

Normovaný stupeň využití v praxi



Ústav techniky prostředí

Standardized Utilisation Factor in Praxis

Recenzent
 Dr. Ing. Petr Fischer

S rostoucími náklady na vytápění hledáme i nové možnosti jak přistupovat k optimálnímu a hodnověrnému hodnocení provozu kotlů. Zatímco účinnost je hodnota získaná za přesně daných jmenovitých provozních parametrů kotle v laboratorních ideálních podmínkách, od normovaného či ročního stupně využití kotle jsme si slibovali zohlednění reálných provozních podmínek. U nás se však, na rozdíl od Německa a Rakouska, ani používání normovaného stupně využití příliš nerozšířilo. Text se tak snaží nejen znovu upozornit na jednotlivé hodnotící parametry provozu kotle ale i na jistá úskalí stanovení normovaného stupně využití včetně vlivu proměnného průtoku vody kotlem.

Klíčová slova: vytápění, kotel, účinnost, stupeň využití

New possibilities of approaching the optimal and reliable evaluation of boilers operation are investigated in connection with increasing heating expenses. While the boiler efficiency quantity is obtained at exactly defined nominal boiler parameters in ideal laboratory conditions, from the standardized and annual boiler utilisation factor we expected a reflection of the real operational conditions. However, contrary to Germany and Austria, the standardized utilisation factor has not become commonly used in our country. The aim of the text is thus to draw the attention to individual evaluative parameters of boiler operation and certain difficulties of standardized utilisation factor determination including the impact of variable water flow through the boiler.

Key words: heating, boiler, efficiency, utilisation factor

Parametr, který by se měl uplatňovat při posuzování energetického chování kotlů je stupeň využití kotle. Pro dnešní konstrukce kotlů je naprosto nevyhovující hodnotit je podle termické účinnosti, která je navíc určována v laboratoři za přesně definovaných, ideálních podmínek při jmenovitém výkonu zdroje a tak neodráží chování zdroje tepla v průběhu otopného období.

I naše nová legislativa setrvává na hodnocení zdrojů tepla přes účinnost, jak ukazuje Vyhláška č. 276/2007 Sb. [1]. Ta se zabývá kontrolou účinnosti kotlů se jmenovitým výkonem od 20 do 200 kW včetně a nad 200 kW sloužících pro vytápění budov a umístěných v těchto budovách a zároveň posuzuje účinnost kotlů starších 15 let se jmenovitým výkonem nad 20 kW. Vyhláška stanovuje dvě metody zjišťování účinnosti kotlů (přímo a nepřímou) ale o ročním či normovaném stupni využití, event. o jiném hodnotícím parametru energetického chování zdroje tepla v průběhu celého otopného období není ani zmínka.

Připomeňme nejdříve dva známé parametry, kterými jsou roční a normovaný stupeň využití a které nelze zaměnit.

Roční stupeň využití kotle je hodnotící parametr celoročního provozování klasických kotlů pracujících s konstantní teplotou kotlové vody. Je definován VDI 2067 a závisí na účinnosti kotle, vytížení kotle a pohotovostní ztrátě.

Normovaný stupeň využití kotle (NSV) je hodnotící parametr celoročního provozování nízkoteplotních a kondenzačních kotlů s proměnnou teplotou kotlové vody. Je definován DIN 4702 a zahrnuje všechny ztráty kotle v závislosti na teplotě kotlové vody a vytížení kotle.

ROČNÍ STUPEŇ VYUŽITÍ

Podle VDI 2067 je správné, pokud je roční stupeň využití určen třemi základními provozními parametry :

- komínová ztráta q_A
- ztráta do okolí q_S
- pohotovostní ztráta q_B

Tyto provozní parametry jsou vhodné v případě kotlů provozovaných s konstantní provozní teplotou např. 75 až 90 °C a s jednostupňovým hořákem, kdy je získáme téměř konstantní. Pouze v těchto případech můžeme ještě s dostačující přesností použít vztah známý z výše uvedeného předpisu.

$$\eta_{ak} = \frac{\eta_K}{\left(\frac{b}{b_{VK}} - 1\right) \cdot q_B + 1}$$

kde

η_{ak} – roční stupeň využití kotle	[–]
η_K – účinnost kotle při jmenovitém výkonu	[–]
b – roční doba provozu kotle	[h/a]
b_{VK} – roční doba plného využití kotle	[h/a]
q_B – pohotovostní ztráta kotle	[–]

Pokud nahradíme poměr b/b_{VK} poměrem $1/\varphi_K$ můžeme vypočítat stupeň využití podle uvedené rovnice i u starších kotlů. φ_K je aktuální dílčí zatížení zdroje tepla [2].

NORMOVANÝ STUPEŇ VYUŽITÍ

U dnešních zdrojů tepla, jako jsou nízkoteplotní a kondenzační kotle či kotle s dvoustupňovým nebo modulačním hořákem, nejsou provozní parametry statické ale dynamicky se mění. Tyto parametry prodělávají pozitivní změnu právě v tak častém dílčím vytížení zdroje tepla, kdy klesá s klesající teplotou kotlové vody i teplota spalin. Takovéto tendence se ještě posilují u dvoustupňového či modulačního hořáku. S klesající teplotou kotlové vody se snižuje rovněž ztráta do okolí a pohotovostní ztráta a to exponenciálně, neboť i zde platí zákonitosti známé od otopných těles.

Normovaný stupeň využití [3] se určuje z naměřených stupňů využití při dílčí zátěži při pěti definovaných výkonech kotle se stanovenou teplotou přírodní a zpětné vody (obr. 1). Jednotně se otopné křivky určují pro teplotní spád 75/60 °C pro všechny zdroje tepla, kromě kondenzačních kotlů pro které platí teplotní spád 40/30 °C.

Jednotlivé hodnoty relativního výkonu kotle jsou odvozeny z ročního průběhu potřeby tepla (roční odběrový diagram). Zohledněny jsou rovněž vnitřní a vnější tepelné zisky jako např. od osob, osvětlení a slunečního záření. Plocha pod křivkou je ekvivalentní k množství ročně dodaného tepla zdrojem tepla (Q_{ak}). Tuto plochu lze rozdělit na pět rovnoplochých obdélníků a tak případně každému měřenému výkonu stejná plocha, tedy dodané množství tepla, které je však dodáváno za zcela rozdílných podmínek.

Normovaný stupeň využití je matematicky popsán vztahem:

$$\eta_N = \frac{\sum_{i=1}^5 Q_k \cdot \varphi_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^5 \frac{Q_k \cdot \varphi_i \cdot Z_i}{\eta_{\varphi i}}} = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{\varphi i}}}$$

kde
 Q_k – jmenovitý výkon kotle [kW]
 φ_i – relativní vytížení (výkon) kotle ve výkonové periodě i
 Z_i – počet otopných dnů ve výkonové periodě [d/p]
 $\eta_{\varphi i}$ – stupeň využití při dílčím zatížení ve výkonové periodě [–]

V tab. 1 je ukázáno jak vypadá výsledek takové zkoušky např. pro kondenzační kotel „VERTOMAT“. Výsledky byly stanoveny pro otopnou křivku 75/60 °C s exponentem $n = 1,3$. Podle [3] je dostačující exponent $n = 1$, i když správný a praxi lépe odpovídající je exponent $n = 1,3$.

Tab. 1 Normovaný stupeň využití podle DIN 4702 část 8 pro kondenzační kotel [4]

Vytížení kotle	Teplota teplotnosné látky	Stupeň využití při dílčím zatížení
φ_k [%]	t_{w1}/t_{w2} [°C]	$\eta_{\varphi i}$ [%]
13	27,0 / 25,0	109,5
30	37,0 / 32,0	108,4
39	42,0 / 36,0	107,2
48	46,0 / 39,0	105,7
63	55,0 / 45,0	103,0

Normovaný stupeň využití, určený pro hodnoty z tab. 1 je:

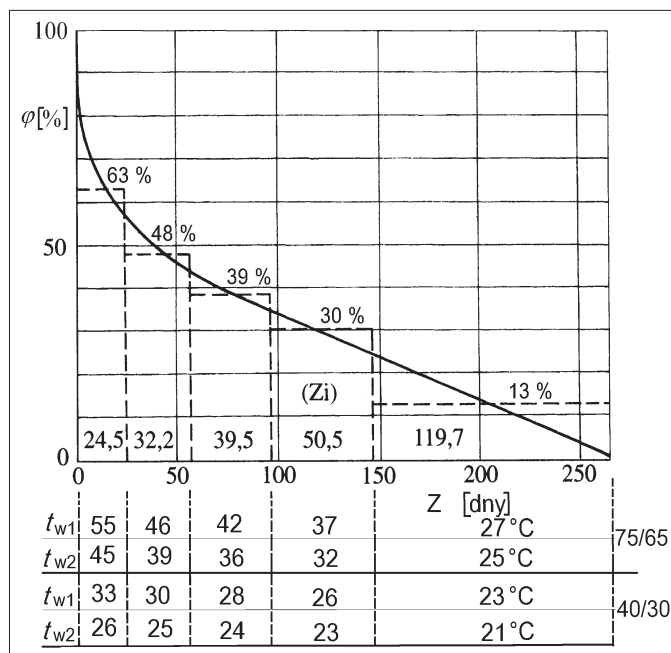
$$\frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{\varphi i}}} = \frac{5}{0,046854} = 106,7 \%$$

Dílčí stupně využití pro částečné vytížení stoupají až na 109,5 %. Normovaný stupeň využití vykazuje hodnotu 106,7 %, přičemž jsou všechny tyto hodnoty vztahovány na výhřevnost. Je to sice obvyklé, ale správněji by to bylo, pokud bychom hodnoty vztahovali na spalné teplo.

S normovaným stupněm využití [3] můžeme lépe porovnávat kotle z energetického hlediska, včetně vlivu konstrukčního řešení a regulačního chování kotle. Na druhou stranu vyvstávají různé nároky na to, jak věrohodně a v jakých pásmech vytížení normovaný stupeň využití nejlépe zohledňuje provozní podmínky v průběhu otopného období či zda jsou posuzované veličiny plně vypovídající [5].

Různé okrajové podmínky byly posouzeny v diplomové práci Christiana Lufta [6] vypracované na VŠ Esslingen a to především pro kotle s olejovými hořáky.

Je zřejmé nepochybné, že se normovaný stupeň využití (NSV), určený za laboratorních podmínek od NSV určeného za reálných provozních podmínek liší. Minimálně zde bude hrát roli provozní znečištění spalovací komory za dobu provozování kotle.



Obr. 1 Závislost dílčího zatížení zdroje tepla φ [%] na počtu dnů Z [dny] v otopném období [Z] t_{w1} – teplota výstupní vody ze zdroje tepla; t_{w2} – teplota vstupní vody do zdroje tepla

Rozhodujícími veličinami [7], které hrají významnou roli jsou:

- konstrukční řešení kotle (vodní obsah, použité materiály apod.),
- regulační chování (spínací diference, doba chodu hořáku [8], [9]),
- dimenzování, resp. předimenzování kotle (parametry průtoku vody kotlem [10]),
- parametry spalovacího vzduchu (teplota, vlhkost, tlak).

Luft [6] ve své diplomové práci studoval chování vícero kondenzačních kotlů, přičemž v závěrech zohlednil především výsledky získané pro dva kotle, které se svým konstrukčním řešením významně liší (tab. 2).

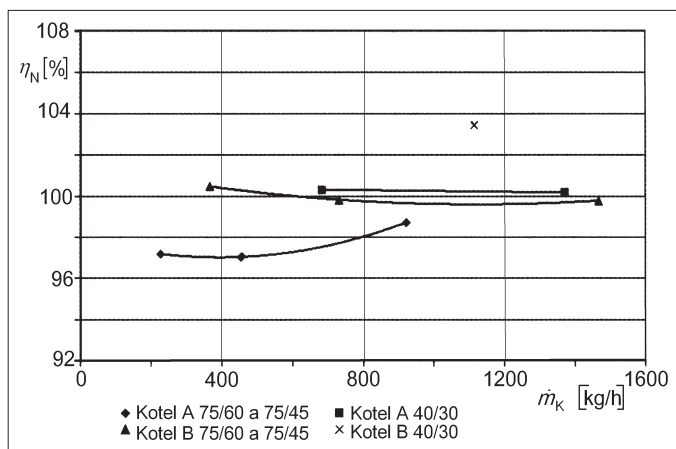
Tab. 2 Základní údaje sledovaných kotlů [7]

Označení kotle	Jmenovitý výkon Q_k [kW]	Vodní obsah V_k [l]
Kotel A	16	35
Kotel B	25	4,5

Vlivy návrhu, resp. dimenzování kotle a otopné soustavy, se odráží především ve změně průtoku vody kotlem. Německá norma zná dva teplotní spády pro zkoušky kotlů, a to 75/60 °C a 40/30 °C. Tyto teplotní parametry však přísluší především jmenovitému (100 %) výkonu (viz tab. 1), avšak v průběhu zkoušek se s proměnným zatížením mění i teploty (viz obr. 1).

Jmenovité teplotní spády 15, resp. 10 K odpovídají i jmenovitému průtokům. V praxi se však setkáme i s jinými teplotními spády a tudíž i jinými průtoky, které se budou, díky předimenzovaným otopným tělesům a předimenzovaným zdrojům tepla, od výše zmiňovaných jmenovitých průtoků významně lišit.

V experimentech [6] byly kotle provozovány se jmenovitém a dvojnásobným teplotním spádem a rovněž bylo uvažováno, že jmenovitý výkon zdroje tepla odpovídá jmenovité potřebě tepla anebo, že je výkon zdroje tepla dvojnásobný. Zkoumané stavy jsou uvedeny v tab. 3. Můžeme zde pozorovat, že sledované oblasti 75/60-50 a 75/45-100 nás vedou ke stejnému relativnímu průtoku kotlem. Do jaké míry se NSV za těchto podmínek liší ukazuje obr. 2.



Obr. 2 Zavislost normovaného stupně využití η_N [-] na průtoku vody kotlem m_k [kg/h] pro kotle A a B [6]

Tab. 3 Přehled sledovaných stavů [7]

Označení stavu $t_{w1} / t_{w2} \cdot \varphi_K / Q_K$	Teplotní spád t_{w1} / t_{w2} [°C]	Zatížení kotle ku jmenovitému výkonu kotle $(\varphi_K / Q_K) \cdot 100$ [%]	Průtok vody kotlem ku jmenovitému průtoku (v závorce při 75/60 °C) $(m_w / m_{nw}) \cdot 100$ [%]
75/60-100	75/60	100	100
75/60-50	75/60	50	50
75/45-100	75/45	100	50
75/45-50	75/45	50	25
40/30-100	40/30	100	100 (150)
40/30-50	40/30	50	50 (75)

Při vynesení získaných výsledků NSV kotlů A a B (tab. 2) na průtoku vody kotlem, získáme obr. 2. U kotle A s vyšší teplotní úrovní (75 °C) je patrný pozitivní vliv vyššího průtoku vody kotlem. U kotle B lze konstatovat, že NSV je na změně průtoku vody kotlem nezávislý.

V rámci nižších teplotních úrovní (40 °C) zas příslušnou závislost NSV na průtoku vody kotlem nevykazuje kotel A. U kotle B nelze, vzhledem k jediné hodnotě, vysledovat příslušný trend, nicméně s ohledem na jeho menší vodní obsah lze usuzovat na pozitivní vliv vyššího průtoku. Malý vodní obsah zajišťuje velmi dobrý přenos tepla od hořáku (spalin) do otopné vody.

Veličiny, které mají vliv na transport tepla od hořáku do otopné vody jsou uvedeny v tab. 4 (neřešme zde konkrétní přestupy a prostupy tepla teplosměnnou plochou). Za hlavní lze považovat vodní obsah vztážený na jednotku výkonu ζ [l/kW] a násobnost výměny vody n_w [h⁻¹].

Tab. 4 Parametry vodního obsahu a výkonu kotlů A a B [7]

Označení	Jmenovitý výkon Q_K [kW]	Vodní obsah kotle V_K [l]	Vodní obsah vztážený na jednotku výkonu ζ [l/kW]	Průtok vody kotlem při teplotním spádu 15 K m_w [kg/h]	Násobnost výměny vody n_w [h ⁻¹]
Kotel A	16	35	2,19	918	26,4
Kotel B	25	4,5	0,18	1434	318,6

Oba tyto parametry budou na straně vody určující pro součinitel přestupu tepla α_w . V tab. 4 si můžeme povšimnout, že se vodní obsah kotle B vyměří cca 319 krát za hodinu a kotle A pouze cca 26 krát.

Velká násobnost výměny vody působí na jedné straně pozitivně na NSV, ale na druhé straně vede k tomu, že se doba chodu hořáku zkracuje [9] a při malých vytíženích či předdimenzování kotle pak hořák „taktuje“ [8].

ZÁVĚREM

Průtok vody kotlem jednoznačně ovlivňuje NSV. Měli bychom tak usilovat o návrh kotle, resp. jeho výkonu, přesně v souladu s potřebou tepelného výkonu pro otopnou soustavu. Při regulaci (zde snižování) výkonu kotle dochází ke snižování teplotních parametrů otopné vody a to i ve vztahu k menším teplotním spádům. Požadovaný, resp. zaručený, stupeň ochlazení teplotnosné látky lze zajistit přiměřeným regulačním chováním otopných ploch.

Kotle s vysokou násobností výměny vody, tj. malým vodním obsahem, vykazují příznivější NSV. Avšak na druhé straně u nich vzrůstá emisní zátěž [8], neboť mají zvýšený počet startů a každý start vykazuje několikanásobné zvýšení produkce škodlivin (C_xH_y , NO_x , CO_x). Kombinací kotlů s malým obsahem vody s akumulátory tepla vylepšíme jak NSV kotle, tak celkovou emisní situaci, tj. počet startů hořáku. Delší doby chodu hořáku jsou lepší nejen z hlediska zvýšení NSV a zlepšení emisní situace, ale i z hlediska životnosti zařízení.

Tento článek vychází z výzkumného záměru MŠM 6840770011 Technika životního prostředí.

Použité zdroje:

- [1] Hrdlička, F.: Vyhláška č. 276/2007– účinnost kotlů., 11.2.2008.
- [2] Bašta, J.: Od účinnosti ke stupni využití. *Vytápění, větrání, instalace*. č. 1. 1999. s. 24-27, ISSN 1210-1389.
- [3] DIN 4702-8: Heizkessel; Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors, Beuth-Verlag, Berlin, 1990-03.
- [4] Podklady firmy Viessmann
- [5] Wolff, D. et al.: Felduntersuchung. Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertgeräten. DBU und FBW, 2004.
- [6] Luft, Ch.: Untersuchung des Einflusses der Betriebsbedingungen auf den Nutzungsgrad von Wärmeerzeugern. DA-Hochschule Esslingen, 2006.
- [7] Luft, Ch., Tritschler, M.: Einflüsse auf den Nutzungsgrad von Wärmeerzeugern. HLH, Bd. 58, Nr. 11/ 2007. ISSN 1436-5103.
- [8] Bašta, J.: Četnost sepnutí hořáku kotle a velikost spínací diference. In: *Vytápění, větrání, instalace*. 2001, roč. 10, č. 1, s. 6–12. ISSN 1210-1389.
- [9] Bašta, J.: Spínání hořáku kotle a proměnná spínací diference. In: *Automatizace*. 2002, roč. 45, č. 11, s. 709-714.
- [10] Bašta, J.: Nízkoteplotní koroze a čerpadlo v obtoku kotle. In: *Vytápění, větrání, instalace*. 2002, roč. 11, č. 1, s. 9-12. ISSN 1210-1389. ■