanty  $K_2$  pro tab. č. 1

obsah vody v palivu $W_r$ [% <sub>hm.</sub> ]	obsah $\text{CO}_2$ v suchých spalinách $w_{\text{CO}_2}$ [%]					
	6	8	10	12	14	18
0	0,652	0,658	0,666	0,68	0,68	0,69
10	0,661	0,668	0,678	0,69	0,70	0,71

kamenouhelný dehtový olej	0,66	20	0,671	0,681	0,693	0,71	0,72	0,73
topný olej	0,6	30	0,689	0,702	0,717	0,74	0,75	0,77
zemní plyn	0,48	40	0,724	0,742	0,762	0,78	0,81	0,83
		50	0,774	0,799	0,827	0,86	0,89	0,92
		60	0,847	0,885	0,925	0,97	1,00	1,05

#### 4.4.2. Komínová ztráta dle rakouských norem ÖNORM 7510 – pomocí $O_2$ [4], [5]

Zjednodušený výpočet komínové ztráty (pro kapalná a plynná paliva) se používá pro stanovení účinnosti u přenosných analyzátorů s elektrochemickými převodníky a vychází z rakouských norem ÖNORM 7510 [4], [5]. Výpočet je možné uskutečnit dle obsahu kyslíku ve spalínách pomocí vztahu:

$$Z_k = \left( \frac{A}{21 - \omega_{O_2}} + B \right) \cdot (t_k - t_{vz}) \quad [\%] \quad (18)$$

kde je

$\omega_{O_2}$  – obsah  $\omega_{O_2}$  ve spalínách v %<sub>obj.</sub>,

$t_k$  – teplota spalín na výstupu z kotle ve °C,

$t_{vz}$  – teplota vzduchu na vstupu do kotle ve °C,

$A$  a  $B$  – konstanty zohledňující druh a případně vlhkost spalovaného paliva viz tab. č. 3.

tab. č. 3 Hodnoty konstant pro vztah (18)

	vlhkost paliva [%]	A	B
Kapalná a plynná paliva dle ÖNORM M 7510-2:2012			
Extra lehký topný olej		0,6642	0,0086
Lehký topný olej		0,6655	0,0082
Biogenní olej		0,6553	0,0080
Zemní plyn		0,6440	0,0111
Propan/butan (50/50 %)		0,6335	0,0092
Pevná paliva dle ÖNORM M 7510-4:2012			
Biomasa	0	0,6572	0,0093
	10	0,6682	0,0107
	20	0,6824	0,0125
	30	0,7017	0,0149
	40	0,7290	0,0183
	50	0,7709	0,0235
Hnědé uhlí	0	0,6717	0,0073
	10	0,6809	0,0084
	20	0,6936	0,0097
	30	0,7070	0,0115
	40	0,7281	0,0140
Černé uhlí a koks	0	0,6901	0,0054
	5	0,6932	0,0057
	10	0,6967	0,0061



	15	0,7006	0,0065
	20	0,7050	0,0069
V případě, kdy není k dispozici informace o vlhkosti paliva, je možno pro pevná paliva použít tyto orientační hodnoty konstant <i>A</i> a <i>B</i> .			
Štípané dřevo	15	0,6753	0,0116
Dřevní pelety	8	0,6660	0,0104
Suchá štěpka	25	0,6921	0,0137
Vlhká štěpka	40	0,7290	0,0183
Hnědé uhlí	20	0,6936	0,0097
Černé uhlí a koks	5	0,6932	0,0057

#### 4.4.3. Komínová ztráta dle teploty spalin a obsahu kyslíku ve spalinách při spalování dřeva [5]

Hodnota komínové ztráty přímo souvisí s teplotou spalin a s jejich množstvím. Orientačně můžeme stanovit komínovou ztrátu pro malá spalovací zařízení spalující dřevo (do 50 kW) dle grafu č. 1. Pro potřebu orientačního stanovení účinnosti můžeme vycházet z úvahy, že účinnost je sto procent minus komínová ztráta. Detailnější postup je uveden v našem dalším článku [„Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze účinnost nějak zvětšit?“](#) [6].

#### 4.5. Ztráta $Z_{sv}$ způsobená odevzdáním tepla do okolí

Ztráta  $Z_{sv}$  způsobená odevzdáním tepla do okolí (sdílením tepla) souvisí s konstrukcí kotle (použitý materiál, izolace, tloušťka stěn, povrchová úprava). Přesný výpočet  $Z_{sv}$  je zdlouhavý a komplikovaný.

Velikost ztráty  $Z_{sv}$  nepředstavuje zásadní hodnotu pro vyhodnocování účinnosti zařízení a proto se v praxi (pro výkon nad 1 MW) používají nomogramy [2], nebo empirický vztah:

$$Z_{sv} = \frac{4 \cdot P_m}{\sqrt[3]{P_m \cdot P}} \quad [\%] \quad (19)$$

kde je

$P_m$  – jmenovitý výkon kotle ve W,

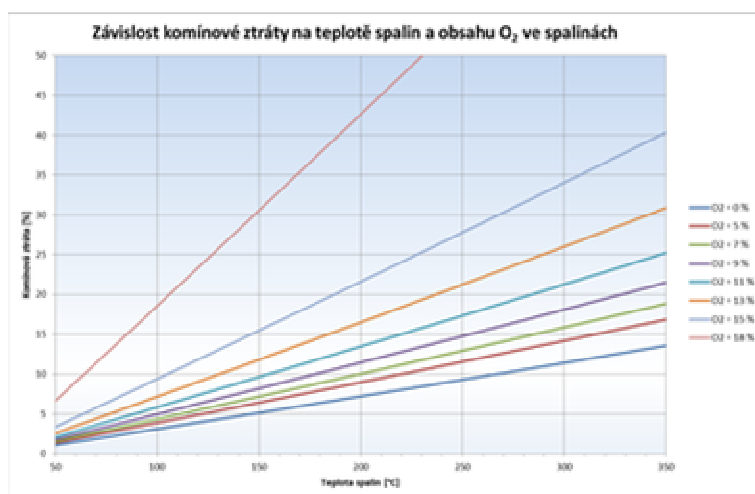
$P$  – skutečný výkon kotle ve W.

Pro kotle menších výkonů platí vztahy uvedené v jednotlivých normách (viz kap. 4.), které jsou založeny na stanovení povrchových teplot dílčích ploch kotle a součinitelích přestupu tepla [3]. Například dle vztahu:

$$Z_{sv} = \frac{\Lambda_H \cdot \sum_i S_{H_i} \cdot (t_i + t_m) + \Lambda_V \cdot \sum_i S_{V_i} \cdot (t_i - t_m)}{P_p} \cdot 100 \quad [\%] \quad (20)$$

kde je

$\Lambda_H$  – součinitel přestupu tepla z vnějšího vodorovného povrchu kotle do okolního prostředí ve



Graf č. 1 Závislost komínové ztráty na teplotě spalin a obsahu kyslíku ve spalinách

$W/(m^2 \cdot K)$  viz graf č. 2,

$S_{H_i}$  – plošný obsah dílčí části vnějšího vodorovného povrchu v  $m^2$ ,

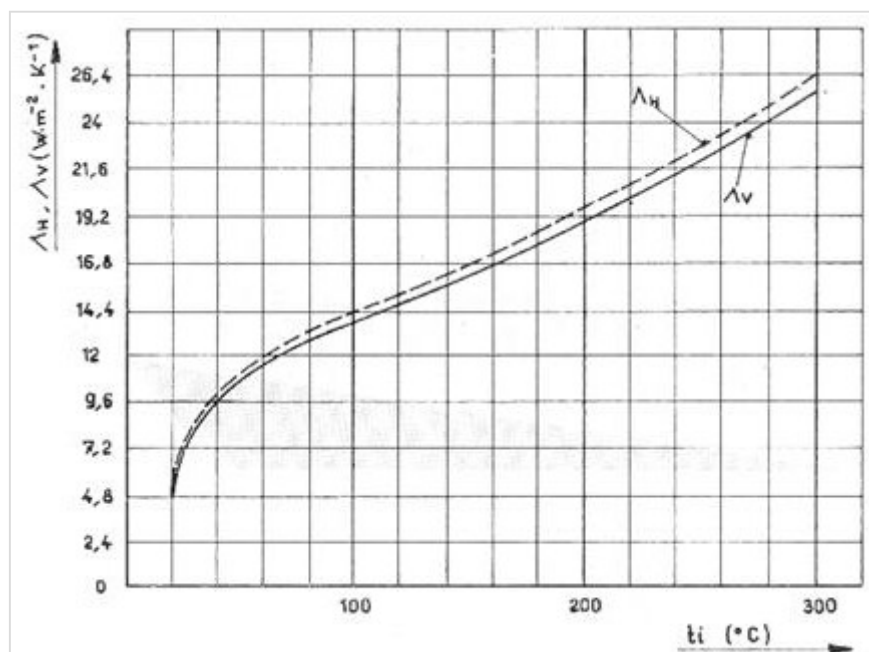
$t_i$  – průměrná teplota jednotky plošného obsahu vnějšího povrchu kotle ve  $^{\circ}C$ ,

$t_m$  – teplota prostředí (místnosti) ve  $^{\circ}C$ ,

$A_v$  – součinitel přestupu tepla z vnějšího svislého povrchu kotle do okolního prostředí ve  $W/(m^2 \cdot K)$  viz graf č. 2,

$S_{V_i}$  – plošný obsah dílčí části vnějšího svislého povrchu v  $m^2$ ,

$P_p$  – tepelný příkon kotle ve  $W$ .



Graf. č. 2 Přibližné hodnoty plošné tepelné vodivosti vnějšího povrchu kotle ( $\lambda_H, \lambda_V$ ) v závislosti na průměrné teplotě jednotky plošného obsahu povrchu kotle ( $t_i$ ) [3]

## Závěr

Energii neumíme vyrábět, ale jen přeměňovat z jedné podoby na druhou. Základním parametrem teplovodního kotle je jeho účinnost. Tento parametr definuje to, jaká část energie paliva je předána nosnému médium (např. vodě) pro vytápění. Účinnost kotlů je možné stanovovat přímou a nepřímou metodou. Přímá metoda je založena na stanovení potřebných energetických vstupů a výstupů. Nepřímá metoda je založena na stanovení jednotlivých ztrát. Hodnota kotlových ztrát poskytuje informaci o funkčnosti a kvalitě samotného kotle. Analýza jednotlivých ztrát může poskytnout informaci o jejich potenciálním snížení (rezervách), a tedy o možnostech zvýšení účinnosti kotle (tuto informaci účinnost stanovená přímou metodou neposkytne).

## Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu „Pokročilé technologie pro výrobu tepla a elektřiny“, Centra kompetence TE1020036, projektu „Příležitost pro mladé výzkumníky“, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016, podpořeného Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost a spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky a projektu „Rozvoj spolupráce mezi VEC a KET se zaměřením na odborný růst doktorandů a výzkumných pracovníků“ reg. č. 2241032004001 v rámci OP Přeshraniční spolupráce SK-CZ.

Projekt je realizován v rámci OP Slovenská republika – Česká republika, který je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj.



**PROGRAM  
CEZHRANIČNEJ  
SPOLUPRÁCE**  
SLOVENSKÁ REPUBLIKA  
ČESKÁ REPUBLIKA



**EURÓPSKA ÚNIA  
EURÓPSKY FOND  
REGIONÁLNEHO ROZVOJA**  
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

## Použitá literatura

- [1] RAJNIÁK, I. a kol. Tepelno-energetické a emisné merania. Bratislava: Svornosť, 1997, ISBN 80-88683-20-3
- [2] ČSN 07 0305 Hodnocení kotlových ztrát, 07/1984
- [3] ČSN 07 0240 Teplovodní a nízkotlaké parní kotle, Základní ustanovení, 02/1993
- [4] ÖNORMM 7510-2:2012 Überprüfung von Heizungsanlagen Teil 2: Einfache Überprüfung von Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe
- [5] ÖNORMM 7510-4:2012 Überprüfung von Heizungsanlagen Teil 4: Einfache Überprüfung von Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe
- [6] HORÁK, J., KUBESA, P., DVOŘÁK, J., HOPAN, F., KRPEC, K., JANKOVSKÁ, Z., KYSUČAN, Z. Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze účinnost nějak zvětšit?, Tzb-info [online]. 31. 12. 2013. 2013. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9434-jak-si-doma-zmerit-ucinnost-spalovaciho-zarizeni-a-lze-ucinnost-nejak-zvetsit>
- [7] JURKECHOVÁ, J., NOSEK, R., PAPUČÍK, Š., JANDAČKA, J.: The impact of controlled regulation of the boiler to performance and emission parameters, Journal of engineering and technology. Vol. 3, no. 2 (2011), s. 27–32. – ISSN 1338-2330

## Informativní příloha článku – platné normativní postupy pro stanovení účinnosti kotlů

Pokud budeme hovořit o normách, platných k počátku roku 2014, zabývajících se problematikou kotlů a stanovením jejich účinnosti, tak základní předpisy, se kterými je možno pracovat, jsou:

- ČSN 07 0302 Přejímací zkoušky parních kotlů (účinnost od 11/1996), platí pro parní kotle (popřípadě horkovodní kotle) s tepelným výkonem nad 10 MW pracující s přetlakem nad 0,07 MPa a nebo s teplotou vody nad 115 °C.
- ČSN EN 12952-15 Vodotrubné kotle a pomocná zařízení – Část 15: přejímací zkoušky (účinnost od 05/2004), platí pro parní a horkovodní kotle s přímým ohřevem, včetně jejich pomocných zařízení, kde se vyvíjí pára (pro použití vně systému) při přetlaku vyšším než je atmosférický tlak, anebo se při atmosférickém tlaku ohřívá voda (pro použití vně systému) na teplotu vyšší než je teplota syté páry.
- ČSN EN 12953-11 Válcové kotle – Část 11: Přejímací zkoušky (účinnost od 05/2004), platí pro zkoušky tepelného výkonu nepřímou metodou (zjišťováním ztrát) používané u parních nebo horkovodních kotlů. Zkušební výsledky jsou založeny buď na spalném teplu, nebo na výhřevnosti paliva.
- ČSN 07 0305 Hodnocení kotlových ztrát (účinnost od 07/1984), platí pro stanovení tepelných ztrát nově projektovaných parních a horkovodních kotlů a pro směrné hodnoty k posuzování tepelné bilance již provozovaných parních a horkovodních kotlů
- ČSN 07 0240 Teplovodní a nízkotlaké parní kotle, základní ustanovení (účinnost od 02/1993 + 9 změn, poslední 03/2002).

Norma ČSN 07 0240 platí pro konstrukci, výrobu a zkoušení kotlů:

- teplovodních do nejvyšší pracovní teploty 115 °C a
- nízkotlakých parních do nejvyššího pracovního přetlaku 70 kPa.

Norma ČSN 07 0240 neplatí pro:

- samostatná zařízení určená k přímému ohřevu pitné (užitkové) vody,
- zkoušení kotlů pro ústřední vytápění s rozprašovacími hořáky na kapalná paliva, pro které

platí ČSN EN 304 (Kotle pro ústřední vytápění. Předpisy pro zkoušení kotlů pro ústřední vytápění s rozprašovacími hořáky na kapalná paliva, účinnost od 07/1994 + 3 změny, poslední 01/2004),

- kotle pro ústřední vytápění s hořáky s ventilátorem, pro které platí ČSN EN 303-1 (Kotle pro ústřední vytápění – Část 1: Kotle pro ústřední vytápění s hořáky s ventilátorem – Terminologie, všeobecné požadavky, zkoušení a značení, účinnost od 08/1999 + 1 změna a 1 oprava, poslední 01/2004) a ČSN EN 303-2 (Kotle pro ústřední vytápění – Část 2: Kotle pro ústřední vytápění s hořáky s ventilátorem – Zvláštní požadavky na kotle s rozprašovacími hořáky na kapalná paliva, účinnost od 06/1999 + 1 změna 01/2004),
- kotle provedení B<sub>11</sub> a B<sub>11BS</sub> s atmosférickými hořáky na plynná paliva s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW, pro které platí ČSN EN 297 (Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění. Kotle provedení B<sub>11</sub> a B<sub>11BS</sub> s atmosférickými hořáky a s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW, účinnost od 07/1996 + 4 změny a 1 oprava, poslední 12/2006),
- kombinované kotle s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW provozované za účelem přípravy teplé užitkové vody pro domácnost, pro které platí ČSN EN 625 (Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Zvláštní požadavky na kombinované kotle s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW provozované za účelem přípravy teplé užitkové vody pro domácnost, účinnost od 04/1997),
- kondenzační kotle s jmenovitým příkonem nejvýše 70 kW, pro které platí ČSN EN 677 (Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Zvláštní požadavky na kondenzační kotle s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW, účinnost od 08/1999),
- **kotle na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou paliva, o jmenovitém výkonu nejvýše 500 kW, pro které platí ČSN EN 303-5 (Kotle pro ústřední vytápění – Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční a samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 500 kW – Terminologie, požadavky, zkoušení a značení, platnost od 01/2013),**
- kotle na plynná paliva provedení C s jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 70 kW, pro které platí ČSN EN 15502-2-1 (Kotle na plynná paliva pro ústřední vytápění – Část 2-1: Zvláštní norma pro kotle provedení C a kotle provedení B2, B3 a B5, se jmenovitým tepelným příkonem nejvýše 1 000 kW, účinnost od 11/2013),
- kotle na tuhá paliva s jmenovitým výkonem nejvýše 50 kW, pro které platí ČSN EN 12809 (Teplovodní kotle pro domácnost na pevná paliva – Jmenovitý tepelný výkon nejvýše 50 kW – Požadavky a zkušební metody, účinnost od 04/2002 + 4 opravy poslední z 02/2008). Kromě ohřevu teplé vody zajišťují tyto kotle také vytápění prostoru, v němž jsou umístěny.

Norma ČSN 07 0240 je koncipovaná jako kmenová a k ní je vypracovaná přidružená norma ČSN 07 0245 (Teplovodní a nízkotlaké parní kotle. Teplovodní kotle do výkonu 50 kW. Technické požadavky. Zkoušení, účinnost od 10/1993 + 7 změn, poslední 03/2002).

Pozn. Výše uvedené evropské normy pro stanovování účinnosti malých teplovodních kotlů požadují při certifikaci používat přímou metodu stanovení účinnosti. Nepřímou metodu lze využít pouze pro kontrolu správnosti měření.

#### **Edit (30.4.2014)**

Na základě přínosné připomínky pana Josefa Čecha v diskusi k tomuto článku doplňujeme do tohoto výčtu normu ČSN EN 15378 Tepelné soustavy v budovách – Inspekce kotlů a tepelných soustav (účinnost od 04/2008), která mimo jiné vyhodnocuje účinnost kondenzačních zejména plynových kotlů a věnuje se vyhodnocení dlouhodobé (sezonní) účinnosti, která zásadním způsobem ovlivňuje ekonomiku provozu kotlů např. pohotovostní ztrátou cyklováním, zapalováním, sdílením do okolí, komínovou ztrátou kotle natopeného nebo odstaveného, natápěním a chladnutím systému kotlů, které v této době nehoří a předimenzováním kotlů.

## English Synopsis

### **Determination of boilers efficiency**

The efficiency of boilers is a major technical and economical parameter and indicates the degree of fuel energy utilization. The aim of this paper is to present basic approaches to determination of the efficiency calculated by direct and indirect method. In the Annex of the article is a list of technical standards (including their validity) which deal with determination of efficiency for various types of boilers.

