

Zbyněk Hejlík

## Hospodárny provoz plynových kotlů u ČD a jejich měření

klíčová slova: *analýza spalin, tepelná účinnost kotle, komínová ztráta, emisní limit, kontrolní měření, ekvitermní regulace*

### 1. Úvod

Vedle nutnosti zajištění bezpečného provozu kotlů je třeba zajistit i jejich optimální ekonomiku provozu. Při dnešních stále vzrůstajících cenách tepla a paliv představují co nejnižší náklady na jednotku vyrobeného tepla jedno ze základních a nejdůležitějších kritérií pro zajištění řádné ekonomiky provozu kotlů a schopnosti konkurence ceny tepla.

Palivové náklady obvykle představují nejvyšší položku v kalkulaci ceny tepla. Obecně platí, že čím je palivo ušlechtilější, tím je procentuální náklad na palivo vzhledem k celkovým nákladům na výrobu tepla vyšší. Je to způsobeno jednak vstupními cenami paliv, kde ušlechtilější paliva jsou dražší a pak tím, že např. uhelné teplárny kalkulují do výsledné ceny tepla podstatně více položek oproti plynovým kotelnám. Nejvyšší procentuální náklady na dodané palivo jsou u elektrokotelen (až 90 % celkových nákladů), plynových kotelen a kotelen na lehký topný olej (až 80 % celkových nákladů). Naproti tomu nejnižší palivové náklady jsou u uhelných tepláren, kde obvykle nedosahují ani 50 % celkových nákladů na výrobu tepla.

Z plyných paliv jde zejména o zemní plyn. Plyná paliva se vyznačují vysokou tepelnou účinností a příznivými ekologickými důsledky. Cena tepla ze zdrojů na zemní plyn bývá obvykle vyšší než při použití energetického uhlí. Použití elektrické energie je omezeno vysokou cenou vyrobeného tepla a možnostmi rozvodné sítě.

### 2. Tepelná (energetická) účinnost kotle

Měřítkem tepelných ztrát energetického zařízení za provozu je jeho tepelná účinnost, která říká, kolik procent přivedeného tepla ve spalovaném palivu se využije k výrobě tepla v páře, v teplé vodě nebo v jiném médiu u parního, teplovodního či horkovodního kotle.

Pro zjištění tepelné účinnosti kotle se používají 2 metody:

- *přímá*
- *nepřímá*

Přímou metodou se účinnost kotle zjistí jako poměr tepla využitého pro výrobu páry či ohřev vody v kotli ku teplu přivedenému v palivu.

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1} * 100 \quad [\%]$$

**Ing. Zbyněk Hejlík**, nar.1957. Vysokoškolského vzdělání dosáhl na Českém vysokém učení technickém (ČVUT) v Praze - Dejvicích, kde vystudoval na fakultě elektrotechnické obor výroba a rozvod elektrické energie. V současné době se věnuje na TÚDC v Praze na sekci elektrotechniky a energetiky termoenergetice.

kde  $Q_1$  je teplo přivedené v palivu  $[MJ]$

$Q_2$  teplo využitá k výrobě páry či k ohřevu vody v kotli  $[MJ]$

$$Q_1 = M_U * Q_i \quad [MJ]$$

kde  $M_U$  je množství spáleného paliva ( $m^3$  pro topné plyny nebo  $kg$  pro tuhá paliva a oleje)

$Q_i$  výhřevnost paliva ( $MJ \cdot m^{-3}$  pro topné plyny nebo  $MJ \cdot kg^{-1}$  pro tuhá paliva a oleje).

Zemní plyn a topné oleje mají dále poměrně stálé složení a vcelku konstantní výhřevnost. Naproti tomu výhřevnost tuhých paliv je proměnlivá a závisí na druhu paliva, jmenovitě na obsahu hořlaviny, vody, popela, elementárním složení hořlaviny apod.

Nepřímá metoda provádí odečtení všech tepelných ztrát od 100 %.

$$\eta = 100 - \sum Z \quad [\%]$$

kde  $\sum Z$  je součet všech tepelných ztrát  $[\%]$

Hodnoty tepelné účinnosti kotlů jsou závislé na druhu paliva a typu a velikosti kotle. Se snižujícím se zatížením účinnost kotle klesá, právě tak i při přetěžování kotlů.

Nejvyšší účinnosti je obvykle dosahováno v oblasti jmenovitého výkonu kotle  $N_{jm}$ . Tato účinnost se prokazuje při záruční (garanční) zkoušce kotle, nazývá se též záruční (garantovaná) účinnost. Tato okamžitá tepelná účinnost se pohybuje u roštových kotlů v rozmezí 70 - 80 %, u kotlů s práškovým topením 78 - 88 %, u kotlů na kapalná paliva 82 - 90 % a u plynových kotlů 85 - 95 %. Dále je výrobcem obvykle uváděn i průběh účinnosti ve výkonovém rozmezí 30-100%  $N_{jm}$  dle příslušné charakteristiky kotle. Z těchto důvodů je nutno ověřovat dosahovanou účinnost v několika výkonových bodech této oblasti nebo stupňové regulace hořáku.

Při měření účinnosti nepřímou metodou se vlastně zjišťuje účinnost kotle okamžitá, průměrná roční tepelná účinnost (provozní) bývá o 2 - 3 % nižší než účinnost okamžitá. Zde se uplatňují odstávky a provozní přestávky spojené s chladnutím kotle, najíždění, kolísání výkonu a další provozní vlivy.

### 3. Jednotlivé tepelné ztráty

Jedním ze základních požadavků při spalování paliv v kotlích je dodržení maximální hospodárnosti s ohledem na potřebný provozní režim. Jednotlivé tepelné ztráty při spalování paliv musí být proto udržovány v přípustných mezích tak, aby i výsledná tepelná účinnost kotle neklesla pod požadovanou hodnotu.

Hlavní ztráty, ke kterým při spalování dochází, jsou následující:

- *ztráta citelným teplem spalín (komínová)*
- *ztráta hořlavinou ve spalínách (nespálenými plyny, ztráta chemická)*
- *ztráta hořlavinou v tuhých zbytcích (ztráta tuhým nedopalem)<sup>)\*</sup>*
- *ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků<sup>)\*</sup>*
- *ztráta sdílením tepla do okolí*

Pozn:

<sup>)\*</sup>.....uváděné ztráty vznikají jen při spalování tuhých paliv, při spalování plynu nepřicházejí v úvahu

### 4. Měření analyzátozem spalín

Měření základních a pomocných provozních hodnot jsou nutná jak u kotlů jako vyhrazených tlakových zařízení, tak i u kotlů nízkotlakých pro zajištění jejich bezpečného, spolehlivého a hospodárného provozu.

Zároveň jsou údaje měřících přístrojů podkladem pro ruční nebo automatickou regulaci dílčích procesů, příp. pro komplexní automatickou regulaci. Pravidelná měření a jejich výsledky, zejména analýza spalin, jsou potřebné k vyhodnocování provozu a k plánování seřízení, oprav a údržby kotlů, jejichž cílem je zajištění bezpečného, spolehlivého a hospodárneho provozu. ČSN 07 0710, která má v současné době pouze doporučující charakter, v článku 190 ukládá provozovatelům kotlů povinnost soustavného a pravidelného provádění a vyhodnocování tepelných měření a podle jejich výsledků činit opatření k odstranění nadměrných tepelných ztrát.

V rámci střediska energetiky (SE), které je součástí oddělení odborných služeb (OOS), sekce 24 - elektrotechniky a energetiky TÚDC se provádějí analýzy kouřových plynů (spalin), které jsou ze zdrojů znečišťování (kotlů) odváděny do ovzduší. Tato měření provádíme ve své hlavní činnosti u kotlů spalujících plynné palivo nebo LTO podle příručky jakosti schválené Českou inspekcí životního prostředí.

#### **4.1. Měřící technika**

Pro analýzu spalin používáme analyzátor kouřových plynů MADUR GA-20, výrobcem přístroje je rakouská firma MADUR Electronics - Wien. Je to malý, přenosný, mikroprocesorem řízený multifunkční přístroj o hmotnosti 2 kg, který i přes svoje rozměry nabízí maximum technických vlastností. Stanovuje chemické složení kouřových plynů, včetně jejich fyzikálních parametrů.

Jsou zde použity 3 elektrochemické převodníky, které měří přímo kyslík O<sub>2</sub>, oxid uhelnatý CO a oxid dusnatý NO.

Další složka CO<sub>2</sub> je stanovena výpočtem dle zadaného přepočtového vzorce. Koncentrace kyslíku a oxidu uhličitého jsou vyjadřovány v procentech. Dále je měřena teplota okolí a teplota spalin.

Z naměřených hodnot teplot a koncentrací O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub> a s použitím parametrů zadaného paliva, jsou stanoveny výpočtem další tepelné technické parametry. Jsou to tepelné ztráty, tepelná účinnost a přebytek vzduchu.

Přístroj je napájen z vlastního akumulátoru a tudíž nezávislý na napájení ze sítě. Je proveden v aluminiovém kufru a chráněn tak před mechanickým poškozením. Má předprogramované parametry pro různá paliva, navíc umožňuje uživateli naprogramovat několik dalších.

Data jsou uložena ve vnitřní paměti analyzátoru a zpracována na externím PC uživatelským programem FGA verze 5.0 pro přístroje na analýzu spalin.

#### **4.2. Praktická měření a vyhodnocování**

Z analýzy spalin lze provést komplexní vyhodnocení:

- tepelné (energetické) účinnosti měřeného kotle
- ověření nastavení výkonu kotle
- autorizované měření emisí

Toto komplexní vyhodnocení je potřebné pro posouzení optimálního a hospodárneho provozu kotle, jakož i pro informaci o vypouštění znečišťujících látek do ovzduší.

##### **• tepelná (energetická) účinnost měřeného kotle (příloha č.1)**

Vyhodnocujeme zde pomocí analyzátoru spalin nepřímou metodou tepelnou účinnost kotle. Ve výpočtu je zahrnuta komínová ztráta a případná ztráta nespálenými plyny. Není zde zahrnuta ztráta sdílením tepla do okolí (sáláním a vedením).

Stanovení tepelné účinnosti slouží k případnému vyčíslení ztráty na palivu, která vyplývá z chybného seřízení hořáků kotlů.

Poměrně velkých úspor tak lze dosáhnout seřízením nevhodně nastavených plynových hořáků, kde dochází převážně vlivem chybného nastavení poměru palivo - vzduch ke zbytečně velkým přebytkům vzduchu a z toho plynoucímu zvyšování komínové ztráty, která má hlavní a rozhodující podíl na snížení tepelné účinnosti měřeného kotle. Přebytečný vzduch se v topeništi nezúčastňuje vlastního spalování, pouze se ohřeje a odchází při vyšší teplotě ve spalinách.

Naopak při nedostatečném přebytku vzduchu není zabezpečeno dokonalé spalování paliva a začne se projevovat ztráta nazývaná chemická, neboli nespálenými plyny. Zde platí, že nedokonalým spálením uhlíku na oxid uhelnatý se uvolní asi jen třetina tepla oproti jeho dokonalému spálení na oxid uhličitý.

Udržování hospodárného a zároveň dostatečného přebytku vzduchu z hlediska dokonalého spalování lze podle našich zkušeností docílit pravidelnou kontrolou plynových hořáků analyzátozem spalin a případným následným seřizením hořáku pracovníky příslušné servisní firmy.

U dvoustupňových hořáků s plynulým přechodem mezi stupni či plynulých v celém rozsahu často dochází při těchto přechodech k nadlimitnímu zvyšování koncentrací CO ve spalinách, což vypovídá o nedokonalém spalování v těchto oblastech přechodu. Děje se tak proto, že servisní technici provádějí seřizení většinou v 1 bodě přechodu mezi krajními hodnotami výkonu a celý průběh zpravidla nekontrolují. Ve většině částí průběhu mezi krajními hodnotami výkonu je proto nesprávně nastavený poměr palivo-vzduch.

S tímto jsme se setkali při měření v Chebu, kde navíc vlivem chybného nastavení termostátů na kotli docházelo k četnějšímu přepínání výkonových stupňů hořáků a tím k výraznému ovlivnění výsledných středních hodnot CO těmito neseřizenými oblastmi přechodu a zároveň i k poklesu průměrné tepelné účinnosti kotle. Po seřizení celého průběhu regulace výkonu hořáku přítomným servisním technikem jsme již naměřili hodnoty odpovídající platným limitům.

- **ověření nastavení výkonu kotle (příloha č.2)**

Jako součást protokolů o měření vyhodnocujeme též okamžitý výkon kotle v době měření. K tomuto výpočtu užíváme spotřebu plynu měřeného kotle za jednotku času, odečtenou v době měření na příslušném plynoměru pro kotel. Zde je třeba upozornit na nutnost zaznamenání přetlaku a teploty plynu v místě plynoměru. Tyto veličiny se pak použijí pro přepočítání odečtené spotřeby plynu na normální tlak 101,325 kPa a teplotu, ke které je vztažena použitá výhřevnost zemního plynu, abychom tak dostali skutečný výkon kotle.

Pro určení tohoto výkonu používáme buď diagramy pro určení výkonu hořáku (příloha č. 2), ze kterých výkon kotle určíme přímo, nebo lze použít poněkud jednodušší přepočítací koeficient vycházející jen z přetlaku plynu v místě plynoměru.

Takto vypočtený skutečný výkon kotle lze využít pro ověření odpovídajícího nastavení výkonu hořáku v jednotlivých stupních (základní a plný výkon) dle dokumentace vzhledem k přiměřenému vytápění objektu.

Takovéto ověření výkonu se uplatnilo například při měřeních u SDC Ostrava, kde příčinou nedokonalého vytápění objektu, na něž si zaměstnanci neustále stěžovali, bylo zjištěno právě nízké nastavení plného výkonu hořáku kotle.

- **autorizované měření emisí (příloha č.3)**

Vzhledem k parametrům, možnostem a využití analyzátoru spalin MADUR GA-20 požádala TÚDC Českou inspekci životního prostředí o udělení oprávnění k autorizovanému měření emisí, které obdržela "Rozhodnutím o udělení oprávnění k autorizovanému měření emisí" na základě vypracování "Příručky jakosti měřicí skupiny TÚDC pro měření plyných emisí" a předložení zpracovaného "Protokolu o autorizovaném měření emisí".

Na základě tohoto rozhodnutí můžeme provádět autorizovaná měření oxidů dusíku NO<sub>x</sub>, oxidu uhelnatého CO, stavových veličin nosného plynu a koncentrace kyslíku O<sub>2</sub> v emisích ze spalovacích zařízení spalujících plyné palivo nebo LTO do jmenovitého tepelného výkonu měřeného zařízení (kotle) nepřevyšujícího 5 MW.

Měření emisí poskytuje základní informace o vypouštění znečišťujících látek do ovzduší. Jedná se především o zjištění koncentrace jednotlivých znečišťujících látek v odpadním plynu, který je ze zdroje znečišťování odváděn do ovzduší. Těmito měřeními je prokazováno, zda příslušná zařízení jsou schopna plnit stanovený emisní limit. Emisní limit znečišťující látky je její nejvyšší přípustná koncentrace v odpadním plynu odcházejícím z daného zařízení.

Emisní měření slouží dále pro vyhodnocení toku znečišťujících látek, celkové roční emise a výsledného poplatku za vypouštění těchto látek do ovzduší.

## 5. Závěr

Od začátku našeho působení v této oblasti v říjnu 1995 do současné doby jsme proměřili v 53 kotelnách asi 140 kotlů podle požadavků od provozovatelů. Vypracované protokoly o autorizovaném měření emisí hodnotila ČIŽP po provedeném ověřování činnosti kladně.

Povinnost měření emisí u středních zdrojů znečišťování 1 x za 3 roky, kterou předepisovala vyhláška č. 270/1993 Sb. byla novou vyhláškou č. 117/1997 Sb. redukována jen na případy prvního uvedení do provozu, skončení platnosti individuálně stanovených emisních limitů, záměnu paliva či suroviny a každého významného a trvalého zásahu do konstrukce nebo vybavení zdroje.

Jelikož emisní limity pro příslušné znečišťující látky (CO, NO<sub>x</sub>) a pokuty za jejich překročení zůstávají nadále v platnosti, je v zájmu provozovatele jak hospodárny provoz zdroje, tak i plnění emisních limitů. Oboje je spolu úzce spojeno a dociluje se pravidelně prováděnou analýzou spalin a případným seřízením hořáků kotle servisním technikem, jež je předepsáno provozními řády.

Jelikož u ČD provádějí autorizovaná měření emisí firmy vzešlé z výběrového řízení, zaměřujeme se na kontrolní měření, na jejichž základě sledujeme ve spolupráci s příslušnou SDC a servisní firmou seřízení hořáků jak po stránce tepelné účinnosti kotlů, tak i z hlediska znečišťování ovzduší. Vhodné je tato měření provádět za účasti oprávněných servisních techniků, což bylo realizováno při měřeních v Plzni a Chebu. Tím je zároveň zajištěna kvalita prováděných prací servisní firmou.

#### **Kontrolní měření se doporučují provádět v následujících případech:**

1. u nových kotelen za účelem ověření parametrů dodaných kotlů z hlediska účinností a emisních limitů
2. u rekonstruovaných kotelen za účelem ověření parametrů kotlů z hlediska účinností a emisních limitů
3. po seřízení kotlů servisní firmou, měření se doporučuje provést za přítomnosti servisního technika
4. před autorizovaným měřením v případech, kdy předcházející autorizovaná měření měla hodnoty blízké stanovenému emisnímu limitu nebo limit překročila

V rámci Českých drah jsou ročně na tepelnou energii vydávány nemalé finanční prostředky a v této oblasti se proto jeví značné možnosti úspor, představující nezanedbatelné peněžní částky. Z tohoto širšího pohledu jsou kotle a jejich tepelné účinnosti významnou součástí řetězu článků celého otopného systému. Přibližně platí, že při vylepšení tepelné účinnosti kotle o 1% se ušetří cca 1% z nákladů na palivo.

S ohledem na rezervy je tedy třeba také věnovat pozornost širěji pojaté otopné soustavě, zvláště pak:

- měřením a rozvodům tepla
- způsobům vytápění a větrání
- správnému vyregulování vytápěcích systémů
- instalaci ekvitermní regulace
- zlepšení tepelně technických vlastností stavebních objektů
- přípravě teplé užitkové vody ( TUV )

Aby nedocházelo k překračování předepsaných teplot vytápěných objektů, které jsou uvedeny v ČSN 06 0210, je u vodních systémů vysoce účelné vybavovat je samočinnou ekvitermní regulací teploty otopné vody v závislosti na venkovní teplotě. Při této regulaci se teplota otopné vody do topného systému řídí směšováním ohřáté vody z kotle s vodou vratnou v závislosti na venkovní teplotě. Tato závislost se řídí podle teplotní křivky. Směšování provádějí troj- či čtyřcestné směšovací ventily se servopohonem.

Efektivnost regulace je dána tím, že přetápění místností znamená zvýšení spotřeby paliva a tím i nákladů o cca 3-6 % na každý 1 °C. Praktickými ověřovacími zkouškami bylo dále empiricky zjištěno, že zavedením automatické ekvitermní regulace klesne celková spotřeba tepelné energie až o 20 %.

#### **6. Seznam použitých zkratk**

ČD	České dráhy, s.o.
TÚDC	Technická ústředna dopravní cesty

OOS.	Oddělení odborných služeb
SE.	Středisko energetiky
SDC.	Správa dopravní cesty
ČIŽP	Česká inspekce životního prostředí
LTO.	Lehký topný olej
TUV.	Teplá užitková voda

## 7. Literatura

- Teploenergetika..... Ing. Vincenc Staněk, Ing. Jaromír Šťastný - I. a II. díl, SEI- energetický institut  
Úhrada za dodávku tepla...Ing. Karel Bašus, Linde Praha a.s.
- Energetický audit průmyslu....Asociace energetických auditorů, ve spolupráci s ČEZ, a.s.Praha, RAEN, spol. s r.o. Praha a Českou energetickou agenturou
- Ekonomika provozu parních, horkovodních a teplovodních kotlů, měření a regulace ..Ing. Alois Málek, Termoregul, spol. s r.o. Praha
- Úvod do plynárenství.....SEI
- Měření emisí - pracovní materiály...Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s r.o., Chrudim
- Plnění povinností v ochraně ovzduší u středních a velkých zdrojů znečišťování - pracovní materiál, semináře..... Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s r.o., Chrudim
- Návod na obsluhu analyzátoru kouřových plynů MADUR GA-20... eMBe, ekologické poradenství, Praha
- Příručka jakosti měřicí skupiny TÚDC pro měření plynných emisí
- Zákon č. 309/1991 Sb....o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami ze dne 9.6. 1991, vstoupil v platnost 1.10. 1991. Úplné znění zákon č. 211/1994 Sb. ze dne 15.11.1994.
- Zákon č. 389 / 1991 Sb..o státní správě ochrany ovzduší a poplatcích za jeho znečišťování ze dne 10.9. 1991, vstoupil v platnost 4.10.1991.Úplné znění zákon č. 212/1994 Sb. ze dne 15.11. 1994.
- Vyhláška MŽP ČR č.117/1997 Sb...kterou se stanovují emisní limity a další podmínky provozování stacionárních zdrojů znečišťování a ochrany ovzduší ze dne 12.5. 1997, vstoupila v platnost 1.6. 1997.
- ČSN 06 0210....Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění, vydána v květnu 1994
- ČSN 07 0240....Teplovodní a nízkotlaké parní kotle. Základní ustanovení, vydána v lednu 1993.
- ČSN 07 0305....Hodnocení kotlových ztrát, schválena 11.3. 1983, účinnost 1.7. 1984.
- ČSN 07 0710....Provoz, obsluha a údržba parních a horkovodních kotlů, schválena 9.6. 1975, účinnost 1.5. 1977.

Praha, září 1998

Lektoroval: Ing. Karel Bašus  
Státní energetická inspekce (SEI)  
Územní inspektorát Praha