

Příručka správného vytápění

Srpen 2020

Projekt LIFE IP - Zlepšenie kvality ovzdušia (LIFE18 PE/SK/000010)
podpořila Európska únia v rámci programu LIFE.

Projekt je spolufinancován z prostředků státního rozpočtu SR prostřednictvím MŽP
SR.



Ministerstvo životního prostředí



Příručka správného vytápění

Autoři:

Ing. Jiří Horák, Ph.D.,

Ing. František Hopan, Ph.D.,

Ing. Kamil Krpec, Ph.D.,

Ing. Milan Dej, Ph.D.,

Ing. Petr Kubesa,

Ing. Jiří Ryšavý,

Ing. Vendula Laciok, Ph.D.,

Ing. Lenka Kuboňová, Ph.D.,

Ing. Oleksandr Molchanov,

Zdeněk Kysučan,

Jiří Kremer,

Ing. Martin Garba,

Ing. Stanislav Bajer,

Miroslav Jaroč,

Ing. Lubomír Martiník,

Ing. Lenka Michnová,

Ing. Zuzana Mikulová, Ph.D.,

prof. Ing. Jozef Jandačka, Ph.D.,

Ing. Jiří Dvořák,

Milan Holomek,

Ing. Stanislav Buchta

**ROZPAL
TO SE
SMOKEMANEM**



Ostrava 2020

ISBN 978-80-248-4452-7

OBSAH

ÚVOD	4
CO NEJVÍCE OVLIVNÍ TVŮJ KOUŘ?.....	5
JAK DLOUHO MÁM SUŠIT DŘEVO NA TOPENÍ?.....	14
JAK SI DOMA STANOVIT VLHKOST A VÝHŘEVNOST DŘEVA?	26
JAK SI DOMA ZMĚŘIT ÚČINNOST SPALOVACÍHO ZAŘÍZENÍ A LZE ÚČINNOST NĚJAK VĚTŠIT?.....	33
JAKÉ PARAMETRY MUSÍ SPLNIT KAMNA, KRBOVÉ VLOŽKY A SPORÁKY NA TUHÁ PALIVA? LEGISLATIVA V ČR A EVROPĚ – STAV V ROCE 2017.....	41
JAKÉ PARAMETRY MUSÍ SPLNIT KOTLE NA TUHÁ PALIVA? LEGISLATIVA V ČR A EVROPĚ – STAV V ROCE 2017.....	68
KOMFORT KOTLŮ NA TUHÁ/PEVNÁ PALIVA – ČÁST I. JAK DLOUHO VYDRŽÍ TEPLO Z JEDNOHO PŘILOŽENÍ ČI NABITÉ AKUMULAČNÍ NÁDOBY?.....	99
KOMFORT KOTLŮ NA TUHÁ/PEVNÁ PALIVA – ČÁST II. JAK DLOUHO VYDRŽÍ TEPLO Z JEDNOHO PŘILOŽENÍ ČI NABITÉ AKUMULAČNÍ NÁDOBY?.....	113
KOTLÍKGATE. OPRAVDU NOVÉ KOTLE POŘÍZENÉ Z DOTACE BUDOU PRODUKOVAT MÉNĚ EMISÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK?.....	126
MOŽNOSTI SNÍŽENÍ HMOTNOSTNÍCH KONCENTRACÍ NĚKTERÝCH ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK VE SPALINÁCH MALÉHO SPALOVACÍHO ZAŘÍZENÍ NA PEVNÁ PALIVA SPALUJÍCÍ BIOMASU, POMOCÍ KATALYZÁTORU $TiO_2 - WO_3 - V_2O_5$	135
O SPALOVÁNÍ TUHÝCH PALIV V LOKÁLNÍCH TOPENIŠTÍCH (1) - ANEB PALIVO, TVORBA ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK A SPALOVÁNÍ JAKO VZTAH MUŽE A ŽENY.....	158
O SPALOVÁNÍ TUHÝCH PALIV V LOKÁLNÍCH TOPENIŠTÍCH (2) - ANEB PALIVO, TVORBA ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK A SPALOVÁNÍ JAKO VZTAH MUŽE A ŽENY.....	169
POKUD NĚKDO DOMA SPALUJE ODPAD, EXISTUJE METODA, JAK MU TO PROKÁZAT?.....	188
PROČ SUŠIT DŘEVO A UČIT LIDI TOPIT? VLIV VLHKOSTI DŘEVA A OBSLUHY NA EMISE ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK.....	195
SMOKEMANOVO DESATERO SPRÁVNÉHO TOPIČE.....	204
STAČÍ „JEN“ VYMĚNIT KOTLE, ABY BYL ČISTŠÍ VZDUCH? PILOTNÍ MĚŘENÍ MODERNÍCH KOTLŮ NA PEVNÁ PALIVA V DOMÁCNOSTECH.....	211
UŽITEČNÉ ODKAZY:	221

Úvod

Publikace, kterou právě držíte v rukou, Vám přináší výběr z článků, které byly uveřejněny pracovníky zkušebny Výzkumného energetického centra – VŠB – TU Ostrava (VEC) na portálu www.tzb-info.cz a v odborném časopise Vytápění, větrání, instalace. Cílem autorů je předat čtenáři základní shrnutí toho, co by měl provozovatel spalovacího zařízení (kotle, kamen, krbu apod.) znát pro jeho správné a bezpečné provozování.

Pracovníci zkušebny VEC rovněž veřejnosti předávají své znalosti a informace týkající se správného vytápění formou edukativní show s názvem „Smokeman zasahuje“. Ing. Jiří Horák, Ph.D., vedoucí zkušebny Výzkumného energetického centra VŠB–TUO, dělá již řadu let vše proto, aby lidé věděli, jak správně zacházet se spalovacími zařízeními, které doma, na chatě, nebo kdekoli jinde využívají, a zároveň abychom dýchali co nejčistší vzduch.

Prostředkem v této snaze je mu právě SMOKEMAN, tedy fiktivní postava, která svou show baví a vzdělává zároveň. Základním cílem show je naučit posluchače, odkud pochází energie ve dřevě a jiných palivech, jak tuto energii následně správně využít, aby se ohřál co možná nejvíce, a aby zároveň vypouštěl co možná nejmenší možné množství znečišťujících látek do ovzduší. K tomu všemu SMOKEMAN používá kromě standardních nástrojů, jako např. funkční kamna, 3D modely různých typů kotlů a ukázek paliv, řadu originálních pomůcek a hraček, přičemž dotýkání se jich je dle jeho slov v průběhu show přísně nařízeno.

Závěrem hrdinovo nejdůležitější heslo ze SMOKEMANova desatera správného topiče: „Top tak, jak chceš, aby topil Tvůj soused.“

Kouři zmar!

Dovětek: často je lepší, když kvalitu hodnotí druhá strana, účastníci akce v Jeseníku ze Základní školy napsali toto:

20. 9. 2019 to na Masarykově náměstí v Jeseníku bylo cítit kouřem, dřevem, teplem z kamen. Vzduchem litaly zbytky balonků, vtipná i moudrá slova, bonbóny. Pára se valila ze stolů, kádinek i úst. Oči přecházely údivem, bubínky v uších rezonovaly při každém výbuchu i hlasitém smíchu. Ruce mrzly, když se v nich ocitl suchý led a čas jako by nebyl, když vás baví ten, kdo to umí ...Smokeman a jeho edukativní show, při které je dotýkání přísně nakázáno, pobavila i poučila nejednoho „deváťáka“! Děkujeme.

Tým zkušebny VEC

Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř?

Datum: 14.1.2013 | Autoři: Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Zdeněk Kysučan, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: doc. Ing. Jaroslav Kuba, CSc.

Na zkušebně Výzkumného energetického centra bylo provedeno v různých typech kotlů a kamnech více než tisíc spalovacích zkoušek s tuhými palivy. Na základě jejich výsledků se autoři v tomto článku snaží definovat čtyři základní parametry, které nejvíce ovlivní kvalitu spalování a množství emisí znečišťujících látek.

1 Úvod

Přibližně 20 % českých domácností je vytápěno spalováním tuhých paliv v malých spalovacích zařízeních [1], které se významně podílí na znečištění ovzduší v období topné sezóny. Zjednodušeně můžeme říci, že existují čtyři základní parametry, které zásadním způsobem ovlivní množství emisí znečišťujících látek, tedy náš kouř. Jde o to, v čem topíme, čím topíme, kdo topí a jak se o spalovací zařízení (kotel, kamna) a komín staráme.

2 V čem topíme? – typ spalovacího zařízení

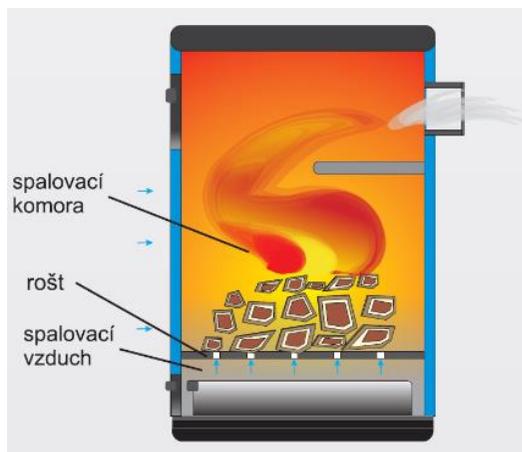
Pro většinu uživatelů je spalovací zařízení „krabice,“ do které se jedním otvorem dává palivo a jiným vybírá popel. Když starý kotel či kamna doslouží, často to vypadá tak, že zákazník jen ví, z jakého materiálu má být jeho nový kotel vyroben (např. z litiny), ale nemá žádnou představu o tom, že existuje více typů spalovacích zařízení. Protože právě typ užívaného zařízení zásadním způsobem ovlivní kvalitu spalovacího procesu, je tedy žádoucí před nákupem nového důkladně zvážit jeho typ, velikost, používané palivo a způsob přikládání paliva. Níže uvedené základní rozdělení spalovacích zařízení je založeno právě na rozdílném způsobu dopravy paliva:



2.1 Ruční jednorázová doprava paliva do ohniště

2.1.1 Prohořívání

- Ústřední vytápění – teplovodní kotle. Jedná se o roštové ohniště, nová dávka paliva (dřevo, uhlí, koks) se přikládá do spalovací komory na již hořící vrstvu, která leží na roštu. Spaliny procházejí přes celou vrstvu nově přiloženého paliva. Palivo po přiložení prochází fází ohřevu, sušení, zplynění (uvolnění prchavé hořlaviny)

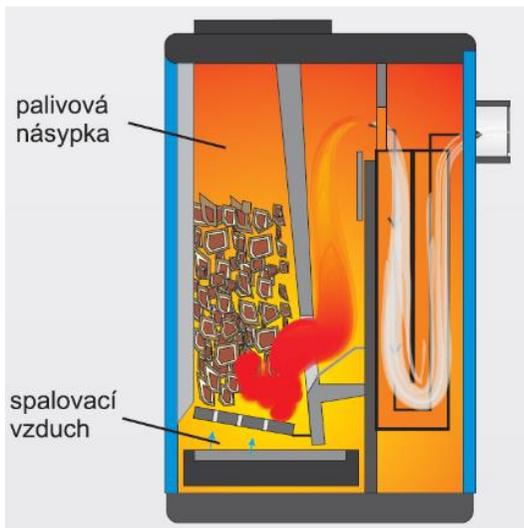


a hoření odplyněného zbytku paliva neboli uhlíku. Jedná se o nejstarší typ kotlů, který byl určen pro spalování paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny, tedy koksu. S ohledem na cenu koksu je jeho spalování spíše výjimečné. Většina těchto zařízení byla vyrobena z litiny, takže přestože je jejich provoz dost nekvalitní (dehtování a vysoké CO), jedná se o jeden z nejpoužívanějších spalovacích zařízení (v ČR cca 50% zastoupení [2]). Je to dáno jeho cenou a životností.

- Lokální vytápění – krb, krbová kamna, kachlová kamna, krbové vložky. Jde o roštové a v poslední době také bezroštové provedení. Princip je shodný s popisem pro ústřední vytápění s tím rozdílem, že přední část zařízení je často prosklená tak, aby byl umožněn pohled na hořící palivo (plamen = hořící prchavá hořlavina) a ve většině případů je jako palivo použito kusové dřevo (v ČR cca 1% zastoupení – dle vyrobeného tepla [2]).

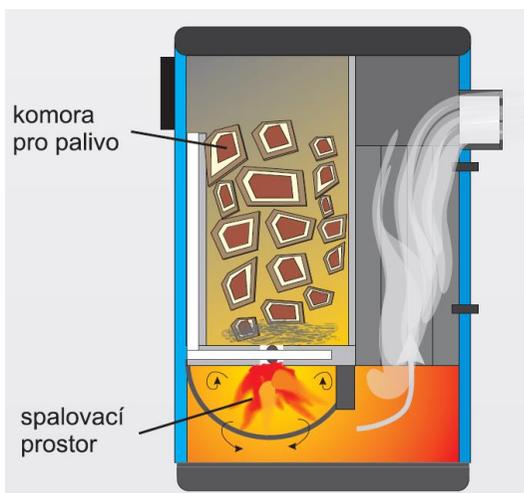
2.1.2 Odhořívání (v ČR cca 36% zastoupení [2])

- Ústřední vytápění – teplovodní kotle. Palivo (dřevo, uhlí) se přikládá do zásobníku paliva (palivová šachta), který je umístěn nad ohništěm. Ve spalovací komoře hoří palivo na roštích (otočné, posuvné), ale spaliny neprocházejí celou vrstvou přiloženého paliva, takže tento kotel je také vhodný pro paliva s větším obsahem prchavé hořlaviny (hnědé uhlí). Během provozu dochází k postupné dopravě (sesouvání) paliv z palivové šachty do prostoru spalovací komory.



2.1.3 Zplyňování (v ČR cca 10% zastoupení [2])

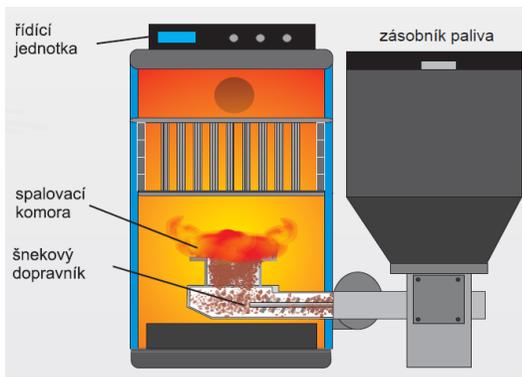
- Ústřední vytápění – teplovodní kotle. Kvalitně spalovat plyné palivo je výrazně jednodušší než spalovat tuhé palivo. Proto se ve zplyňovacích kotlích převádí tuhé palivo na plyné – „zplyňování“. Palivo (dřevo, uhlí) se přikládá do zásobníku paliva, který je umístěn nad spalovací tryskou (hořákem) a spalovací komorou, kde je plyn spálen.



2.2 Automatická doprava paliva do ohniště (v ČR cca 3% zastoupení [2])

2.2.1 Šnekový dopravník

- Ústřední vytápění – teplovodní kotle. Palivo (pelety, štěpka, uhlí) je obsluhou dopraveno do zásobníku paliva (je součástí kotle, nebo je řešen jako externí zásobník), jehož objem je výrazně větší než u výše uvedených kotlů. Palivo

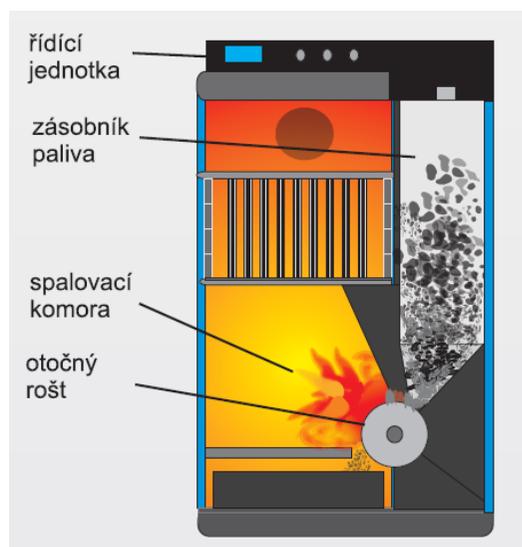


je ze zásobníku dopravováno do hořáku (různé typy), který je umístěn ve spalovací komoře. V hořáku hoří jen malé množství paliva, které je potřebné pro dosažení požadovaného výkonu.

- Lokální vytápění – automatická krbová kamna. Palivo (pelety) je dopravováno ze zásobníku do hořáku.

2.2.2 Otočný rošt

- Teplovodní kotle. Palivo (uhlí) je dopraveno do zásobníku paliva, který je nad otočným roštem. Pootočením roštu se část paliva dopraví do spalovací komory, kde dojde k jeho spálení.



Z pohledu kvality spalování je nejlepších výsledků dosaženo u kotlů s automatickou dopravou paliva do spalovací komory a u zplyňovacích kotlů. Spalování v prohořivacím kotli je velmi problematické, a pokud jde o množství vypouštěných emisí, tak patří do minulého století a jen stěží splní požadavky nového zákona o Ochráně ovzduší (platný od 9/2012). Odhořivací kotle představují vývojový mezistupeň, z pohledu kvality spalování jsou lepší než prohořivací kotle, ale

jen výjimečně dosahují parametrů automatických kotlů a kotlů zplyňovacích (na druhou stranu jsou některé typy již certifikovány na emisní třídu 3 dle ČSN EN 303-5, takže splňují požadavky nového zákona a mohou být v ČR prodávány také po 12/2013).

3 Čím topíme? – kvalita paliva



Obecně můžeme říci, že palivo je látka, která hoří a že při tomto procesu se uvolňuje teplo, které využíváme pro naše potřeby (topení, vaření, koupání). Palivo se skládá z hořlaviny (h) a balastu. Hořlavina je ta část, kterou v palivu chceme, protože je nositelem energie.

Balastem nazýváme tu část paliva, která je v palivu obsažena, ale nepřináší žádný energetický zisk, hovoříme o vodě (W) a popelovině (A). Se snižujícím se obsahem vody a popeloviny se zvyšuje kvalita paliva, snáze a účinněji se spaluje, obsahuje více energie. Se snižujícím se obsahem popeloviny se zmenšují emise tuhých znečišťujících látek (prach) a zmenšuje se náročnost údržby spalovacího zařízení (odpopelnění – tuhý zbytek po spálení nazýváme popelem).

Každé spalovací zařízení bylo certifikováno pro předepsané palivo. V návodech k obsluze zařízení je toto palivo uvedeno a „nemělo“ by se v něm spalovat nic jiného. Např. rozšířené spalování hnědého uhlí v prohořivacích kotlích jde proti pokynům výrobce. Hnědé uhlí do takového kotle nepatří, prohořivací kotel je certifikován na koks, černé uhlí a dřevo. Stejně tak žádné malé spalovací zařízení nebylo certifikováno pro spalování uhelných kalů (šlam) či dokonce odpadků.

Dalším důležitým parametrem je rozměr (granulometrie) paliva. Pokud hovoříme o uhlí, do malých spalovacích zařízení patří tříděné uhlí, které obsahuje jen omezené množství „prachových“ – jemných částic. Se zvyšujícím se obsahem této jemné složky se zhoršuje kvalita spalování a také se zmenšuje účinnost provozu (prachové uhlí propadne roštem do popelníku, takže neshoří a tím zvýší ztrátu hořlavinou v popelu). Při spalování biomasy je nejdůležitějším parametrem jeho vlhkost. Pokud moudrý člověk topí dřevem, nechá jej aspoň dva roky vysušit, protože ví, že bude mít více tepla,

spálí méně dřeva, méně se mu bude kouřit z komína a spalovacímu zařízení prodlouží životnost.

V rámci naší edukativní show „Smokeman zasahuje“ (více zde: <http://vec.vsb.cz/cz/zkusebna/edukativni-show-smokeman-zasahuje.html>) si jednotliví účastníci mnohokrát vyzkoušeli spalování odpadků v krbových kamnech. Pár igelitových sáčků, plastových lahví, koberců a podobného odpadu způsobilo navýšení emisí prachu (ostatní složky nebyly stanovovány) ve srovnání se spalováním suchého dřeva v průměru o 2 000 až 10 000 %. Je odpad dobré palivo? Ano, odpad je dobré palivo, ale pro kvalitní spalovnu odpadů, v níž jsou ideální podmínky pro jeho destrukci a oxidaci. Jistě to není dobré palivo pro malá spalovací zařízení. Ne, že by tam odpad neshořel a dotýčný se neohřál, ale proces je doprovázen velkou tvorbou znečišťujících látek, které se dostávají do ovzduší a my všichni to pak musíme dýchat, protože kouř nerespektuje hranice pozemku či státu.

4 Kdo topí? – kvalita obsluhy

Zjednodušeně řečeno, aby hořlavina, která je obsažena v palivu, kvalitně shořela, musí se v oblasti vyšších teplot (cca 600–1100 °C) potkat se vzdušným kyslíkem a musí mít dostatek času k tomu, aby oxidace proběhla. Tomuto požadavku se snaží výrobce vyhovět konstrukcí vlastního spalovacího zařízení. Obsluha spalovacího zařízení může hlavně ovlivnit množství přivedeného spalovacího vzduchu (nastavení klapky, otevření dvířek) a množství přiloženého paliva. Poměr mezi těmito parametry souvisí s přebytkem spalovacího vzduchu, který má výrazný vliv na kvalitu spalování.

Pro spálení jednoho kilogramu tuhého paliva je potřeba cca 10 m³ vzduchu. Při výkonu krbových kamen cca 10 kW je spotřeba dřeva cca 3 kg/h, takže potřeba vzduchu je kolem 30 m³/h. Při nedostatečném přívodu vzduchu (uzavření všech klapky v kombinaci s těsným spalovacím zařízením) dochází k nedokonalému spalování, které je provázeno nadměrnou tvorbou CO, PAU a sazí. Lépe je přikládat častěji menší dávku paliva a nechat palivo rozhořet a až poté omezovat přívod vzduchu. Touto činností je obsluha zařízení schopna naprosto dominantně ovlivnit tvorbu znečišťujících látek (když to bude obsluha tzv. „dusit,“ tak to sice bude déle hořet – spíše zplyňovat, ale kvalita spalování bude velmi nízká). Proto se vývoj ubírá směrem k minimalizaci zásahu obsluhy a u zplyňovacích a automatických kotlů se stav posunul do situace, kdy je zásah obsluhy nežádoucí. To ovšem nebrání obsluze tento zásah učinit, takže klidně může nastat stav, že kvalitní automatický kotel bude provozován s nízkou kvalitou spalování, protože obsluha provede neodborný zásah či špatné nastavení regulačních prvků.

5 Jak se o zařízení staráme? – kvalita údržby a instalace



Spalovací zařízení je „stroj,“ o který se musíme starat a také jako většina strojů nejlépe pracuje při jmenovitých podmínkách. U veřejnosti se setkáváme s rozšířeným názorem, že čím větší instalovaný výkon, tím je to lepší (Raději ten kotel 35 kW než jen 25 kW a není 10 kW

u krbových kamen málo, nemáte výkonnější, větší? Potřebuji rezervu.). Opak je spíše pravdou. Během topné sezóny se dle venkovní teploty výrazně mění požadavek na potřebný topný výkon. U spalovacích zařízení na tuhá paliva platí, že pokud spalovací zařízení pracuje na nižší než jmenovitý výkon, jeho účinnost se snižuje a emise znečišťujících látek rostou. Proto je třeba při výběru spalovacího zařízení správně navrhnout jeho výkonovou úroveň. Prodloužit dobu, kdy zařízení pracuje při jmenovitých podmínkách, je například možné instalací akumulční nádoby, která slouží jako zásobník pro „uskladnění“ přebytečného tepla (baterka). Samostatnou otázkou je teplota zpátečky, která ovlivní životnost kotle (studená zpátečka = dehtování, koroze).

U automatických kotlů je po dosažení požadované teploty v místnosti možné tepelný výkon regulovat velmi snadno (zastaví se přísun paliva, přechod do útlumového stavu nebo vyhasnutí), což se nedá říci o zařízeních s ruční jednorázovou dopravou paliva. V této situaci je již hořící palivo v kotli či kamnech a není možné jej přemístit jinam. V takovém případě je nutné výrazně omezit přísun spalovacího vzduchu, ale to je provázeno značným zhoršením kvality spalovacího procesu (např. koncentrace CO vzroste z 0,1 % na 10 % při referenčním obsahu kyslíku 11 %), tedy o dva řády [5].

Údržba spalovacího zařízení se soustředí hlavně na tyto činnosti:

- Čištění teplosměnných ploch (výměníku) – pokud je výměník zanesen, výrazně se snižuje účinnost zařízení = zvyšuje se množství tepla, které „vyletí“ komínem = komínová ztráta. Při dlouhodobém zanášení výměníku může také docházet ke zvyšování tlakové ztráty, což může postupně omezit provoz zařízení.
- Čištění spalinových cest – komín včetně jeho napojení, revize. Spalinové cesty slouží k bezpečnému odvodu spalin, a pokud nebudou v pořádku,

negativně ovlivní kvalitu provozu, ale mohou také ohrozit i bezpečnost provozu. Velký ani malý tah komínu není vhodný, důležitý je optimální tah dle požadavku výrobce zařízení. Existuje rozšířený názor, že čím je komín vyšší a širší, tím je to lepší. Je pravda, že tah komínu bude vyšší, ale není pravda, že je to vždy lepší. U většiny zařízení vysoký tah způsobuje vyšší komínovou ztrátu, a tedy nižší účinnost (nejjednodušší řešení vysokého tahu nabízí použití komínové klapky přímo za kamny či kotlem, někdy je přímo součástí zařízení).

- Odstraňování popele, čištění ohniště.
- Čištění skla.

6 Závěr

Problematika emisí znečišťujících látek z malých spalovacích zařízení je ve většině zemí Evropy velmi aktuální, protože spalování tuhých paliv výrazně ovlivňuje kvalitu ovzduší v období topné sezóny. Bilance emisí se potýká s její důvěryhodností mimo jiné právě proto, že množství znečišťujících látek je zásadně ovlivněno všemi výše uvedenými parametry, a proto se připravuje její aktualizace [3]. Kombinace těchto parametrů představuje výraznou variabilitu, která se jen velmi složitě dá zahrnout do metodiky bilance, a proto se aplikuje spíše na úrovni odborných odhadů. Skutečnost je bohužel taková, že pokud jen jeden z výše uvedených čtyř parametrů je „špatný“ a není optimální, pak to zásadně ovlivní celý výsledek, tedy náš kouř.

Pokud vám jde o to, co vychází z vašeho komínu, prosím až budete příště přikládat, vzpomeňte si, že záleží na tom 1) do čeho to dáváte (otázka typu spalovacího zařízení), 2) co tam dáváte (odpadky do kamen nepatří, otázka sušení biomasy a vhodné granulometrie uhlí), 3) kdo to tam dává (otázka nastavení přívodu spalovacích vzduchů, malý přívod vzduchu významně zhoršuje kvalitu spalování, lépe je přikládat častěji menší dávky paliva) a v neposlední řadě záleží také 4) na instalaci a údržbě (otázka čištění teplosměnných ploch a komínu, předimenzování spalovacího zařízení, provoz při jmenovitých podmínkách, akumulční nádoba). Každý z nás, kdo doma topí, může zásadně ovlivnit, co jde z jeho komína. Jeden dům za topnou sezónu může vyprodukovat cca 10 až 1000 kg prachu, který vyletí komínem, a to je již rozdíl, který stojí za pozornost, co říkáte?

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory MPO v rámci řešení těchto projektů: FR-TI1/178 Krbová kamna se sníženou produkcí prachu, TAČR v rámci řešení projektu Centra kompetence TE01020036, Operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost spolufinancovaný Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci řešení projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016.

Použitá literatura

- [1] MACHÁLEK, P., MACHART, J.: Emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2001.; ČHMÚ 2003; [cit. 2011-04-26] Dostupné na [www: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/metodika_rezzo3.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/metodika_rezzo3.pdf)
- [2] HORÁK, J., HOPAN, F., KRPEC, K., DEJ, M., PEKÁREK, V., ŠYC, M., OCELKA, T., TOMŠEJ, T.: Návrh emisních faktorů znečišťujících látek pro spalování tuhých paliv v lokálních topeništích. *Ochrana ovzduší*, 2011, roč. 2011, č. 3, s. 7–11. ISSN 1211-0337.
- [3] MODLÍK, M., HOPAN, F., HORÁK, J.: Problematika inventarizace emisí z malých spalovacích zdrojů v domácnostech. *Ochrana ovzduší*, 2011, roč. 2011, č. 3, s. 3–6. ISSN 1211-0337.
- [4] HORÁK J., KUBESA P.: Co nejvíce ovlivní to, co vychází z našeho komínu?. Článek v „*Ochrana ovzduší*“, 2012, ročník: 24, číslo: 1/2012, str. 39. ISSN 1211-0337.
- [5] HORÁK J., KUBESA P.: O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2) aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy. Článek v „*TZB-info*“, 2012, číslo: Květen, str. 1–21. ISSN 1801-4399. Dostupné na [www: http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2](http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2)

Jak dlouho mám sušit dřevo na topení?

Datum: 10.2.2020 | Autoři: Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Lenka Kuboňová, Ph.D., Ing. Vendula Laciok, Ph.D., Zdeněk Kysučan, Jiří Kremer, Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, Ing. Jiří Ryšavý, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Dřevo spalované v kotli, kamnech, krbové vložce má mít přijatelnou vlhkost, aby spalování probíhalo hospodárně a minimalizovalo poškozování ovzduší. Proces sušení, vhodné podmínky a potřebná doba jsou popsány v článku.

1 Úvod

Spotřeba biomasy v českých domácnostech v roce 2017 byla cca 210 tis. tun briket a pelet a 10,1 Mprmr (tj. miliónů prostorových metrů rovných) palivového dřeva. Oproti roku 2003 došlo k nárůstu spotřeby biomasy 10× (brikety a pelety) a 1,6× (palivové dřevo) ve srovnání s rokem 2017 [1]. Rozšíření využívání biomasy pro vytápění v malých spalovacích zařízeních je rovněž v souladu se státní energetickou koncepcí ČR [2]. Česká republika patří mezi státy s poměrně vysokým procentem zalesněného území (před vypuknutím kůrovcové kalamity) – lesy tvoří asi 35 % celkové plochy, z čehož asi dvě třetiny představují dřeviny jehličnaté (smrk – 52 %, borovice – 15 %, jedle – 8 %) a třetinu pak dřeviny listnaté (buk – 14 %, dub – 4 %) [3]. Dřeviny jsou víceroční rostliny se zdřevnatělými kmeny a výhonky, rostoucí ve formě stromů, keřů a polokeřů. K vytápění domů je nejvíce využívána biomasa ve formě palivového dřeva, a také ve formě pelet a briket [4]. Výhodou dřeva oproti uhlí je, že neobsahuje síru a hmotnostní zlomek popeloviny v palivu je malý (pod 0,5 %_{hm}).

Se začátkem topné sezóny se výrazně zvyšuje poptávka po dřevu pro vytápění, ale nutno dodat, že koupit suché dřevo za rozumnou cenu není snadné. Většinou je dostupné pouze dřevo mokré – surové [5]. S kůrovcovou kalamitou se tato skutečnost výrazně mění, ale jen pro smrkové dřevo.

Norma ČSN EN 844-1 [6] definuje pro dřevozpracující průmysl mimo jiné pojmy: dřevo a dříví. Norma ČSN EN ISO 17225 [7] je zaměřená na tuhá biopaliva a definuje např. tyto pojmy: kulatina, poleno, palivové dřevo. V tomto příspěvku budou používány dva pojmy, a to celý špalek a čtvrtina špalku (viz Obr. č. 1).



Dřeviny se dělí dle objemové hmotnosti do tří kategorií – lehké, středně těžké a těžké (viz Tab. č. 1). Objemová hmotnost závisí na druhu dřeva a také na jeho vlhkosti (se vzrůstající vlhkostí vzrůstá také objemová hmotnost). Objemová hmotnost dřeva v suchém stavu se u většiny dřevin pohybuje v rozmezí 400–700 kg·m⁻³ [3].

Tab. č. 1 Rozdělení dřevin dle objemové hmotnosti [3]

Dřeviny	Objemová hmotnost sušiny	Příklad dřevin
lehké	do 500 kg/m ³	topol, smrk, lípa
středně těžké	500 - 700 kg/m ³	modřín, javor, bříza, jasan, dub, třešeň
těžké	nad 700 kg/m ³	habr

V praxi jsou používána dvě různá vyjádření vlhkosti dřeva: tzv. vlhkost dřevařská a energetická [5]. Dále v příspěvku je vždy uvažována energetická vlhkost.

Běžně rozšířené tvrzení, že tvrdé dřevo má vyšší výhřevnost než měkké, není pravdivé. Výhřevnost je vztažena na hmotnost, nikoliv na objem. Výhřevnost hořlaviny dřevní biomasy je díky podobnému prvkovému složení téměř stejná. Do stejného ohniště (stejný objem) přiložíme větší hmotnost tvrdého dřeva než měkkého, takže při stejné vlhkosti tam dáme více energie.

Vlhkost dřeva má velký vliv na výhřevnost paliva. Tato veličina je nejdůležitějším parametrem, který charakterizuje dřevo jako palivo. Se snižujícím se hmotnostním zlomkem vody v palivu (obsah vody) dochází ke zvýšení jeho výhřevnosti, tedy kvalita paliva. Suché dřevo se snáze spaluje,

proto je spotřeba suchého dřeva výrazně nižší ve srovnání se spotřebou dřeva mokrého (viz Obr. 4 [5]). Z předchozích studií také plyne, že ve spalinách produkovaných spalováním mokrého dřeva jsou vyšší hmotnostní koncentrace znečišťujících látek, jako např.: CO, VOC, PAHs, atd. [8].

Vlhkost v surovém dřevu se pohybuje přibližně od 40 %_{hm} do 60 %_{hm} [5]. Vlhkost dřeva je ovlivněna druhem dřeviny a aktuálním vegetačním cyklem. Strom pokácený v zimě je podstatně sušší, než když je pokácen v létě [9]. Doporučená vlhkost palivového dřeva je pod 20 %_{hm}. [9]. Mokré dřevo vložené do ohniště se déle ohřívá a suší, čímž je odebráno větší množství energie z ohniště, a to má za důsledek snižování teploty v ohništi (nižší teplota = horší spalování).

Tento článek si klade za cíl stanovit dobu potřebnou pro sušení palivového dřeva v podnebí ČR tak, aby se vlhkost v něm obsažená snížila na přijatelnou úroveň pro spalování, v závislosti na druhu dřeviny, tvaru sušeného dřeva a na podmínkách skladování dřeva. Podrobnější informace již byly publikovány v zahraniční odborné literatuře [10]. Článek se nevěnuje problematice smrků pokácených v rámci kůrovcové kalamity. Po úhynu stromu se začne jeho vlhkost přirozeně snižovat.

2 Materiál a metody

Zkouška doby sušení dřeva byla prováděna v období od března 2013 do února 2014 pro deset různých druhů dřeva (viz Tab. č. 2), jak ve formě celých špalků (reprezentativní průměr špalku cca 14 cm a délka 30 cm), tak také čtvrtin špalku (délka 30 cm). Dřevo bylo dovezeno na Výzkumné energetické centrum, VŠB-TU Ostrava z pily sídlící ve Vřesině u Ostravy. Jednotlivé formy dřeva byly sušeny venku pod přístřeškem a v zastřešené, dobře větrané, nevytápěné místnosti. Jednotlivé druhy dřeva byly váženy před uložením do polic a pak průběžně v intervalech cca 20 dní po dobu 1 roku. K vážení špalků byla použita elektronická váha Kern typu DE 12K1N s přesností $d = 0,001$ kg.

Tab. č. 2 Počet sledovaných kusů

Druh dříví	Celý špalek	Čtvrtina špalku
Bříza	4 ks	19 ks
Javor	2 ks	19 ks
Modřín	9 ks	19 ks
Lípa	4 ks	19 ks
Třešeň	4 ks	19 ks
Topol	x	19 ks
Jasan	x	19 ks
Habr	5 ks	15 ks
Smrk	x	19 ks
Dub	x	19 ks
x ... Vzorky dřeva nebyly k dispozici		

Po skončení experimentu (cca 1 rok) byly všechny špalky uloženy postupně do sušicí komory a byly vysušeny při 105 °C do konstantní hmotnosti se stanovenou přesností hodnoty vlhkosti dřeva 0,2 %_{hm}. Z každého druhu dřeva byly sušeny nejméně dva vzorky celých špalků a 15–19 ks čtvrtin špalku (Tab. č. 2).

Pro stanovení vlhkosti dřeva byla použita rovnice (1) [5]:

$$F_t = \frac{M_t - M_{105}}{M_t} \cdot 100 \quad (1)$$

Kde je:

F_t vlhkost dřeva v procentech z celkové hmotnosti v čase t ,

M_t hmotnost dřeva,

M_{105} hmotnost vysušeného dřeva při 105 °C.

Dřevo v zastřešené nevytápěné místnosti na dřevěných policích bylo umístěno v rohu u stěny (viz Obr. č. 2). Místnost byla průchozí s přirozenou cirkulací vzduchu. Měřená teplota a vlhkost v místnosti se zaznamenávala v 15minutových intervalech.

Dřevo venku bylo uloženo na policích u stěny s přístřeškem proti dešti (viz Obr. č. 3). Hodnoty teplot a vlhkosti vnějšího vzduchu každého dne byly převzaty od ČHMÚ Ostrava. V tabulce č. 3 jsou uvedeny průměrné srážky a teploty v jednotlivých měsících pro Moravskoslezský kraj ČR v roce 2013.



Obr. č. 2 Uložení dřeva v interiéru



Obr. č. 3 Uložení dřeva pod stříškou v exteriéru

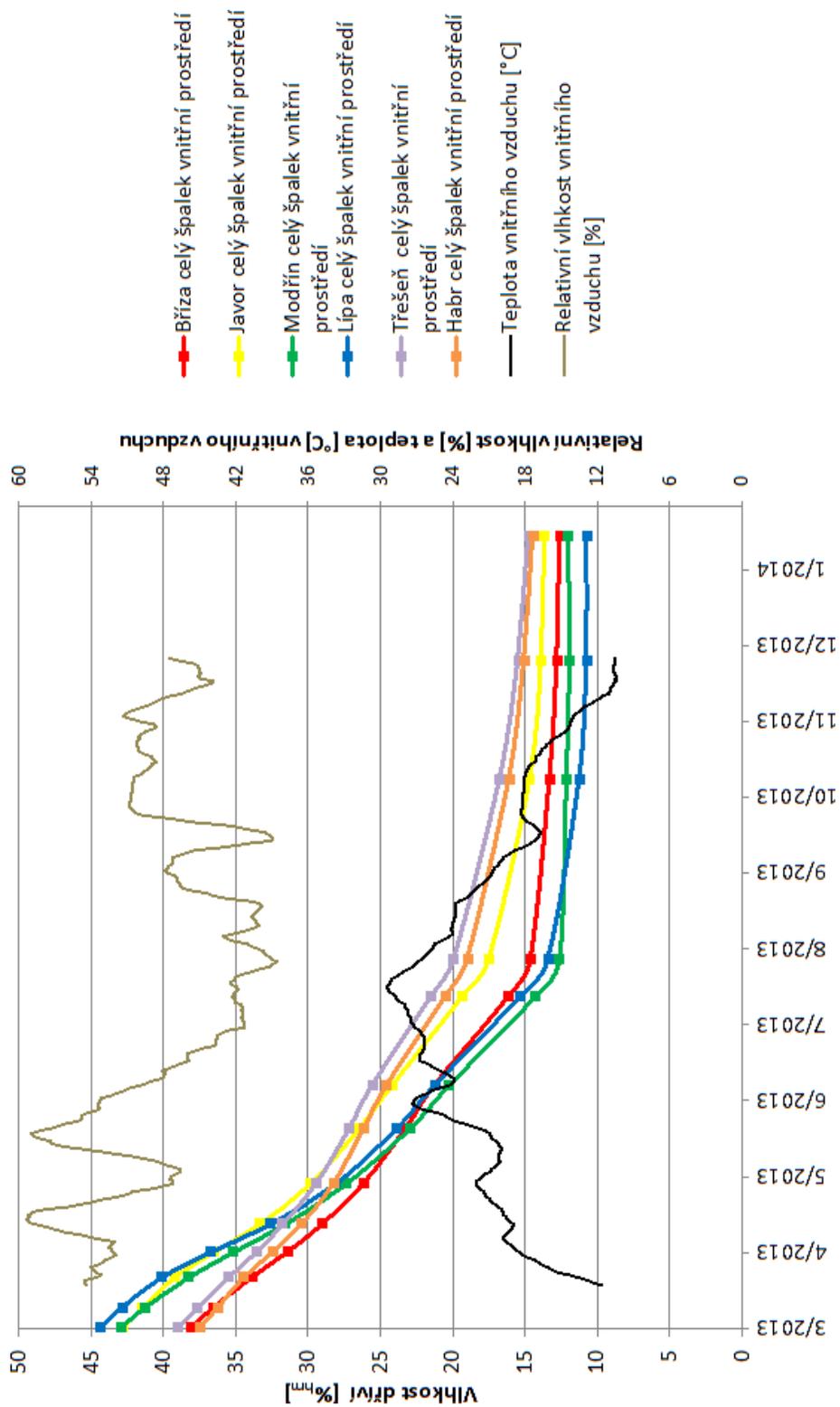
Tab. č. 3 Průměrné hodnoty teplot vzduchu a srážek za rok 2013 pro MSK [11] a průměrné hodnoty teplot vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu naměřených v interiéru

		2013					
		březen	duben	květen	červen	červenec	srpen
Teplota vzduchu (exteriér)	°C	-1,3	7,8	12,4	15,7	18,8	17,9
Srážky (exteriér)	mm	66	28	112	152	26	58
Teplota vzduchu (interiér)	°C		15,9	20,5	23,7	26,9	26,6
Relativní vlhkost vzduchu (interiér)	%		53,3	52,3	54,4	43,7	41,0
		2013				2014	
		září	říjen	listopad	prosinec	leden	únor
Teplota vzduchu (exteriér)	°C	11,1	9,6	4,4	1,5	0,0	2,9
Srážky (exteriér)	mm	110	31	42	23	31	20
Teplota vzduchu (interiér)	°C	21,3	17,4	14,3	10,5		
Relativní vlhkost vzduchu (interiér)	%	44,9	45,5	49,2	46,2		

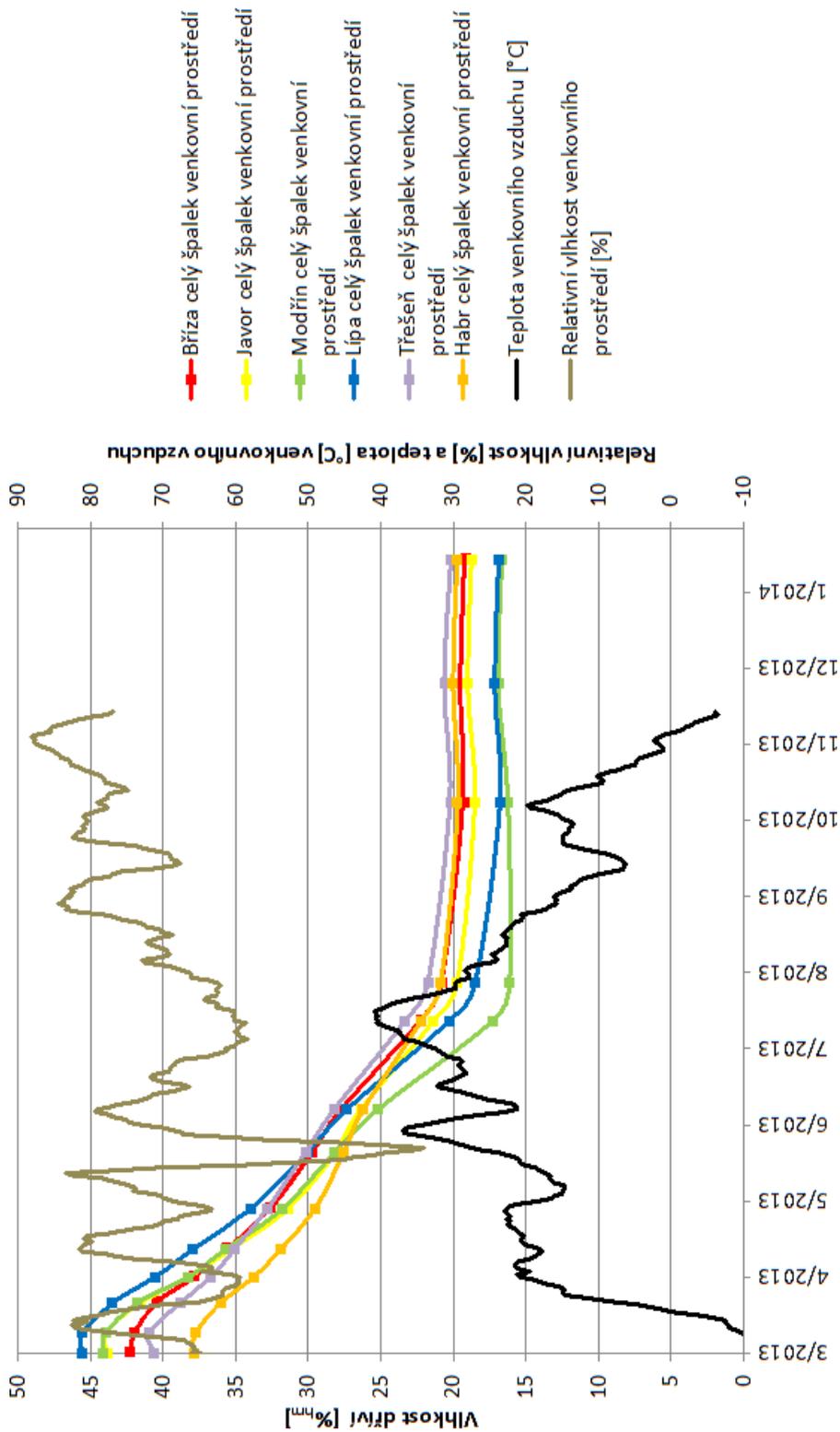
3 Výsledky a diskuse

Průběhy úbytku vlhkosti jednotlivých druhů dřeva během jednoho roku sušení jsou uvedeny v Grafech č. 1–4. Z grafů vyplývá, že u celých špalků vlhkost dosáhla na konci sušení (po cca 1 roce) hodnot 16–21 %_{hm} ve venkovním prostředí a 11–15 %_{hm} ve vnitřním prostředí, u rozsekaných špalků (čtvrtin špalků) se hodnoty vlhkosti ustálily na 13–18 %_{hm} ve venkovním prostředí a 9–14 %_{hm} ve vnitřním prostředí. Jediný problém byl při skladování venku pod přístřeškem v době nepříznivých mikroklimatických podmínek (zafoukání deště a sněhu na dřevo). Rok 2013 patřil v České republice mezi teplejší, a to samozřejmě urychlilo proces sušení. V případě méně teplého roku s četnějšími srážkami by byla doba sušení potřebná k dosažení stejné konečné vlhkosti dřeva delší.

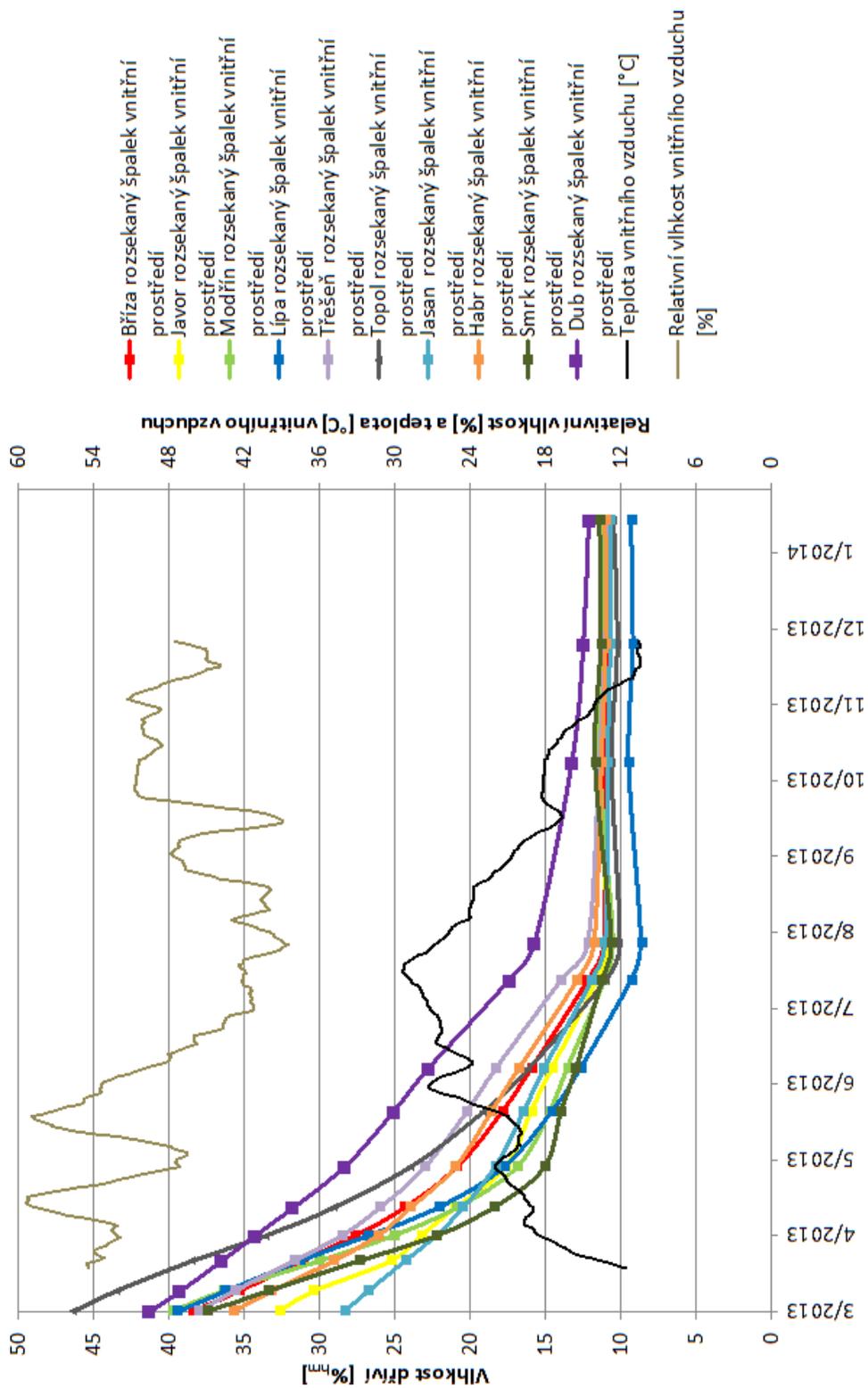
Nejvyšší rychlost schnutí byla dosažena zástupci lehkých a středně těžkých dřevin. Lehké dřeviny ve formě celých i rozsekaných špalků, pokud budou pokáceny před začátkem jara, mohou dosáhnout požadované vlhkosti už na konci léta nezávisle na tom, zda jsou skladovány ve vnitřním prostředí nebo venku pod přístřeškem. U dřeva s vyšší objemovou hmotností se doba sušení prodlužuje, dřevo je možno použít jako palivo cca za 1 rok. Tyto dosažené výsledky potvrzuje i studie pana Thomase Nord Larsena [8].



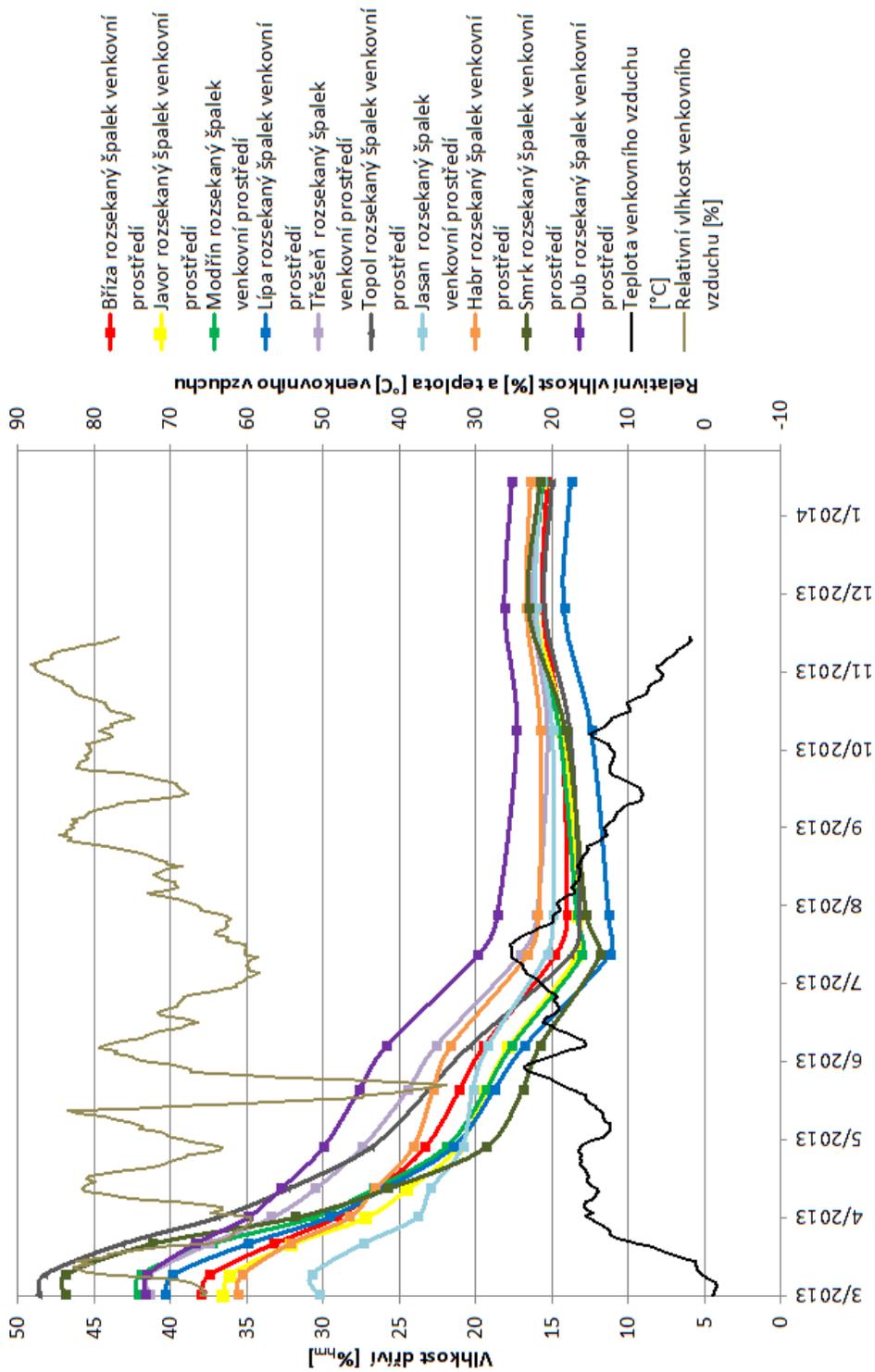
Graf č. 1 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva



Graf č. 2 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva



Graf č. 3 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva

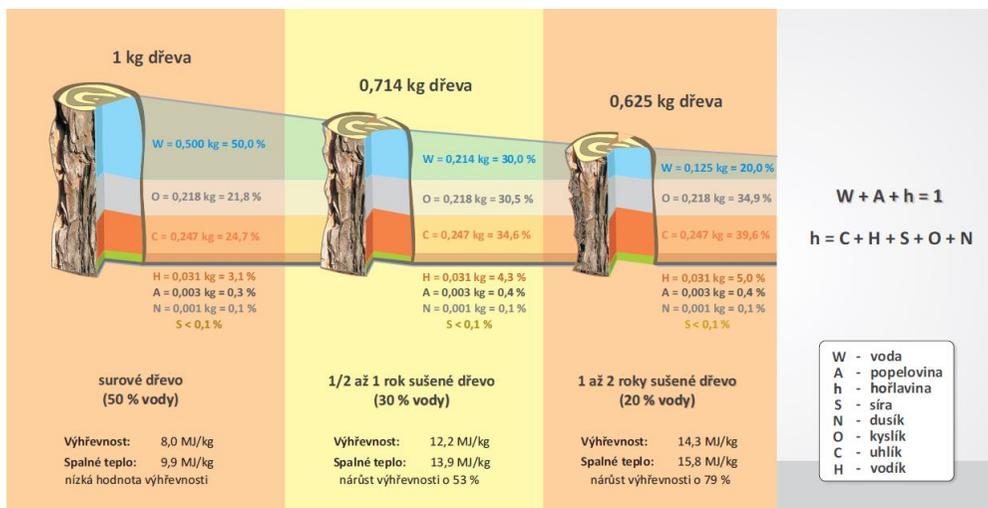


Graf č. 4 Průběh sušení dřeva v závislosti na podmínkách skladování, druhu dřevin a tvaru dřeva

4 Závěr

Výsledky uvedených experimentů sušení dřeva ukazují, že na dobře větraném zastřešeném venkovním prostoru je možné dřevo usušit na uspokojivou vlhkost pro spalování již za jeden rok. Při našich experimentech sušení dřeva byly všechny podmínky optimální a rychlost sušení je možno považovat za maximální možnou. Například při deštivém létě bude dřevo schnout déle, stejně tak pokud bude uskladněno na vlhkém stinném místě (např. u potoka na horách). V reálných podmínkách je dřevo naskládáno více na sobě, čímž bude méně provzdušněné. Z pohledu přípravy dřeva na topení mohou být vyslovena tato doporučení:

- Sušit dřevo minimálně jeden rok, lépe však dva (druhý bod SMOKEMANova desatera správného topiče [12]). Z pohledu zvýšení výhřevnosti není mnohaleté (více než 3 roky) sušení dřeva výrazně přínosné.
- Doba potřebná na usušení lehkého dřeva (topol, smrk, lípa) na požadovanou vlhkost je kratší než doba potřebná na usušení tvrdého dřeva (habr).
- Pro zajištění suchého kvalitního palivového dřeva je nutno zajistit prostor pro sušení a skladování. Dle roční spotřeby dřeva vznikají požadavky na prostory, na které je nutno pamatovat při rozhodování o druhu vytápění.
- Surové, hodně vlhké dřevo nebo nahromaděné dřevo musí být provětráváno, jinak se nastartuje biologický rozklad (hnití), při kterém dochází k úbytku hořlaviny a také pevnosti dřeva.
- Celé špalky schnou pomaleji než čtvrtiny špalků, protože měrný povrch čtvrtin je větší než u celých špalků. Z pohledu rychlosti sušení dřeva, ale i z pohledu náročnosti štípání, je vhodné dřevo na topení naštipat za mokra.



Obr. č. 4 Vysušování dřeva a průběh snižování vlhkosti [5].

Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu Innovation for Efficiency and Environment – Growth s identifikačním kódem LO1403 s podporou Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

Použitá literatura

- [1] BUFKA, Aleš, VEVRKOVÁ, Jana, ANDRONIC, Diana. Obnovitelné zdroje energie v roce 2017. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Říjen 2018 [cit. 2019-09-16]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2018/12/Obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2017-new.pdf>.
- [2] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Aktualizace Státní energetické koncepce České republiky, 2015, s. 1–145.
- [3] KHESTL, Filip. VŠB-TU OSTRAVA. Dřevo. 2013. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~khe0007/Predmety/Stavebni%20hmoty/Prednaska_drevo.pdf.
- [4] STUPAVSKÝ, Vladimír. O vytápění biomasou od A až do Z. TZB-info [online]. 13. 7. 2012 [cit. 2019-09-16]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/peletky/8814-o-vytapeni-biomasou-od-a-az-do-z>.
- [5] HORÁK, Jiří, KRPEC, Kamil, MARTINÍK, Lubomír, MICHNOVÁ, Lenka, HOPAN, František, KUBESA, Petr. Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva? TZB-info [online]. 19. 11. 2012 [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva>.

- [6] ČSN EN 844-1 Kulatina a řezivo – Terminologie – Část 1: Obecné termíny společné pro kulatinu a řezivo, Datum účinnosti 1. 4. 1997.
- [7] ČSN EN ISO 17225-1 Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv – Část 1: Obecné požadavky, Datum účinnosti Leden 2015.
- [8] NORD-LARSEN, Thomas, BERGSTEDT, Andreas, FARVER, Ole a HEDING, Niels. Drying of firewood – the effect of harvesting time, tree species and shelter of stacked wood. *Biomass and Bioenergy*. 2011, 35(7), 2993–2998.
- [9] HORÁK, Jiří a KUBESA, Petr. O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (1): aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy. TZB-info [online]. 21. 5. 2012 [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8618-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-1>.
- [10] HORÁK, Jiří, KUBOŇOVÁ, Lenka, TOMŠEJOVÁ, Šárka, LACIOK, Vendula, KRPEC, Kamil, HOPAN, František, KUBESA, Petr, KYSUČAN, Zdeněk, OCHODEK, Tadeáš. Change in the wood moisture dependency on time and drying conditions for heating by wood combustion. *Wood Research*. 2018, 63(2), 261-272.
- [11] ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. Měsíční data. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-06-17]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>.
- [12] HORÁK, Jiří. SMOKEMANovo desatero správného topiče. TZB-info [online]. 2. 3. 2015 [cit. 2019-10-23]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12373-smokemanovo-desatero-spravneho-topice>.

Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva?

Datum: 19.11.2012 | Autoři: Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Lubomír Martiník, Ing. Lenka Michnová, Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Prof. Ing. Pavel Noskovič, CSc.

1 Úvod

V České republice se spalování biomasy, především dřeva, těší stále větší popularitě. Jedná se o palivo, které se řadí mezi obnovitelné zdroje energie. Je to surovina běžně dostupná, kterou lidé energeticky využívají na topení, ale také na ohřev teplé vody a na vaření. Se začátkem topné sezóny se výrazně zvyšuje poptávka po tomto zdroji energie, ale nutno dodat, že koupit suché dřevo za rozumnou cenu je velmi složité. Většinou je dostupné pouze dřevo mokré – surové.

Obecně se doporučuje, že dřevo určené pro kvalitní spalování by nemělo mít více než 20 % vlhkosti (pokud je v textu uvedena jako jednotka %, jedná se o procenta hmotnostní). Čím menší je podíl vody ve dřevě, tím větší množství energie se při spalování uvolní do vytápěného prostoru, popř. topného systému. Pokud je čerstvě pokácené dřevo (vlhkost cca 40–50 %) uloženo pod venkovním přístřeškem přibližně 2 roky, dojde k jeho vysušení na vlhkost cca pod 20 %. Ale poznáme, jak vlhké dřevo doma máme? Jsme si schopni sami stanovit obsah vody v palivovém dříví a zjistit hodnotu jeho výhřevnosti? Cílem tohoto článku je, abychom se to naučili a vystačili si s běžným vybavením domácnosti.

2 Složení dřeva

Pokud se díváme na dřevo jako na palivo, můžeme říci, že se skládá z hořlaviny (h) a balastu. Hořlavina (uhlík a vodík) je ta část, kterou v palivu chceme, protože je nositelem energie. Balastem nazýváme tu část paliva, která je v palivu obsažena, ale nepřináší žádný energetický zisk, hovoříme o vodě (W) a popelovině (A). Se snižujícím se obsahem vody a popeloviny se zvyšuje kvalita paliva, snáze a účinněji se spaluje a obsahuje více energie. Se snižujícím se obsahem popeloviny se zmenšují emise tuhých znečišťujících látek (prachu) a zmenšuje se náročnost údržby spalovacího zařízení (odpopelnění – tuhý zbytek po spálení nazýváme popelem). Velkou výhodou dřeva je, že má obsah popeloviny menší než 1 %.

V praxi jsou používány dvě různá vyjádření vlhkosti dřeva: tzv. vlhkost dřevařská a energetická. Jaký je mezi nimi rozdíl? Vlhkost dřevařská

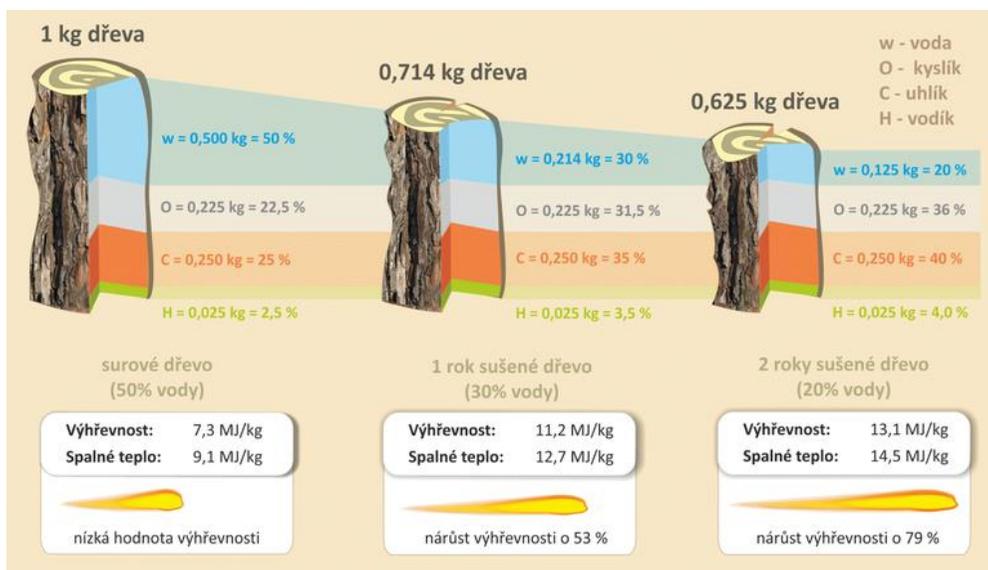
se stanovuje jako poměr množství vody ve vzorku k hmotnosti suchého vzorku dřeva.

$$w_{\text{dřevařská}} = \frac{\text{hmotnost vlhkého vzorku} - \text{hmotnost suchého vzorku}}{\text{hmotnost suchého vzorku}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Vlhkost energetická se stanoví jako poměr množství vody ve vzorku k hmotnosti vlhkého vzorku.

$$w_{\text{energetická}} = \frac{\text{hmotnost vlhkého vzorku} - \text{hmotnost suchého vzorku}}{\text{hmotnost vlhkého vzorku}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Čerstvě pokácený strom může být z poloviny tvořen vodou (záleží na druhu dřeva a období pokácení). V tomto případě tedy jeden kilogram surového dřeva obsahuje cca půl kilogramu vody. Dle výše uvedené definice je jeho dřevařská vlhkost rovna 100 % a energetická je 50 %. Pro energetické využití (spalování) budeme dále hovořit o energetické vlhkosti. Kdyby dřevo bylo naprosto suché, tak by jeho výhřevnost byla cca 17 MJ/kg. Výhřevnost je přímo úměrně závislá na obsahu vody ve dřevě. Co se děje s kusem dřeva během přirozeného sušení je názorně zobrazeno na obr. č. 1.



Obr. 1 Vysušování dřeva a průběh snižování vlhkosti [1]

Moudrý člověk spaluje dřevo o vlhkosti menší než 20 %, protože suché dřevo lépe hoří, více se ohřeje a vyprodukuje méně znečišťujících látek. Ale jak můžeme doma poznat, kolik vlhkosti naše dřevo obsahuje? Pro přesné určení

vlhkosti je potřeba speciálních přístrojů, ale snahou autorů tohoto článku je nabídnout jiné řešení, nabídnout jednoduchý a přehledný návod k tomu, jak si vlhkost dřeva s použitím běžného vybavení změřit doma. Postačí k tomu pouze mikrovlnná trouba a digitální kuchyňská váha s přesností na 1 gram. Lze také použít váhu analogovou, na níž je třeba od váženého vzorku s talířem ručně odečíst váhu talíře.

3 Domácí postup stanovení vlhkosti dřeva

3.1 Příprava

Kusové dřevo nasekáme na třísky přibližně ve tvaru hranolu o tloušťce cca 1 cm tak, aby byly kratší než průměr otočného talíře mikrovlnné trouby a mohly se při sušení v troubě volně otáčet. Pokud budou jednotlivé třísky podobné velikosti, bude naše měření přesnější (jednotlivé třísky se budou sušit stejně rychle). Z jednoho kusu dřeva (špalku) připravíme min. dvě hromádky třísek (vzorky) o hmotnosti přibližně 100 g. Větší počet vzorků nám poskytne přesnější výsledek (průměr). Pro stanovení vlhkosti dřeva použijeme standardní nezabudovanou mikrovlnnou troubu. Během sušení dřeva budeme muset sledovat odcházející výpary, takže je nutné zpřístupnit její větrací otvor (přesuneme ji na stůl nebo kuchyňskou pracovní desku).

3.2 Vážení a vložení třísek do mikrovlnné trouby

Na kuchyňskou váhu dáme prázdný otočný talíř z mikrovlnné trouby a „vynulujeme“ ji. Postupně začneme dávat třísky na váhu tak, aby jejich celková hmotnost byla přibližně 100 g. Pro zajištění ideálního vysušení skládáme třísky do tzv. „hranice“. Čím menší plochou se jednotlivé třísky dotýkají, tím později se začne odpařovat prchavá hořlavina (objeví se štiplavý zápach) a tím lépe stanovíme vlhkost dřeva. Poté, co naskládáme třísky na talíř, si zapíšeme hmotnost třísek před sušením = hmotnost vlhkého vzorku (při našem pokusu vzorek č. 4 vážil 100,5 g). Nyní otočný talíř vložíme do mikrovlnné trouby, viz obr. 2.



Obr. 2 Vzorek třísek před sušením v mikrovlnné troubě

3.3 Sušení vlhkého vzorku dřeva

Zapneme mikrovlnnou troubu, kterou nastavíme na maximální výkon a čas cca 10 minut. Třísky se začnou otáčet, zahřívát a sušit. Doba potřebná pro vysušení vzorku dřeva je rozdílná, protože závisí na jeho vlhkosti, množství a velikosti třísek. Nyní pozorně sledujeme „zápach“, který vychází z větracího otvoru trouby. V první fázi sušení cítíme příjemnou vůni dřeva, která se cca po 2 až 4 minutách změní na „štiplavý“ zápach (začne se uvolňovat prchavá hořlavina). Změna vůně indikuje ukončení sušení vzorku dřeva, takže ihned vypněte mikrovlnnou troubu.

Pokud bychom vzorek dřeva nechali v mikrovlnné troubě déle než je třeba, bude uvolňování prchavé hořlaviny pokračovat a dřevo začne kouřit a „pálit se“ (viz obr. 3). Při pokračování chodu mikrovlnné trouby by mohlo dojít až ke vzplanutí třísek, a proto je nutné mít experiment po celou dobu pod kontrolou a nikam neodcházet.



Obr. 3 Vzorky třísek, které byly „sušeny“ zbytečně dlouho – vzorek dřeva sušte tak, abyste tohoto vzhledu nikdy nedosáhli

3.4 Stanovení energetické vlhkosti dřeva

Mikrovlnnou troubu otevřeme a za pomoci rukavice (talíř a třísky jsou horké) přeneseme talíř se vzorkem vysušeného dřeva na váhu a zapíšeme si hmotnost suchého vzorku. Při našem pokusu jsme u různě vlhkých vzorků naměřili různou hodnotu. Např. vzorek 4 měl hmotnost 89,3 g.

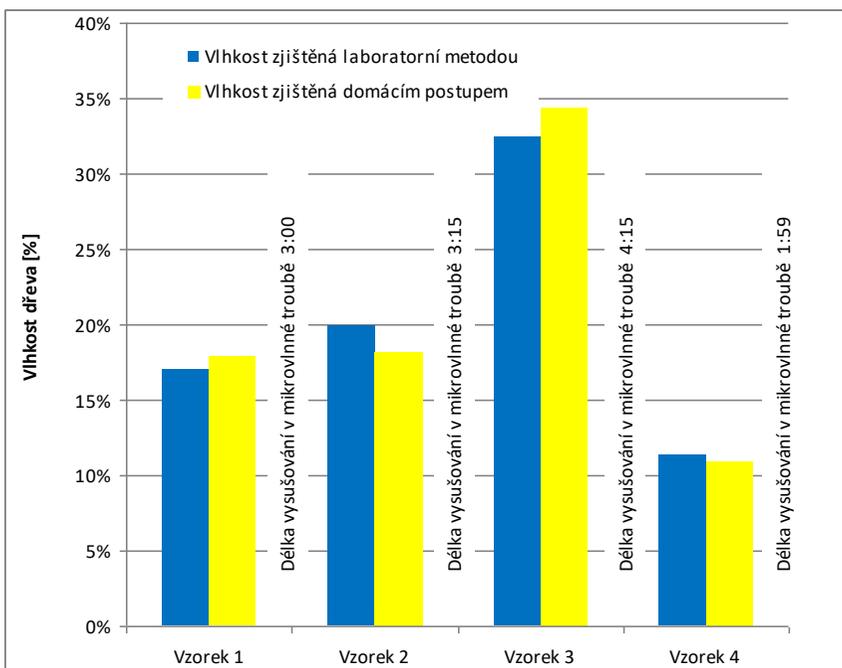
Nyní známe hmotnost vlhkého a suchého vzorku dřeva a to je vše, co potřebujeme pro výpočet vlhkosti paliva, který provedeme dle následujícího vzorce:

$$w_{\text{energetická}} = \frac{\text{hmotnost vlhkého vzorku[g]} - \text{hmotnost suchého vzorku[g]}}{\text{hmotnost vlhkého vzorku[g]}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Pro názornost je zde uveden příklad výpočtu vlhkosti pro vzorek č. 4:

$$w_{\text{energetická}} = \frac{100,5[\text{g}] - 89,3[\text{g}]}{100,5[\text{g}]} \cdot 100 = 11,1 \%$$

Na zkušebně Výzkumného energetického centra jsme vlhkost dřeva zjišťovali opakovaně pro různé druhy paliv za použití „domácího postupu“ (mikrovlnná trouba) a přesnější laboratorní metody (kvalitnější váhy, jiná navážka, sušení při 105 °C do konstantní hmotnosti). Srovnání výsledků čtyř různých vzorků dřeva (viz obr. 4) ukazuje na velmi dobrou shodu výsledků obou metod (max. odchylka byla 1,9 %). Výsledky ukazují, že přestože metoda stanovení vlhkosti dřeva pomocí „domácího postupu“ (mikrovlnná trouba) je orientační, pro naše použití poskytuje dostatečně důvěryhodné výsledky.

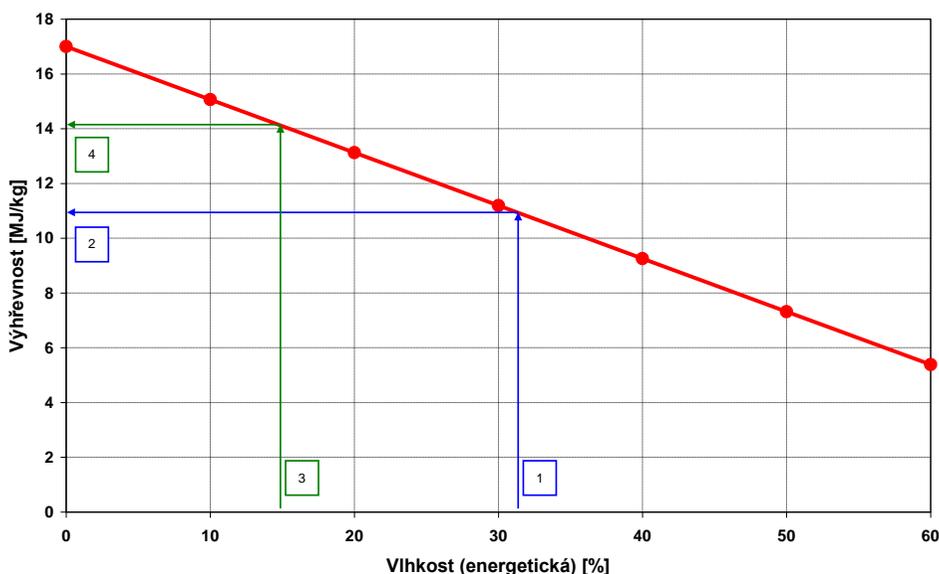


Obr. 4 Výsledky stanovení vlhkosti dřeva pomocí domácího postupu a laboratorní metodou

4 Stanovení výhřevnosti dřeva

Výhřevnost čisté hořlaviny je cca 17 MJ/kg. Zjednodušeně můžeme říci, že se snižujícím se obsahem vody v palivovém dříví se jeho výhřevnost zvyšuje, viz obr. 5. Pokud známe vlhkost dřeva, můžeme si jednoduše z tohoto

obrázku stanovit hodnotu jeho výhřevnosti. Např. u vzorku č. 3 dosáhla vlhkost hodnoty 32,5 % (bod 1), což dle obrázku odpovídá výhřevnosti (bod 2) 10,7 MJ/kg. Přibližně za dva roky sušení pod přístřeškem by mohl tento vzorek mít obsah vody cca 15 % (bod 3), což dle obrázku (bod 4) odpovídá výhřevnosti 14,1 MJ/kg. Sušením jsme tedy dosáhli navýšení výhřevnosti o 3,4 MJ/kg (cca o 30 %). Není to tak, že by došlo k navýšení množství energie, ale suché dřevo je lehčí, takže množství energie na kilogram dřeva je větší a sušší dřevo se dá kvalitněji spálit.



Obr. 5 Závislost výhřevnosti na vlhkosti dřeva

5 Závěr

Na základě výše zmíněného postupu si lze v domácích podmínkách snadno a rychle ověřit úroveň vlhkosti dřeva a hodnotu jeho výhřevnosti. Jde o metodu relativně přesnou a vhodnou pro domácí použití. Je pouze třeba pamatovat na dodržování bezpečnostních pokynů a principů zdravého rozumu. Dřevo pro kvalitní spalování by mělo mít obsah vody menší než 20 %, v ideálním případě menší než 15 %. Sušší dřevo lze spálit kvalitněji a tedy účinněji, takže dojde ke snížení jeho spotřeby.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory MPO v rámci řešení projektu FR-TI1/178 Krbová kamna se sníženou produkcí prachu, TAČR v rámci řešení projektu Centra kompetence TE01020036 a Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci řešení projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016.



Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze účinnost nějak zvětšit?

Datum: 31.12.2012 | Autoři Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, Ing. Jiří Dvořák, Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Zuzana Mikulová, Ph.D., Zdeněk Kysučan, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: doc. Ing. Jaroslav Kuba, CSc.

Jedním z nejdůležitějších parametrů, který ukazuje na kvalitu jakéhokoliv zařízení, je jeho účinnost. Pokud hovoříme o účinnosti spalovacího zařízení, které používáme pro vytápění domácností, je zřejmé, že s rostoucí účinností bude klesat spotřeba paliva, a tedy také náklady na palivo. Obdobně můžeme konstatovat, že se snižující se účinností musíme do spalovacího zařízení přiložit více paliva, abychom se stejně ohřáli.

Běžný uživatel má minimální představu o tom, s jakou účinností pracuje jeho spalovací zařízení tj. kamna, krb, krbová vložka, sporák či kotel. Víte, že pokud topíte v otevřeném krbu, cca 90 % tepla nevyužijete pro vytápění, ale jednoduše řečeno „vyletí komínem“? Ano, otevřený krb má účinnost přibližně pouze 10 %. Chcete vědět, s jakou účinností doma topíte Vy? Cílem tohoto článku je nabídnout jednoduchý postup, který umožní orientační stanovení účinnosti Vašeho spalovacího zařízení v domácích podmínkách.

Účinnost spalovacího zařízení vyjadřuje míru efektivnosti využití energie obsažené v palivu pro potřeby vytápění. Účinnost lze stanovit buď přímou anebo nepřímou metodou.

Přímá metoda stanovení účinnosti vychází z úvahy, že účinnost spalovacího zařízení pro vytápění vyjadřuje poměr mezi využitou energií (to je množství energie – tepla – co jsme spálením paliva získali a využili pro vytápění) a přivedenou energií (to je množství energie v palivu – výhřevnost a spotřeba paliva). Přímé stanovení je přesná metoda, která je ovšem s ohledem na problematičnost „domácího“ stanovení hodnoty výkonu pro běžného uživatele těžko použitelná.

Nepřímá metoda stanovení účinnosti je založena na následující úvaze: ideální stroj či zařízení pracuje s účinností 100 %, ve skutečnosti však žádné reálné zařízení není Perpetuum mobile a jeho účinnost je tedy vždy menší než 100 %. Skutečná účinnost je nižší o různé ztráty, takže můžeme říci, že účinnost je rovna 100 % mínus součet jednotlivých ztrát v %. Jestliže stanovíme hlavní ztráty, můžeme relativně spolehlivě stanovit účinnost i v domácích podmínkách.

Zjednodušeně můžeme u malých spalovacích zařízení hovořit o těchto ztrátách:

- Ztráta způsobená únikem hořlaviny v tuhých zbytcích (v popelu) – černý popel obsahuje ještě hořlavinu, která by mohla shořet, pokud jej vyhodíme do popelnice, již nás nezahřeje. Při spalování koksu někdy dochází ke spékání a nedokonalému vyhoření a tato ztráta může dosáhnout více než 10 %. Pokud na rošt přiložíme palivo, které obsahuje velký podíl jemných částic (netříděné uhlí), může tato část propadnout do popelníku a pokud v něm nedohoří, výrazně se ztráta hořlavinou v popelu navýší. U teplovodních kotlů se tato ztráta většinou pohybuje v rozmezích od 2 do 4 %. Při spalování dřeva u krbových kamen můžeme počítat s hodnotou kolem 0,5 %.
- Ztráta způsobená únikem hořlaviny ve spalinách. Cílem každého uživatele spalovacího zařízení je dokonalé spálení hořlaviny, která je obsažena v palivu (uhlík, vodík). Pokud je spalování dokonalé, uhlík (C) shoří na oxid uhličitý (CO_2) a vodík (H) na vodu (H_2O). Pokud je spalování nedokonalé, uhlík shoří jen na jedovatý oxid uhelnatý (CO) anebo neshoří vůbec (saze). Typickým produktem nedokonalého spalování jsou také různé uhlovodíky (C_xH_y). CO a C_xH_y jsou hořlavé plyny a pokud neshořely, nemohly odevzdat energii, která je v nich obsažená (výhřevnost [J/m^3]). Zjednodušeně řečeno, z paliva, které nespálíme, se neohřejeme. U krbových kamen při koncentraci CO do 0,1 % (velmi dobrá kamna) bude tato ztráta přibližně do 1 %, ale v případě horšího spalování při koncentraci CO kolem jednoho procenta (objemové), může tato ztráta dosáhnout hodnot až 6 %. Mimochodem podobná koncentrace CO je ve výfukových plynech starších benzínových motorů.
- Ztráta způsobená únikem tepla z tuhých zbytků. Dochází k ní tehdy, pokud z popelníku dááme ven horký popel, který při chladnutí postupně odevzdá teplo do okolí. U zařízení s jednorázovou dopravou paliva do kotle a kamen k tomuto běžně nedochází, proto můžeme uvažovat s nulovou hodnotou.
- Ztráta způsobená sdílením tepla do okolí stěnami kotle. Primárním cílem teplovodního kotle je předat teplo spalin topné vodě a ne vytápět kotelnu. Záleží na tepelné izolaci stěn kotle, velikosti a teplotě povrchu kotle. U běžných teplovodních kotlů tato ztráta není větší než 2 %. Čím je tato ztráta větší, tím je v kotelně tepleji. U krbu, krbových a kachlových kamen, krbové vložky a kuchyňských sporáků se nejedná o ztrátu, protože to jsou zařízení, jejichž cílem je ohřívání vzduchu v místnosti,

kde jsou instalována. U těchto zařízení se jedná o výkon zařízení a to je to, co chceme a k čemu je zařízení určeno.

- Ztráta způsobená únikem tepla ve spalinách tzv. komínová ztráta (ztráta citelným teplem spalin). Komínová ztráta představuje tu část tepla, které tzv. „vyletí komínem“. Teplo spalin ještě mohlo ohřát topnou vodu pro radiátor anebo vzduch ve vytápěném prostoru, ale z nějakého důvodu se tak nestalo. U dobře pracujících spalovacích zařízení je tato ztráta naprosto dominantní (největší). Proto se budeme v další části tohoto článku zabývat pouze komínovou ztrátou a ostatní ztráty zanedbáme.

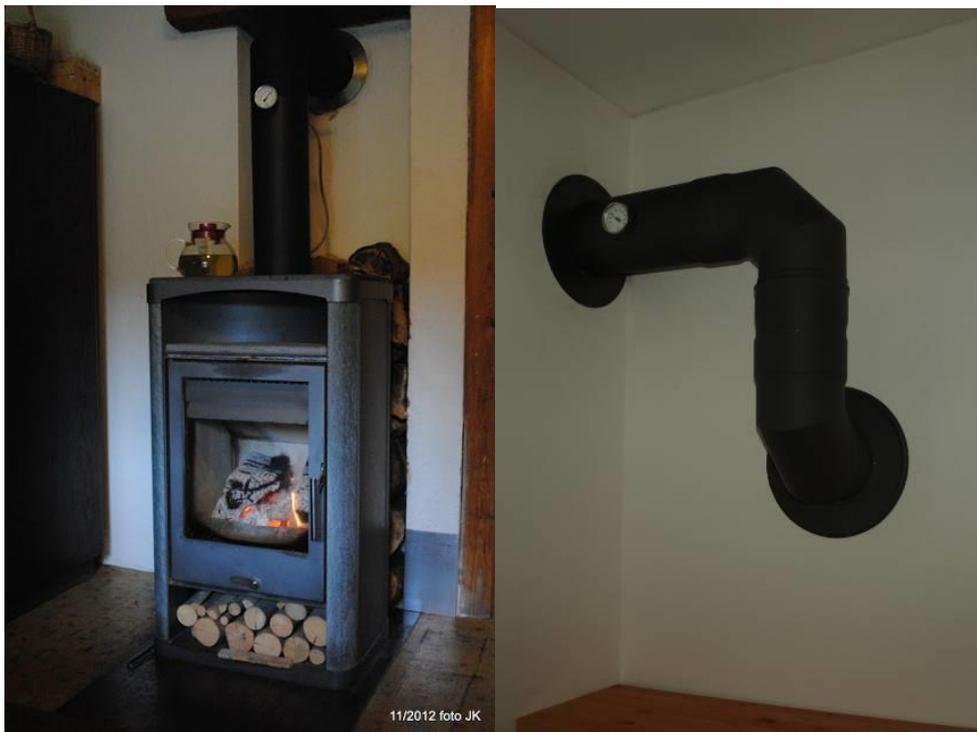
Velikost komínové ztráty nejvíce ovlivňují dva parametry:

1. teplota spalin,
2. množství spalin, bez jejichž znalosti nejsme schopni účinnost spalovacího zařízení stanovit.

Ad 1) Pokud hovoříme o teplotě spalin, tak se jedná o teplotu, kterou mají spaliny za spalovacím zařízením (mezi zařízením a komínem). Bez informace o teplotě spalin, není možné stanovit účinnost zařízení. Zde může nastat komplikace s nalezením vhodného a přístupného místa ke kouřovodu. Největší problém bude u zabudovaných krbových vložek. Teplotu spalin jsme schopni jednoduše změřit vhodným teploměrem. Ve většině obchodů, ve kterých prodávají kamna, si můžete pořídit obyčejný „budíkový“ teploměr (rozsah alespoň do 400 °C). Dle individuální situace optimalizujte natočení ciferníku, délku a tuhost stonku teploměru. Ideální je měřit teplotu uvnitř kouřovodu (vyvrtat otvor a zasunout stonek, viz obr. č. 1). Orientačně si však můžeme vystačit i s měřením povrchové teploty kouřovodu za pomoci dotykových teploměrů.

Ad 2) Stanovení množství spalin představuje ve srovnání se stanovením jejich teploty výrazně složitější úkol. Měření není snadné, ale na druhou stranu je zřejmé, že množství spalin úzce souvisí s tím, kolik spalovacího vzduchu se do spalovacího zařízení přivádí (ve většině případů nasává), tedy s jakým přebytkem spalovacího vzduchu (poměr množství vzduchu skutečného k množství vzduchu teoreticky potřebného) pracujeme. Množství spalin je přibližně stejné jako množství spalovacího vzduchu. Každé spalovací zařízení má oblast s optimálním přebytkem spalovacího vzduchu, kdy dosahuje nejlepších parametrů. Množství spalovacího vzduchu je ovlivněno nejen nastavením všech regulačních prvků pro přívod spalovacího vzduchu (klapky apod.) a parametry komínu, ale je také důležité vědět, jak je

naše spalovací zařízení těsné. Pokud uzavřeme všechny regulační prvky přívodu primárního, sekundárního popř. terciárního spalovacího vzduchu



Obr. č. 1 Příklad umístění teploměru za křbovými kamny

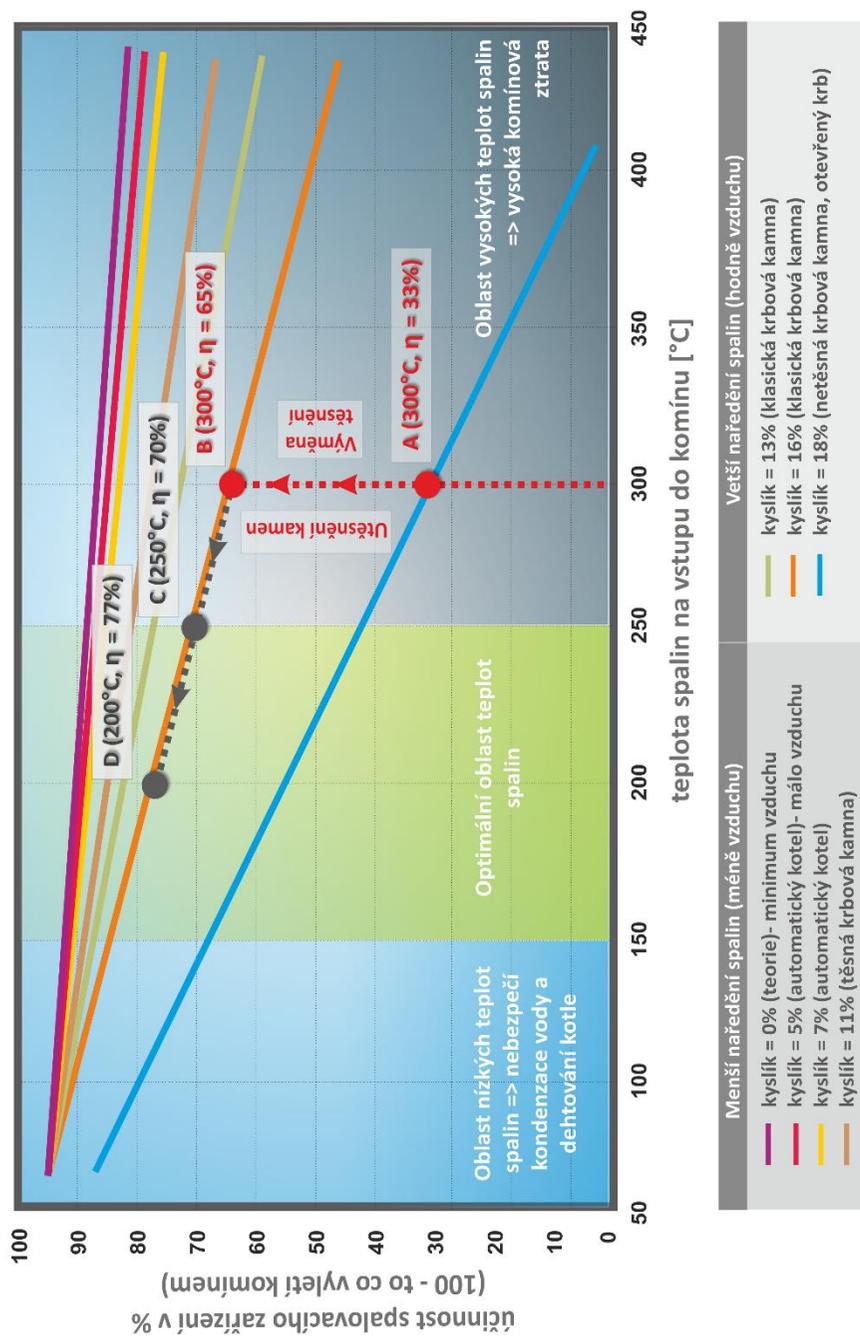
(provedu test těsnosti) a plamen hoří dál a viditelně nepohasne (možné otestovat jen u spalovacího zařízení s prosklenými dvířky), je zřejmé, že vzduch je nasáván mimo tyto regulační prvky a nemá smysl je nastavovat, protože nic neregulují. Tyto netěsnosti je potřeba nalézt a odstranit. Jednoduchou metodou hledání netěsností je přiblížení zdroje kouře (např. zapálená cigareta) ke spalovacímu zařízení, ve kterém hoří palivo a vyhledávání místa, v němž je kouř nasáván do kamen či kotle. Ve většině případů bývá největší zdroj netěsností ve dvířkách a pro její odstranění stačí vyměnit těsnící šňůry na příkládacích dvířkách a vyměnit nalepovací těsnění u popelníků a skel. Až budeme mít vzduch pod kontrolou – změna nastavení regulačních prvků se viditelně odrazí na změně velikosti a barvě plamene. Regulačními prvky můžeme potom nastavit a ovlivnit intenzitu a kvalitu. Cílem utěsnění netěsností je omezení přívodu falešného vzduchu, který negativně ovlivňuje provoz zařízení. Cílem však není úplné zamezení přívodu vzduchu do zařízení, ale omezení přívodu falešného vzduchu do nevhodných míst ve spalovací komoře zařízení. Regulační prvky umožní přivést dostatečné

množství vzduchu na to správné místo ve spalovacím zařízení. Regulační prvky uzavíráme jen při testu těsnosti, nikdy ne po přiložení paliva.

Orientační stanovení těsnosti spalovacích zařízení, které nemá prosklená dvířka nebo průhledítko (většina teplovodních kotlů) je velmi problematické. Nejlépe bychom zjistili těsnost spalovacího zařízení tak, že změříme koncentraci kyslíku ve spalinách, ale toto bez přenosného kufříkového analyzátoru (mají jej někteří kominíci) nejsme schopni v domácích podmínkách provést. Pro naše potřeby si vystačíme s vizuální kontrolou a odhadem těsnosti (těsná/netěsná).

Informace o teplotě spalin a částečně o tom, jak těsné spalovací zařízení máme, nám postačí k tomu, abychom si mohli orientačně stanovit účinnost našeho spalovacího zařízení. S pomocí obr. č. 2 budeme postupovat takto:

- Dle výsledku testu těsnosti a typu spalovacího zařízení si na obr. č. 2 vybereme jednu z křivek, která nejlépe odpovídá naší situaci. Jestliže máme klasická krbová kamna a při uzavření všech regulačních klapek se plamen nijak nezmenší, naše kamna jsou velmi netěsná a přibližně to odpovídá modré křivce (18 % kyslíku ve spalinách). Znamená to, že množství vzduchu nasávané do kamen se mění jen dle toho, jaký je tah komínu popř. jak máme nastavenou komínovou klapku. Pokud je komín v pořádku, můžeme předpokládat, že množství vzduchu je zbytečně velké a mnoho tepla jde do komína.
- Během doby jednoho přiložení orientačně změříme průměrnou teplotu spalin za kamny. Např. naměříme teplotu 300 °C.
- Na vodorovné ose x nalezneme teplotu spalin 300 °C a jdeme směrem nahoru až k modré křivce, která reprezentuje naše netěsná kamna – bod „A“. Na svislé ose odečteme hodnotu účinnosti přibližně 33 %.
- Výsledek nám tedy říká, že pokud máme netěsná kamna a teplota spalin se pohybuje okolo 300 °C (může to být běžný stav), využíváme teplo obsažené v palivu pouze s účinností 33 % (67 % energie nám „vyletí“ komínem). To jistě stojí za zamyšlení a provedení relativně jednoduchých nápravných opatření, protože účinnost 33 % je dost malá. Na druhou stranu ve srovnání s účinností otevřeného krbu (10 %) to je třikrát více. Neznamená to, že bychom se neohřáli, ale že ve srovnání s kamny o účinnosti např. 50 % spálíme v otevřeném krbu přibližně pětikrát více paliva pro dosažení stejné tepelné pohody.



Obr. č. 2 Orientační závislost účinnosti spalovacího zařízení na teplotě spalin a těsnosti spalovacího zařízení

Co je tedy možné udělat? Pokud chceme snížit spotřebu paliva (tj. zvýšit účinnost), graf na obr. č. 2 nám názorně ukazuje, jaké máme možnosti pro zlepšení. Pokud přijdeme na to, kde máme největší netěsnosti (falešný vzduch) a odstraníme je, můžeme se posunout na oranžovou křivku do bodu „B“. Tím jsme zásadním způsobem zvýšili účinnost z původních cca 30 % na 65 % a spotřeba paliva nám klesne na polovinu, a přesto bude užitek stejný. Jak se to mohlo stát? Nehovoříme o tom, že vzduchové regulační prvky budeme mít uzavřené, právě naopak, nyní regulačními prvky regulujeme potřebné množství vzduchu, ale co se zásadně změnilo, je, že jsme omezili přívod falešného vzduchu. Nyní přes spalovací zařízení prochází podstatně menší množství spalovacího vzduchu, a tedy vzniká menší množství spalin, protože máme vzduch částečně pod kontrolou a účinně regulujeme jeho množství regulačními prvky. Menší množství vzduchu znamená menší množství spalin a tím tedy i dosáhneme menší komínové ztráty.

Graf na obr. č. 2 naznačuje, jaké máme další možnosti zvýšení účinnosti. Pokud snížíme teplotu spalin, které vycházejí z kamen, snížíme množství tepla odcházejícího komínem ven a tím opět zvýšíme účinnost. Teplotu spalin snížíme množstvím spalovaného paliva (musíme méně přikládat), nastavením regulačních prvků přívodu spalovacího vzduchu a intenzitou chlazení kamen. U klasických krbových kamen je chlazení pláště problematické, u teplovodních kamen můžeme zvýšit průtok otopné vody, snížit teplotu vratné vody. U teplovzdušných krbových vložek intenzitu chlazení zvýšíme otevřením všech klapek pro přívod ohřátého vzduchu do místnosti nebo zapnutím ventilátoru ohřívání vzduchu. Pokud teplotu spalin snížíme na hodnotu 250 °C, dostaneme se do bodu „C“, v němž jsme již na účinnosti kolem 70 %. Při teplotě 200 °C by byla účinnost kolem 77 % (bod „D“).

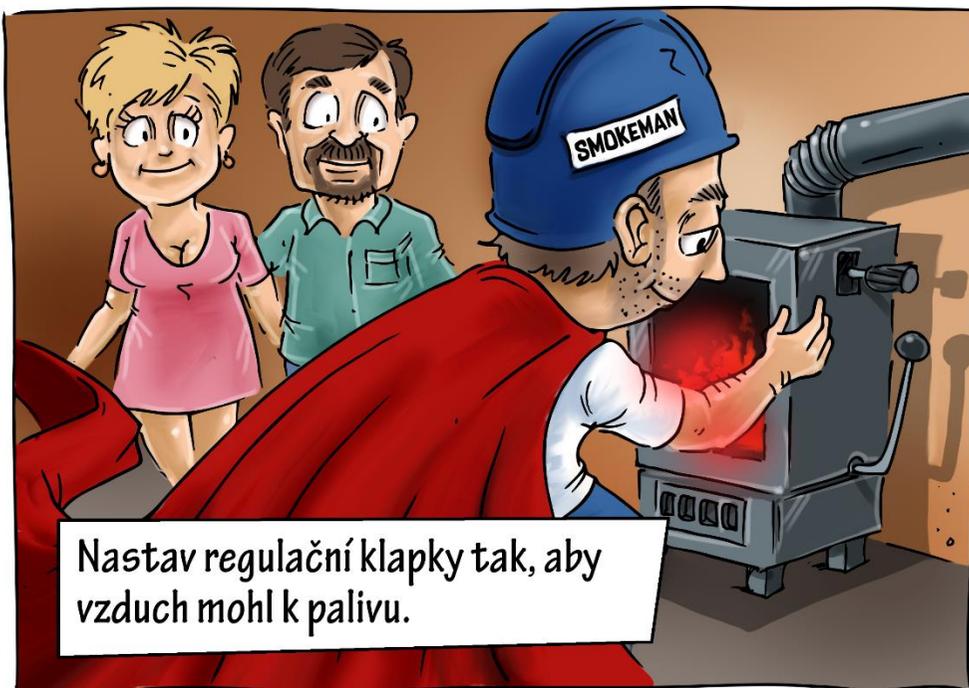
Teplotu spalin bychom u krbových kamen měli udržovat v rozsahu od 150 do 250 °C. U teplovodních kotlů by to mělo být cca od 150 do 200 °C. Pokud bude teplota příliš vysoká, „vyletí“ nám mnoho tepla komínem a máme velkou komínovou ztrátu. Ale pozor, teplotu spalin nemůžeme snižovat donekonečna, protože pokud budou spaliny příliš chladné (pod 150 °C, záleží na složení spalin – obsah vody a SO₃), může dojít ke kondenzaci dehtových látek a vodní páry a při nízké teplotě spalin může dojít i ke snížení komínového tahu. Kondenzace snižuje životnost komínu a spalovacího zařízení. Opět se zde jedná o kompromis, kdy spalinám odebereme co nejvíce tepla pro potřeby vytápění, ale jen do té míry, aby nám nezkoroval kotel či kamna a komín „přežil“ (koroze, vlhnutí zdiva).

O tom, jak lépe topit a co pro to dělat hovoříme v rámci edukativní show: „SMOKEMAN ZASAHUJE“, se kterou jezdíme po městech země České a Moravské, více zde: <http://vec.vsb.cz/cz/zkusebna/edukativni-show->

smokeman-zasahuje.html. Větší účinnost spalovacího zařízení představuje méně spáleného paliva, a proto se má smysl tímto tématem zabývat.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory MPO v rámci řešení projektu FR-TI1/178 Krbová kamna se sníženou produkcí prachu, MŠMT v rámci řešení projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0036 Inovace pro efektivitu a životní prostředí, TAČR v rámci řešení projektu Centra kompetence TE01020036 a 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.



Jaké parametry musí splnit kamna, krbové vložky a sporáky na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě – stav v roce 2017

Datum: 16.10.2017 | Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Lubomír Martiník, Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, Ing. Jiří Dvořák, Milan Holomek, Ing. Stanislav Buchta, Strojírenský zkušební ústav, s.p., BRNO, www.szutest.cz | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Protože při spalování tuhých paliv v lokálních topidlech (krbová kamna, krby, sporáky a kachlová kamna), která jsou používána pro vytápění domácností, dochází k emitování znečišťujících látek, jsou postupně v jednotlivých zemích EU přijímány různé zpřísnující požadavky (emise a účinnost). Požadavky jsou cíleny hlavně na výrobce či dovozce spalovacího zařízení, kteří musí prokázat jejich splnění při uvedení na trh. Jedná se o odlišný přístup než u teplovodních kotlů, kde jsou požadavky cíleny nejen na výrobce a dovozce, ale také na provozovatele. Částečně se toto mění pro ČR, kde zákon o ochraně ovzduší zavádí povinnosti také pro provozovatele lokálních topenišť s teplovodním výměníkem (část tepla je ze zdroje vyvedena do topné vody). Článek přináší přehled platných a plánovaných požadavků a porovnává je.

1 Úvod

Před čtyřmi lety (3. 6. 2013) byl na TZB-info uveřejněn článek „Jaké parametry musí splnit kamna, krbové vložky a sporáky? Legislativa v ČR a Evropě“. Od té doby se některé věci změnila a z toho důvodu se k vám nyní dostává aktualizovaná verze požadavků na lokální topidla na tuhá paliva, které jsou poplatné k současnému stavu, tedy k roku 2017.

Kamna, krby a sporáky (zařízení souhrnně označovaná jako lokální topidla dle nařízení o ekodesignu [1] nebo také jako sálavé zdroje tepla dle zákona o ochraně ovzduší [2]) nepochybně patří k tepelným zařízením, které dokážou přinést do domácností tepelnou pohodu za rozumnou cenu a současně potěšit pohledem na plápolající oheň. Proto je zájem o tato zařízení poměrně značný. Podle statistického šetření MPO bylo nejvíce lokálních topidel dodáno na český trh v roce 2011, a to v počtu přibližně 83 tisíc kusů (téměř 20 tisíc kusů vložek, zhruba 56 tisíc kamen a cca 7 tisíc sporáků) [3]. Což při průměrném výkonu lokálního topidla cca 10 kW představuje přibližně 830 MW instalovaného tepelného výkonu ze spalování dřeva v domácnosti,

byť s nepříliš vysokým ročním využitím. Pro srovnání, tato hodnota je vyšší než celkový tepelný výkon teplárny Třebovice (649 MW) [4].

Spalování tuhých paliv je vždy doprovázeno produkcí znečišťujících látek a obecným cílem by mělo být snížit jejich množství na přijatelnou úroveň. Jedním z nástrojů ke snížení množství vypouštěných znečišťujících látek jsou legislativní požadavky na spalovací zařízení a palivo, které jsou uplatňovány při uvádění spalovacího zařízení na trh za účasti oznámeného subjektu, příp. při jejich provozu. Článek se zabývá platnými požadavky na emise znečišťujících látek a účinnost spalovacího zařízení, které jsou legislativně vyžadovány jak v celé EU, tak dalšími požadavky, které jsou dány v některých jednotlivých zemích. Evropské leadery v této oblasti představují Německo a Rakousko. Protože jsou jednotlivé limity vyjadřovány v různých jednotkách a při různých podmínkách (referenční obsah O₂), jsou v tomto příspěvku limity přepočteny tak, aby bylo možné provést jejich porovnání a zodpovědět otázku, jak se liší a kde jsou požadavky nejpřísnější.

2 Současně platné limity

Obecně můžeme říci, že se budeme věnovat spalovacím zařízením – lokálním topidlům sloužícím hlavně k vytápění místnosti (případně k vaření), ve které jsou umístěny. Tato zařízení můžeme dle terminologie norem rozdělit na:

- vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva (ČSN EN 13229) – krbové vložky; kachlová kamna a vestavné dekorativní spotřebiče [5],
- spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostorů (ČSN EN 13240) – krbová kamna [6],
- akumulární kamna na pevná paliva (ČSN EN 15250) – kamna s akumulární funkcí [7],
- varné spotřebiče pro domácnost na pevná paliva (ČSN EN 12815) – spotřebiče sloužící k tepelné úpravě pokrmů – sporáky [8],
- spotřebiče spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů (ČSN EN 14785) – krbová kamna na pelety [9],
- saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena) se spalováním periodických dávek (ČSN EN 15821) [10].

Zpřísnění obecných limitů pak přinášejí v jednotlivých státech různé vyhlášky a nařízení, případně dobrovolné ekologické známky. Mezi nejznámější ekologické známky a podpůrné programy patří:

- ČR – Nová zelená úsporám (www.novazelenausporam.cz);
- Německo – DINplus (<http://www.dincertco.de>);

- Švédsko, Norsko, Finsko, Dánsko, Island – Nordic Swan (www.nordic-eocolabel.org);
- Francie – Flamme Verte (<http://www.flammeverte.org>);
- Anglie – HETAS certification (<http://www.hetas.co.uk>); atd.

Poznámka: v další části textu je v některých případech uvedena jednotka m^3_N – ta představuje objem v metrech krychlových při 101 325 Pa a 0 °C – při tzv. normálních podmínkách.

2.1 Evropa obecně

2.1.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacích zařízení

Při uvedení výše uvedených spotřebičů na trh se obecně v Evropě provádí zkoušení dle platných harmonizovaných norem [5] až [10]. Co se týká postupů zkoušení i emisních limitů, jsou si normy velice podobné. V normě EN 12815 přibývají zkoušky vyplývající z hlavní funkce spotřebičů, kterou je příprava pokrmů – zkouška doby ohřevu varné plotny a zkouška pečení a dále některé bezpečnostní zkoušky.

Emisní limity musí dle norem plnit spotřebiče jen při jmenovitém výkonu (kromě spotřebičů spalujících dřevní pelety, které mají odlišné limity při sníženém výkonu). Tabulka emisních limitů je označena jako tab. č. 1. Dále jsou v tabulce uvedeny i hodnoty minimální účinnosti pro dané spotřebiče.

Obecně lze říci, že tyto emisní limity jsou ve srovnání s požadavky na kotle mírné [15] a minimální účinnosti jsou poměrně nízké. Problém s účinností nastává v případě krbových vložek (dále jen KV). Ty jsou určeny do obestavby, případně jsou napojeny na akumulční prvek, kterým prochází spaliny. Pro správnou funkčnost celku (KV + akumulční prvek) je tedy nutno, aby spaliny za KV měly vysokou teplotu – samotná KV pak má nízkou účinnost. Výrobci však nabízejí (zřejmě z obavy, že by zákazníci jejich výrobky nekupovali) KV s účinností přes 70 %. K tomuto trendu jsou výrobci často tlačeni přísnějšími požadavky v zemích EU, v nichž by s výrobky, které mají nižší účinnosti, než požadují místní předpisy, neuspěli.

Je třeba si uvědomit, že potřeba tepla objektu není po celou topnou sezónu stejná. U krbových vložek s vodním výměníkem je možným řešením akumulční nádoba na topnou vodu, která umožňuje krbové vložce pracovat při ideálním jmenovitém výkonu. Při modulaci výkonu (na tzv. snížený výkon) dochází k vyšší produkci emisí a nižší účinnosti. Je proto dobré krbová kamna zbytečně nepředimenzovat a tím docílit co největšího pokrytí topné sezóny v provozu na jmenovitý výkon.

V současnosti pracovní skupiny technické komise CEN/TC 295 (Residential solid fuel burning appliances) připravují novou sérii technických norem EN 16510, která zahrne a nahradí uvedené staré, dosud platné, normy (kromě EN 15821). Dle posledních informací z TC295 má první část s označením EN 16510-1 (Obecné požadavky a zkušební metody) vyjít v roce 2017 jako neharmonizovaná norma, tzn. v procesu CE značení lokálního topidla budou zatím platit stále aktuální harmonizované normy [5] až [9]. Další části série EN 16510 (EN 16510-2-1 až 16510-2-6), které se potom věnují jednotlivým typům lokálních topidel, jsou ve stádiu přípravy a datum jejich vydání je v tuto chvíli neznámé.

Tab. č. 1 Obecné emisní limity, EU [5], [6], [7], [8], [9], [10]

norma	předmět normy ¹⁾	limit pro CO ²⁾	limit pro CO ²⁾	min. účinnost
		[%]	[mg/m ³ _N]	[%]
EN 13240	krbová kamna	1	12 500	50
EN 13229	krbové vložky	1	12 500	30
	kachlová kamna a vestavné dekorativní spotřebiče < 15 kW	0,2	2 500	75
EN 14785	spotřebiče spalující dřevěné pelety	0,04 / 0,06 ³⁾	500 / 750 ³⁾	75 / 70 ³⁾
EN 15250	akumulační kamna	0,3	3 750	70
EN 12815	sporáky	1	12 500	60
EN 15821	saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena)	1	12 500	50

¹⁾ uvedeny nejběžnější spotřebiče spadající pod danou normu

²⁾ při referenčním obsahu O₂ = 13 %

³⁾ hodnoty při sníženém výkonu

2.2 Česká republika

Česká republika přebírá limity z výše uvedených norem. U sálavých zdrojů tepla (lokální topidla) zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší [2] stanovuje další povinnosti jak pro výrobce (dovozce) spalovacích zařízení, tak pro provozovatele.

2.2.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacích zařízení

Základní požadavky na emise a účinnost stanovují normy ČSN EN 13229 [5], ČSN EN 13240 [6], ČSN EN 15250 [7], ČSN EN 12815 [8], ČSN EN 14785 [9] a ČSN EN 15821 [10] – viz kapitola 3.1. Pro lokální topidla určená pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění (např. krbové vložky nebo kamna s vodním výměníkem) platí emisní limity pro CO a prach (TZL) dle přílohy č. 10 části I a II zákona č. 201/2012 Sb. ve znění pozdějších zákonů [2]. Lokální topidla uváděná na trh ČR, která slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, musí splňovat požadavky uvedené v tabulce tab. č. 2, které jsou použitelné v období **do 31. prosince 2017**. V období **od 1. ledna 2018 do 31. prosince 2019** bude možné v ČR uvádět na trh pouze ta lokální topidla s výměníkem, která splní požadavky uvedené v tabulce tab. č. 3. V podstatě se jedná o 1,38krát mírnější požadavky na CO a prach než požadavky na třídu kotle 4 dle EN 303-5:2012 [11] určené pro teplovodní kotle.

Norma EN 303-5:2012 [11] kategorizuje zdroj dle jeho výkonu, zatímco zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší [2] kategorizuje zdroj dle jeho příkonu (jedná se o celkový příkon zařízení) a rozděluje limity pro kotle a lokální topidla dle rozdílného referenčního kyslíku. Pro kotle je hodnota referenčního kyslíku 10 % a pro lokální topidla 13 %. To znamená, že limity pro kotle jsou přísnější, nižší o násobek $(21 - 13) / (21 - 10) = 8/11 = 0,73$, a tedy na úrovni 73 % požadavku pro lokální topidla.

Tab. č. 2 Minimální emisní požadavky pro lokální topidla uváděná na trh, která slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění o jmenovitém příkonu do 300 kW, které se použijí do 31. prosince 2017 – Příloha č. 10, Část I zákona č. 201/2012 Sb.

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	Mezní hodnoty emisí ¹⁾	
			CO	Prach (TZL)
			mg/m ³ _N při 13% O ₂ (mg/m ³ _N při 10% O ₂)	
Ruční	Biologické	≤ 65	5 000 (6 876)	150 (206)
		> 65 až 187	2 500 (3 438)	150 (206)
		> 187 až 300	1 200 (1 650)	150 (206)
	Fosilní	≤ 65	5 000 (6 876)	125 (172)
		> 65 až 187	2 500 (3 438)	125 (172)
		> 187 až 300	1 200 (1 650)	125 (172)
Samočinná	Biologické	≤ 65	3 000 (4 125)	150 (206)
		> 65 až 187	2 500 (3 438)	150 (206)
		> 187 až 300	1 200 (1 650)	150 (206)
	Fosilní	≤ 65	3 000 (4 125)	125 (172)
		> 65 až 187	2 500 (3 438)	125 (172)
		> 187 až 300	1 200 (1 650)	125 (172)

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101 325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 13 % (k referenčnímu obsahu kyslíku 10 %)

Tab. č. 3 Minimální emisní požadavky pro lokální topidla uváděná na trh, která slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění o jmenovitém příkonu do 300 kW, které se použijí od 1. ledna 2018 do 31. prosince 2019 – Příloha č. 10, Část II zákona č. 201/2012 Sb.

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	Mezní hodnoty emisí ¹⁾	
			CO	Prach (TZL)
			mg/m ³ _N při 13% O ₂ (mg/m ³ _N při 10% O ₂)	
Ruční	Biologické / Fosilní	≤ 300	1 200 (1 650)	75 (103)
Samočinná	Biologické / Fosilní	≤ 300	1 000 (1 375)	60 (83)

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 13 % (k referenčnímu obsahu kyslíku 10 %)

Od 1. ledna 2020 do 31. prosince 2021 budou pro osoby uvádějící lokální topidlo na trh v ČR platit požadavky dle Přílohy č. 10, části III zákona č. 201/2012 Sb. [2] na spalovací stacionární zdroje na pevná paliva vymezené v čl. 1 nařízení Komise (EU) 2015/1185, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign lokálních topidel na tuhá paliva [1].

Dle čl. 1 nařízení [1] se požadavky vztahují na následující spalovací stacionární zdroje:

- lokální topidla na tuhá paliva se jmenovitým tepelným výkonem nejvýše 50 kW.

Dle čl. 1 nařízení [1] se požadavky nevztahují na:

- lokální topidla na tuhá paliva, která jsou určena pouze pro spalování nedřevní biomasy;
- lokální topidla na tuhá paliva určená pouze pro venkovní použití;
- lokální topidla na tuhá paliva, jejichž přímý tepelný výkon činí méně než 6 % celkového přímého a nepřímého tepelného výkonu při jmenovitém tepelném výkonu;

- lokální topidla na tuhá paliva, která nejsou sestavena při výrobě ani poskytována jedním výrobcem jako prefabrikované díly nebo součásti určené k montáži na místě;
- ohřívače vzduchu;
- saunová kamna.

Lokální topidla musí splňovat následující mezní hodnoty emisí, které se vztahují k suchým spalínám, teplotě 273 K, tlaku 101,3 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %:

(1) Mezní hodnoty emisí TZL:

- a) u topidel s otevřenou spalovací komorou nesmí překročit $50 \text{ mg.m}^{-3}\text{N}$ při měření metodou A, nebo 6 g/kg (sušiny) při měření metodou B;
- b) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících tuhá paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet a ze sporáků nesmí překročit $40 \text{ mg.m}^{-3}\text{N}$ při měření metodou A, nebo 5 g/kg (sušiny) při měření metodou B, nebo 2,4 g/kg (sušiny) v případě biomasy či 5,0 g/kg v případě tuhých fosilních paliv při měření metodou C;
- c) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí překročit $20 \text{ mg.m}^{-3}\text{N}$ při měření metodou A, nebo 2,5 g/kg (sušiny) při měření metodou B3, nebo 1,2 g/kg (sušiny) při měření metodou C.

(2) Mezní hodnoty emisí plynných organických sloučenin (TOC):

- a) emise TOC z lokálních topidel na tuhá paliva s otevřenou spalovací komorou, z lokálních topidel na tuhá paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících tuhá paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet a ze sporáků nesmí překročit $120 \text{ mgC.m}^{-3}\text{N}$;
- b) emise TOC z lokálních topidel na tuhá paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí překročit $60 \text{ mgC.m}^{-3}\text{N}$.

(3) Mezní hodnoty emisí oxidu uhelnatého (CO):

- a) u topidel s otevřenou spalovací komorou nesmí překročit $2\,000 \text{ mg.m}^{-3}\text{N}$;
- b) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících tuhá paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet a ze sporáků nesmí překročit $1\,500 \text{ mg.m}^{-3}\text{N}$;
- c) u topidel s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí překročit $300 \text{ mg.m}^{-3}\text{N}$.

(4) Mezní hodnoty emisí oxidů dusíku (NO_x):

- a) u topidel na tuhá paliva s otevřenou spalovací komorou, u topidel na tuhá paliva s uzavřenou spalovací komorou a ze sporáků využívajících biomasu nesmí překročit 200 mg.m⁻³N, vyjádřeno jako NO₂;
- b) u topidel s otevřenou spalovací komorou, z topidel na tuhá paliva s uzavřenou spalovací komorou a ze sporáků využívajících fosilní tuhá paliva nesmí překročit 300 mg.m⁻³N, vyjádřeno jako NO₂.

POZNÁMKA: Požadavky se tedy týkají i lokálních topidel bez teplovodního výměníku. Tyto mezní hodnoty emisí jsou platné v EU až od 1. ledna 2022 na rozdíl od zákona č. 201/2012 Sb., kde je platnost o dva roky dříve. Nařízení o ekodesignu [1] navíc od 1. ledna 2022 zavádí požadavky na sezónní energetickou účinnost vytápění:

- sezónní energetická účinnost vytápění lokálních topidel na tuhá paliva s otevřenou spalovací komorou nesmí být nižší než 30 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění lokálních topidel na tuhá paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících tuhá paliva jiná než lisované dřevo ve formě pelet nesmí být nižší než 65 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění lokálních topidel na tuhá paliva s uzavřenou spalovací komorou využívajících lisované dřevo ve formě pelet nesmí být nižší než 79 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění sporáků nesmí být nižší než 65 %.

2.2.2 Povinnosti provozovatele

Zákon č. 201/2012 Sb. zavádí povinnosti pro provozovatele spalovacích zařízení. Zákon zakazuje ve všech spalovacích zařízeních do příkonu 300 kW spalování lignitu, hnědého energetického uhlí a kalů (dle § 17 odst. 5). Dále se na všechny spalovací zařízení vztahuje ustanovení o přípustné tmavosti kouře (dle § 17 odst. 1 b), které je ale obtížně aplikovatelné z důvodu střídání dne a noci a také s ohledem na výjimku v době zátopy.

Pro stacionární spalovací zdroje na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně, který slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, je provozovatel povinen dle § 17 odst. 1 h) provádět jednou za dva kalendářní roky prostřednictvím osoby, která byla proškolená výrobcem spalovacího stacionárního zdroje a má od něj udělené oprávnění k jeho instalaci, provozu a údržbě (odborně způsobilá osoba), kontrolu technického stavu a provozu spalovacího stacionárního zdroje a předkládat na vyžádání obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností

doklad o provedení této kontroly vystavený odborně způsobilou osobou potvrzující, že stacionární zdroj je instalován, provozován a udržován v souladu s pokyny výrobce a zákonem č. 201/2012 Sb. V případě, že výrobce spalovacího zdroje není znám, zanikl nebo neurčil oprávněnou osobu, může být kontrola provedena odborně způsobilou osobou oprávněnou jiným výrobcem k provádění kontroly technického stavu a provozu stejného typu spalovacího stacionárního zdroje. První kontrolu musel provozovatel zajistit nejpozději do 31. 12. 2016 (dle § 41, odst. 15). Pokud na vyžádání obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností provozovatel nepředloží doklad o provedení kontroly (**od 1. 1. 2017**), hrozí mu pokuta až 20 000 Kč dle § 23, odst. 2 b).

Při kontrole se neprovádí žádná měření, což dle našeho názoru velmi omezuje její přínos. V podstatě odborně způsobilá osoba na místě vizuálně zhodnotí stav a jako nejdůležitější zdroj informací o emisích a ostatních parametrech budou hodnoty ze štítku spalovacího zařízení. Tyto hodnoty byly dosaženy jednou při certifikaci a je otázka, jakých parametrů zařízení dosahuje při reálném provozu. Toto ale zákon neřeší. Zákon řeší, že provozovatel musí provozovat takové spalovací zařízení, které je schopné těchto parametrů dosáhnout.

Novelizace zákona č. 201/2012 Sb. ve znění zákona č. 369/2016 Sb. zavádí možnost kontroly přímo u provozovatele (§ 17 odst. 2):

„Vznikne-li důvodné podezření, že provozovatel spalovacího stacionárního zdroje umístěného v rodinném domě, v bytě nebo ve stavbě pro rodinnou rekreaci, nejde-li o prostory užívané pro podnikatelskou činnost, porušil některou z povinností podle § 17 odstavce 1, avšak toto porušení nelze prokázat bez provedení kontroly spalovacího stacionárního zdroje, jeho příslušenství nebo používaných paliv, obecní úřad obce s rozšířenou působností provozovatele na tuto skutečnost písemně upozorní a poučí jej o povinnostech provozovatele spalovacího stacionárního zdroje stanovených v odstavci 1 a o následcích opakovaného důvodného podezření na jejich porušení v podobě provedení kontroly. Pokud opakovaně vznikne důvodné podezření, že tento provozovatel nadále nebo opětovně porušuje některou z povinností podle odstavce 1, je kontrolující oprávněn vstoupit do jeho obydlí za účelem kontroly dodržování povinností podle tohoto zákona. Vlastník nebo uživatel těchto prostor je povinen umožnit kontrolujícímu přístup ke spalovacímu stacionárnímu zdroji, jeho příslušenství a používaným palivům.“

Od září 2022 (dle § 41, odst. 16) bude možné provozovat pouze taková zařízení (nejen kotle, ale i lokální topidla pro připojení na teplovodní soustavu

ústředního vytápění o celkovém příkonu od 10 do 300 kW), která splňují požadavek dle přílohy č. 11 zákona (hodnoty jsou shodné s tab. č. 2). Staré, dnes používané zařízení v této dimenzi by neměly být po tomto termínu používány. V opačném případě lze uložit pokutu 50 000 Kč dle § 23, odst. 2 a). Pokutu 50 000 Kč lze uložit také v případech, že provozovatel nedodrží přípustnou tmavost kouře (**od září 2012**), nebo spaluje hnědé uhlí energetické, lignit, uhelné kaly nebo proplátky (**od září 2012**).

Vzhledem k tomu, že při procesu posuzování vlastností stavebního výrobku dle Nařízení evropského parlamentu a Rady č. 305/2011 (před uvedením výrobku na trh) takovýchto typů spalovacích zařízení se postupovalo dle požadavků norem ČSN EN 13229, ČSN EN 13240, ČSN EN 15250, ČSN EN 14785, ČSN EN 12815 a ČSN EN 15821, nemusely být v rámci tohoto procesu měřeny hodnoty emisí prachu (TZL). Při kontrole u provozovatele tedy nebude mít osoba provádějící kontrolu k dispozici informace o tom, zda jsou požadavky zákona splněny. Pokud si výrobci nenechají při certifikaci změřit hodnoty emisí prachu, nebudou moci tato zařízení prodávat a provozovatelé je nebudou smět provozovat.

2.3 Německo

2.3.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacích zařízení

V Německu je platná vyhláška 1. BImSchV [13], která upravuje (zpřísňuje) limity pro koncentrace škodlivin vypouštěných do ovzduší při provozu lokálních spotřebičů na tuhá paliva.

Pro zařízení uvedená do provozu po 1. 1. 2015 platí emisní limity a minimální účinnosti uvedené v tab. č. 4 – tzv. Stufe 2. Tyto limity musí zařízení splnit při jmenovitém výkonu.

Tab. č. 4 Požadavky dle 1. BImSchV Stufe 2 pro zařízení uváděná na trh [13]

zařízení	norma	prach ¹⁾	CO ¹⁾	účinnost
		[mg/m ³ _N]	[mg/m ³ _N]	[%]
interiérové topidlo bez násypné šachty (krátkodobý spal. proces)	EN 13240	40	1 250	73
interiérové topidlo s násypnou šachtou (dlouhodobý spal. proces)	EN 13240	40	1 250	70
krbová vložka provozovaná s uzavřenými příkládacími dvířky	EN 13229	40	1 250	75
vložka pro kachlová kamna bez násypné šachty	EN 13229	40	1 250	80
vložka pro kachlová kamna s násypnou šachtou	EN 13229	40	1 250	80
akumulační kamna	EN 15250	40	1 250	75
spotřebiče spalující dřevní pelety bez vodního výměníku	EN 14785	30	250	85
spotřebiče spalující dřevní pelety s vodním výměníkem	EN 14785	20	250	90
varný spotřebič	EN 12815	40	1 500	70
varný spotřebič s vodním výměníkem	EN 12815	40	1 500	75
saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena)	EN 15821	40	1 250	73

¹⁾ limity jsou uvedeny při referenčním O₂ = 13 %

- krátkodobý spalovací proces = mezi jednotlivými přiloženími je 0,75 až 1 hodina
- dlouhodobý spalovací proces = mezi jednotlivými přiloženími jsou minimálně 4 hodiny

2.3.2 Povinnosti provozovatele

Provozovatel musí **do 31. 12. 2013** prokázat plnění limitů pro zařízení uvedená do provozu před 25. 11. 2009. To lze prokázat buď předložením certifikátu od výrobce zařízení, nebo měřením prováděným kominikem.

V případě, že zařízení emisní limity nesplní, musí být vyřazeno z provozu nebo vybaveno dodatečným zařízením umožňujícím splnit emisní limity (k datu uvedenému ve vyhlášce, v závislosti na stáří spotřebiče). Pravidelné měření lokálních spotřebičů se u provozovatele neprovádí (provádí se jen u teplovodních kotlů [15]).

2.4 Rakousko

2.4.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacích zařízení

V Rakousku jsou emisní limity upraveny dohodou 15a B-VG [14], požadované hodnoty jsou uvedeny v tab. č. 5 (ruční dodávka paliva) a tab. č. 6 (automatická dodávka paliva). Tyto hodnoty musí splnit každé spalovací zařízení (všechny velikosti) při zkouškách při jmenovitém výkonu. U spalovacích zařízení se jmenovitým výkonem nad 8 kW musí být splněny limity nejen při jmenovitém výkonu, ale pro CO, OGC a účinnost také při sníženém výkonu (50% P_{jm} u ručně obsluhovaných, 30% P_{jm} u automaticky obsluhovaných). Minimální účinnosti i pro spalovací zařízení s jmenovitým výkonem pod 8 kW jsou uvedeny v tab. č. 7.

Tab. č. 5 Požadavky dle 15a B-VG, emisní limity – ruční dodávka paliva [14]

Parametr	Emisní limity [mg/MJ]					
	Dřevěná paliva		Ostatní standardizovaná biogenní paliva		Fosilní paliva	
	Lokální topidla	Spalovací zařízení napojené na ústřední vytápění	< 50 kW jmenovitého výkonu	> 50 kW jmenovitého výkonu	< 50 kW jmenovitého výkonu	> 50 kW jmenovitého výkonu
CO	1 100	500	1 100	500	1 100	500
NO _x	150	100	300	300	100	100
OGC	50	30	50	30	80	30
Prach (TZL)	35	30	35	35	35	35

Tab. č. 6 Požadavky dle 15a B-VG, emisní limity – automatická dodávka paliva [14]

Parametr	Emisní limity [mg/MJ]			
	Dřevěné pelety	Dřevěné pelety	Ostatní dřevěné palivo	Ostatní standardizovaná biogenní paliva
	Lokální topidla	Spalovací zařízení napojené na ústřední vytápění		
CO	500 ^a	250 ^a	250 ^a	500 ^a
NO _x	100	100	100	300
OGC	30	20	30	20
Prach (TZL)	25	20	30	35

^a mezní hodnota může být překročena o 50 % během zkoušky sníženého výkonu – 30 % jmenovitého výkonu

Tab. č. 7 Požadavky na minimální účinnost dle 15a B-VG [14]

Spalovací zařízení	Účinnost [%]
Sporáky na fosilní paliva	73
Sporáky na standardní biogenní paliva	72
Spalovací zařízení na fosilní a standardní biogenní paliva	80

2.4.2 Povinnosti provozovatele

Provozovatelé lokálních topidel bez teplovodního výměníku (krbová kamna, vložky a sporáky) nemusí provádět pravidelné měření emisí, na rozdíl od provozovatelů spalovacích zařízení určených k napojení na ústřední vytápění (kotle ale i lokální topidla s teplovodním výměníkem). V tomto případě je provozovatel, který spaluje uhlí nebo standardizovaná biogenní paliva v zařízení do 50 kW, povinen každé dva roky prokázat splnění limitní

hodnoty pro CO a komínovou ztrátu (viz tab. č. 8). Provozovatel spalující nestandardizovaná biogenní paliva ve spalovacím zařízení napojeném na ústřední vytápění musí prokázat splnění limitní hodnoty pro CO a komínovou ztrátu jednou za rok. Totéž platí pro zařízení nad 50 kW.

Tab. č. 8 Limity pro pravidelná měření u provozovatele spalovacího zařízení napojeného na ústřední vytápění [14]

Limity	Ruční příkládání	Automatické příkládání
Komínová ztráta [%]	20	19
CO [mg/m ³ _N]	3 500	1 500

Limity pro biogenní paliva se vztahují k referenčnímu O₂ = 11 %, pro fosilní paliva k referenčnímu O₂ = 6 %

2.5 Srovnání limitů

Pro možnost porovnávání emisních limitů platných v různých zemích je důležité mít tyto hodnoty vyjádřeny ve stejných jednotkách (koncentrace mg/m³_N nebo emisní faktor mg/MJ) a také vztaženy na stejné srovnávací podmínky – referenční obsah kyslíku, suché spaliny při normálních podmínkách. V Rakousku jsou limity uváděny jako emisní faktor vztažený na energii obsaženou v palivu, na rozdíl od ČR a Německa, kde jsou limity uváděny jako koncentrace vztažené na objem suchých spalin. Srovnání limitů je tedy nutno provádět přepočtem přes výhřevnost paliva a množství spalin, vzniklých spálením 1 kg paliva. Pro přibližný přepočet byly použity tyto hodnoty:

- biogenní paliva: $Q_i^r = 14,6 \text{ MJ/kg}_{\text{paliva}}$ [16]; měrný vývin spalin 10,2 m³_N/kg_{paliva} (13 % O₂) – dřevo
- fosilní paliva: $Q_i^r = 17,6 \text{ MJ/kg}_{\text{paliva}}$; měrný vývin spalin 12,7 m³_N/kg_{paliva} (13 % O₂) – hnědé uhlí [17]

Srovnání požadavků na spalovací zařízení platné v jednotlivých zemích je uvedeno v tab. č. 9.

Tab. č. 9a Srovnání dnes platných limitů pro emise znečišťujících látek a účinnost při $O_{2,ref} = 13\%$ [1], [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [13], [14], [23]

Norma		CO	NO _x	OGC	prach	min.účinnost	četnost
		[mg/m ³ _N]	[%]				
EU	EN 13240 – krbová kamna	12500/1500 ⁵⁾	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40 ⁵⁾	50/65 ⁵⁾	při certifikaci
EU	EN 13229 – krbové vložky + spal. zař. pro připojení do ústředního vytápění	12500/1500 ⁵⁾	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40 ⁵⁾	30/65 ⁵⁾	při certifikaci
EU	EN 12815 – sporáky	12500/1500 ⁵⁾	300 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40 ⁵⁾	60/65 ⁵⁾	při certifikaci
EU	EN 13229 – kachlová kamna, dekorativní spotřebiče < 15 kW	2500/1500 ⁵⁾	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40 ⁵⁾	75/65 ⁵⁾	při certifikaci
EU	EN 15250 – akumulární kamna	3750/1500 ⁵⁾	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40 ⁵⁾	70/65 ⁵⁾	při certifikaci
EU	EN 14785 – automatické zdroje na dřevěné pelety	500/300 ⁵⁾	–	60 ⁵⁾	20 ⁵⁾	75/79 ⁵⁾	při certifikaci
EU	EN 15821 – saunová kamna na pevná paliva	12500	–	–	–	50	při certifikaci
ČR	EN 13240 – krbová kamna	12500/1500 ⁶⁾	200 ⁶⁾	120 ⁶⁾	40 ⁶⁾	50/65 ⁵⁾	při certifikaci
ČR	EN 13229 – krbové vložky + spal. zař. pro připojení do ústředního vytápění	12500/1500 ⁶⁾	200 ⁶⁾	120 ⁶⁾	40 ⁶⁾	30/65 ⁵⁾	při certifikaci

Tab. č. 9b Srovnání dnes platných limitů pro emise znečišťujících látek a účinnost při $O_{2,ref}=13\%$ [1], [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [13], [14], [23]

Norma		CO	NO _x	OGC	prach	min.účinnost	četnost
		[mg/m ³ _N]	[%]				
ČR	EN 12815 – sporáky	12500/1500 ⁶⁾	300 ⁶⁾	120 ⁶⁾	40 ⁶⁾	60/65 ⁵⁾	při certifikaci
ČR	EN 13229 – kachlová kamna, dekorativní s potřebiče < 15 kW	2500/1500 ⁶⁾	200 ⁶⁾	120 ⁶⁾	40 ⁶⁾	75/65 ⁵⁾	při certifikaci
ČR	EN 15250 – akumulární kamna	3750/1500 ⁶⁾	200 ⁶⁾	120 ⁶⁾	40 ⁶⁾	70/65 ⁵⁾	při certifikaci
ČR	EN 14785 – automatické zdroje na dřevěné pelety	500/300 ⁶⁾	200 ⁵⁾	60 ⁶⁾	20 ⁶⁾	75/79 ⁵⁾	při certifikaci
ČR	EN 15821 – saunová kamna	12500	–	–	–	50	při certifikaci
ČR	na pevná paliva						
ČR	Zák. 201/2012 – spal. zařízení pro připojení do ústř. vytápění	3000–5000 ⁷⁾	–	–	125–150 ⁷⁾	–	při certifikaci + revize každé 2 roky ⁴⁾
ČR	Zák. 201/2012 – spal. zařízení pro připojení do ústř. vytápění	1000–1200 ⁸⁾	–	–	60–75 ⁸⁾	–	při certifikaci + revize každé 2 roky ⁴⁾
Německo	EN 13240 – interiérové topidlo bez násypné šachty	1250	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	73	při certifikaci

Tab. č. 9c Srovnání dnes platných limitů pro emise znečišťujících látek a účinnost při $O_{2,ref}=13\%$ [1], [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [13], [14], [23]

Norma		CO	NO _x	OGC	prach	min.účinnost	četnost
		[mg/m ³ _N]	[%]				
Německo	EN 13240 – interiérové topidlo s násypnou šachtou	1250	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	70	při certifikaci
Německo	EN 13229 – krbová vložka s uzavřenými dvířky	1250	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	75	při certifikaci
Německo	EN 13229 – vložka pro kachl. kamna bez násypné šachty	1250	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	80	při certifikaci
Německo	EN 13229 – vložka pro kachl. kamna s násypnou šachtou	1250	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	80	při certifikaci
Německo	EN 15250 – akumulární kamna	1250	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	75	při certifikaci
Německo	EN 14785 – automatické zdroje na dřevěné pelety	250	–	60 ⁵⁾	20	85–90 ²⁾	při certifikaci
Německo	EN 15821 – saunová kamna na pevná paliva	1250	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	73	při certifikaci
Německo	EN 12815 – varný spotřebič	1500	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	70	při certifikaci

Tab. č. 9d Srovnání dnes platných limitů pro emise znečišťujících látek a účinnost při $O_{2,ref}=13\%$ [1], [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [13], [14], [23]

Norma		CO	NO _x	OGC	prach	min.účinnost	četnost
		[mg/m ³ _N]	[%]				
Německo	EN 12815 – varný spotřebič s vodním výměníkem	1500	200 ⁵⁾	120 ⁵⁾	40	75	při certifikaci
Rakousko	paliva na bázi dřeva	1 575 (1100) ¹⁾	215 (150) ¹⁾	71 (50) ¹⁾	50 (35) ¹⁾	72–80 ³⁾	při certifikaci + revize každé 2 roky ⁹⁾
Rakousko	automatický zdroj na dřevěné pelety	716 (500) ¹⁾	143 (100) ¹⁾	43 (30) ¹⁾	36 (25) ¹⁾	80 ³⁾	při certifikaci + revize každé 2 roky ⁹⁾
Rakousko	ostatní biogenní paliva < 50 kW	1 575 (1100) ¹⁾	429 (300) ¹⁾	72 (50) ¹⁾	35 (50) ¹⁾	72–80 ³⁾	při certifikaci + revize každé 2 roky ⁹⁾ (1 rok ¹⁰⁾)
Rakousko	fosilní paliva < 50 kW	1 524 (1100) ¹⁾	139 (100) ¹⁾	71 (50) ¹⁾	35 (50) ¹⁾	72–80 ³⁾	při certifikaci + revize každé 2 roky ⁹⁾

¹⁾ v závorce jsou uvedeny původní hodnoty měrných emisí dle 15a B-VG v mg/MJ, hodnota před závorkou představuje vypočtenou koncentraci v mg/m³_N při 13 % O₂

²⁾ viz tab. č. 4

³⁾ viz tab. č. 6

⁴⁾ nejedná se o pravidelné měření, ale pouze o vizuální kontrolu zařízení

⁵⁾ limity platné od 1. ledna 2022 a sezonní energetická účinnost

⁶⁾ limity platné od 1. ledna 2020 a sezonní energetická účinnost

⁷⁾ limity platné do 31. prosince 2017

⁸⁾ limity platné od 1. ledna 2018 do 31. prosince 2019

⁹⁾ revize platí pro zařízení s teplovodním výměníkem

¹⁰⁾ revize platí pro nestandardizovaná biogenní paliva a pro zařízení s teplovodním výměníkem

Srovnání limitů ukazuje na velkou rozdílnost limitů v rámci EU, které by se měly sjednotit k 1. 1. 2022, kdy vejde v platnost Nařízení komise EU

2015/1185 o ekodesignu na lokální topidla [1]. Dnes nejkomplexněji sleduje emise znečišťujících látek Rakousko. Nejméně přísné požadavky má evropská norma.

Pro lepší přehlednost je v tab. č. 10 uvedeno srovnání minimálních požadavků na krbovou vložku s teplovodním výměníkem o jmenovitém výkonu 8 kW na kusové dřevo při uvedení na trh a také při pravidelných kontrolách (vyžadováno zákonem č. 201/2012 – o ochraně ovzduší [2] a rakouskou vyhláškou 15a B-VG [14]).

Tab. č. 10a Srovnání dnes platných a budoucích požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci krbové vložky s vodním výměníkem o celkovém výkonu 8 kW (příkon 10 kW) – ruční přikládání kusovým dřevem [5], [1], [13], [14]

Při referenčním O ₂ = 13 %		Ruční		
		Kusové dřevo	Četnost	
CO	[mg/m ³ _N]	EU – EN 13229 – dnes	12 500	při certifikaci
		ČR – EN 13229 – dnes	12 500	při certifikaci
		ČR – Zák. 201/2012 Sb.	–	při certifikaci a každé dva roky revize za řízení ²⁾
		od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2017	5 000	
		od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2019	1 200	
		od 1. 1. 2020 do 31. 12. 2021	1 500	
		Nařízení EU 2015/1185 od 1. 1. 2022	1 500	
		Německo – 1. BImSchV Stufe 2 – dnes	1 250	při certifikaci
		Rakousko – 15a B-VG – dnes	716 (500) ¹⁾	při certifikaci + revize 2 roky ³⁾

Tab. č. 10b Srovnání dnes platných a budoucích požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci krbové vložky s vodním výměníkem o celkovém výkonu 8 kW (příkon 10 kW) – ruční přikládání kusovým dřevem [5], [1], [13], [14]

Při referenčním O ₂ = 13 %			Ruční	Četnost
			Kusové dřevo	
OGC	[mg/m ³ _N]	EU – EN 13229 – dnes	–	–
		ČR – EN 13229 – dnes	–	–
		ČR – Zák. 201/2012 Sb. od 1. 1. 2020	–	při certifikaci
		Nařízení EU 2015/1185 od 1. 1. 2022	120	
		Německo – 1. BImSchV Stufe 2 – dnes	–	–
		Rakousko – 15a B-VG – dnes	43 (30) ¹⁾	při certifikaci
		EU – EN 13229 – dnes	–	–
NO _x	[mg/m ³ _N]	ČR – EN 13229 – dnes	–	–
		ČR – Zák. 201/2012 Sb. od 1. 1. 2020	–	při certifikaci
		Nařízení EU 2015/1185 od 1. 1. 2022	200	
		Německo – 1. BImSchV Stufe 1 – dnes	–	–
		Rakousko – 15a B-VG – dnes	143 (100) ¹⁾	při certifikaci

Tab. č. 10c Srovnání dnes platných a budoucích požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci krbové vložky s vodním výměníkem o celkovém výkonu 8 kW (příkon 10 kW) – ruční přikládání kusovým dřevem [5], [1], [13], [14]

Při referenčním O ₂ = 13 %		Ruční Kusové dřevo	Četnost	
Prach (TZL)	[mg/m ³ _N]	EU – EN 13229 – dnes	–	–
		ČR – EN 13229 – dnes	–	–
		ČR – Zák. 201/2012 Sb.	–	při certifikaci a každé dva roky revize zařízení ²⁾
		od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2017	150	
		od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2019	75	
		od 1. 1. 2020	40	
		Nařízení EU 2015/1185 od 1. 1. 2022	40	
		Německo – 1. BI mSchV Stufe 2 – dnes	40	při certifikaci
		Rakousko – 15a B-VG – dnes	50 (35) ¹⁾	při certifikaci

Tab. č. 10d Srovnání dnes platných a budoucích požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci krbové vložky s vodním výměníkem o celkovém výkonu 8 kW (příkon 10 kW) – ruční přikládání kusovým dřevem [5], [1], [13], [14]

Při referenčním O ₂ = 13 %		Ruční	Četnost	
		Kusové dřevo		
Účinnost	[%]	EU – EN 13229 – dnes	30 %	při certifikaci
		ČR – EN 13229 – dnes	30 %	při certifikaci
		ČR – Zák. 201/2012 Sb.	–	–
		Nařízení EU 2015/1185 od 1. 1. 2022	65 % – sezonní energ. účinnost	při certifikaci
		Německo – 1. BImSchV Stufe 2 – dnes	75 %	při certifikaci
		Rakousko – 15a B-VG – dnes	80%	při certifikaci + revize 2 roky ³⁾

¹⁾ v závorce jsou uvedeny původní hodnoty měrných emisí dle 15a B-VG v mg/MJ, hodnota před závorkou představuje vypočtenou koncentraci v mg/m_{3N} při 13 % O₂

²⁾ Nejedná se o pravidelné měření, ale pouze o vizuální kontrolu zařízení

³⁾ Viz tabulka tab. č. 8

3 Závěr

Základní limit koncentrace CO pro nejrozšířenější lokální topidla (krbová kamna a vložky) je nyní v EU 1 %, což je v současné době hodnota překonaná a neodpovídá vývoji těchto spotřebičů. V západních zemích Evropy tato situace nepřináší zásadní problémy, protože mají legislativu na takovou skutečnost dobře připravenou a i „ekologická uvědomělost“ obyvatel je na vyšší úrovni než u nás (což je dáno i ekonomickou situací). Zpřísňující

požadavky na emise a účinnost jsou soustředěny na výrobce a jejich splnění je většinou prokazováno při certifikaci. Výjimku představují přístupy uvedené v zákoně o ochraně ovzduší [2] a rakouské dohodě 15a B-VG [14], které se mimo jiné věnují lokálním topidlům s vodním výměníkem pro připojení do systému ústředního vytápění a zavádí pro tyto zařízení také požadavky na provozovatele.

Účinnost spalovacího zařízení je možné přibližně odhadnout pomocí tzv. nepřímé metody stanovení účinnosti. Metoda vychází z předpokladu, že účinnost zařízení je rovna 100 % minus jednotlivé ztráty spalovacího zařízení (především komínová ztráta). Teplotu spalin bychom u krbových kamen měli udržovat v rozsahu od 150 do 250 °C. Pokud bude teplota příliš vysoká, provozujeme zařízení s velkou komínovou ztrátou, což znamená, že mnoho tepla „vyletí“ komínem. Přestože se snižující se teplotou spalin klesá hodnota komínové ztráty, nemůžeme teplotu spalin snižovat donekonečna, protože pokud budou spaliny příliš chladné (cca 150 °C, záleží na složení spalin – obsah vody a SO₃), může dojít ke kondenzaci dehtových látek a vodní páry (kratší životnost zařízení) a při nízké teplotě spalin může dojít i k výraznému snížení komínového tahu (problém s bezpečným odvodem spalin). Pokud teplotu spalin měříme, známe typ zařízení a jsme schopni odhadnout těsnost zařízení, můžeme orientačně spočítat, jaká je účinnost zdroje [18].

Závěrem je také nutno zmínit skutečnost, že spalovací zařízení, kterým se tento článek věnuje, jsou zařízení, u nichž může obsluha dramaticky ovlivnit kvalitu spalování [21]. Prokazování splnění limitních požadavků probíhá na zkušebně při předepsaných podmínkách, které v reálném životě nastanou jen v minimálním procentu případů. Spalovací zkoušky na zkušebně odpoví na otázku, zda při optimálních spalovacích podmínkách může dané spalovací zařízení při spalování předepsaného paliva splnit platné emisní limity a účinnost. V případě nekvalitní obsluhy může spalovací zařízení, které bez problému splní požadované emisní limity a účinnost na zkušebně, spalovat i kvalitní palivo velmi nedokonale. Taktéž účinnost zařízení dosažená na zkušebně se může značně lišit od reálné účinnosti v běžném provozu. Například v Austrálii nebo v USA jsou tato zařízení certifikována pouze tehdy, pokud splní požadované emisní limity při různých přívodech vzduchu (maximální, minimální a střední výkon podle australské normy; resp. maximální a další tři různé příkony dle EPA) [19], [20]. U zařízení s ručním přikládáním paliva jsou výsledky mezi měřením na zkušebně a měřením za reálného provozu velmi rozdílná, zatímco u zařízení s automatickým přikládáním jsou výsledky srovnatelné. Největším rozdílem je právě vliv obsluhy zařízení. Pokud jsou po přiložení paliva do kamen uzavřeny přívoody

spalovacích vzduchů (ovládací klapky), hořlavina nemá dostatek okysličovadla a výsledkem je zvýšení množství produktů nedokonalého spalování (CO, polycyklické aromatické uhlovodíky, prach-saze). Proto je nutno spojit výrobu kvalitních spalovacích zařízení s výchovou obsluhy a informovat ji o základních návycích a pravidlech.

Seznam použitých zkratek a pojmů

- MPO – Ministerstvo průmyslu a obchodu
- KV – krbová vložka
- CO – oxid uhelnatý
- NO_x – oxidy dusíku
- OGC = TOC – celkový organický uhlík
- TZL – tuhé znečišťující látky (prach), celkový prach bez rozlišení velikosti částic
- SO₃ – oxid sírový
- Q_i^r – výhřevnost paliva v surovém stavu
- Lokální topidlo = sálavý spalovací stacionární zdroj dle znění zák. č. 201/2012 Sb. [2]

Poděkování

Tato práce byla podpořena v rámci projektu MŠMT „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“ (LO1403).

Použitá literatura

- [1] Nařízení komise EU 2015/1185 ze dne 24. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign lokálních topidel na tuhá paliva.
- [2] Sbírka zákonů č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší ze dne 2. května 2012 ve znění zákona č. 64/2014 Sb., zákona č. 87/2014 Sb., zákona č. 382/2015 Sb., zákona č. 369/2016 Sb.
- [3] Malá spalovací zařízení na pevná paliva pro domácnosti Kamna, krbové vložky, sporáky a teplovodní kotle: Výsledky statistických zjišťování za léta 2010–2014. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 2011 [cit. 2017-06-02]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54804/62605/648651/priloha001.pdf>.

- [4] Veolia Energie ČR, a.s.: Licence. In: Energetický regulační úřad [online]. 2017 [cit. 2017-06-06]. Dostupné z: <http://licence.eru.cz/detail.php?lic-id=110100550&sequence=1,2&total=16>.
- [5] ČSN EN 13229:2002. Vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [6] ČSN EN 13240:2002. Spotřebiče na pevná paliva k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody.
- [7] ČSN EN 15250:2007. Akumulační kamna na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [8] ČSN EN 12815:2002. Varné spotřebiče pro domácnost na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody.
- [9] ČSN EN 14785:2007. Spotřebiče spalující dřevěné pelety k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody.
- [10] ČSN EN 15821:2011. Saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena) se spalováním periodických dávek – Požadavky a metody zkoušení.
- [11] EN 303-5:2012. Heating boilers – Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW – Terminology, requirements, testing and marking.
- [12] Nařízení vlády č. 91/2010 Sb. – o podmínkách požární bezpečnosti při provozu komínů, kouřovodů a spotřebičů paliv.
- [13] 1. BImSchV. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen). 2011.
- [14] Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinf Feuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken. Fassung vom 02. 08. 2017.
- [15] HORÁK J., MARTINÍK L., KRPEC K., KUBESA P., DVOŘÁK J., HOPAN F., HOLOMEK M., BUCHTA S. Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? In: TZB-info [online] 2017, [cit. 2017-06-06] Dostupné na [www: http://vytapani.tzb-info.cz/15865-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva](http://vytapani.tzb-info.cz/15865-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva).
- [16] MACHÁLEK, P., MACHART, J., Upravená emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2006, Český hydrometeorologický ústav, oddělení emisí a zdrojů, pracoviště Milevsko (2007).
- [17] 2012–2013: Katalog hnědého uhlí. In: Severočeské doly a. s. [online]. 2012 [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: http://www.sdas.cz/files/sdas/kataloguhli2012_2013/Katalog_SD_2012_13.pdf.
- [18] HORÁK J., KUBESA P., DVOŘÁK J., HOPAN F., KRPEC K., MIKULOVÁ Z., KYSUČAN Z., Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze

- účinnost nějak zvětšit? In: TZB-info [online] 2012, [cit. 2013-04-02] Dostupné na [www: http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9434-jak-si-doma-zmerit-ucinnost-spalovaciho-zarizeni-a-lze-ucinnost-nejak-zvetsit](http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9434-jak-si-doma-zmerit-ucinnost-spalovaciho-zarizeni-a-lze-ucinnost-nejak-zvetsit).
- [19] AS/NZS 4013:1999 – Domestic solid fuel burning appliances – Method for determination of flue gas emission.
- [20] EPA Method 28 – Certification and auditing of wood heaters.
- [21] HORÁK J., KUBESA P., HOPAN F., KRPEC K., KYSUČAN Z., Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř? In: tzb-info [online] 2013, [cit. 2013-03-18] Dostupné na [www: http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour](http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour).
- [22] HORÁK J., KRPEC K., MARTINÍK L., MICHNOVÁ L., HOPAN F., KUBESA P., Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva? In: TZB-info [online] 2013, [cit. 2013-01-31] Dostupné na [www: http://vytapani.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva](http://vytapani.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva).
- [23] Saunová kamna na pevná paliva (dřevěná polena) se spalováním periodických dávek – Požadavky a metody zkoušení.
- [24] Nařízení komise EU 2015/1186 ze dne 24. dubna 2015, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích lokálních topidel na tuhá paliva.



Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě – stav v roce 2017

*Datum: 5.6.2017 | Ing. Jiří Horák, Ph.D.¹, Ing. Lubomír Martiník¹, Ing. Kamil Krpec, Ph.D.¹, Ing. Petr Kubesa¹, Ing. Jiří Dvořák², Ing. Milan Holomek², Ing. Stanislav Buchta², Ing. František Hopan, Ph.D. ¹, ¹VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, ²Strojírenský zkušební ústav, s.p., BRNO, www.szutest.cz
| Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka*

Protože při spalování tuhých paliv v teplovodních kotlích pro vytápění domácností dochází k emitování znečišťujících látek, jsou postupně v jednotlivých zemích EU přijímány různé zpřísnující požadavky (emise a účinnost), které tato zařízení musí splnit. Požadavky jsou cíleny jak na výrobce či dovozce spalovacího zařízení, tak také na jejich provozovatele. Cílem tohoto článku je přinést přehled platných a plánovaných požadavků a také provést jejich srovnání.

1 Úvod

Před čtyřmi lety (18. 3. 2013) byl na TZB-INFO uveřejněn článek „Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě“. Od té doby uplynuly 4 roky a mnohé se změnilo. Proto se k vám nyní dostává aktualizovaná verze požadavků na kotle na tuhá paliva, které jsou poplatné k současnému stavu, tedy k roku 2017.

S příchodem topné sezóny dochází na většině území ČR ke zhoršení kvality ovzduší. Poslední studie [1] ukazují, že vliv malých spalovacích zařízení není malý a v některých případech může být až dominantní. Zhoršené rozptylové podmínky (inverze) v kombinaci s malou výškou komína a velkým množstvím vypouštěných znečišťujících látek vedou k tomu, že v některých vesnicích a malých městech může kvalita ovzduší být horší, než v oblastech kde převažují emise z velkých průmyslových zdrojů znečištění.

Z posledního sčítání lidu z roku 2011 [2] vyplývá, že v České republice jsou různé topné systémy ve více než 3,6 mil. domácnostech přibližně zastoupeny následujícím způsobem:

- 38,8 % bytů je vytápěno zemním plynem;
- 37,3 % bytů je vytápěno pomocí centralizovaného zásobování teplem (CZT) ze středních a velkých zdrojů;
- 9,2 % bytů je vytápěno uhlím – to reprezentuje cca 336 000 domácností;
- 7,8 % bytů je vytápěno palivem na bázi dřeva – to reprezentuje cca 285 000 domácností;

- 7 % bytů je vytápěno elektřinou;
- zanedbatelné množství bytů je vytápěno lehkými topnými oleji, propanbutanem a ostatními způsoby vytápění.

To znamená, že dle posledního sčítání lidu bylo cca 621 000 domácností vytápěno tuhými palivy. Ve srovnání s výsledkem sčítání lidu z roku 2001 [4] se jasně ukazuje, že mezi léty 2001 až 2011 vzrostla obliba a podpora spalování paliv na bázi dřeva (nárůst o 88 % ze 152 000 na 285 000 domácností), zatímco ubývá zařízení, která spalují uhlí (pokles o 47 % z 570 000 na 336 000 domácností). Je nutné mít na paměti, že výsledky sčítání lidu jsou poplatné použité metodě a kvalitě odpovědí dotázaných. V roce 2015 proběhlo výběrové statistické šetření ENERGO [3], zde se uvádí 544 000 domácností vytápěných tuhými palivy. Přesnější informace o současném stavu nejsou nyní k dispozici. Nejpřesnější informace by bylo možné obdržet na základě pravidelných kontrol technického stavu (viz kap. 2.2.2.). Informace z dokladu o kontrole by byly velmi cenným zdrojem informací, současná legislativa ovšem nepočítá s evidencí těchto informací („tajné sčítání kotlů“). Na druhou stranu je nutné zmínit, že pracovníci MŽP reflektují připomínky odborné veřejnosti a již reálně pracují na zavedení možnosti evidence a zpracování výsledků kontrol.

Spalování tuhých paliv je vždy doprovázeno produkcí znečišťujících látek a obecným cílem by mělo být snížení jejich množství na přijatelnou úroveň. Jedním z nástrojů ke snížení množství vypouštěných znečišťujících látek mohou být legislativní požadavky, které jsou uplatňovány při „zkoušce typu“, případně při jejich provozu. Cílem těchto požadavků je zvýšení kvality spalovacích zařízení. Tento nástroj není všelék a má samozřejmě svá omezení. Zjednodušeně v přirovnání s kontrolou kvality automobilů, můžeme hovořit o tzv. STK kotle, které říká toto: pokud je vše optimální, může dané spalovací zařízení dosáhnout takovýchto (viz štítek) optimálních parametrů (emise a účinnost). Pokud jsou reálné provozní podmínky výrazně odlišné od těch, které byly na zkušebně (hlavně u prohořivacích a odhořivacích kotlů), budou také reálné parametry (emise a účinnost) výrazně odlišné. Pro dané konkrétní spalovací zařízení se jedná hlavně o vliv paliva, obsluhy a údržby, více viz [5]. V Německu a Rakousku jsou spalovací zařízení navíc mimo certifikaci měřena pravidelně v reálném provozu a musí prokázat splnění limitních hodnot (více viz dále).

Dalším nástrojem jsou různé dobrovolné ekologické programy, které kladou na spalovací zařízení vyšší nároky než obecně platná legislativa a podporují

pořízení modernějších technologií. Mezi nejznámější ekologické známky a programy patří:

- Nová zelená úsporám – ČR (www.zelenausporam.cz – 3. výzva);
- Společný program krajů a MŽP na podporu výměny stávajících ručně plněných kotlů na tuhá paliva (tzv. kotlíková dotace 2. vlna) – vyhláškodavatelem jsou kraje a Ministerstvo životního prostředí;
- RAL-Der blaue Engel – Německo (<http://www.blauer-engel.de>);
- Flamme Verte – Francie (<http://www.flammeverte.org>);
- HETAS certification – Anglie (<http://www.hetas.co.uk>); atd.

Srovnáme-li dotační programy v ČR a například v Německu, je zde patrný jiný systém vyhlásování těchto dotačních programů. Zatímco u nás se dotační titul vyhlásí a funguje tak dlouho, než se vyčerpají alokované prostředky, v sousedním Německu se dotační politika upravuje dynamicky v návaznosti na zájem o tyto prostředky. Díky tomuto přístupu jsou v Německu schopni pružněji reagovat na vzniklou situaci.

Článek se zabývá platnými emisními limity a požadavky na minimální účinnost, které jsou legislativně vyžadovány jak v celé EU (EN 303-5:2012 [6]), tak přísnějšími limity, které platí v Německu (14 mil. malých spalovacích zařízení) a Rakousku. Tyto země představují evropské leadery v této oblasti. Protože jsou jednotlivé limity vyjadřovány v různých jednotkách a při odlišné koncentraci referenčního kyslíku ve spalínách, jsou v tomto příspěvku tyto limity přepočteny tak, aby bylo možné provést jejich porovnání a zodpovědět na otázku, jak se limity liší a kde jsou požadavky přísnější.

Zásadní rozdíl je v přístupu jednotlivých zemí ke kontrole plnění jednotlivých limitů. První jednotný přístup je založen na povinnosti prokázání splnění požadavků při „zkoušce typu“ (certifikace) – většina zemí EU. Druhý přístup (Německo, Rakousko) navíc k prvnímu vyžaduje pravidelnou kontrolu plnění emisních limitů (CO a prach) přímo u provozovatele (např. v kotelně rodinného domu). Plnění limitů se prokazuje měřením (ne jen vizuální kontrolou), kominík vkládá sondu do kouřovodu a odsává spaliny přes filtr do analyzátoru.

V ČR v současné době existuje povinnost majitelů (provozovatelů) kotlů na tuhá paliva o jmenovitém tepelném příkonu 10–300 kW provádět jednou za dva kalendářní roky revizi kotle. Tato povinnost vyplývá ze zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. [9].

Poznámka: V tomto článku je u některých veličin uvedena jednotka m^3_{N} – toto označení představuje objem v metrech krychlových při tlaku 101 325 Pa a teplotě 0 °C – při tzv. normálních podmínkách.

2 Současné platné limity a schválené budoucí předpisy

2.1 Evropská unie obecně

2.1.1 Požadavky na emise znečišťujících látek

V současné době pro teplovodní kotle na tuhá paliva je nutné provést „Zkoušku typu“, v Evropské unii platí EN 303-5:2012 (kotle do výkonu 500 kW). V normě jsou popsány způsoby zkoušení kotlů, požadavky na konstrukční materiály a bezpečnost. Dále jsou zde uvedeny základní emisní limity, které musí kotle plnit při jmenovitém i sníženém výkonu (až 30 % P_{jm}). Limity jsou uvedeny v tab. č. 1, tab. č. 2 a tab. č. 3.

Kotel je při „zkoušce typu“ podroben výše uvedenému testování a dle výsledků spalovacích zkoušek je mu přiřazena třída (norma nezná pojem emisní třída). Znamená to tedy, že pokud by bylo vše optimální (podmínky na zkušebně), hodnoty emisí by byly menší než emisní limit dané třídy. Znamená to, že je v možnostech daného kotle tyto parametry dosáhnout, ale nic to neříká o tom, jaké budou skutečné emise u konkrétního provozovatele (vliv kvality paliva, obsluhy, instalace a údržby). Proto některé státy vyžadují pravidelné prokazování splnění limitu také v reálném provozu – což se autorům jeví jako velmi smysluplné. V dnešní době se již pracuje na úpravě normy EN 303-5:2012, mimo jiné se zatím jedná o emisních limitech pro třídu 6 a o kondenzačních kotlech na tuhá paliva).

Tab. č. 1 Emisní limity CO dle EN 303-5:2012 [6]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)		
			CO		
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)		
			Třída 3	Třída 4	Třída 5
Ruční	Biologické	≤ 50	5 000 (3 636)	1 200 (873)	700 (509)
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		
	Fosilní	≤ 50	5 000 (3 636)		
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	3 000 (2 182)	1 000 (727)	500 (364)
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		
	Fosilní	≤ 50	3 000 (2 182)		
		> 50 až 150	2 500 (1 818)		
		> 150 až 500	1 200 (873)		

Tab. č. 2 Emisní limity OGC dle EN 303-5:2012 [6]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)		
			OGC		
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)		
			Třída 3	Třída 4	Třída 5
Ruční	Biologické	≤ 50	150 (109)	50 (36)	30 (22)
		> 50 až 150	100 (73)		
		> 150 až 500	100 (73)		
	Fosilní	≤ 50	150 (109)		
		> 50 až 150	100 (73)		
		> 150 až 500	100 (73)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	100 (73)	30 (22)	20 (15)
		> 50 až 150	80 (58)		
		> 150 500	80 (58)		
	Fosilní	≤ 50	100 (73)		
		> 50 až 150	80 (58)		
		> 150 až 500	80 (58)		

Tab. č. 3 Emisní limity prachu dle EN 303-5:2012 [6]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Mezní hodnoty emisí (koncentrace)		
			Prach		
			mg/m ³ _N při 10% O ₂ (mg/m ³ _N při 13% O ₂)		
			Třída 3 ¹⁾	Třída 4	Třída 5
Ruční	Biologické	≤ 50	150 (109)	75 (55)	60 (44)
		> 50 až 150	150 (109)		
		> 150 až 500	150 (109)		
	Fosilní	≤ 50	125 (91)		
		> 50 až 150	125 (91)		
		> 150 až 500	125 (91)		
Samočinná	Biologické	≤ 50	150 (109)	60 (44)	40 (29)
		> 50 až 150	150 (109)		
		> 150 500	150 (109)		
	Fosilní	≤ 50	125 (91)		
		> 50 až 150	125 (91)		
		> 150 až 500	125 (91)		

¹⁾ U kotlů emisní třídy 3 pro alternativní biopaliva není třeba splnit požadavek na emise prachu. Skutečná hodnota musí být uvedena v technické dokumentaci a nesmí překročit 200 mg/m³_N při 10 % O₂ (145 mg/m³_N při 13 % O₂)

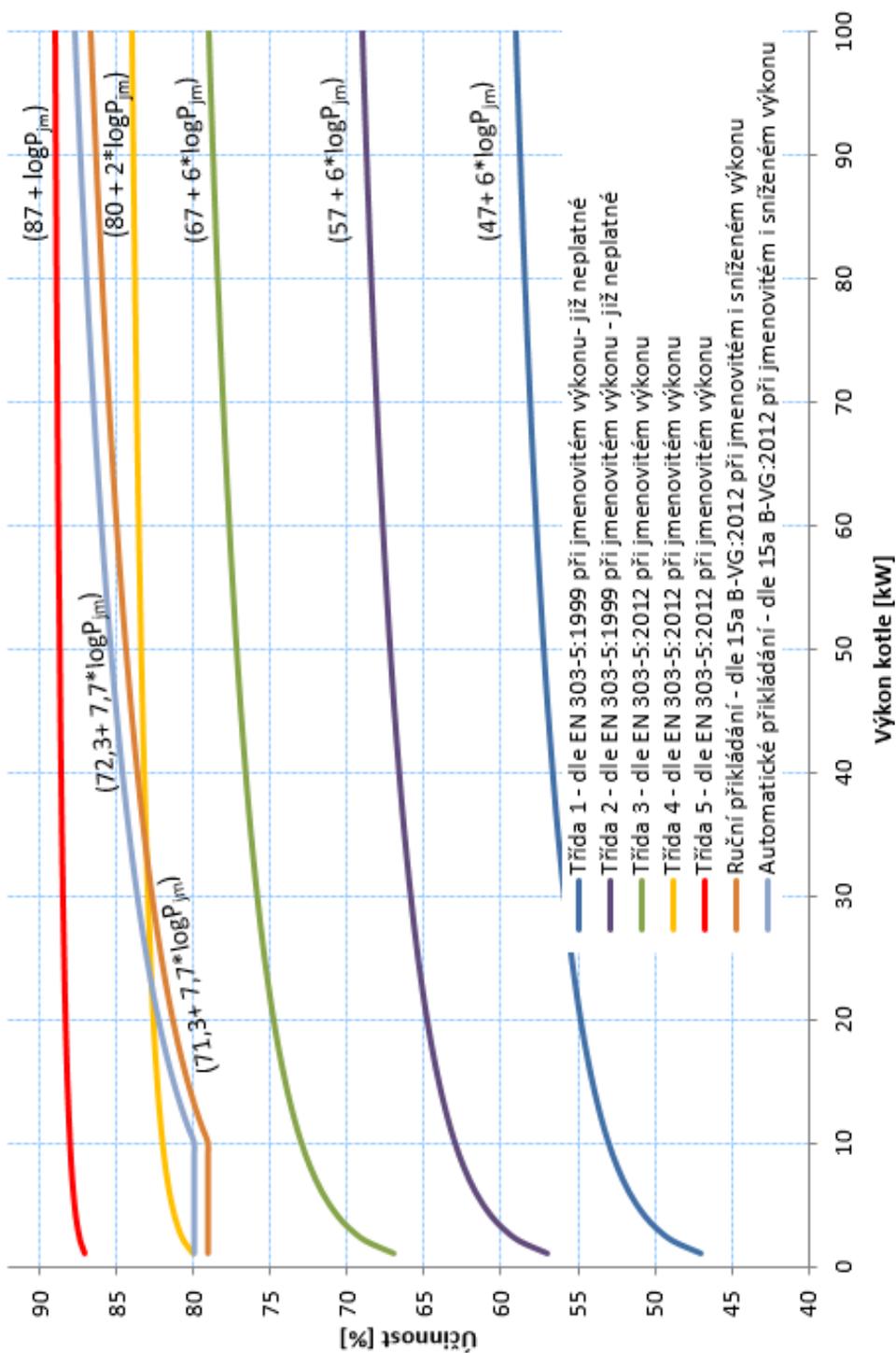
2.1.2 Požadavky na minimální účinnost

Minimální účinnost kotlů je definovaná normou v závislosti na jmenovitém výkonu a třídě kotle – viz graf č. 1 (zobrazeno jen pro výkony do 100 kW). Pro představu o zpřísnění požadavků jsou v grafu znázorněny i nyní již zrušené třídy 1. a 2. a také zpřísnující rakouské požadavky (požadavky na účinnost

musí spalovací zařízení v Rakousku splnit jak při jmenovitém výkonu, tak také při výkonu sníženém – u automatických kotlů jde o 30 % P_{jm} , u kotlů s ručním přikládáním o 50 % P_{jm}). Dosažení účinnosti větší než 75 % nepředstavuje pro zplyňovací a automatické kotle žádný problém, nutno však poznamenat, že u kotlů s ručním přikládáním toto tvrzení platí pro jejich provoz při jmenovitém výkonu. Bez instalace akumulární nádoby je průměrný reálný (provozní) výkon těchto kotlů po větší část topné sezóny nižší než jmenovitý. Se sníženým výkonem klesá jejich účinnost a zhoršuje se kvalita spalování (větší emise CO, prachu a uhlovodíků např. OGC nebo polycyklických aromatických uhlovodíků – PAU).

Prokazování splnění požadavků na minimální účinnost probíhá pouze při „zkoušce typu“. Dle výsledku zkoušek je kotli přiřazena třída. Výsledná třída kotle uváděná na štítku kotle je potom nejnižší dosažená třída jak z hlediska emisí, tak i z hlediska účinnosti. Na reálné instalaci není prokazování účinnosti nikde požadováno.





Graf č. 1 Minimální požadované účinnosti kotlů, porovnání požadavků EN 303-5:2012, Art. 15a B-V

2.1.3 Ekodesign

Od 1. ledna 2020 budou muset kotle na tuhá paliva splňovat požadavky uvedené v příloze II Nařízení Komise (EU) č. 2015/1189, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva [13].

Od 1. ledna 2020 musí kotle na tuhá paliva splňovat tyto požadavky:

- sezónní energetická účinnost vytápění vnitřních prostorů u kotlů se jmenovitým tepelným výkonem 20 kW nebo menším nesmí být menší než 75 %;
- sezónní energetická účinnost vytápění vnitřních prostorů u kotlů se jmenovitým tepelným výkonem větším než 20 kW nesmí být menší než 77 %;
- sezónní emise částic (prach – TZL) z vytápění vnitřních prostorů nesmí být vyšší než 40 mg/m³ u kotlů s automatickým přikládáním a vyšší než 60 mg/m³ u kotlů s ručním přikládáním (při 10 % O₂);
- sezónní emise organických plynných sloučenin (OGC) z vytápění vnitřních prostorů nesmí být vyšší než 20 mg/m³ u kotlů s automatickým přikládáním a vyšší než 30 mg/m³ u kotlů s ručním přikládáním (při 10 % O₂);
- sezónní emise oxidu uhelnatého (CO) z vytápění vnitřních prostorů nesmí být vyšší než 500 mg/m³ u kotlů s automatickým přikládáním a vyšší než 700 mg/m³ u kotlů s ručním přikládáním (při 10 % O₂);
- sezónní emise oxidů dusíku (NO_x) z vytápění vnitřních prostorů vyjádřené ekvivalentem oxidu dusičitého (NO₂) nesmí být vyšší než 200 mg/m³ u kotlů na biomasu a vyšší než 350 mg/m³ u kotlů na fosilní paliva (při 10 % O₂);

Tyto požadavky musí být splněny pro preferenční palivo i pro jakékoli jiné vhodné palivo pro kotel na tuhá paliva. Hodnoty sezónních energetických účinností jsou vztaheny ke spalnému teplu zkušebního paliva a korigovány „provozními koeficienty“. Proto jsou o 10–12 % nižší než hodnoty účinností zjišťované při „zkoušce typu“ (certifikaci), které jsou vztaheny k výhřevnosti paliva a které uvádí výrobce na výrobním štítku kotle (více zde [17]).

2.2 Česká republika

2.2.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacího zařízení

Základní požadavky stanovuje Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky a k němu určená norma ČSN EN 303-5:2013 [7].

Zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší [9] stanovuje emisní limity pro kotle, které musí výrobce (nebo dovozce) splnit při „Zkoušce typu“. **Od ledna 2014** je možné v ČR prodávat pouze kotle, které splní požadavky uvedené v tab. č. 4., zjednodušeně řečeno zařízení, která splní třídu 3 dle ČSN EN 303-5:2013.

Od ledna 2018 dojde k dalšímu zpřísnění a bude možné prodávat pouze kotle, které splní požadavky uvedené v tab. č. 5, zjednodušeně řečeno zařízení, která splní třídu 4 dle ČSN EN 303-5:2013.

ČSN EN 303-5:2013 kategorizuje zdroj dle jeho výkonu, zatímco zákon č. 201/2012 Sb. kategorizuje zdroj dle jeho příkonu.



Tab. č. 4 Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na tuhá paliva o jmenovitém příkonu do 300 kW dle příl. 10, zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zařízení na trh od 1. 1. 2014 [9]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	OGC ^{2),3)}	Prach (TZL)
			mg/m ³ N při 10% O ₂ (mg/m ³ N při 13% O ₂) ¹⁾		
Ruční	Biologické	≤ 65	5 000 (3 636)	150 (109)	150 (109)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	100 (73)	150 (109)
		> 187 až 300	1 200 (873)	100 (73)	150 (109)
		≤ 65	5 000 (3 636)	150 (109)	125 (91)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	100 (73)	125 (91)
		> 187 až 300	1 200 (873)	100 (73)	125 (91)
Samočinná	Biologické	≤ 65	3 000 (2 182)	100 (73)	150 (109)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	80 (58)	150 (109)
		> 187 až 300	1 200 (873)	80 (58)	150 (109)
		≤ 65	3 000 (2 182)	100 (73)	125 (91)
		> 65 až 187	2 500 (1 818)	80 (58)	125 (91)
		> 187 až 300	1 200 (873)	80 (58)	125 (91)

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 10 % (k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %)

²⁾ OGC = TOC = celkový organický uhlík, kterým se rozumí úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu vyjádřená jako celkový uhlík.

³⁾ Nevztahuje se na sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti.

Tab. č. 5 Minimální emisní požadavky na spalovací zdroje na tuhá paliva o jmenovitém příkonu do 300 kW dle příl. 10, zák. č. 201/2012 Sb. při uvedení zařízení na trh od 1. 1. 2018 [9]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon (kW)	Mezní hodnoty emisí ¹⁾		
			CO	OGC ^(2),3)	Prach (TZL)
			mg/m ³ N při 10% O ₂ (mg/m ³ N při 13% O ₂) ¹⁾		
Ruční	Biologické / Fosilní	≤ 300	1 200 (873)	50 (36)	75 (55)
Samočinná	Biologické / Fosilní	≤ 300	1 000 (727)	30 (22)	60 (44)

¹⁾ Vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K, tlaku 101,325 kPa a k referenčnímu obsahu kyslíku 10 % (k referenčnímu obsahu kyslíku 13 %)

²⁾ OGC = TOC = celkový organický uhlík, kterým se rozumí úhrnná koncentrace všech organických látek s výjimkou methanu vyjádřená jako celkový uhlík.

³⁾ Nevztahuje se na sálavé spalovací stacionární zdroje, určené pro připojení na teplovodní soustavu ústředního vytápění a k instalaci v obytné místnosti.

2.2.2 Povinnosti provozovatele

Zákon č. 201/2012 Sb. [9] zavádí povinnosti pro provozovatele spalovacích zařízení. Zákon zakazuje ve spalovacích zařízeních do příkonu 300 kW spalování lignitu, hnědého energetického uhlí, kalů a proplásku (dle § 17 odst. 5).

Pro stacionární spalovací zdroje na pevná paliva o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně (v podstatě všechny dnes provozované teplovodní kotle), který slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, je provozovatel povinen dle § 17 odst. 1 h) provádět jednou za dva kalendářní roky **kontrolu technického stavu a provozu spalovacího zařízení** prostřednictvím osoby, proškolené výrobcem zařízení a oprávněné k jeho instalaci (odborně způsobilá osoba – seznam těchto osob naleznete např. zde: [15], [16]). Doklad o provedení výše zmíněné kontroly má provozovatel povinnost předložit na základě žádosti obecního úřadu obce s rozšířenou působností. Pokud provozovatel nepředloží na vyžádání obecnímu úřadu obce s rozšířenou působností doklad o provedení kontroly, hrozí mu pokuta až 20 000 Kč dle § 23, odst. 2 b). Tato kontrola nepočítá s realizací jakéhokoliv měření (tak jak je tomu například v Německu), což dle našeho názoru velmi omezuje její přínos. V podstatě odborně způsobilá osoba na místě vizuálně zhodnotí stav kotle, jeho celistvost a těsnost, řídicí jednotku, regulační a zabezpečovací prvky, použité palivo (nyní si může již vyžádat i doklad o pořízení paliva) a jeho kvalitu, podávací zařízení a sklad paliva. Jako nejdůležitější zdroj informací o emisích a ostatních parametrech budou hodnoty ze štítku kotle. Tyto hodnoty byly dosaženy jednou při „zkoušce typu“ (certifikaci) a je otázka, jakých parametrů zařízení dosahuje při reálném provozu. Toto ale zákon neřeší. Zákon řeší, že provozovatel musí provozovat takový kotel, který je schopný těchto parametrů dosáhnout. Na základě proběhlé kontroly vystaví odborně způsobilá osoba na místě doklad o kontrole. Formát dokladu o kontrole bude stanoven prováděcím předpisem (předpokládá se v roce 2017) – novela vyhlášky č. 415/2012 (nyní je vzor dokladu uveden v příslušném sdělení MŽP [14] – jen doporučení). Doklad si ponechává provozovatel zdroje a je povinen jej předložit pouze na vyžádání obecního úřadu s rozšířenou působností.

Od září 2022 (dle § 41, odst. 16) bude možné provozovat pouze taková zařízení (nejen kotle, ale i kamna a vložky s teplovodním výměníkem o celkovém příkonu od 10 do 300 kW), která splňují požadavek dle přílohy č. 11 (hodnoty jsou shodné s tab. č. 4), zjednodušeně řečeno, která splňují

třídu 3. Za nedodržení požadavku lze uložit pokutu 50 000 Kč dle § 23, odst. 2 a).

Pokutu 50 000 Kč lze uložit (dle § 23, odst. 2 a) také v případech, že:

- provozovatel nedodrží přípustnou tmavost kouře (**od září 2012**),
- provozovatel spaluje hnědé uhlí energetické, lignit, uhelné kaly nebo proplátky (**od září 2012**) nebo spaluje paliva neurčená výrobcem

Novela zákona o ovzduší [9] z 19. 10. 2016 nově docílila „prolomení“ domovní svobody a soukromí. § 17 odstavec 2 uvádí, že:

„Vznikne-li důvodné podezření, že provozovatel spalovacího stacionárního zdroje umístěného v rodinném domě, v bytě nebo ve stavbě pro rodinnou rekreaci, nejde-li o prostory užívané pro podnikatelskou činnost, porušil některou z povinností podle odstavce 1, avšak toto porušení nelze prokázat bez provedení kontroly spalovacího stacionárního zdroje, jeho příslušenství nebo používaných paliv, obecní úřad obce s rozšířenou působností provozovatele na tuto skutečnost písemně upozorní a poučí jej o povinnostech provozovatele spalovacího stacionárního zdroje stanovených v odstavci 1 a o následcích opakovaného důvodného podezření na jejich porušení v podobě provedení kontroly. Pokud opakovaně vznikne důvodné podezření, že tento provozovatel nadále nebo opětovně porušuje některou z povinností podle odstavce 1, je kontrolující oprávněn vstoupit do jeho obydlí za účelem kontroly dodržování povinností podle tohoto zákona. Vlastník nebo uživatel těchto prostor je povinen umožnit kontrolujícímu přístup ke spalovacímu stacionárnímu zdroji, jeho příslušenství a používaným palivům.“

Toto ustanovení tedy umožňuje v případě opakovaných problémů s nadměrnou produkcí „kouře“ vynutit si přístup do domácnosti – kotelny. Samostatnou otázkou zůstává, jaká bude náplň vynucené kontroly. Nyní byla na toto ustanovení podána stížnost k Ústavnímu soudu, což do jeho rozhodnutí nijak neomezuje jeho platnost.

2.2.3 Ekodesign

Přestože požadavky na EKODESIGN viz kap. 2.1.3 budou v platnosti až od ledna 2020, mnoho výrobců kotlů již nyní deklaruje splnění těchto požadavků, protože většina Českých dotačních programů má splnění těchto požadavků jako podmínku, pro zapsání do seznamu podporovaných kotlů.

2.3 Německo

2.3.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacího zařízení

Základní požadavky stanovuje norma EN 303-5:2012. Vyhláška 1. BImSchV (2010) [10] zpřísňuje limity pro koncentraci CO a prachu (TZL). Platné limity jsou uvedeny v tab. č. 6. Tyto hodnoty musí být dosaženy při jmenovitém výkonu.

Tab. č. 6 Emisní limity CO a TZL (prachu) dle 1. BImSchV [10]

	Palivo	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Prach (TZL) ¹⁾ [mg/m ³ _N]	CO ¹⁾ [mg/m ³ _N]
Zdroje instalované po 31.12.2014	Uhlí, rašelina, dřevo, štěpka, piliny, dřevní pelety a brikety	≥4	20	400
	Povrchově upravené dřevo, překližky	≥30 až 500	20	400
		> 500	20	300
	Sláma a podobné materiály	≥4 až 100	20	400

¹⁾ vztahuje se k suchým spalinám, teplotě 273,15 K a tlaku 101,325 kPa a při referenčním O₂ = 13 %

V Německu nejsou rozlišovány kotle s ručním podáváním paliva a kotle s automatickým podáváním paliva. Takto postavené limity v podstatě zamezují používání zastaralých typů kotlů (prohořivací a odhořivací způsob spalování).

V německé 1. BImSchV není řešena otázka účinnosti zdroje. Přestože jsou hodnoty minimální účinnosti a OGC v Německu posuzovány dle normy EN 303-5:2012 v rámci certifikace (viz kapitola 2.1), existují dotační programy, které již nyní požadují vyšší minimální účinnosti kotlů (např. 90 % pro automatické kotle a 89 % pro kotle s ručním přikládáním).

2.3.2 Povinnosti provozovatele

Provozovatel musí jednou za dva roky prokázat splnění limitních hodnot pro CO a prach (TZL) viz tab. č. 6 (tedy stejné hodnoty, které jsou požadovány při uvedení na trh) v reálném provozu (měří kominické firmy, pracuje se 40% chybou měření). Budoucí limit 20 mg/m³_N pro prach (TZL) představuje výrazné zpřísnění a nebude snadné těchto hodnot v reálném provozu dosáhnout.

2.4 Rakousko

2.4.1 Povinnosti výrobce a dovozce spalovacího zařízení

Základní požadavky stanovuje norma EN 303-5:2012 [6]. Zpřísnující požadavky jsou stanoveny v dohodě 15art. B-VG [8] viz tab. č. 7 a tab. č. 8. Tato dohoda platí pro spalovací zařízení do výkonu 400 kW.

Tab. č. 7 15a B-VG, Emisní limity pro kotle s ruční dodávkou [8]

Parametr	Emisní limity [mg/MJ]					
	Dřevěná paliva		Ostatní standardizovaná biogenní paliva		Fosilní paliva	
	Lokální spotřebiče	Kotle pro ústřední vytápění	< 50kW jmenovitého výkonu	>50kW jmenovitého výkonu	< 50kW jmenovitého výkonu	>50kW jmenovitého výkonu
CO	1100	500	1100	500	1100	500
NO _x	150	100	300	300	100	100
OGC	50	30	50	30	80	30
Prach (TZL)	35	30	35	35	35	35

Tab. č. 8 15a B-VG, Emisní limity pro automatické kotle [8]

Parametr	Emisní limity [mg/MJ]			
	Dřevěné pelety Lokální spotřebiče	Dřevěné pelety Kotle pro ústřední vytápění	Ostatní dřevěné palivo	Ostatní standardizovaná biogenní paliva
CO	500 ^a	250 ^a	250 ^a	500 ^a
NO _x	100	100	100	300
OGC	30	20	30	20
Prach (TZL)	25	20	30	35

^a mezní hodnota může být překročena o 50 % během zkoušky sníženého výkonu - 30 % jmenovitého výkonu

Emisní limity musí spalovací zařízení splnit jak při jmenovitém výkonu, tak i při sníženém výkonu (u automatických kotlů při 30 % P_{jm} , u kotlů s ručním přikládáním při 50 % P_{jm}). V případě kotle s ručním přikládáním s výkonem pod 8 kW nebo kotle s automatickým přikládáním do 10 kW v sestavě s akumulací nádobou stačí splnit emisní limity pouze při jmenovitém výkonu [6]. Limity pro účinnosti jsou uvedeny v tab. č. 10 (musí být splněny při jmenovitém i při sníženém výkonu).

Tab. č. 9 15a B-VG, Minimální účinnosti [8]

Typ zařízení	Jmenovitý tepelný výkon [kW]	Minimální účinnost [%]
Obecně	-	75
Ruční příkládání	≤ 10	79
	> 10 až 200	$(71,3+7,7*\log P_{jm})$
	> 200	89
Automatické příkládání	≤ 10	80
	> 10 až 200	$(72,3+7,7*\log P_{jm})$
	> 200	90

P_{jm} = jmenovitý výkon

Přehledněji viz Graf č. 1

2.4.2 Povinnosti provozovatele

Provozovatel spalující uhlí nebo standardizovaná biogenní paliva v kotli do 50 kW musí každé dva roky prokázat splnění limitní hodnoty pro CO a komínovou ztrátu (viz tab. č. 10).

Provozovatel spalující nestandardizovaná biogenní paliva v kotli musí prokázat splnění limitní hodnoty pro CO a komínovou ztrátu jednou za rok. Totéž platí pro zařízení nad 50 kW.

Tab. č. 10 15a B-VG, Limity pro pravidelná měření u provozovatele spalovacího zařízení [8]

Limity	Ruční příkládání	Automatické příkládání
Komínová ztráta [%]	20	19
CO [mg/m ³ _N]	3500	1500

Limity pro biogenní paliva se vztahují k referenčnímu $O_2 = 11\%$, pro fosilní paliva k referenčnímu $O_2 = 6\%$

2.5 Srovnání požadavků na emise a účinnost

Pro možnost porovnávání emisních limitů platných v různých zemích je důležité mít tyto hodnoty vyjádřeny ve stejných veličinách (koncentrace mg/m³_N nebo emisní faktor mg/MJ) a také vztaženy na stejné srovnávací podmínky – referenční obsah kyslíku, suché spaliny při normálních podmínkách. V Rakousku jsou limity uváděny jako emisní faktor vztažený na energii v palivu, na rozdíl od ČR a Německa, kde jsou limity uváděny jako koncentrace vztažené na objem spalin. Srovnání limitů je tedy nutno provádět přepočtem přes výhřevnost paliva a množství spalin vzniklých spálením 1 kg paliva (Rakousko). Pro přibližný přepočet byly použity tyto hodnoty:

- biogenní paliva: $Q_{i^r} = 14,6 \text{ MJ/kg}_{\text{paliva}}$ [11]; měrný vývin spalin $10,2 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg}_{\text{paliva}}$ (13 % O_2) – dřevo
- fosilní paliva: $Q_{i^r} = 17,6 \text{ MJ/kg}_{\text{paliva}}$; měrný vývin spalin $12,7 \text{ m}^3_{\text{N}}/\text{kg}_{\text{paliva}}$ (13 % O_2) – hnědé uhlí [12]

Srovnání požadavků při referenčním kyslíku $\text{O}_2 = 13 \%$ je uvedeno jako tab. č. 11. Tabulka tab. č. 12 potom udává srovnání požadavků při referenčním kyslíku 10 %. Srovnání obecně platí pro kotle o výkonu do 300 kW.

Tab. č. 11a Srovnání požadavků na emise a účinnost kotlů při $O_{2ref} = 13\%$

	Při referenčním $O_2 = 13\%$	Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční	Automatické	Ruční	Automatické	
CO [mg/m ³]	EN 303-5 ⁴⁾	509 - 3 637	364 - 2 182	509 - 3 637	364 - 2 182	při certifikaci
	ČR ⁴⁾	509 - 3 637	364 - 2 182	509 - 3 637	364 - 2 182	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018 ⁷⁾	509 - 873	364 - 727	509 - 873	364 - 727	při certifikaci
	Německo ²⁾	300 - 400	300 - 400	300 - 400	300 - 400	při certifikaci + každé 2 roky (u provozovatele)
	Rakousko	716 - 1 575	358 - 716	692 - 1 524	- ⁶⁾	při certifikaci
	Rakousko ⁴⁾	2 800	1 200	1 867	- ⁶⁾	každé dva roky (u provozovatele)
OGC [mg/m ³]	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	509	364	509	364	při certifikaci
	EN 303-5 ⁴⁾	22 - 109	15 - 73	22 - 109	15 - 73	při certifikaci
	ČR ⁴⁾	22 - 109	15 - 73	22 - 109	15 - 73	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018 ⁷⁾	22 - 36	15 - 22	22 - 36	15 - 22	při certifikaci
	Německo ⁴⁾	22 - 109	15 - 73	22 - 109	15 - 73	při certifikaci
	Rakousko	43 - 115	29 - 43	42 - 111	- ⁶⁾	při certifikaci
NO _x [mg/m ³]	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	22	15	22	15	při certifikaci
	EN 303-5 ⁴⁾	-	-	-	-	-
	ČR ⁴⁾	-	-	-	-	-
	Německo ²⁾	-	-	-	-	-
	Rakousko	143 - 429	143 - 429	139	-	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	145	145	255	255	při certifikaci

Tab. č. 11b Srovnání požadavků na emise a účinnost kotlů při $O_{2ref} = 13\%$

Při referenčním $O_2 = 13\%$		Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční	Automatické	Ruční	Automatické	
Prach (TZL) [$mg/m^3_{N_2}$]	EN 303-5 ¹⁾	44 - 109	29 - 109	44 - 91	29 - 91	při certifikaci
	ČR ²⁾	44 - 109	29 - 109	44 - 91	29 - 91	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018 ⁷⁾	44 - 55	29 - 44	44 - 55	29 - 44	při certifikaci
	Německo	20	20	20	20	při certifikaci + každé 2 roky (u provozovatele)
	Rakousko	43 - 86	29 - 86	49 - 69	- ⁶⁾	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	44	29	44	29	při certifikaci
	EN 303-5	Viz graf č. 1				při certifikaci
	ČR					při certifikaci
	Německo					při certifikaci
	Rakousko ³⁾					při certifikaci
Účinnost [%]	Rakousko ⁴⁾	80 ³⁾	81 ³⁾	80 ³⁾	- ⁶⁾	každé dva roky (u provozovatele)
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020 ⁸⁾	75 (77) ⁹⁾	75 (77) ⁹⁾	75 (77) ⁹⁾	75 (77) ⁹⁾	při certifikaci

¹⁾ vyšší hodnoty – třída 3, nižší hodnoty – třída 5

²⁾ dle typu paliva

³⁾ více viz tab. č. 9.

⁴⁾ více viz tab. č. 10.

⁵⁾ Jedná se o 100% - komínová ztráta, která je měřena při provozním měření

⁶⁾ fosilní paliva není dovoleno v automatických kotlích spalovat

⁷⁾ vyšší hodnoty – třída 4, nižší hodnoty – třída 5

⁸⁾ hodnoty uvedeny jako sezónní energetická účinnost (počítaná na spalné teplo)

⁹⁾ bez závorky jsou uvedeny hodnoty pro kotle s výkonem ≤ 20 kW, v závorce jsou hodnoty pro kotle s výkonem > 20 kW

Tab. č. 12a Srovnání požadavků na emise a účinnost kotlů při $O_{2ref} = 10\%$

	Při referenčním $O_2 = 10\%$	Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí	
		Ruční	Automatické	Ruční	Automatické		
CO [mg/m ³ _N]	EN 303-5 ¹⁾	700 - 5000	500 - 3000	700 - 5000	500 - 3000	při certifikaci	
	ČR ¹⁾	700 - 5000	500 - 3000	700 - 5000	500 - 3000	při certifikaci	
	ČR - emisní limity od 1.1.2018 ⁷⁾	700 - 1200	500 - 1000	700 - 1200	500 - 1000	při certifikaci	
	Německo ²⁾	413 - 550	413 - 550	413 - 550	413 - 550	při certifikaci + každé 2 roky (u provozovatele)	
	Rakousko	985 - 2166	492 - 985	952 - 2096	- ⁶⁾	při certifikaci	
	Rakousko ⁴⁾	3 850	1 650	2 567	- ⁶⁾	každé dva roky (u provozovatele)	
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	700	500	700	500	při certifikaci	
	EN 303-5 ¹⁾	30 - 150	20 - 100	30 - 150	20 - 100	při certifikaci	
	ČR ¹⁾	30 - 150	20 - 100	30 - 150	20 - 100	při certifikaci	
	ČR - emisní limity od 1.1.2018 ⁷⁾	30 - 50	20 - 30	30 - 50	20 - 30	při certifikaci	
OGC [mg/m ³ _N]	Německo ¹⁾	30 - 150	20 - 100	30 - 150	20 - 100	při certifikaci	
	Rakousko	59 - 158	40 - 59	58 - 153	- ⁶⁾	při certifikaci	
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	30	20	30	20	při certifikaci	
	EN 303-5 ¹⁾	-	-	-	-	-	
	ČR ¹⁾	-	-	-	-	-	
	Německo ²⁾	-	-	-	-	-	
	Rakousko	197 - 590	197 - 590	191	-	při certifikaci	
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	200	200	350	350	při certifikaci	
	NO _x [mg/m ³ _N]						

Srovnání limitů ukazuje, že nejpřísnější limity pro CO, OGC a prach má Německo, které ale nesleduje koncentrace NO_x. Limity pro všechny uvedené látky má v legislativě jen Rakousko. Nejpřísnější požadavky na účinnosti kotlů jsou v Rakousku.

Pro lepší přehlednost je v tab. č. 13 ($O_{2ref} = 13\%$) a tab. č. 14 ($O_{2ref} = 10\%$) uvedeno srovnání dnes platných minimálních požadavků na teplovodní kotel o jmenovitém výkonu 25 kW při uvedení na trh a také při pravidelných kontrolách (vyžadováno v Německu a Rakousku).



Tab. č. 13a Srovnání požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci teplovodního kotle o jmenovitém výkonu 25 kW ($O_{2ref} = 13\%$)

Při referenčním $O_2 = 13\%$		Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční Kusové dřevo	Automatické Dřevní pelety	Ruční	Automatické	
CO [mg/m ³ N]	EN 303-5 - třída 3	3 636	2 182	3 636	2 182	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 4	873	727	873	727	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 5	509	364	509	364	při certifikaci
	ČR - emisní limity	3 636	2 182	3 636	2 182	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	873	727	873	727	při certifikaci
	Německo - emisní limity	400	400	400	400	při certifikaci a každé dva roky (u provozovatele)
	Rakousko - emisní limity	716 (500) ¹⁾	358 (250) ¹⁾	1 524 (1 100) ¹⁾	- 2)	při certifikaci
	Rakousko - emisní limity (u provozovatele)	2 800	1 200	1 867	- 2)	každé dva roky (u provozovatele)
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	509	364	509	364	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 3	109	73	109	73	při certifikaci
OGC [mg/m ³ N]	EN 303-5 - třída 4	36	22	36	22	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 5	22	15	22	15	při certifikaci
	ČR - emisní limity	109	73	109	73	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	36	22	36	22	při certifikaci
	Německo - emisní limity	109	73	109	73	při certifikaci
	Rakousko - emisní limity	43 (30) ¹⁾	29 (20) ¹⁾	111 (80) ¹⁾	- 2)	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	22	15	22	15	při certifikaci

Tab. č. 13b Srovnání požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci teplovodního kotle o jmenovitém výkonu 25 kW ($O_{2ref} = 13\%$)

Při referenčním $O_2 = 13\%$		Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční Kusové dřevo	Automatické Dřevní pelety	Ruční	Automatické	
NO_x [mg/m ³ N]	EN 303-5 - třída 3	-	-	-	-	-
	EN 303-5 - třída 4	-	-	-	-	-
	EN 303-5 - třída 5	-	-	-	-	-
	ČR - emisní limity	-	-	-	-	-
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	-	-	-	-	-
	Německo - emisní limity	-	-	-	-	-
	Rakousko - emisní limity	143 (100) ¹⁾	143 (100) ¹⁾	139 (100) ¹⁾	- ²⁾	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	145	145	255	255	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 3	109	109	91	91	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 4	55	44	55	44	při certifikaci
Prach (TZL) [mg/m ³ N]	EN 303-5 - třída 5	44	29	44	29	při certifikaci
	ČR - emisní limity	109	109	91	91	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	55	44	55	44	při certifikaci
	Německo - emisní limity	20	20	20	20	při certifikaci a každé dva roky (u provozovatele)
	Rakousko - emisní limity	43 (30) ¹⁾	29 (20) ¹⁾	49 (35) ¹⁾	- ²⁾	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	44	29	44	29	při certifikaci

Tab. č. 13c Srovnání požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci teplovodního kotle o jmenovitém výkonu 25 kW ($O_{2,ref} = 13 \%$)

Při referenčním $O_2 = 13 \%$		Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční Kusové dřevo	Automatické Dřevní pelety	Ruční	Automatické	
Účinnost [%]	EN 303-5 - třída 3		75,4%			při certifikaci
	EN 303-5 - třída 4		82,8%			při certifikaci
	EN 303-5 - třída 5		88,4%			při certifikaci
	ČR - účinnost		75,4%			při certifikaci
	ČR - účinnost od 1.1.2018		82,8%			při certifikaci
	Německo - účinnost		75,4%			při certifikaci
	Rakousko - účinnost	82,1%	83,1%	82,1%	83,1%	při certifikaci
	Rakousko - u provozovatele ³⁾	80,0%	81,0%	80,0%	81,0%	každé dva roky (u provozovatele)
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020 ⁴⁾	75 (77) ⁵⁾	75 (77) ⁵⁾	75 (77) ⁵⁾	75 (77) ⁵⁾	při certifikaci

¹⁾ v závorce jsou uvedeny původní hodnoty měrných emisí dle 15a B-VG v mg/MJ, hodnota před závorkou představuje vypočtenou koncentraci v mg/m^3_N při 13 % O_2

²⁾ automatické kotle na fosilní paliva není možno uvádět do provozu

³⁾ Jedná se o 100 % - kominová ztráta, která je měřena při provozním měření - více viz tab. č. 10.

⁴⁾ hodnoty uvedeny jako sezónní energetická účinnost (počítaná na spalné teplo)

⁵⁾ bez závorky jsou uvedeny hodnoty pro kotle s výkonem ≤ 20 kW. v závorce jsou hodnoty pro kotle s výkonem > 20 kW

Tab. č. 14a Srovnání požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci teplovodního kotle o jmenovitém výkonu 25 kW ($O_{2ref} = 10\%$)

Při referenčním $O_2 = 10\%$		Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční Kusové dřevo	Automatické Dřevní pelety	Ruční	Automatické	
CO [mg/m ³ N]	EN 303-5 - třída 3	5 000	3 000	5 000	3 000	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 4	1 200	1 000	1 200	1 000	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 5	700	500	700	500	při certifikaci
	ČR - emisní limity	5 000	3 000	5 000	3 000	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	1 200	1 000	1 200	1 000	při certifikaci
	Německo - emisní limity	550	550	550	550	při certifikaci a každé dva roky (u provozovatele)
	Rakousko - emisní limity	985 (500) ¹⁾	492 (250) ¹⁾	2096 (1 100) ¹⁾	- ²⁾	při certifikaci
	Rakousko - emisní limity (u provozovatele)	3 850	1 650	2 567	- ²⁾	každé dva roky (u provozovatele)
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	700	500	700	500	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 3	150	100	150	100	při certifikaci
OGC [mg/m ³ N]	EN 303-5 - třída 4	50	30	50	30	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 5	30	20	30	20	při certifikaci
	ČR - emisní limity	150	100	150	100	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	50	30	50	30	při certifikaci
	Německo - emisní limity	150	100	150	100	při certifikaci
	Rakousko - emisní limity	59 (30) ¹⁾	40 (20) ¹⁾	153 (80) ¹⁾	- ²⁾	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	30	20	30	20	při certifikaci

Tab. č. 14b Srovnání požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci teplovodního kotle o jmenovitém výkonu 25 kW ($O_{2ref} = 10\%$)

Při referenčním $O_2 = 10\%$		Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční Kusové dřevo	Automatické Dřevní pelety	Ruční	Automatické	
NO _x [mg/m ³ ·N]	EN 303-5 - třída 3	-	-	-	-	-
	EN 303-5 - třída 4	-	-	-	-	-
	EN 303-5 - třída 5	-	-	-	-	-
	ČR - emisní limity	-	-	-	-	-
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	-	-	-	-	-
	Německo - emisní limity	-	-	-	-	-
	Rakousko - emisní limity	197 (100) ¹⁾	197 (100) ¹⁾	191 (100) ¹⁾	- ²⁾	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	200	200	350	350	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 3	150	150	125	125	při certifikaci
	EN 303-5 - třída 4	75	60	75	60	při certifikaci
Prach (TZL) [mg/m ³ ·N]	EN 303-5 - třída 5	60	40	60	40	při certifikaci
	ČR - emisní limity	150	150	125	125	při certifikaci
	ČR - emisní limity od 1.1.2018	75	60	75	60	při certifikaci
	Německo - emisní limity	28	28	28	28	při certifikaci a každé dva roky (u provozovatele)
	Rakousko - emisní limity	59 (30) ¹⁾	40 (20) ¹⁾	67 (35) ¹⁾	- ²⁾	při certifikaci
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020	60	40	60	40	při certifikaci

Tab. č. 14c Srovnání požadavků na emise a účinnost pro konkrétní instalaci teplovodního kotle o jmenovitém výkonu 25 kW ($O_{2ref} = 10\%$)

Při referenčním $O_2 = 10\%$		Biogenní		Fosilní		Četnost kontroly emisí
		Ruční Kusové dřevo	Automatické Dřevní pelety	Ruční	Automatické	
Účinnost [%]	EN 303-5 - třída 3		75,4%			při certifikaci
	EN 303-5 - třída 4		82,8%			při certifikaci
	EN 303-5 - třída 5		88,4%			při certifikaci
	ČR - účinnost		75,4%			při certifikaci
	ČR - účinnost od 1.1.2018		82,8%			při certifikaci
	Německo - účinnost		75,4%			při certifikaci
	Rakousko - účinnost	82,1%	83,1%	82,1%	83,1%	při certifikaci
	Rakousko - u provozovatele ³⁾	80,0%	81,0%	80,0%	81,0%	každé dva roky (u provozovatele)
	Ekodesign - emisní limity od 1.1.2020 ⁴⁾	75 (77) ⁵⁾	75 (77) ⁵⁾	75 (77) ⁵⁾	75 (77) ⁵⁾	při certifikaci

¹⁾ v závorce jsou uvedeny původní hodnoty měrných emisí dle 15a B-VG v mg/MJ, hodnota před závorkou představuje vypočtenou koncentraci v mg/m^3_N při 10 % O_2

²⁾ automatické kotle na fosilní paliva není možno uvádět do provozu

³⁾ Jedná se o 100 % - kominová ztráta, která je měřena při provozním měření - více viz tab. č. 10.

⁴⁾ hodnoty uvedeny jako sezónní energetická účinnost (počítaná na spalné teplo)

⁵⁾ bez závorky jsou uvedeny hodnoty pro kotle s výkonem ≤ 20 kW, v závorce jsou hodnoty pro kotle s výkonem > 20 kW

3 Závěr

Emise škodlivin z kotlů podstatnou měrou přispívají k celkovému znečištění ovzduší (míra je závislá na počtu jednotlivých zdrojů znečišťování, jejich hustotě a na lokálních rozptylových podmínkách). Je proto žádoucí, zpřísnovat požadavky kladené na tyto zdroje znečištění nejen z pohledu emisí znečišťujících látek, ale i z pohledu zvyšování účinnosti. V dohledné době by již nemělo být možné prodávat a používat staré prohořivací kotle s ručním podáváním paliva, což je pro stav ovzduší jednoznačně pozitivní skutečnost. Přestože špatná obsluha může i u kotlů automatických a zplyňovacích výrazně zhoršit kvalitu spalování, je tato možnost výrazně menší než u kotlů prohořivacích a odhořivacích.

Hodnoty emisí a účinnosti uvedené na výrobním štítku byly dosaženy při spalovacích zkouškách na zkušebně v rámci certifikačních zkoušek. Lépe je pohlížet na tyto hodnoty tak, že pokud by bylo vše ideální (jmenovitý výkon, optimální nastavení spalovacích vzduchů, kvalitní palivo, obsluha i údržba), tak může dané spalovací zařízení dosáhnout těchto parametrů – tzv. STK kotle. Vliv obsluhy je u automatických kotlů minimalizován, takže při provozu na jmenovitém výkonu by neměl být rozdíl mezi štítkovými a reálnými hodnotami emisí a účinnosti velký. Se snižujícím se výkonem (v převážné většině případů) dochází k zhoršení emisí a také účinnosti.

Dle naší platné legislativy musí kotle prodávané v ČR prokázat splnění požadovaných parametrů (mimo jiné emise a účinnost) pouze jednou, a to při certifikaci (tzv. STK kotle). Zjednodušeně řečeno: tímto aktem jsou tato zařízení zařazena do kategorie kotlů (např. třída 3), která splňuje požadavky a dle současné legislativy již není nutné nic měřit a prokazovat na reálné instalaci. Ale jak jsme již dříve publikovali [5] jsou čtyři základní parametry, které nejvíce ovlivní náš „kouř“ a typ spalovacího zařízení je jen jedním z nich. Pokud budou ostatní parametry (kvalita obsluhy, paliva, instalace a údržby) špatné, bude špatný i celý výsledek. V sousedním Německu a Rakousku nestačí jen certifikace, ale splnění emisních požadavků je prokazováno na základě výsledků pravidelných měření, které provádí kominické firmy. Samozřejmě, že měření u provozovatele přímo na místě v kotelně má mnoho úskalí (cena, přístupnost) a různé nepřesnosti (měřicí místa, zařízení a metody, reprezentativnost výsledků), ale dle názorů autorů je lépe to dělat „nějak“ než vůbec ne. Skutečnost, že kotel na zkušebně splnil parametry některé třídy kotle, je pozitivní informace, ale nedostatečná pro to, aby „zaručovala“, že v reálném provozu bude kotel správně provozován. Naše zkušenosti (tisíce uskutečněných spalovacích zkoušek)

v nás vytvořily postoj nevěřícího Tomáše: „Pokud svou sondu nevložím do Tvého komína, neuvěřím, že to děláš dobře“, přestože máš hezký štítek. A jaký postoj máte Vy?

Seznam použitých zkratk

- CO – oxid uhelnatý
- NO_x – oxidy dusíku
- OGC = TOC – celkový organický uhlík
- PAU – polycyklické aromatické uhlovodíky
- TZL – tuhé znečišťující látky (prach), celkový prach bez rozlišení velikosti částic
- Q_i^r – výhřevnost paliva v surovém stavu
- P_{jm} – jmenovitý výkon spalovacího zařízení

Poděkování

Tato práce byla podpořena v rámci projektu MŠMT „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“ (LO1403).

Literatura

- [1] MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Národní program snižování emisí [online]. 2015 [cit. 2017-03-23]. Dostupné na: http://www.mzp.cz/cz/narodni_program_snizovani_emisi
- [2] Výsledky sčítání lidu, domů a bytů 2011. In: [online]. [cit. 2013-01-22]. Dostupné na: <http://vdb.czso.cz/sldbvo/#!stranka=podle-tematu&tu=30740&th=&v=&vo=null&vseuzemi=null&void=>
- [3] Spotřeba paliv a energií v domácnostech, ČSÚ, 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné na: <https://www.czso.cz/csu/czso/spotreba-paliv-a-energi-v-domacnostech>
- [4] MACHÁLEK P., MACHART J., Emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2001, ČHMÚ 2003, [cit. 2013-01-21] Dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/metodika_ruzzo3.pdf
- [5] HORÁK J., KUBESA P., HOPAN F., KRPEC K., KYŠUČAN Z., Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř?. tzb-info [online] 2013, [cit. 2013-01-31] Dostupné na: <http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>

- [6] EN 303-5:2012. Heating boilers – Part 5: Heating boilers for solid fuels, manually and automatically stoked, nominal heat output of up to 500 kW – Terminology, requirements, testing and marking.
- [7] ČSN EN 303-5:2013. 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.
- [8] Vereinbarung gemäß Art. 15a B-VG über das Inverkehrbringen von Kleinfeuerungen und die Überprüfung von Feuerungsanlagen und Blockheizkraftwerken. 2011.
- [9] Zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší ve znění zákona č. 369/2016 Sb. Dostupné na: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?idBiblio=77678&nr=201~2F2012&rpp=15#local-content>
- [10] 1. BImSchV. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen). 2010.
- [11] MACHÁLEK, P., MACHART, J., Upravená emisní bilance vytápění bytů malými zdroji od roku 2006, Český hydrometeorologický ústav, oddělení emisí a zdrojů, pracoviště Milevsko (2007). Dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/metodika_rezzo3new.pdf
- [12] Katalog hnědého uhlí 2012–2013, Severočeské doly a. s. Chomutov.
- [13] Nařízení komise (EU) 2015/1189 ze dne 28. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva. Dostupné na: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1189&from=CS>
- [14] Sdělení MŽP k provozování a ke kontrole spalovacích stacionárních zdrojů o jmenovitém tepelném příkonu 300 kW a nižším. Dostupné na: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/spalovaci_stacionarni_zdroje_300kW_sdeleni/\\$FILE/000-sdeleni_kontroly_kotu-20161230.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/spalovaci_stacionarni_zdroje_300kW_sdeleni/$FILE/000-sdeleni_kontroly_kotu-20161230.pdf)
- [15] Seznam odborně způsobilých osob (revizních techniků) dle Asociace podniků topenářské techniky. Dostupné na: <http://www.aptt.cz/opravneni-ozo.php>
- [16] Seznam odborně způsobilých osob (revizních techniků) dle Klastru Česká peleta. Dostupné na: <http://www.topenaridotace.cz/>
- [17] KRPEC, K., HORÁK, J., HOPAN, F., KUBESA, P. Přepočítání parametrů kotlů na tuhá paliva dle požadavků nařízení Komise EU 2015/1189. Vytápění, větrání, instalace, 2016, roč. 25, č. 5, s. 264–266.

Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva – část I. Jak dlouho vydrží teplo z jednoho přiložení či nabitě akumulací nádoby?

Datum: 26.3.2018 | Ing. Jiří Ryšavý, Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, Jiří Kremer, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Cílem tohoto článku je shrnutí základních parametrů kotlů na tuhá paliva, a prvků k nim zařazených v otopné soustavě, které mohou ovlivňovat chod celého zařízení, pro co možná nejvyšší komfort provozu. Jako přiřazený prvek je myšlena například akumulací nádoba, která zajišťuje prodloužení času vytápění od poslední příkládky paliva do kotle, čímž zvyšuje komfort užívání. Dále se zabývá porovnáním jednotlivých paliv a to jak s ohledem na prašnost paliv, tak s ohledem na činnosti, které je nutné s palivem před spálením provést.

1 Úvod

Mnoho lidí řeší otázku, jakým způsobem zajistit vytápění, popřípadě přípravu teplé vody ve svém domě. Uživatel, který preferuje spalovací zařízení na tuhá/pevná (dále jen tuhá) paliva, má dnes na výběr z mnoha kotlů různých výrobců. Pro orientaci mezi nimi a jejich porovnání slouží parametry, jako např. výkon, účinnost a také pořizovací cena. Další, někdy dosti opomíjený parametr, je komfort užívání. Komfortem je z hlediska vytápění pomocí spalování tuhých paliv hlavně myšlena četnost nutných provozních zásahů za jednotku času. Nejdůležitějším a nejčastějším zásahem do chodu kotle je příkládání dávky paliva (vyprázdnění popelníku bude bráno jako zásah, který je možné provést při přiložení, popřípadě dosypání paliva).

Četnost přiložení úzce souvisí s typem zařízení, velikostí dávky paliva, typem paliva, které je do kotle příkládáno a v neposlední řadě také s kvalitou obsluhy, nebo lépe řečeno s nastavením kotle. Níže budou popsány jednotlivé konstrukční typy kotlů na tuhá paliva s popisem komfortu užívání.

S komfortem užívání spalovacího zařízení souvisí i způsob hospodaření s palivem, tedy náročnost jeho přípravy, náročnost na prostor při skladování a také prašnost při manipulaci s palivem. Cílem tohoto článku je částečná „kvantifikace“ komfortu provozu různých typů kotlů na tuhá paliva.

2 Popis konstrukce a vlastností základních typů kotlů na tuhá paliva

2.1 Prohořivací kotel

Palivo je v tomto typu kotle přikládáno na hořící základní vrstvu. Primární spalovací vzduch přichází k základní vrstvě ze spodu, přes rošt, na kterém základní vrstva leží a následně společně se vzniklými spalinami prochází celou vrstvou paliva. Částečná regulace výkonu probíhá termostatickým regulátorem tahu (ovládání klapky přívodu primárního spalovacího vzduchu). Komínový tah výrazně ovlivňuje spalovací proces. Konstrukce kotlů tohoto typu byla tradičně převážně litinová, přičemž kotle byly navrhovány pro paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny, tedy např. koks. Jedná se o nejstarší a také nejjednodušší konstrukci kotle, což je doprovázeno nižší účinností transformace chemické energie paliva na tepelnou energii a vyšší produkcí emisí znečišťujících látek v porovnání s novějšími typy kotlů. Průběh spalování je u tohoto typu kotle periodický. Kolísání výkonu v průběhu periody způsobuje kolísání teploty otopné vody až o 50 °C (pokud to není regulačně ošetřeno), což může mít negativní vliv na životnost otopné soustavy a prvků, které jsou do ní zapojeny. Pro plynulejší chod kotle je vhodné přikládat menší dávky paliva v pravidelných, krátkých intervalech (např. 30 min), což není uživatelsky přívětivé. Řez prohořivacím kotlem je na Obr. 1.



Obr. 1 Funkční schéma prohořivacího kotle

2.2 Odhořivací kotel

Druhým typem kotle je kotel odhořivací. Jedná se rovněž o zařízení s ruční příkládkou paliva, jehož konstrukce neumožňuje procházení spalín a spalovacího vzduchu celou vrstvou paliva, ale jen její menší částí (palivo leží na roštu). Z paliva, umístěného v násypce, je postupně uvolňována prchavá hořlavina, která odchází do spalovací komory, což napomáhá jejímu kvalitnějšímu vyhoření ve srovnání s výše uvedeným odhořivacím kotlem. Plamen ze spalovací komory směřuje do zadní části kotle. Průběh spalování je u tohoto typu kotle plynulejší, než u kotle prohořivacího díky postupnému sesypávání paliva na rošt, kde dochází k samotnému hoření. Interval příkládání je podobný jako u prohořivacích kotlů. Částečná regulace výkonu probíhá termostatickým regulátorem tahu (ovládání klapky přívodu primárního spalovacího vzduchu). Komínový tah výrazně ovlivňuje spalovací proces. Řez odhořivacím kotlem je na Obr. 2.



Obr. 2 Funkční schéma odhořivacího kotle

2.3 Zplyňovací kotel

Nejmodernější způsob spalování kusového dřeva nabízí zplyňovací (někdy také nazýván jako: pyrolýzní, dřevozplyňující, pyrolytický) kotle (malá část těchto kotlů umožňuje použití uhlí). Na rozdíl od výše uvedených kotlů tento typ kotle převádí problematiku spalování tuhých paliv na problematiku spalování plynu. V zásobníku paliva kotle dochází k uvolňování prchavé

hořlaviny (suché dřevo jí obsahuje více než 70 %). Uvolněná prchavá hořlavina prochází skrz trysku do spalovací komory. Spalovací vzduch je většinou přiváděn do trysky, i do zásobníku paliva nuceně pomocí spalínového ventilátoru (poměrné množství vzduchu jdoucí do trysky a do zásobníku paliva lze měnit). Tento konstrukční prvek zmenšuje vliv komínového tahu na kvalitu spalování. Interval příkládání je stejně jako u ostatních kotlů dán objemem zásobníku paliva, mírou jejího naplnění a vlastnostmi paliva (např. výhřevností, spalným teplem, nebo tvarem jednotlivých kusů paliva). Míra přeměny energie paliva na teplo je u tohoto kotle vyšší (rovnoměrnější průběh spalovací periody) než u výše zmiňovaných kotlů, proto při stejné dávce paliva bude vyrobeno větší množství tepla. Řez zplyňovacím kotlem je vyobrazen na Obr. 3.

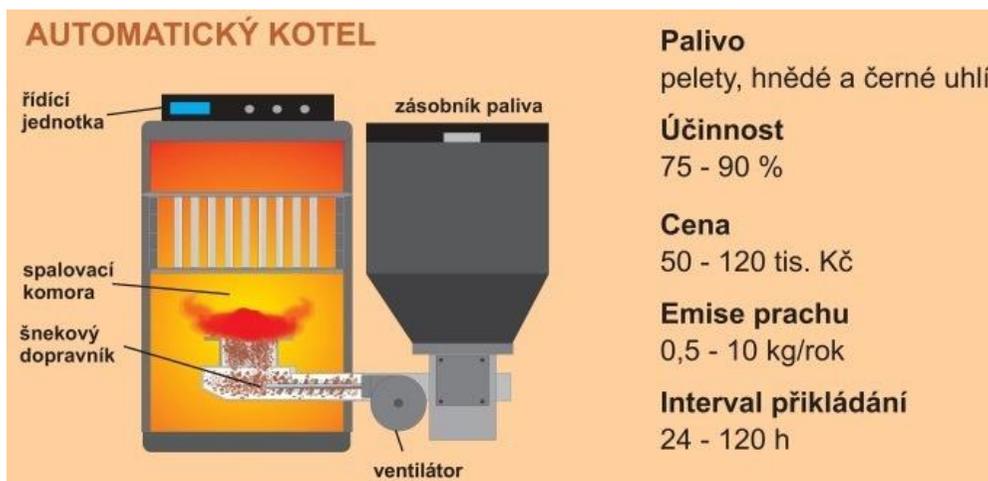


Obr. 3 Funkční schéma zplyňovacího kotle

2.4 Automatický kotel

Pokud je kotel správně provozován, jedná se o nejkomfortnější a nejekologičtější spalovací zařízení na tuhá paliva. Tyto výhody jsou doprovázeny složitějším technickým řešením a vyšší pořizovací cenou. Jedná se o zařízení, u nichž je zásobník paliva, na rozdíl od výše uvedených typů kotlů, umístěn mimo těleso kotle. Dopravník (šnek, skluz apod.) dodává do hořáku pouze potřebné množství paliva, což má pozitivní dopad na provozní parametry kotle (emise, účinnost, životnost). Výsledný interval doplňování paliva do zásobníku je závislý na jeho objemu, potřebě tepla, typu

a výhřevnosti paliva. Standartní zásobníky, které jsou součástí kotle, mají objem, který při běžném provozu vyžaduje přikládání cca v intervalu 1 až 10 dní. Periodu přikládání paliva je možno prodloužit instalací externího zásobníku paliva s dalším podavačem, který umožní prodloužit čas dosypávání paliva až na několik měsíců (používané zejména u kotlů na dřevní pelety, nebo štěpku). Perioda vysypávání popela je závislá hlavně na obsahu popeloviny v palivu. Norma ČSN EN 303-5 stanovuje, že objem popelníku musí zajistit provoz kotle v délce min. 12 h při jmenovitém výkonu bez nutnosti odpopelnění (platí pro všechny typy kotlů). Dřevní pelety obsahují řádově méně popeloviny (do 0,5 %) než uhlí (okolo 10 %), proto interval odpopelnění se prodlužuje (cca jednou za měsíc). Některé automatické kotle nabízejí možnost rozšíření o systém samočinného odpopelnění do externího zásobníku popela (další investiční náklady), což prodlužuje periodu na delší časový interval (měsíc až rok). V ČR je v automatických kotlích spalováno hlavně hnědé uhlí (ořech 2) a pelety (většinou dřevní). Černé uhlí a štěpka jsou pro dané výkony používány omezeně. Řez automatickým kotlem je na Obr. 4.



Obr. 4 Funkční schéma automatického kotle

2.5 Přestavby starých kotlů

Řada výrobců hořáků a kotlů nabízí pro některé typy starších kotlů možnost přestavby na kotel automatický. Děje se tak pomocí univerzálních hořáků, které jsou instalovány buďto do dvířek kotle, nebo pod něj. Po takovéto úpravě se spalovací zařízení může zařadit do vyšší třídy dle ČSN EN 303-5 (pouze po posouzení autorizovanou osobou – zajišťuje výrobce přestavbové sady), což majiteli může umožnit jeho provoz i po roce 2022 a zároveň

komfort jeho užívání dosáhne komfortu užívání automatického kotle. Investice do takové přestavby je přibližně třetinová oproti pořízení nového kotle. Nutno podotknout, že takto zrekonstruovaný starý kotel zpravidla nedosáhne parametrů, jako kotel nový, kdy je vyvíjeno kotlové těleso a hořák společně.

3 Komfort vytápění z hlediska velikosti zásobníku paliva – perioda příkládání

Jak již bylo zmiňováno výše, u kotlů s ruční příkládkou paliva jsou intervaly mezi příložením podobné. Nejvíce ovlivňující faktory jsou objem zásobníku paliva, násypky paliva či spalovací komory a vlastnosti paliva (za předpokladu stejné účinnosti kotle). Jednoduše, čím více hmotnosti paliva je dodáno, tím by měla být perioda mezi příloženými delší (při udržování stejného výkonu). To však například u prohořivacího kotle není dost dobře možné z důvodů špatných regulačních vlastností, které byly popsány v kapitole 2.1.

Druhým ovlivňujícím faktorem je výhřevnost paliva vynásobena jeho hustotou. Čím je výsledná hodnota vyšší, tím více chemické energie je možné, v podobě paliva, do kotle na jednu dávku naložit. Pokud porovnáme například bukové a smrkové dřevo, které by bylo ve stejném objemu naloženo do kotle, tak je zřejmé, že díky vyšší hustotě bukového dřeva bude množství energie v něm obsažené vyšší než u dřeva smrkového. Jednoduše řečeno by pak délka periody mezi příložením, při zachování stejného výkonu, měla být delší.

Příložená dávka paliva obsahuje chemicky vázanou energii v MJ, která je dána součinem výhřevnosti daného paliva v MJ/kg a jeho hmotnosti v kg. Přivedené množství energie za čas představuje příkon kotle.

$$P = \frac{Q}{t} \quad \left[kW = \frac{MJ}{h \cdot 3,6} \right]$$

P příkon [kW]

Q chemicky vázaná energie paliva dodaná do kotle [MJ]

t čas [h]

3.1 Modelový příklad množství energie v jedné dávce paliva do kotle

Objem zásobníku paliva modelového zplyňovacího kotle je $V_n = 80 \text{ dm}^3$. Délka je $l = 38 \text{ cm}$, tedy maximální délka polena je $l_p = 33 \text{ cm}$. Jmenovitý výkon tohoto kotle je $P = 25 \text{ kW}$ při účinnosti $\eta = 84 \%$. Do kotle je příkládáno bukové dřevo (2 roky sušené) o obsahu vody 14 %, a to tak, že celkový objem

zásobníku paliva je zaplněn ze 2/3 (jedná se o odhad při zaplnění zásobníku paliva „do plna“, přičemž 1/3 je odhadovaný objem mezer mezi jednotlivými kusy paliva; reálné hodnoty se budou lišit dle tvaru jednotlivých polen a způsobu ukládání). Výhřevnost spalovaného dřeva je $Q_{i,m} = 15 \text{ MJ/kg}$. Vážením a měřením objemu jednoho polena byly stanoveny hodnoty m_p a V_p , na základě kterých bylo vypočteno, že dřevo zadaných parametrů má výhřevnost na jednotku objemu $Q_{i,v} = 9,5 \text{ MJ/dm}^3$.

$$Q_{i,v} = Q_{i,m} \cdot \frac{m_p}{V_p} = 15 \cdot \frac{1,456}{2,3} = 9,5 \text{ MJ/dm}^3$$

m_p hmotnost polena [kg]

V_p objem polena [dm^3]

$Q_{i,v}$ výhřevnost dřeva vztažená na jednotku objemu [MJ/dm^3]

$Q_{i,m}$ výhřevnost dřeva vztažená na jednotku hmotnosti [MJ/kg]

V souvislosti s výše uvedenými úvahami lze říci, že se na jedno naložení do kotle vejde cca dvě třetiny objemu zásobníku paliva, což je dle níže uvedeného výpočtu cca $Q = 507 \text{ MJ}$ chemicky vázané energie v palivu.

$$Q = V_n \cdot \frac{2}{3} \cdot Q_{i,v} = 80 \cdot \frac{2}{3} \cdot 9,5 = 506,6 \text{ MJ} = \frac{506,6}{3,6} \text{ kWh} = 140,7 \text{ kWh}$$

V_n objem zásobníku paliva [dm^3]

Q chemicky vázaná energie v palivu dodaná do kotle jednou dávkou [MJ]

Při takto nastavených modelových podmínkách má jedna dávka paliva hmotnost 33,87 kg.

S takto naloženým zásobníkem by měl kotel být schopen provozu při jmenovitém výkonu po dobu 4 hodin a 42 minut při započítání výše uvedené účinnosti $\eta = 84 \%$.

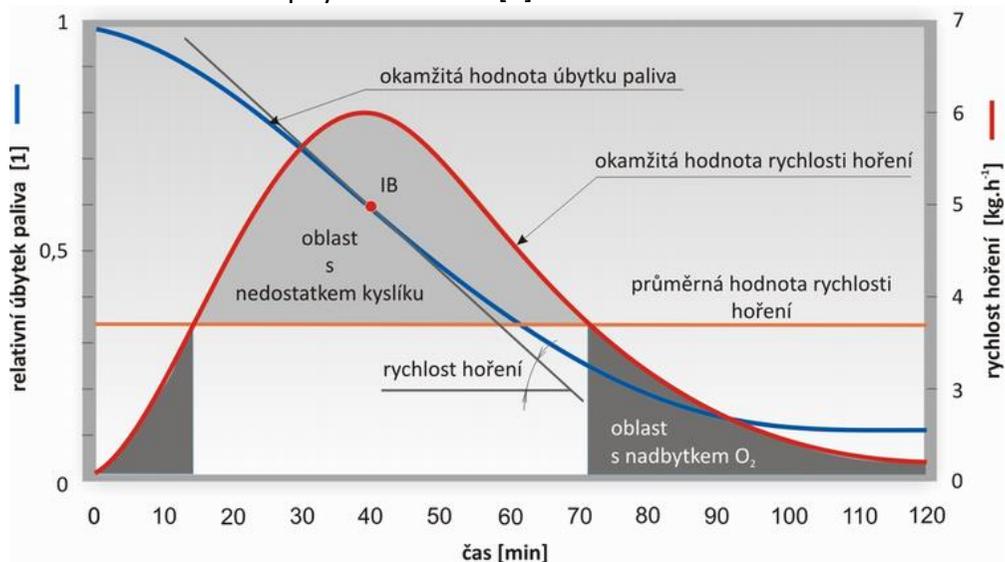
$$t = \frac{Q}{3,6 \cdot \eta} = \frac{506,6}{3,6} \cdot 0,84}{25} = 4,7 \text{ hod}$$

t čas hoření jedné dávky paliva [hod]

η účinnost [-]

Pokud by se jednalo např. o kotel prohořivací, který by měl příkladací prostor o stejných rozměrech a který by měl účinnost $\eta = 60\%$, pak by stejná dávka dřeva při udržení stejného výkonu teoreticky vydržela jen 3 hodiny a 22 minut.

Při reálném spalování kusového dřeva nebo uhlí, v kotli s ruční příkladkou paliva, není možné zaručit konstantní výkon kotle. Výkon je závislý na fázi periody hoření. Nejprve dochází k zahřívání a sušení paliva, dále se uvolňuje prchavá hořlavina, která následně hoří a až poté dojde k hoření odplyněného zbytku paliva (dřevěného uhlí nebo koksu). Tento proces prezentuje graf č. 1. Více o procesu hoření kusového dřeva vypoovídá článek: Proces hoření kusového dřeva dostupný na TZB-info [5].



Graf č. 1 Průběh hoření kusového dřeva [5]

4 Komfort vytápění z hlediska typu paliva – čistota kotelny, transport a uskladnění paliva

Další stránka komfortu je čistota kotelny. Prašnost v kotelně vzniká hlavně při odpelňování a následně během příkládání paliva – zde vítězí biomasa nad uhlím.

Dřevo je specifické vysokým obsahem vody v surovém palivu, což vyžaduje jeho sušení (čerstvě pořezané dřevo obsahuje cca 50 % vody). Z hlediska potřebných skladovacích prostor je dřevo nejnáročnější díky nejmenší hodnotě výhřevnosti vynásobené hustotou [MJ/m^3] a nutnosti skladování po dobu jednoho až dvou let (v závislosti na typu skladovacích prostor a počátečním obsahu vody) tak, aby došlo k poklesu obsahu vody pod

20 % (takto suché dřevo je již považováno za vhodné pro spalování). Sušení biomasy v podobě pelet a briket již není nutné, protože tato paliva jsou „suchá“ (mají 6 až 10 % vody, pokud by byla vlhká, rozpadla by se). Brikety jsou většinou dodávány v balících po 10 nebo 8 kg, manipulace s nimi je jednoduchá a nedochází ke zvýšené prašnosti.

Dřevní pelety jsou dodávány buď jako sypané (volně ložené), nebo pytlované. Jeden pytel pelet váží většinou 15 kg a kromě ochrany vůči zvýšené prašnosti při manipulaci s palivem slouží pytel jako částečná ochrana vůči vlhkosti, jejíž kontakt s peletami palivo znehodnotí.

Hnědé uhlí má cca dvojnásobnou výhřevnost vztaženou na jednotku objemu [MJ/m^3] oproti dřevu (špalky o obsahu vody méně než 20 %), tedy potřebuje cca poloviční skladovací prostory na jednu topnou sezónu. Černé uhlí má cca trojnásobnou výhřevnost na jednotku objemu, tedy skladovací prostory při zachování stejného množství energie jsou pro černé uhlí oproti dřevu třetinové. Dřevní pelety jsou, co se týče skladování obdobně náročné na zaskladněný prostor stejně jako hnědé uhlí. Pytlované palivo (pelety, uhlí) je dobře stohovatelné (do výšky).

Stejně poměry jsou i u požadovaných objemů násypky paliva. Do stejně velké násypky paliva plně naložené dřevem se vejde cca dvojnásobné množství chemicky vázané energie v palivu, pokud je naplněna hnědým uhlím a cca trojnásobné množství chemicky vázané energie v palivu, pokud je naplněna černým uhlím (tyto poměry se budou lišit dle reálného tvaru jednotlivých kusů dřeva, granulometrie uhlí, výhřevnosti apod.).

5 Akumulační nádoby

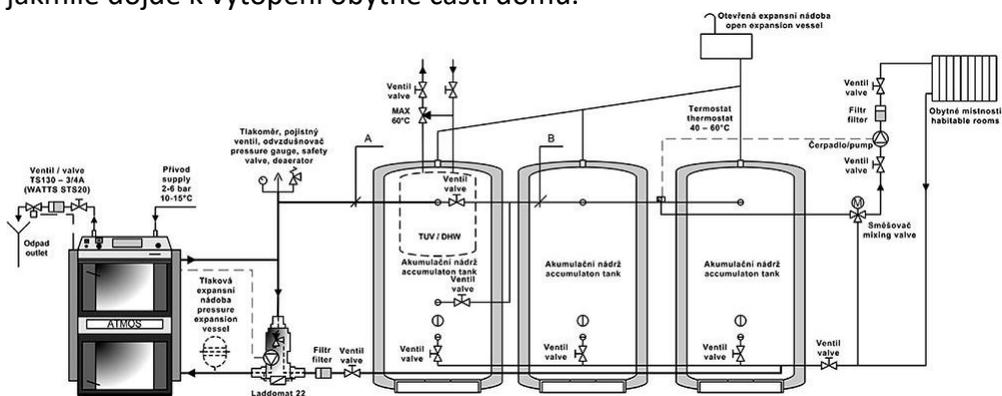
Zásobník tepla, jinak též nazývaný jako akumulaciční nádoba („baterka“), je zařízení umožňující „uskladnění“ energie na vhodném místě a ve vhodné formě tak, aby byla použitelná v potřebný čas, v požadované kvalitě a kvantitě. Akumulační nádoba umožňuje provozovat kotel na jmenovitý výkon i v době, kdy potřeba výkonu pro vytápění je menší než jmenovitý výkon kotle (minimalizace dehtování kotle, optimalizace spalování, maximalizace účinnosti). Druhým přínosem je, že během čerpání tepla z nabitě akumulaciční nádoby není nutné provozovat kotel (teplo je čerpáno z baterky).

V oblasti domácí akumulace tepla je aplikován především typ akumulace s využitím citelného tepla média. U tohoto principu je využívána měrná tepelná kapacita látek v provozním rozsahu teplot, přičemž je množství akumulované energie přímo úměrné rozdílu těchto teplot (počáteční, konečná) a množství látky. Jako příklad tohoto typu akumulace lze uvést

jednoduchý vodní zásobník, který pracuje v takovém rozmezí teplot, aby voda neměnila své skupenství.

Zapojení tohoto zásobníku do sestavy je velmi vhodné u kotlů s ručním příkládáním paliva, které mají při jmenovitém výkonu vyšší účinnost a nižší produkci emisí. Při sníženém výkonu tyto kotle nevyužívají plně svůj potenciál. Použití akumulčních nádob u kotlů s ruční příkládkou paliva je rovněž vhodné pro vykrytí období, kdy je potřeba vytápet dům, avšak kotel již vyhasl a pro konstantní tepelné zatížení otopné soustavy, bez rázových změn teplot otopné vody. Doporučené zapojení zplyňovacích kotlů ATMOS s regulačním prvkem Laddomat 22 je vyobrazeno na Obr. 5.

Smysl zapojení prvku Laddomat 22 je takový, že při zátoku se nejprve nahřeje samotný kotel, a až poté jde ohřátá otopná voda do otopné soustavy (cílem je ochrana kotle před korozí při kondenzaci par ze spalin na stěnách kotle při nižších teplotách). Více informací o problematice nahřívání kotle s prvkem Laddomat 22 nabízí článek [6]. Zásobníky tepla jsou nahřívány až tehdy, jakmile dojde k vytopení obytné části domu.



Obr. 5 Doporučené zapojení zplyňovacího kotle Atmos DC32S [1]

Čas nabíjení a vybití zásobníku tepla je zcela individuální a záleží na následujících faktorech:

- Výkon kotle, kterým je zásobník nabíjen (z pravidla je proměnlivý a nejedná o celý aktuální výkon kotle, neboť část výkonu slouží k udržování teploty v obytných prostorech. Výkon do zásobníku závisí tedy na tepelné ztrátě budovy a teplotě okolí);
- Objem akumulční nádoby;
- Počáteční a koncová teplota vody v akumulční nádobě (minimální teplota, kdy je možné z akumulční nádoby vytápet obytné prostory je závislá na typu vytápění, např. minimální teplota otopné vody

na vstupu do otopného okruhu u podlahového topení (cca 30 °C) bude jistě nižší, než u radiátorového vytápění (cca 50 °C);

- Měrná tepelná kapacita látky, do které je energie akumulována (většina nádrží je naplněna vodou, jen velice malá část funguje na bázi např. propylen-glykolu).

6 Zjednodušený výpočet četnosti přikládání, hmotnosti jedné dávky a vlivu sušení paliva na komfort topení

Nejprve je nutné stanovit potřebný příkon kotle při jmenovitém výkonu:

$$P_{rjm} = \frac{P_{jm}}{\eta} [kW]$$

P_{rjm} příkon při jmenovitém výkonu [kW]

P_{jm} jmenovitý výkon [kW]

η účinnost kotle [-]

Dávka paliva pro hodinové udržení jmenovitého výkonu kotle (při zjednodušení, že po dobu celé periody se uvolňuje stejné množství tepla).

$$m = \frac{P_{rjm} \cdot t \cdot 3,6}{Q_i} [kg]$$

t čas hoření jedné dávky paliva [h]

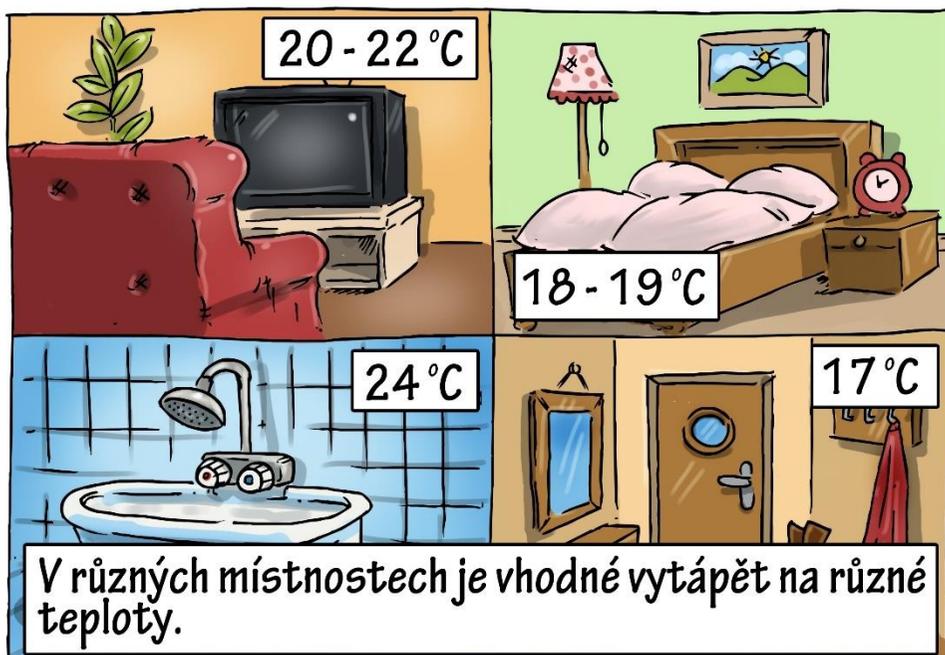
Q_i výhřevnost paliva vztažená na jednotku hmotnosti [MJ/kg]

Pro dosažení průměrného tepelného výkonu 15 kW při intervalu přikládání 4 hodiny a účinnosti kotle 70 % je potřeba přikládat cca 38,6 kg mokrého dřeva (50 % vody), zatímco suchého dřeva (20 % vody) je potřeba přiložit pouze 21,6 kg. Tyto výsledky potvrzují, že zvýšení komfortu při přikládání také souvisí s obsahem vody ve dřevě.

Uživatel spalující suché dřevo fyzicky zvedá při každém naložení kotle cca o 44 % menší hmotnost paliva. Tento fakt prezentuje graf č. 2, kdy modrá křivka charakterizuje hmotnosti mokrého dřeva přikládaného do kotle a červená křivka hmotnosti suchého dřeva přikládaného do kotle. Vliv sušení na hmotnost dřeva prezentuje Obr. 6. Při topení kvalitním černým uhlím se ekvivalentní dávka přiložení pohybuje okolo 11 kg, avšak prašnost v kotelně z tohoto typu topení je vyšší než při topení biomasou (dřevo, pelety).

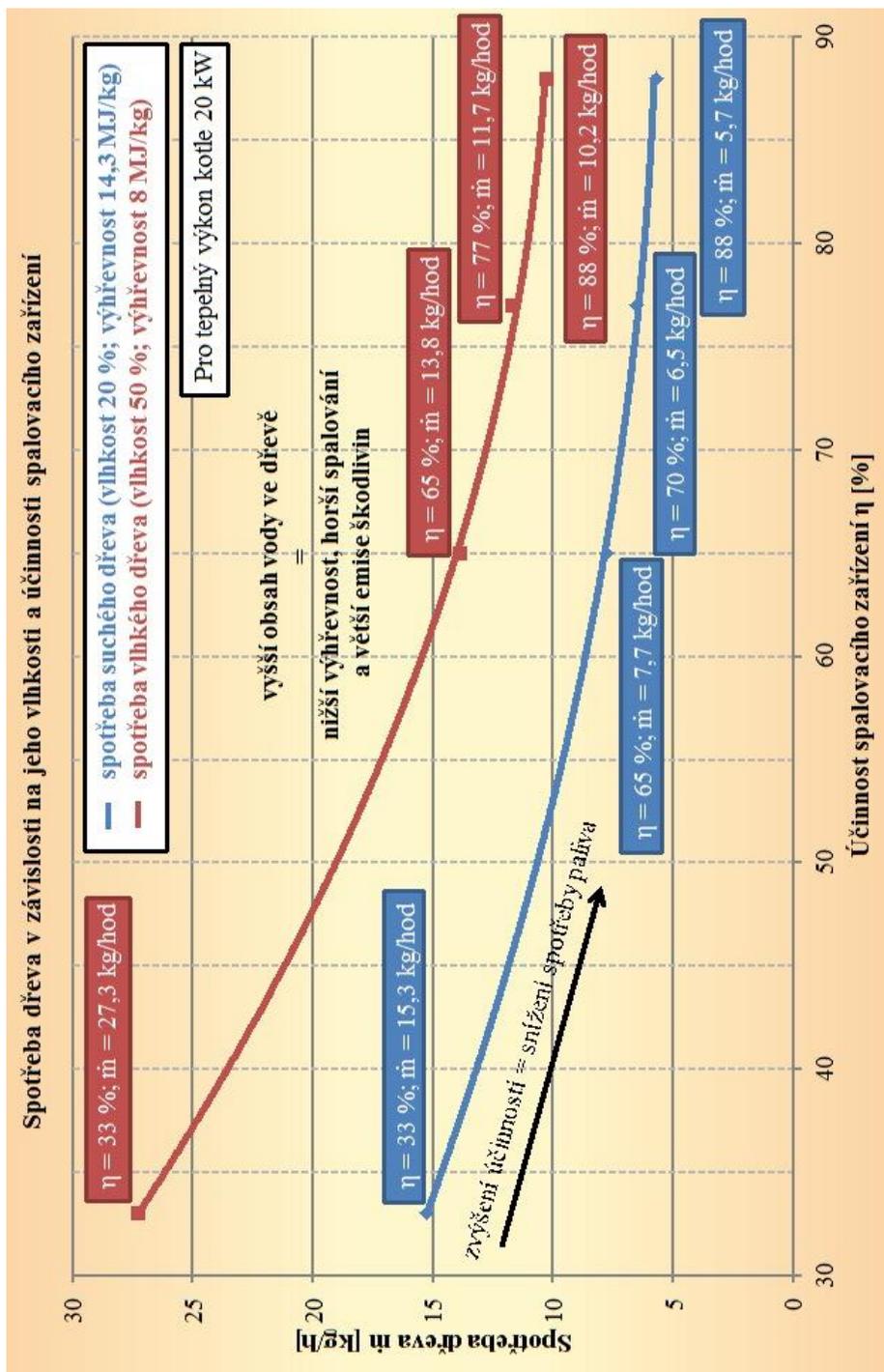
Poděkování

Tato práce byla podpořena v rámci projektu MŠMT „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“ (LO1403).





Obr. 6 Vliv sušení dřeva na jeho hmotnost [7]



Graf č. 2 Spotřeba dřeva v závislosti na obsahu vody ve dřevě a účinnosti spalovacího zařízení

Komfort kotlů na tuhá/pevná paliva – část II. Jak dlouho vydrží teplo z jednoho přiložení či nabitě akumulární nádoby?

Datum: 26.3.2018 | Ing. Jiří Ryšavý, Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, Jiří Kremer, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Cílem tohoto článku je shrnutí základních parametrů kotlů na tuhá paliva, a prvků k nim zařazených v otopné soustavě, které mohou ovlivňovat chod celého zařízení, pro co možná nejvyšší komfort provozu. Jako přiřazený prvek je myšlena například akumulární nádoba, která zajišťuje prodloužení času vytápění od poslední příkládky paliva do kotle, čímž zvyšuje komfort užívání. Dále se zabývá porovnáním jednotlivých paliv a to jak s ohledem na prašnost paliv, tak s ohledem na činnosti, které je nutné s palivem před spálením provést.

1 Zjednodušený výpočet doby ohřevu a chladnutí akumulární nádrže

Nejprve je nutné stanovit tepelnou ztrátu domu. Pokud je již známá, lze tento výpočet přeskočit a pokračovat následujícím krokem.

$$P_{ztr} = \frac{q_{ztr_1st} \cdot S \cdot h \cdot (t_{int} - t_e)}{1000} [kW]$$

P_{ztr} tepelná ztráta domu [kW]

q_{ztr_1st} přibližná tepelná ztráta domu na 1 m³ stanovená při teplotě $t_e = -15$ °C a $t_{int} = 20$ °C [W/(m³·K)]

S plocha domu [m²]

h výška stropu [m]

t_{int} teplota interiéru [°C]

t_e venkovní výpočtová teplota (lze vyhledat dle lokality na [2])

Tab. 1 Přibližná tepelná ztráta domu přepočtena na 1 m³ dle typu domu stanovená pro teplotu $t_e = -15\text{ °C}$ a $t_{int} = 20\text{ °C}$ [2]

Typ domu	q_{ztr_1st}	Jednotka
Starší nezateplený rodinný dům	1	W/(m ³ ·K)
Starší zateplený rodinný dům	0,57	W/(m ³ ·K)
Novostavby odpovídající tepelně technickým předpisům	0,43	W/(m ³ ·K)
Energeticky úsporné domy	0,29	W/(m ³ ·K)
Nízkoenergetické domy	0,17	W/(m ³ ·K)
Pasivní domy	0,08	W/(m ³ ·K)

Tepelná ztráta budovy při rozdílu teplot interiéru a exteriéru o 1 °C se vypočte jako:

$$P_{ztr_1st} = \frac{P_{ztr}}{(t_{int} - t_e)} \left[\frac{kW}{K} \right]$$

P_{ztr_1st} tepelná ztráta domu při rozdílu teplot interiéru a exteriéru o 1 °C

Tepelná ztráta budovy při aktuálním rozdílu teplot interiéru a exteriéru se vypočte jako:

$$P_{ztr_akt} = P_{ztr_1st} \cdot (t_{int} - t_{ext}) [kW]$$

P_{ztr_akt} tepelná ztráta domu při aktuální teplotě exteriéru [kW]

t_{ext} aktuální teplota exteriéru [°C]

Výkon nahřívající vodu v nádobě:

$$P_{nahřívací} = P_{vody} - P_{ztr_akt} [kW]$$

$P_{nahřívací}$ část výkonu kotle použitý pro nahřátí vody v akumulární nádobě [kW]

P_{vody} výkon kotle předávaný vodě [kW]

Teplu potřebné pro ohřátí vody v akumulární nádobě se vypočte:

$$Q_{\text{potřebné}} = \frac{V \cdot c_p \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{start}}) \cdot \rho_{\text{stř}}}{1000}$$

$Q_{\text{potřebné}}$	teplo potřebné pro ohřátí vody v akumulární nádobě [MJ]
V	objem akumulární nádoby [m^3]
c_p	měrná tepelná kapacita vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
t_{max}	maximální teplota v akumulární nádobě [$^{\circ}\text{C}$]
t_{start}	počáteční teplota v akumulární nádobě [$^{\circ}\text{C}$]
$\rho_{\text{stř}}$	střední hustota kapaliny v akumulární nádobě [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Pro představu se do akumulární nádoby o objemu $V = 1 \text{ m}^3$ dá uložit při ohřátí vody z počáteční teploty $t_{\text{start}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na koncovou teplotu $t_{\text{max}} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ cca $Q_{\text{potřebné}} = 210 \text{ MJ}$ (cca 58,3 kWh) tepla. Jedná se přibližně o půlku tepelné energie, která je naložena do zplyňovacího kotle v modelovém příkladu v kapitole 3.1.

Čas potřebný pro ohřátí akumulární nádoby za předpokladu že část výkonu z kotle je využívána pro pokrytí tepelné ztráty domu se vypočte jako:

$$t_{\text{ohřátí}} = \frac{Q_{\text{potřebné}}}{P_{\text{nahřívací}} \cdot 3,6} [\text{hod}]$$

$t_{\text{ohřátí}}$ čas potřebný pro ohřátí akumulární nádoby za předpokladu, že část výkonu z kotle je využívána pro pokrytí tepelné ztráty domu [hod]

Čas, po který je akumulární nádoba schopna pokrýt tepelnou ztrátu objektu:

$$t_{\text{chladnutí}} = \frac{V \cdot c_p \cdot (t_{\text{max}} - t_{\text{stop}})}{3600 P_{\text{ztr}}}$$

t_{stop} minimální teplota otopné vody na vstupu do otopné soustavy [$^{\circ}\text{C}$]

Pro prezentaci časů ohřevu u různě výkonných kotlů a různých domů myšleno z hlediska jeho tepelné ztráty slouží graf č. 3, graf č. 4 a graf č. 5.

Z těchto grafů je patrné, že akumulární nádrže provozované v domech s nízkou tepelnou ztrátou (do 8 kW) mohou být například při objemu vody $V = 1000 \text{ dm}^3$ běžně nabity v čase do 12 hodin i s kotlem o jmenovitém výkonu 15 kW při velice nízkých teplotách okolí $t_{\text{ext}} = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, a to i za situace, kdy kotel zároveň „nabíjí“ akumulární nádrž a zároveň udržuje teplotu

v interiéru na hodnotě $t_{\text{int}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. S rostoucí teplotou exteriéru tento čas rapidně klesá a při běžných zimních teplotách v podmínkách České republiky okolo $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ netrvá nabití akumulární nádoby o tomto objemu déle než 9 hodin provozu kotle na jmenovitý výkon. Tento čas musí být vždy navýšen o potřebné prohřátí kotle a náběh na jmenovitý výkon, což většinou netrvá déle než půl hodiny. Snížením interiérové teploty lze rovněž snížit čas nahřátí akumulární nádoby. Tento zásah však může snížit komfort užívání domu.

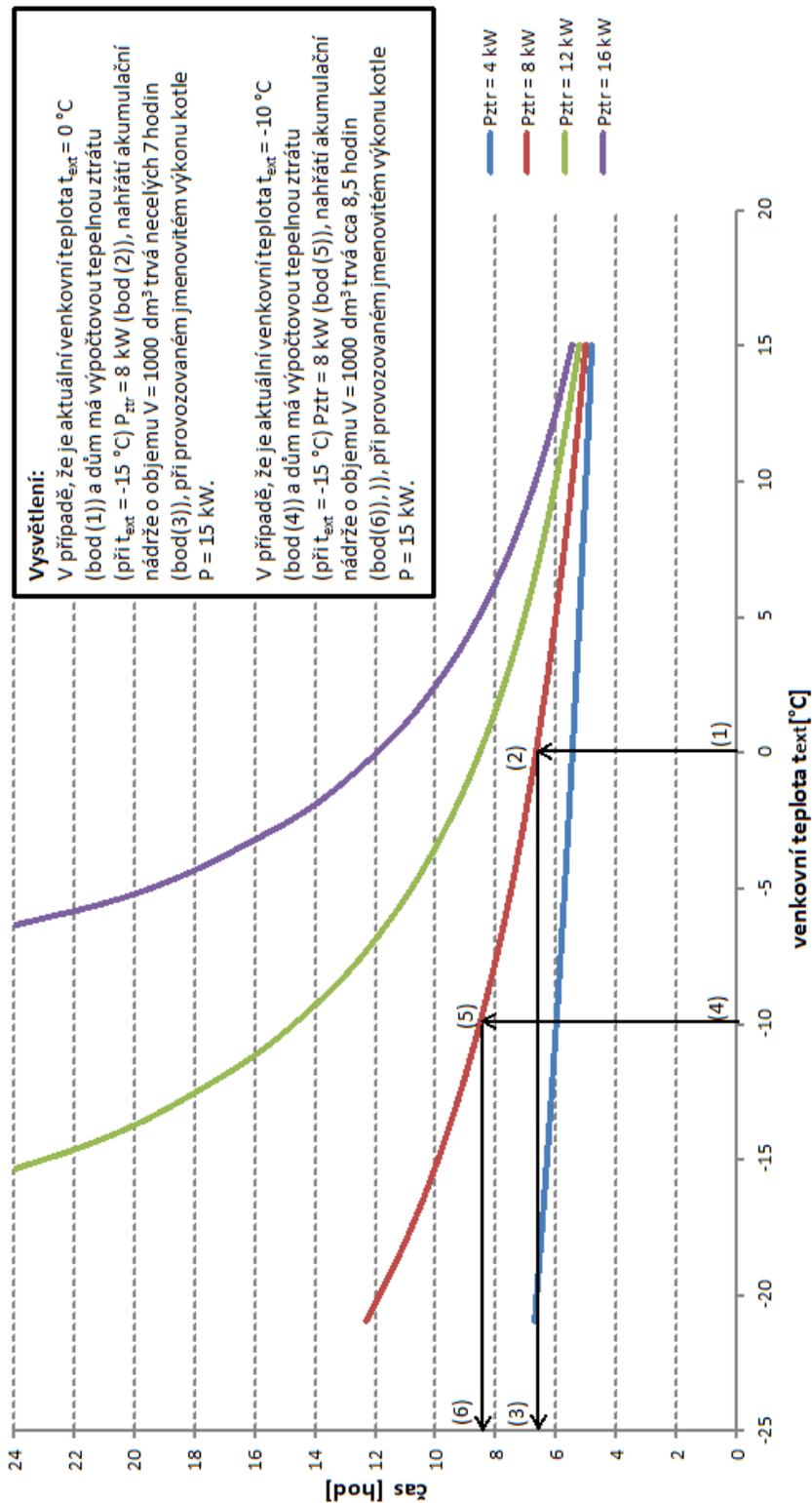
Při navyšování výkonu kotle se rapidně snižuje potřebný čas k nabití nádrže. Nutno podotknout, že kotel by měl být vybírán do domu individuálně právě podle výpočtové tepelné ztráty domu a objemu akumulární nádoby. Nemělo by docházet k extrémům typu příliš rychlého nabití akumulární nádoby, nebo naopak nemožnost nabití akumulární nádoby při okolních teplotách pod cca $t_{\text{ext}} = -5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pro prezentaci časů chladnutí akumulární nádoby slouží graf č. 6. Vzhledem k přímé úměře mezi časem chladnutí a celkovým objemem akumulárních nádob ve výpočtu lze velice jednoduše dopočítat časy chladnutí pro odlišné objemy akumulárních nádob, nebo pro jejich větší množství.

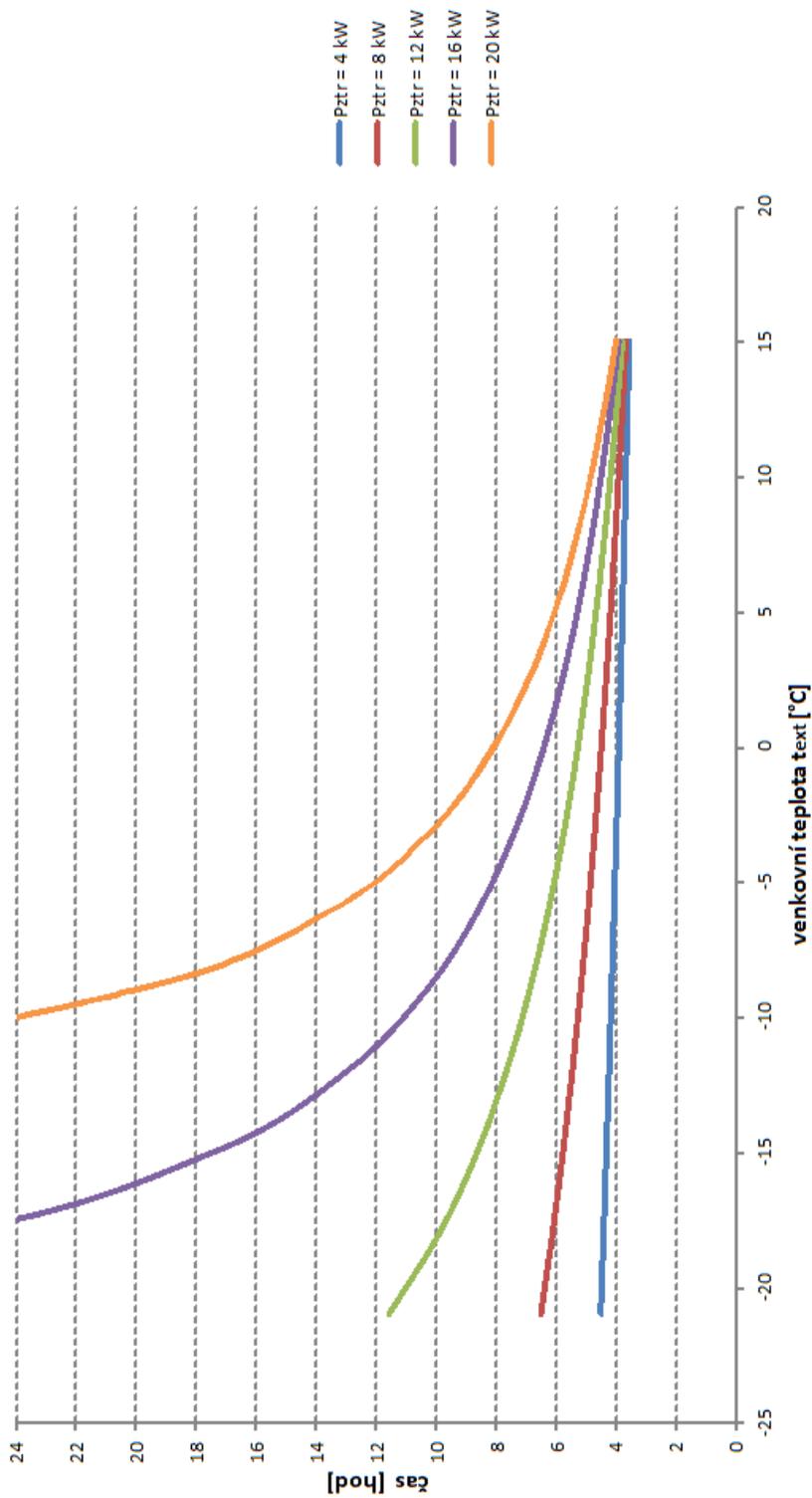
Z grafu je patrné, že dům s nízkou tepelnou ztrátou blížící se například 4 kW, který je vybaven podlahovým topením, může být z akumulární nádoby vytápěn při okolní teplotě $t_{\text{ext}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ až 20 hodin. Do výpočtu nebyly zahrnuty ztráty akumulární nádoby, neboť teplo, které unikne přes izolaci do místnosti, v níž je nádoba umístěna, prakticky rovněž vytápí dům. Množství využitelné energie v akumulární nádobě klesá s nejnižší možnou vstupní teplotou do otopné soustavy. Pro domy vytápěné radiátory, které potřebují vyšší teplotu vstupní vody, bude čas chladnutí výrazně kratší, než pro domy s podlahovým vytápěním, které potřebují nižší teplotu vstupní vody.

Vzhledem k tomu, že pro dosažení dotace (Kotlíkové dotace) je zapotřebí splnit podmínku objemu akumulární nádoby, která musí mít objem alespoň $V = 55 \cdot P_{\text{jm}}$ v dm^3 [4], je někdy instalováno více akumulárních nádob. Větší objem akumulární nádrže znamená větší kapacitu pro uložení tepla, větší pohodlí, delší dobu nabití, ale i vybití, vyšší nároky na prostor a vyšší investiční náklady.

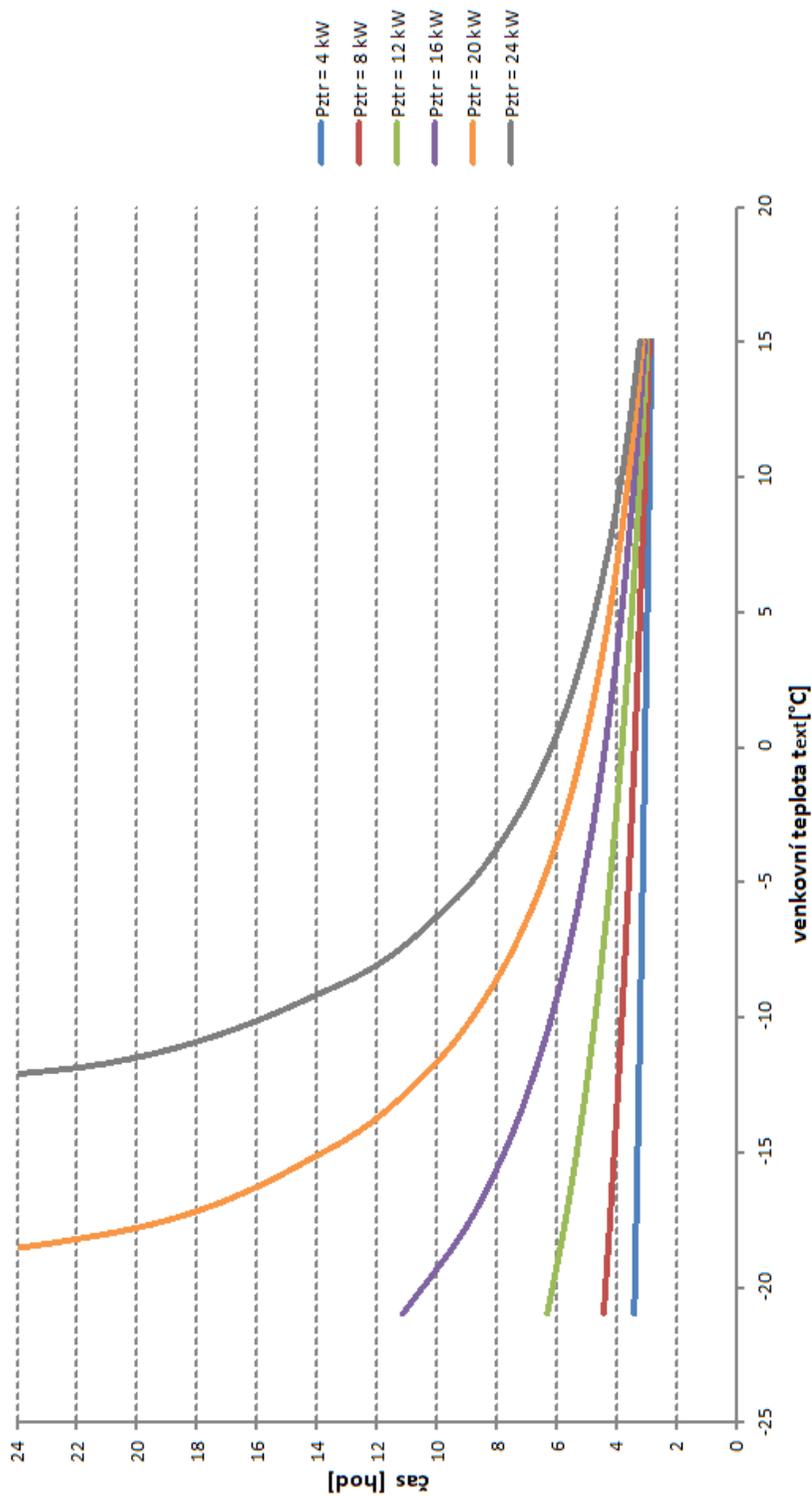
Reálnou aktuální tepelnou ztrátu domu při známé výpočtové tepelné ztrátě v závislosti na teplotě okolí t_{ext} a na skutečné teplotě interiéru t_{int} prezentuje graf č. 7. Z grafu je patrné, že dům s výpočtovou tepelnou ztrátou 5 kW (výpočet pro $t_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ a $t_{\text{int}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$) vytápěný na $24 \text{ }^\circ\text{C}$ nemá při výpočtové teplotě $t_e = -15 \text{ }^\circ\text{C}$ aktuální tepelnou ztrátu 5 kW, ale 5,6 kW, přičemž stejný dům vytápěný na teplotu $27 \text{ }^\circ\text{C}$ má aktuální tepelnou ztrátu při stejné teplotě dokonce 6 kW, tedy o 20 % vyšší, než je výpočtem stanovená.



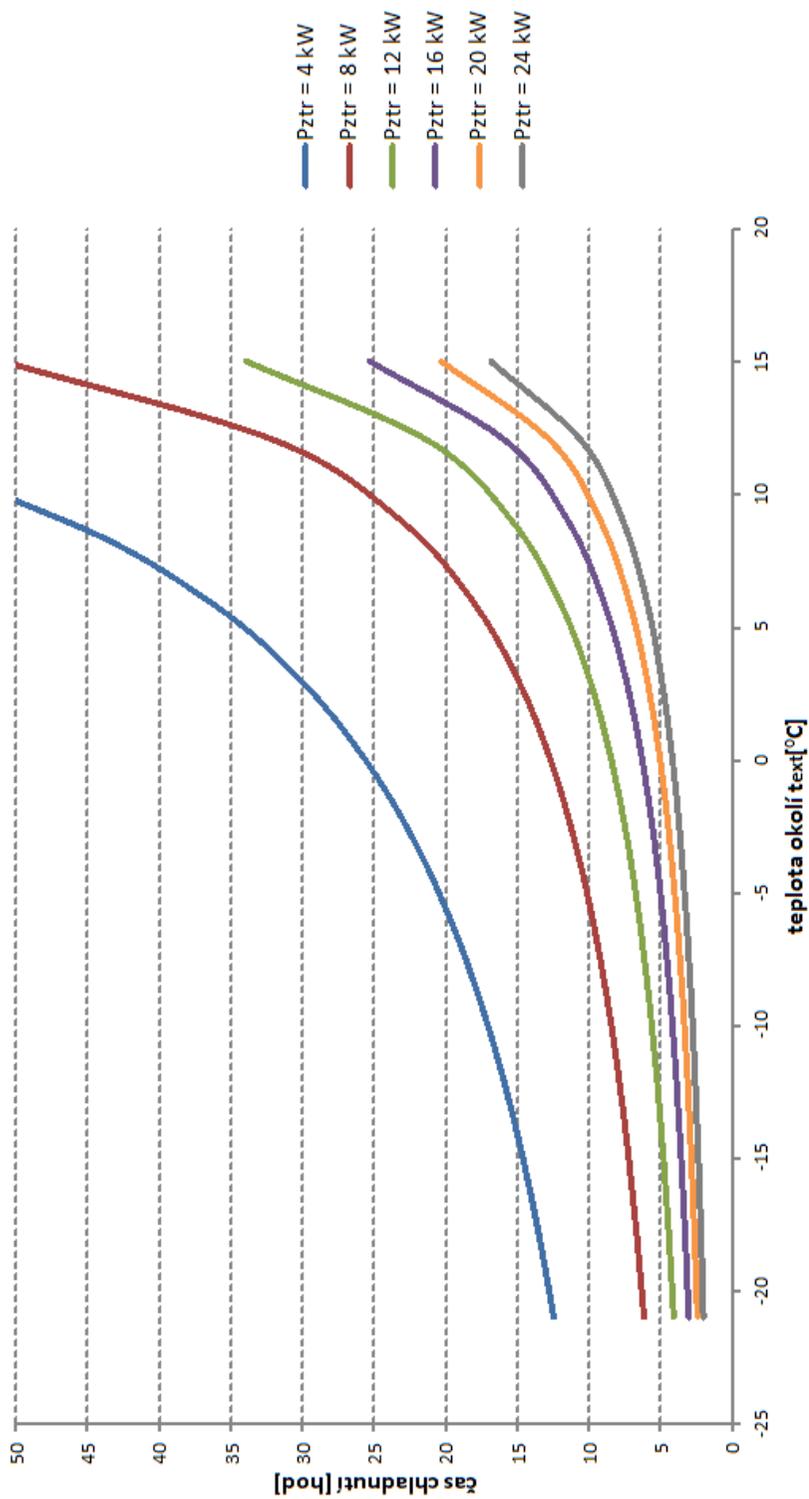
Graf č. 3 Závislost času potřebného k nahřátí akumulární nádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění (udržení teploty v interiéru $t_{\text{int}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) a přebytky na nabíjení akumulární nádoby o objemu $V = 1000\text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na výkon $P = 15\text{ kW}$; počáteční teplota v nádobě je $20\text{ }^{\circ}\text{C}$; koncová teplota v nádobě je $80\text{ }^{\circ}\text{C}$



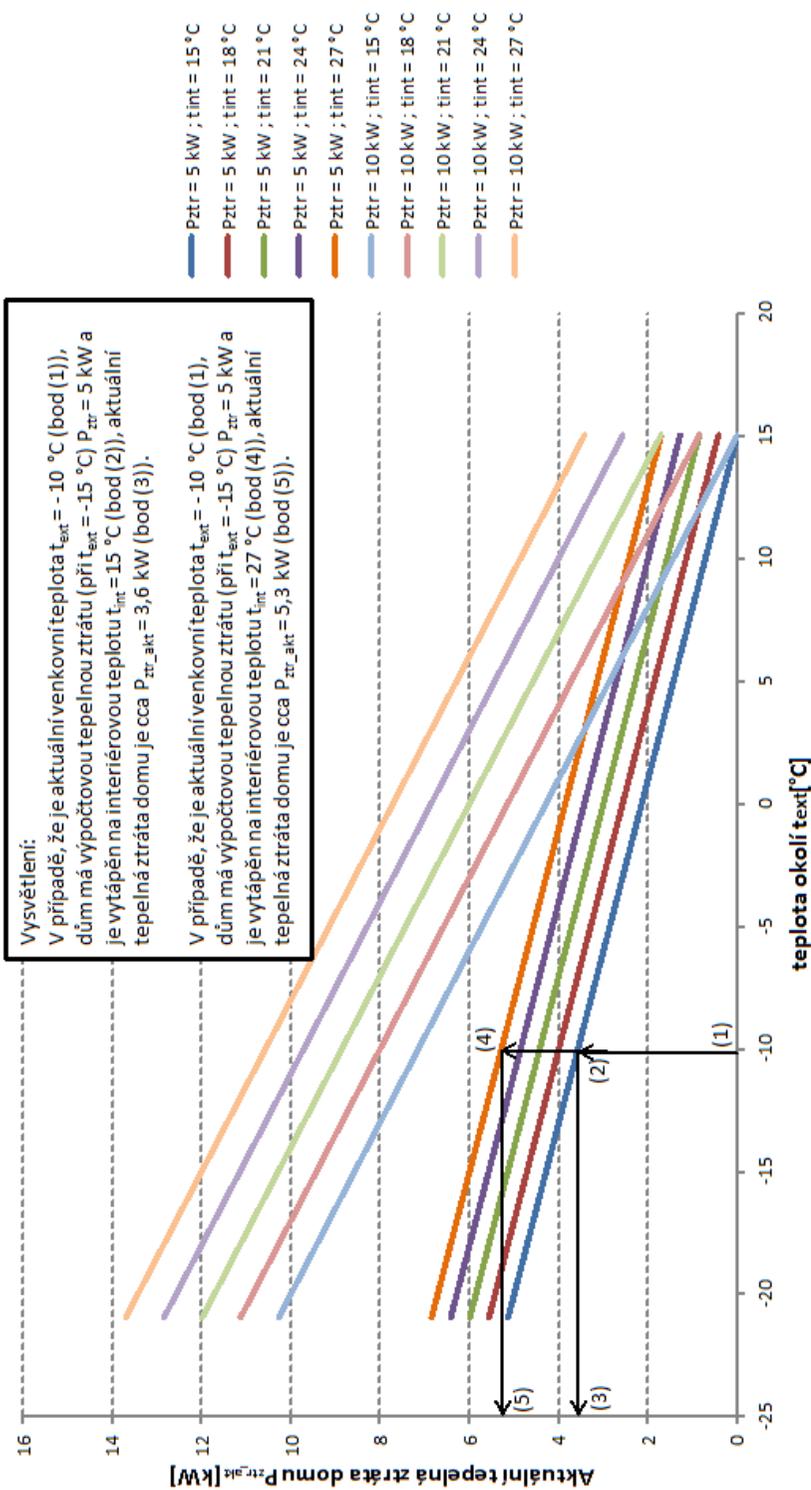
Graf č. 4 Závislost času potřebného k nahřátí akumulární nádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění (udržení teploty v interiéru $t_{int} = 20\text{ °C}$) a přebytky na nabíjení akumulární nádoby o objemu $V = 1000\text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na výkon $P = 20\text{ kW}$; počáteční teplota v nádobě je 20 °C ; koncová teplota v nádobě je 80 °C



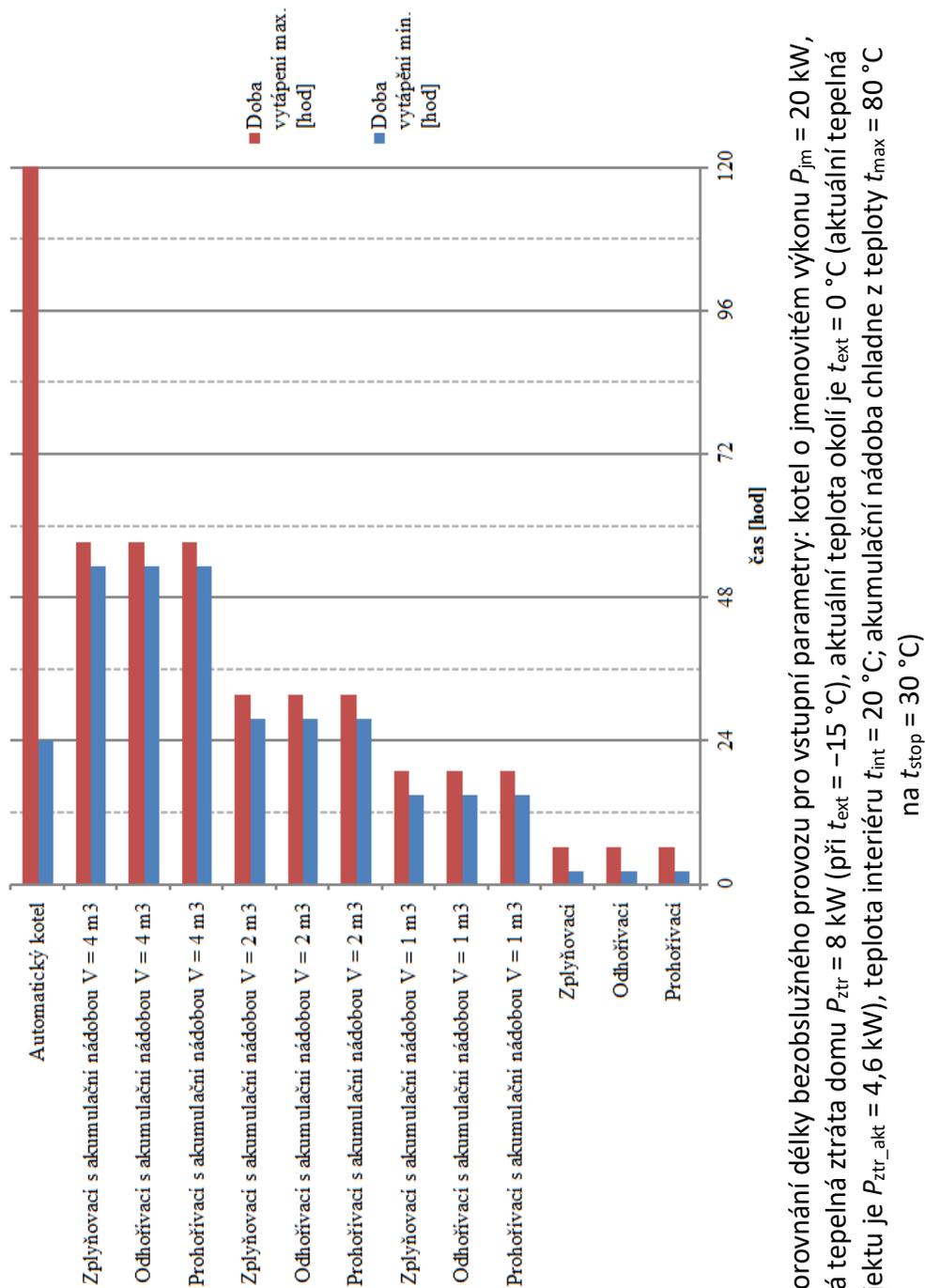
Graf č. 5 Závislost času potřebného k nahřátí akumulární nádrže na venkovní teplotě, v případě, že část tepla je využita na vytápění (udržení teploty v interiéru $t_{int} = 20\text{ °C}$) a přebytky na nabíjení akumulární nádoby o objemu $V = 1000\text{ dm}^3$; k vytápění slouží kotel provozovaný na výkon $P = 25\text{ kW}$; počáteční teplota v nádobě je 20 °C ; koncová teplota v nádobě je 80 °C



Graf č. 6 Závislost času chlazení akumulární nádoby o objemu $V = 1000 \text{ dm}^3$ dle tepelných ztrát domu v závislosti na okolní teplotě (chlazení z teploty $t_{max} = 80 \text{ °C}$ na teplotu $t_{stop} = 30 \text{ °C}$)



Graf č. 7 Závislost aktuální tepelné ztráty domu v závislosti na teplotě okolí a teplotě interiéru pro dva modelové objekty s tepelnými ztrátami $P_{\text{ztr}} = 5$ a 10 kW (při $t_{\text{int}} = 20\text{ °C}$ a $t_{\text{ext}} = -15\text{ °C}$)



Graf č. 8 Porovnání délky bezobslužného provozu pro vstupní parametry: kotel o jmenovitém výkonu $P_{jm} = 20 \text{ kW}$, výpočtová tepelná ztráta domu $P_{ztr} = 8 \text{ kW}$ (při $t_{ext} = -15 \text{ °C}$), aktuální teplota okolí je $t_{ext} = 0 \text{ °C}$ (aktuální tepelná ztráta objektu je $P_{ztr_akt} = 4,6 \text{ kW}$), teplota interiéru $t_{int} = 20 \text{ °C}$; akumulací nádoba chladne z teploty $t_{max} = 80 \text{ °C}$ na $t_{stop} = 30 \text{ °C}$

2 Závěr

Domácnosti jsou vytápěny proto, aby v nich byla zajištěna tepelná pohoda a byla k dispozici teplá voda na mytí. Pokud jsou jako zdroj primární energie použita tuhá paliva, je mimo náklady na topnou sezónu, jedním z důležitých parametrů, také otázka zajištění komfortu vytápění. Mimo zajištění zásoby vhodného paliva v blízkosti kotle (příprava, řezání, štípání, skladování, sušení dřeva, přesun uhlí/biomasy do skladu paliva ke kotli apod.) se jedná hlavně o časovou náročnost obsluhy kotle (četnost zátopů, přikládání, odpopelnění apod.) a této oblasti se věnoval tento článek (čistota kotelný je samostatnou kapitolou a souvisí spíše s volbou paliva, biomasa je čistší než uhlí). Každý si cení svého času a práce jinak, takže pro každého má komfort vytápění tuhými palivy jinou hodnotu.

Jednou z cest pro zvýšení komfortu je výměna starého kotle s ručním přikládáním za nový, automatický kotel, který pro svůj plynulý chod vyžaduje dosypávání paliva (do zásobníku paliva) v rozmezí jednotek dnů, až jednotek měsíců, v případě celosezónního zásobníku plněného cisternou až jednou za topnou sezónu. Perioda odpopelnění je stejná anebo delší než perioda přikládání. V hořáku kotle hoří pouze malé množství paliva, které je periodicky doplňováno podavačem ze zásobníku paliva.

Dalším vhodným řešením je instalace akumulární nádoby („baterka“ pro dočasné uskladnění tepla) ke kotli s ruční přikládkou paliva. Akumulační nádoba prodlužuje dobu, kdy kotel pracuje na jmenovitý výkon, při kterém dosahuje optimálních provozních parametrů (účinnost a emise znečišťujících látek). Akumulační nádrž může teplem zásobovat objekt i po dobu několika desítek hodin dle skutečné potřeby tepla a objemu akumulární nádoby.

Pokud z jakéhokoliv důvodu nemůže dojít k výměně starého kotle za nový, nabízí se jako řešení zvýšení komfortu u prohořivacích kotlů jejich přestavba na automatický kotel. Je však otázkou, jak bude z pohledu požadavků „Zákona o ochraně ovzduší“ [8] po 10/2022 na tyto zdroje tepla nahlíženo (existují různé výklady).

Z hlediska skladovacích prostorů jsou vhodnější fosilní paliva s vyšší výhřevností vztahenou na jednotku objemu (palivo zaujímá menší prostor), z hlediska vzniklého prachu při manipulaci s palivem a popelem (čistota v kotelně) je vhodnější spalovat biomasu (pelety, dřevo).

Zvýšení komfortu vytápění tuhými palivy má mnoho variant, které souvisí s různými okolnostmi, které byly nastíněny v tomto článku. Závěrem se nabízí představit modelovou situaci, kterou prezentuje graf č. 8, porovnávající délku bezobslužného provozu po naložení poslední dávky paliva při nahřátých

akumulačních nádobách na teplotu $t_{\max} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (pokud jsou v soustavě zařazeny). Teplo z akumulačních nádob je využíváno až do teploty $t_{\text{stop}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Modelový dům má výpočtovou tepelnou ztrátu $P_{\text{ztr}} = 8 \text{ kW}$ (při $t_{\text{ext}} = -15 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Aktuální venkovní teplota okolí je $t_{\text{ext}} = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (aktuální tepelná ztráta objektu je $P_{\text{ztr_akt}} = 4,6 \text{ kW}$). K vytápění je používán kotel o jmenovitém výkonu 20 kW. Interiér je vytápěn na teplotu $t_{\text{int}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Poslední graf č. 8 vypovídá o faktu, že spalování tuhých paliv s ruční příkládkou je, co se týče komfortu, podobné u všech druhů kotlů (rozdíl je v účinnostech jednotlivých kotlů). Dále je patrné, že akumulační nádoba může čas po posledním přiložení značně prodloužit, ale výrazně je to ovlivněno jejím objemem. Z pohledu komfortu je vítězem automatický kotel s nejdelší dobou bezobslužného provozu od posledního zásahu. Nabízí se řada možností jak snížit nutný počet návštěv kotelny (jeden z parametrů komfortu) a je zřejmé, že každá z těchto cest je jinak finančně a časově náročná. Samostatnou otázkou zůstává, jak si ceníme svého času a své práce. Kterou z možných variant zvýšení komfortu si vyberete Vy, záleží jen na Vás a na Vašich prioritách a možnostech.

Poděkování

Tato práce byla podpořena v rámci projektu MŠMT „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“ (LO1403).

Použitá literatura

- [1] Instalace kotlů: Základní podmínky pro dobrou funkci a vysokou životnost kotlů ATMOS. ATMOS [online]. Bělá pod Bezdězem: Atmos, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <http://www.atmos.eu/instalace-kotlu/>
- [2] Výpočet tepelné ztráty domu. 2K Energy [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-07-14]. Dostupné z: <https://www.2kenegy.cz/novinky/vypocet-tepelne-ztraty-domu-22.html>
- [3] Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. TZB info [online]. Praha 6: TZB info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [4] NZÚ-akumulační nádrže ke kotlům. IQ energy: Inteligentní úspory energie [online]. Praha: IQ energy, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <http://www.iqenergy.cz/nova-zelena-usporam/nzu-akumulacni-nadrze-ke-kotlum/#.WfFzz1u0OJB>

- [5] Proces hoření kusového dřeva. TZB info [online]. Praha 6: TZB info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8716-proces-horeni-kusoveho-dreva>
- [6] Ověření funkce a vlivu regulace teploty vratné vody u kotle na tuhá paliva v zapojení s akumulací nádobou. TZB-info [online]. Praha 6: TZB-info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/potrubi-a-armatury/15927-overeni-funkce-a-vlivu-regulace-teploty-vratne-vody-u-kotle-na-tuha-paliva-v-zapojeni-s-akumulacni-nadobou>
- [7] Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva? TZB info [online]. Praha 6: TZB-info, 2017 [cit. 2017-10-26]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva>,
<https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/15804-slozeni-paliva-a-stanoveni-vlhkosti-dreva-podomacku>
- [8] Sbírka zákonů č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší ze dne 2. května 2012 ve znění zákona č. 64/2014 Sb., zákona č. 87/2014 Sb., zákona č. 382/2015 Sb., zákona č. 369/2016 Sb.



Kotlíkgate. Opravdu nové kotle pořízené z dotace budou produkovat méně emisí znečišťujících látek?

Datum: 25.1.2016 | Ing. Jiří Horák, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Článek reaguje na aktuální informaci, že na seznamu kotlů určených pro státem dotovanou výměnu neekologických zdrojů za ekologické, pro kterou se zavedl název „kotlíková dotace“, je minimálně jeden výrobek, který deklarované parametry absolutně nesplňuje.

1 Úvod

Zřejmě proto, že oblasti spalování tuhých paliv v domácnostech se na Výzkumném energetickém centru (VEC) věnuji jako SMOKEMAN více než 15 let, byl jsem redakcí osloven, abych se vyjádřil k problematice kvality kotlů včetně jejího prokazování či ověřování v souvislosti s kotlíkovou dotací. Na akreditované zkušebně (ČIA) jsme s kolegy provedli tisíce spalovacích zkoušek, jejichž nedílnou částí bylo stanovení základních provozních parametrů. Vedle bezpečnosti lze za nejdůležitější parametr považovat účinnost spalovacího zařízení (míra využití energie paliva) a množství emisí znečišťujících látek. Protože spalování tuhých paliv v kotlích a kamnech výrazně ovlivňuje kvalitu ovzduší, došlo v posledních letech k výraznému zpřísnění legislativních požadavků. Jde hlavně o zrušení emisní třídy 1 a 2, zavedení emisních tříd 3, 4, 5, EKODESIGN a také o omezení prodeje nevyhovujících kotlů. Požadavky jsou směřovány převážně na výrobce či dovozce spalovacích zařízení, ale částečně také na jejich provozovatele, více viz [1], [2] a [3]. Samostatnou otázkou je, kde je limit limitům?

2 Co ovlivní kouř (kvalitu spalování)? Co je moderní kotel?

Spalování tuhých paliv je vždy doprovázeno produkcí znečišťujících látek, jejichž množství výrazně ovlivňují čtyři základní parametry:

- (1) do čeho palivo dáváme (typ spalovacího zařízení včetně spalinové cesty),
- (2) co tam dáváme (typ a kvalita paliva),
- (3) kdo to tam dává (kvalita obsluhy),
- (4) jak se o to zařízení staráme a jak bylo navrženo (údržba, kvalita projektu a instalace)

Více o jednotlivých bodech viz [4]. **Kámen úhelný problematiky emisí z domácích topenišť je v tom, že pokud je jeden z výše uvedených čtyř**

parametrů „špatný“, výrazně to ovlivní celý výsledek (více emisí, nižší účinnost). Jsou to spojené nádoby, nestačí mít jen dobré spalovací zařízení, musí se do něj dávat správné palivo, dobře kotel obsluhovat, nastavit a v neposlední řadě se o něj a spalinovou cestu řádně starat.

Pokud bude obsluha, údržba i palivo kvalitní, můžeme říci, že opravdu moderní kotle produkují výrazně menší množství emisí znečišťujících látek (prach, jedovatý CO, TOC-uhlovodíky, včetně těch karcinogenních) než starší technologie (kotle prohořivací a odhořivací) [5]. Pojem: „moderní kotel“ nemá nic společného s datem jeho pořízení (pokud pomineme omezování prodeje starých technologií), podstatné je, jaká je použitá technologie tedy způsob přívodu paliva a vzduchu, konstrukce spalovací komory, výměníku apod. Za moderní kotle můžeme považovat kotle zplyňovací (kusové dřevo, uhlí ořech 1) a automatické (pelety, uhlí ořech 2), více o jednotlivých typech kotlů viz [4]. Pozitivní je, že u moderních kotlů je částečně omezen vliv obsluhy – princip: nalož palivo, vynes popel a raději na to více nesahej. Není to omezení stoprocentní, neodborný zásah obsluhy může výrazně ovlivnit kvalitu spalování také v moderním kotli, je to jen „stroj“, který „poslouchá“ obsluhu.

3 Je správné vyměnit staré kotle za nové? Je správné je dotovat?

Dle výše uvedených skutečností je zřejmé, že výměna nového kotle nevyřeší vše, ale že se jedná o jeden ze čtyř předpokladů, které vedou ke kýženému cíli, jímž je kvalitní spalování tuhých paliv a s tím spojená minimalizace produkce emisí znečišťujících látek. Určitě se shodneme na tom, že všichni chceme dýchat čistý vzduch.

Cena moderních kotlů včetně instalace a regulace je výrazně vyšší než u starých technologií. Proto, pokud budou staré kotle (prohořivací a odhořivací) vyměněny za nové (zplyňovací a automaty), považují dotační mechanismy za přínosné. Obrovské prostředky 9 mld. Kč, které vyjednalo MŽP pro „Kotlíkovou dotaci“, by mohly stačit na výměnu až 100 000 kotlů. Pokud se za tyto peníze nakoupí kvalitní kotle a lidé je budou správně provozovat, mělo by se to projevit na výrazném snížení emisí znečišťujících látek. Samostatnou otázkou do budoucna zůstává výměna zbývajících cca 300 000 starých kotlů.

4 Které kotle dotovat? Jak je prokázána jejich kvalita?

„Kotlíkovou dotaci“ je možné získat na výměnu kotlů na pevná paliva s ručním přikládáním v rodinných domech. Je poskytována z Operačního programu

Životní prostředí. Můžete ji použít na zdroj vytápění (tepelná čerpadla a kotle na plyn a pevná paliva) a jeho instalaci, novou nebo zrekonstruovanou otopnou soustavu, úpravy spalinových cest, služby specialisty i zpracování dokumentace. Dle dotačních podmínek může být podpořena pouze instalace kotlů na tuhá paliva splňující požadavky na EKODESIGN dle Nařízení Komise (EU) 2015/1189 ze dne 28. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva [9], [10].

Pro snazší orientaci žadatelů o dotaci Státní fond životního prostředí vytvořil seznam kotlů, na které se vztahuje dotace (seznam výrobků a technologií – SVT) [7]. Seznam je otevřený a jednotliví výrobci do něj mohou přihlašovat své výrobky, které splnily požadované parametry. **Pro zaregistrování výrobku (kotle na tuhá a plynná paliva, tepelná čerpadla) je nutné prokázat posouzení shody v souladu s příslušnými nařízeními Komise (EKODESIGN). Nejdříve bylo možné toto doložit pouze na základě posouzení nezávislé akreditované osoby. Pravidla pro registraci kotlů a tepelných čerpadel byla 4. 12. 2015 aktualizována [8]. Způsob ověření parametrů byl rozšířen o druhou možnost. Nyní je možné, aby posouzení shody v souladu s příslušnými nařízeními Komise provedl přímo výrobce.** Tato aktualizace byla provedena s ohledem na nejasnosti situace v aplikaci prováděcích předpisů ke směrnici EKODESIGN (stížnosti různých výrobců na diskriminaci apod.). Na úrovni EU se nyní hledá vhodné řešení způsobu nezávislého posuzování shody výrobku s požadavky EKODESIGNu [8].

Pokud budeme uvažovat, že žijeme ve světě, kde jsou všichni čestní, ručí si za svá tvrzení a prohlášení a jsou připraveni nést za ně zodpovědnost (kéž by tomu tak bylo), nepředstavuje tato aktualizace žádný problém. Pokud připustíme, že není vždy jednoduché vymáhat právo a spravedlnost, **může tato aktualizace otevřít dveře pro nepoctivé výrobce či dovozce, kteří mohou (např. za použití bílých koní) velmi snadno do daného seznamu dostat svá „kvalitní“ zařízení. Mimo to ti výrobci, kteří si dosud nechali otestovat své výrobky nezávislou akreditovanou osobou, za to zaplatili nemalé prostředky (jeden kotel = cca několik set tisíc Kč).**

V žádosti o zapsání do SVT je uvedeno mimo jiné toto: „Bude-li porušení podmínek Programů prokázáno, bude zápis dotčeného výrobku zrušen a veškeré výlohy spojené s kontrolním posouzením výrobku budou vymáhány po žadateli o zápis výrobku do seznamu výrobků a technologií“. **V případě zjištění, že některý kotel ze seznamu (SVT) nespĺňuje požadované parametry, byla by dotace čerpána v rozporu s požadavky a musela by se vrátet.** Samozřejmě, že viník by byl ten, kdo lživě vyplnil a doložil informace

o zařízení, ale je otázka kdo a jak úspěšně by po něm vymáhal náhradu vzniklé škody.

Směrnice EKODESIGN pro tepelná čerpadla a plynové kotle již platí, na rozdíl od směrnice pro kotle na tuhá paliva, ta bude platit až od roku 2020. Nejsem příznivcem toho být papežštější než papež, ale v případě kotlů na tuhá paliva bych byl pro to, aby způsob ověření parametrů se vrátil k původní verzi, tedy požadavek na ověření nezávislou akreditovanou osobou (podotýkám, že neznám detailní právní souvislosti).

5 KOTLÍKGATE, co má společného DIESELGATE s kotlíky? Co znamenají emisní třídy?

Jaká je podstata DIESELGATE ? Když pomínu podvodný software, tak pro mne podstata této kauzy je v tom, že parametry (emise, spotřeba, účinnost) dosažené při testech na zkušebně (certifikace, uvádění na trh, ověření) jsou odlišné od parametrů, které automobily dosahují při reálném provozu. V reálném provozu jsou horší.

A jak se toto dotýká kotlů? Co znamenají hodnoty, které byly dosaženy u kotle při testování na zkušebně a jak jsou tyto hodnoty odlišné od reálného provozu v obyčejném domě? Postupy testování na zkušebně jsou popsány v technických normách a jejich cílem je mimo jiné reprodukovatelnost a opakovatelnost výsledků. **Požadované limitní hodnoty jsou velmi přísné a není snadné je dosáhnout. Čestní výrobci musí vynaložit velké úsilí a finanční prostředky, aby vývojově posunuli jejich kotle na úroveň např. EKODESIGNu.**

Při vlastních testech na zkušebně je vše optimální, vše je podřízeno, připraveno a nastaveno tak, aby kotel pracoval s nejlepšími parametry, což znamená maximální účinnost s minimalizací produkce emisí prachu, CO₂ (oxid uhličitý), TOC (uhlovodíky) a NO_x (oxidy dusíku). Když se vše podaří, tak je velké úsilí korunováno úspěchem a kotel při testování na zkušebně splní požadované limity a obdrží správně kulaté razítko, které to stvrzuje. **Protokol říká, že při optimálních podmínkách je zařízení schopné požadovaných parametrů dosáhnout. Dle výsledků ze zkušebny je kotel zařazen do příslušných emisních tříd, které v kombinaci s třídou účinnosti slouží k udělení třídy kotle, která je uvedena na štítku (ne emisní třída, ale třída kotle).**

A co to znamená pro reálný život, reálnou instalaci v běžném domě u běžného uživatele? Znamená to pouze to, že pokud by podmínky u něj v kotelně (včetně kvality obsluhy) byly stejné jako na zkušebně, tak by mohl být výsledek podobný hodnotám uvedeným na štítku kotle, nic víc nic míň.

Samozřejmě hovořím o výše uvedených čtyřech parametrech. První se týká vlastního kotle a ten bude stejný, takže nadále se jedná o palivo, kvalitu obsluhy (zatápění, příkládání, ovládání, nastavování), údržby (čištění kotle a spalinové cesty) a instalace (správné tlakové poměry ve spalovací komoře, provoz při jmenovitých podmínkách, využití akumulačních nádob). Nechci říci, že postupy používané na zkušebně jsou špatné, jen chci říci, že se někdy jejich výsledek přeceňuje.

6 Kontrola v domácnostech

To, že na zkušebně kotel splnil EKODESIGN či jiné požadavky, samo o sobě nezaručuje, že těchto parametrů dosáhne také u vás doma. Je to jen dobrý předpoklad. Cílem snažení by mělo být, aby rozdíl mezi štítkovými parametry (zkušební) a reálnými parametry u provozovatele nebyl výrazný (vždy nějaký bude, jde o to, co považujeme za přijatelné). Jak jsem zmínil v předchozí kapitole, na zkušebně je vše optimální, kotel je seřízen a nastaven dle provozních parametrů a spalinová cesta funguje přesně tak, jak má. Pak může dosáhnout optimálních podmínek. Proto by bylo velmi vhodné, aby po instalaci nového kotle proběhlo jeho nastavení, optimalizace a kontrola reálného stavu. Zde je vhodné mít postoj nevěřícího Tomáše, který jako SMOKEMAN mám: „pokud svou sondu nevlořím do Tvého komína, nevím co v něm je“. Měření se nedá ničím nahradit a bez toho, aby byly odsáty reálné spaliny z kouřovodu, nemůžeme o kvalitě provozovaného zařízení nic říci, tedy pokud nám nestačí parametr kouř/nekouř. Mimochodem pokud z komína nevidíte kouř, neznamená to, že splňuje kvalitativní požadavky na spalování. V Německu po instalaci nového kotle, je vždy změřen, proto aby bylo zřejmé, že rozdíl mezi stavem na zkušebně a realitou není velký. Doporučoval bych, aby toto bylo zavedeno i u nás, což by nám dalo dobrou výchozí pozici k tomu, že bude reálné, aby se splnil společný cíl, tedy, že budou domácnosti produkovat méně emisí znečišťujících látek.

Kotel a spalinová cesta tvoří jeden celek, a pokud nejsou řádně udržovány, mohou se jeho provozní parametry v čase výrazně zhoršovat. Proto by bylo vhodné, mít nějakou informaci o tom, zda kvalita spalování zůstala na vysoké úrovni anebo zda a jak se zhoršila. Nemám tím na mysli již uzákoněné kontroly, které neuvažují s jakýmkoliv měřením (toto nazývám sčítáním kotlů, půjde jen o to, zda má kotel alespoň 3. emisní třídu). Hovořím opět o měření, protože bez něj toho mnoho použitelného nelze zjistit. V Německu (lídr v oblasti vytápění domácností biomasou) tato měření provádí komisí jednou za dva roky od výkonu 4 kW, a to včetně měření množství prachových částic. Měření není samospásné a má svá omezení, ale má něco společného

s tím, co opravdu z našich komínů vychází, a doufám, že to je to, o co tady jde. Říkám tomu STK kotlů, umíte si představit, že by vám na STK u vašeho auta kontrolovali jen doklady a štítkové hodnoty? Co by to řeklo o tom, zda auto brzdí, svítí a jak dobře hoří palivo ve válci motoru?

Již jsem měřil kotel, který měl na štítku třídu 5 a bez seřízení stěží dosáhl třídy 3, výše uvedená doporučení by měla vést k tomu, aby se minimalizoval počet těchto případů.

V poslední době se také vyskytly pochybnosti o důvěryhodnosti výsledků některých zahraničních zkušeben. Této oblasti jsem se v tomto příspěvku záměrně nevěnoval, ale pokud by se tyto domněnky zakládaly na pravdě, mohly by výsledky z měření u provozovatelů poskytnout více informací pro možnost posouzení.

7 Vzdělávání, SMOKEMANovo desatero správného topiče

Kvalita obsluhy výrazně ovlivní kvalitu spalování v kotli na tuhá paliva. Přestože moderní kotle výrazně omezují vliv obsluhy, není toto omezení dokonalé a neodborné zásahy mohou výrazně ovlivnit moderní kotel.

Během všeho toho hoření, ohně, kouře a dýmu se na zkušebně VEC „zrodila“ postava SMOKEMANA, který se snaží lidem prakticky ukázat, jak mohou lépe vytápět jejich domácnosti tuhými palivy. Konfucius řekl: „Co slyším, to zapomenu. Co vidím, si pamatuji. Co si vyzkouším, tomu rozumím.“ Proto se v rámci edukativní show „SMOKEMAN zasahuje“ snažíme vše ukázat prakticky [14]. U nás je dotýkání přísně nařízeno. Zkušenosti celého týmu zkušebny byly formulovány do SMOKEMANova desatera správného topiče [11], které zní takto:

- (1) nebuď lhostejný k sobě ani ke svému okolí, zajímej se o to, co jde z Tvého komína
- (2) suš dřevo minimálně jeden až dva roky
- (3) nespaluj odpadky
- (4) nastav regulační klapky tak, aby vzduch mohl k palivu, oheň nedus
- (5) přikládej častěji menší dávku paliva než jednu velkou dávku za dlouhý čas
- (6) pravidelně čisti kotel a komín
- (7) používej moderní kotel či kamna
- (8) udržuj teplotu spalin za kotlem mezi 150 až 250 °C
- (9) nevyhazuj teplo oknem, nepřetápěj a top jen tam, kde potřebuješ
- (10) top tak, jak chceš, aby topil Tvůj souseď

8 Vyhodnocení roční úspory palivových nákladů při výměně starého kotle na pevná paliva za nový

Moderní kotle, pokud jsou správně provozovány, mají výrazně vyšší účinnost než ty staré. Z toho plyne, že pokud si pořídíte moderní kotel, můžete ušetřit za palivo. Pro Moravskoslezský kraj jsme vytvořili aplikaci, která Vám umožní výpočet palivových nákladů před a po výměně kotle. Aplikace je vytvořena jako otevřená, takže předvyplněné hodnoty můžete nahradit svými, které popisují Vaši konkrétní situaci. Aplikace je dostupná zde: [12] a pokyny pro její vyplnění naleznete zde: [13].

9 Závěrečné shrnutí

Výše uvedenou úvahu bych shrnul takto, že dle mého názoru je vhodné:

- vyměnit staré kotle za moderní kotle zplyňovací a automatické,
- dotovat jen kotle ověřené u nezávislé akreditované osoby (pro kotle na tuhá paliva),
- při instalaci nového kotle optimalizovat jeho nastavení dle měření složení spalin a účinnosti přímo u nového provozovatele,
- pravidelně kontrolovat plnění emisních parametrů v reálném provozu pomocí reálného měření.

Realizace výše uvedených bodů umožní kladně odpovědět na otázku položenou v nadpisu: „opravdu nové kotle pořízené z dotace budou produkovat méně emisí znečišťujících látek?“. A to je doufám našim společným cílem.

Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci projektu „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“, identifikační kód LO1403 za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I.

Použitá literatura

- [1] HORÁK, J., MARTINÍK, L., KRPEC, K., KUBESA, P., DVOŘÁK, J., HOPAN, F., JANKOVSKÁ, Z., DRASTICHOVÁ, V. Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě. TZB-info, 2013, roč. neuveden, č. 18. 3. 2013, s. 1–14. ISSN 1801-4399.
<http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9665-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva-legislativa-v-cr-a-evrope>

- [2] HORÁK, J., MARTINÍK, L., KRPEC, K., DVOŘÁK, J., HOPAN, F., KUBESA, P., JANKOVSKÁ, Z., DRASTICHOVÁ, V. Jaké parametry musí splnit kamna, krbové vložky a sporáky? Legislativa v ČR a Evropě. TZB-info, 2013, roč. neuveden, č. 3. 6. 2013, s. 1–13. ISSN 1801-4399. <http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/9983-jake-parametry-musi-splnit-kamna-krbove-vlozky-a-sporaky-legislativa-v-cr-a-evrope>
- [3] HORÁK J., HOPAN F., KRPEC K., KUBESA P.: Co musí splnit nový kotel na tuhá paliva po roce 2020? Porovnání emisních požadavků pro kotle do 300 MW. Článek v „TZB-info“, 2015, ročník: neuveden, číslo: 6/2015, str. 1–3. ISSN 1801-4399 <http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12909-co-musi-splnit-novy-kotel-na-tuha-paliva-po-roce-2020>
- [4] HORÁK, J., KUBESA, P., HOPAN, F., KRPEC, K. Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř? TZB-info, 2013, roč. neuveden, č. Leden, s. 1–8. ISSN 1801-4399. <http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>
- [5] HORÁK J., KUBESA P.: O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2) aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy. Článek v „TZB-info“, 2012, ročník: neuveden, číslo: Květen, str. 1–21. ISSN 1801-4399. <http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>
- [6] Aktualizace pravidel pro registraci kotlů a tepelných čerpadel <http://www.opzp.cz/o-programu/aktuality-a-tiskove-zpravy/aktualizovali-jsme-pravidla-pro-registraci-kotlu-a-tepelnych-cerpadel>
- [7] Seznam výrobků a technologií: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/187-1-Seznam%20v%C3%BDrobk%C5%AF%20Kotliky_22_1.xlsx
- [8] Aktualizace pravidel pro registraci kotlů a tepelných čerpadel (4. 12. 2015): <http://www.opzp.cz/o-programu/aktuality-a-tiskove-zpravy/aktualizovali-jsme-pravidla-pro-registraci-kotlu-a-tepelnych-cerpadel>
- [9] Jaké požadavky musí splňovat výrobky pro „kotlíkové dotace“ v rámci OPŽP 2014–2020 PO2 SC 2.1. In: Operační program životní prostředí [online]. 2015 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: http://www.opzp.cz/dokumenty/download/176-1-Kotl%25C3%25ADky_SVT_Pozadavky%2520na%2520vyrobky_v2_1.pdf
- [10] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2015/1189 ze dne 28. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva, Dostupné

z: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2015_193_R_0005

- [11] HORÁK, Jiří. SMOKEMANovo desatero správného topiče. In: TZB-info [online]. 2015 [cit. 2016-01-24]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/12373-smokemanovo-desatero-spravneho-topice>
- [12] Aplikace: Vyhodnocení roční úspory palivových nákladů při výměně starého kotle na pevná paliva za nový <http://lokalni-topeniste.kr-moravskoslezsky.cz/>, nebo <http://vec.vsb.cz/userfiles/zkusebna/kotlikova-kalkulacka/kalkulacka.xls>
- [13] Pokyny k vyplnění aplikace: Vyhodnocení roční úspory palivových nákladů při výměně starého kotle na pevná paliva za nový <http://lokalni-topeniste.kr-moravskoslezsky.cz/sites/default/files/pokyny.pdf>
- [14] Edukativní show „SMOKEMAN zasahuje“, <http://vec.vsb.cz/cz/zkusebna/edukativni-show-smokeman-zasahuje.html>



Možnosti snížení hmotnostních koncentrací některých znečišťujících látek ve spalinách malého spalovacího zařízení na pevná paliva spalující biomasu, pomocí katalyzátoru $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$

Datum: červen 2019 | Ing. Jiří Ryšavý, Ing. Horák Jiří, Ph.D., Ing. Hopan František, Ph.D., Ing. Kuboňová Lenka, Ph.D., Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: doc. Ing. František Skácel, CSc.

Tento článek byl publikován v odborném recenzovaném časopise Společnosti pro techniku a prostředí: Větrání vytápění instalace (28. ročník; číslo 3).

Tato studie byla zaměřena na kvantifikaci míry vlivu monolitického katalyzátoru s aktivní látkou $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ na reálné spaliny, umístěného přímo do malého spalovacího zařízení, nebo bezprostředně za něj. S různě umístěnými katalyzátory probíhaly spalovací zkoušky, prezentující skutečný provoz zařízení na biomasu. Porovnávány byly míry konverze oxidu uhelnatého a celkového organického uhlíku při provozu v ustáleném stavu přičemž hodnoty konverze byly vztaženy ke změřeným hmotnostním koncentracím znečišťujících látek ve spalinách daného spalovacího zařízení bez instalovaného katalyzátoru. Dále byla nastíněna závislost míry konverze znečišťujících látek na zvýšení aktivní plochy katalyzátoru. Výsledky sledovaného katalyzátoru na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ byly porovnány s předešlým výzkumem katalyzátoru s aktivními prvky na bázi platiny a paladia. V poslední části je popsána dlouhodobá spalovací zkouška, při které bylo pozorováno zanášení katalyzátoru pevnými znečišťujícími látkami vzniklými ze spalování a vliv tohoto zanášení na funkci katalyzátoru. V souvislosti s vysokou mírou zanášení katalyzátoru pevnými znečišťujícími látkami jej v této podobě není možné provozovat bez vážného rizika úniku spalin do okolí.

1 Úvod

Míra znečištění ovzduší v České republice je především v zimních měsících za hranicí únosnosti^[8]. Jako jednoho z participantů na tomto stavu je možné bezesporu označit lokální topeniště. V různých částech republiky v závislosti na hustotě a typu osídlení, frekventovanosti dopravy, či množství průmyslových podniků je podíl malých spalovacích zařízení různý, ve většině

případů je však nezanedbatelný^[7]. Tento podíl je rovněž ovlivněn aktuálními rozptylovými podmínkami. Legislativní omezení výrobců nových spalovacích zařízení malých výkonů ve smyslu snižování hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách prodávaných spalovacích zařízení je tak pochopitelné. Může však nastat situace kdy při dalším snížení limitních hodnot hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách nebudou primární opatření pro jejich snížení dostačující, čímž se zde, především u zařízení s ruční příkládkou paliva, otevírá cesta pro sekundární opatření^{[4][5][6]}. Jedním z možných sekundárních opatření pro snížení hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách je použití katalyzátorů. Ty mohou být užity i u starších spalovacích zařízení, přičemž se jejich instalací mohou razantně snížit hmotnostní koncentrace některých vypouštěných znečišťujících látek ve spalinách^{[1][2]}.

Pro správnou činnost katalyzátorů je mimo jiné velmi důležitý výběr správného teplotního okna jejich použití^[3]. V různých částech spalovacího zařízení se teplota spalin mění a tím i míra konverze znečišťujících látek v katalyzátoru.

Cílem tohoto výzkumu bylo:

- (1) Určení míry konverze CO a TOC ve spalinách malého spalovacího zařízení katalyzátorem voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ v různých částech vybraného spalovacího zařízení.
- (2) Určení změny míry konverze CO a TOC ve spalinách malého spalovacího zařízení katalyzátorem voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ při zvýšení času setrvání spalin v katalyzátoru.
- (3) Kvantifikace vlivu dlouhodobého provozu katalyzátoru voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ na jeho funkci z hlediska míry konverze CO a TOC ve spalinách malého spalovacího zařízení a z hlediska jeho ucpávání.
- (4) Porovnání katalyzátoru voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ s katalyzátory na bázi drahých kovů.
- (5) Celkové zhodnocení vhodnosti použití katalyzátoru voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$.

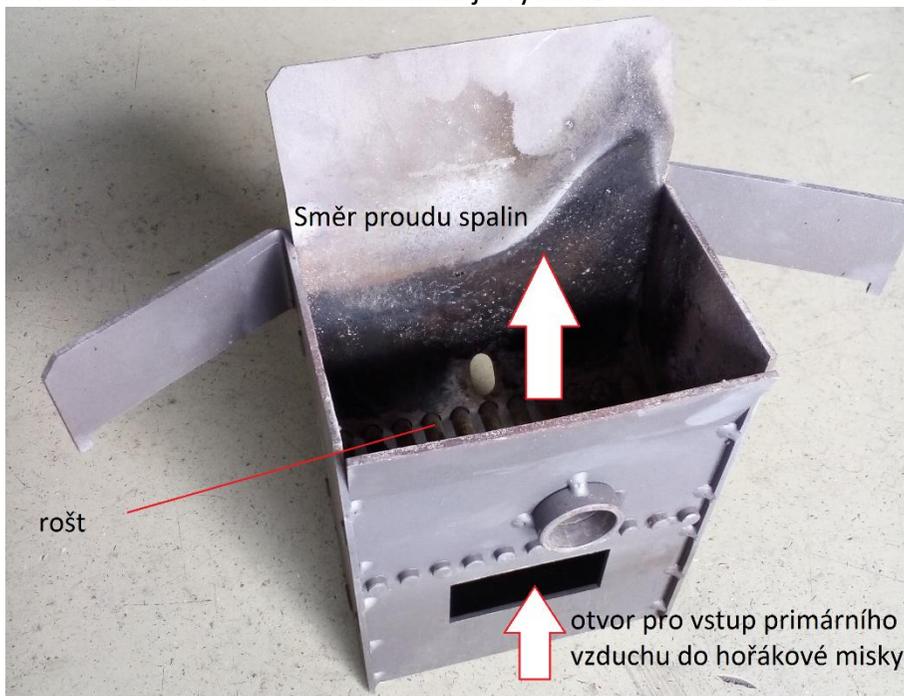
2 Specifikace měření

2.1 Spalovací zařízení

Jako spalovací zařízení byl použit prototyp peletových krbových kamen dále nazýván jen jako Prototyp I. Toto zařízení, jelikož bylo ve fázi vývoje, nedisponovalo žádnými štítkovými hodnotami, tedy nebyl stanoven

ani jmenovitý výkon. Tato krbová kamna byla zvolena z několika důvodů. Teplota spalin na výstupu z nich umožňovala funkci katalyzátoru i v kouřovodu. Provoz na dřevní pelety zajišťoval relativně rovnoměrný (mezi zkouškami porovnatelný) průběh hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách, bez skoků mezi obdobími před a po příkladce. Vybraná kamna nabízela v jejich vnitřním prostoru dvě dobře dostupná místa pro instalaci katalyzátorů.

Spalovací zařízení bylo ovládáno řídicí jednotkou Rku 3 společnosti BENEKOVterm s. r. o., která zajišťovala rovnoměrné dávkování paliva i spalovacího vzduchu po celou dobu zkoušky. Vzhledem k odlišným tlakovým ztrátám různě umístěných katalyzátorů byl na přívod spalovacího vzduchu připojen thermoanemometr Extech SDL310. Toto zařízení umožňovalo na základě otáček rotoru stanovit aktuální rychlost vzduchu, podle které byla upravována hodnota nastavení otáček spalinového ventilátoru, kterým byla krbová kamna vybavena, tak aby množství vstupního spalovacího vzduchu vstupujícího do krbových kamen bylo pokud možno vždy stejné. Palivo bylo do ohniště dodáváno pomocí malého šnekového podavače ze zásobníku paliva umístěného v horní části zařízení. Hmotnost pelet, které dokáže zásobník pojmout, byla experimentálně stanovena na cca 7 kg. Dno spalovací misky hořáku bylo tvořeno roštem, skrz který prochází směrem vzhůru spalovací vzduch. Tato hořáková miska je vyobrazena na Obr. 1.



Obr. 1 Hořáková miska použitých krbových kamen

Zařízení bylo při všech zkouškách provozováno s nastavením 10/10 [s/s] podávání/pauza přičemž bylo experimentálně zjištěno množství paliva, které bylo spáleno za jednotku času. Z této hodnoty a známé výhřevnosti paliva byl stanoven provozní příkon krbových kamen $P = 7 \text{ kW}$. Tepelný výkon krbových kamen byl odváděn do okolí pomocí výměníku spaliny – vzduch, přičemž proud chladícího/ohřívaného vzduchu proudícího přes tento výměník byl zajištěn pomocí ventilátoru. Hmotnostní tok tohoto vzduchu nebyl měřen.

2.2 Použitý katalyzátor

Předmětem tohoto výzkumu byl monolitický katalyzátor, jehož tělo tvořil oxid křemičitý. Tento typ katalyzátoru byl pro testování vybrán z důvodu jeho snadné dostupnosti. Jako aktivní prvky byly na tělo katalyzátoru nanášeny látky $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$. Hmotnostní zlomek těchto látek prezentuje Tab. 1. Katalyzátor byl dodán ve formě bloku o rozměrech cca 45 x 45 x 45 cm, přičemž díky vlastnostem materiálu jeho těla bylo možné jej nařezat do požadovaných tvarů a rozměrů, tak aby bylo možné jej umístit do různých částí spalovacího zařízení. Blok katalyzátoru nebyl dříve vystaven žádným podmínkám, které by mohly nepříznivě ovlivnit jeho funkci, čímž jsou považovány všechny připravené kusy katalyzátoru za nedeaktivované. Reakční plocha katalyzátoru na 1 cm^3 je 10 cm^2 . Tato hodnota byla zjištěna experimentálně. Tloušťka katalytické vrstvy použitého katalyzátoru nebyla výrobcem uvedena a zároveň nedošlo k takové analýze katalyzátoru, která by tento parametr ukázala. Výrobce spolu s katalyzátorem nedodal tzv. conversion efficiency diagram charakterizující jeho míru konverze znečišťujících látek při různých teplotách. Z tohoto důvodu zde není uveden. Výrobce neuváděl maximální přípustnou teplotu použití katalyzátoru, pouze uvedl oblast teplot, kdy je běžně používán a to mezi 300 – 500 °C. Místa pro instalaci katalyzátorů byla volena dle teplot spalin, v souladu s výše uvedeným rozmezím teplot. Katalyzátor před nařezáním prezentuje Obr. 2.

Tab. 1 Hmotnostní zlomky aktivních prvků na povrchu katalyzátoru (uvedeno v procentech).

Prvek ve formě oxidu	Hmotnostní zlomek
TiO_2	71,65
WO_3	6,99
V_2O_5	2,98



Obr. 2 Blok katalyzátoru před začátkem testování

2.3 Měřicí systém pro analýzu spalin

Spaliny byly pro analýzu po odebrání z kouřovodu zbaveny pevných znečišťujících látek pomocí keramického filtru ve vyhřívané sondě, načež pokračovaly hadicí vytápěnou na teplotu 180 °C do analyzátorů ABB AO2020 a SICK GMS810. První zmíněný slouží k měření koncentrací CO, CO₂, O₂, SO₂ a NO_x, druhý zmíněný pro měření koncentrací TOC. Před měřením byly přístroje řádně justovány plynem o známém složení. Pro vyhodnocení byl vybrán vždy alespoň 2 hodinový úsek, kdy byla krbová kamna v ustáleném provozu.

2.4 Palivo

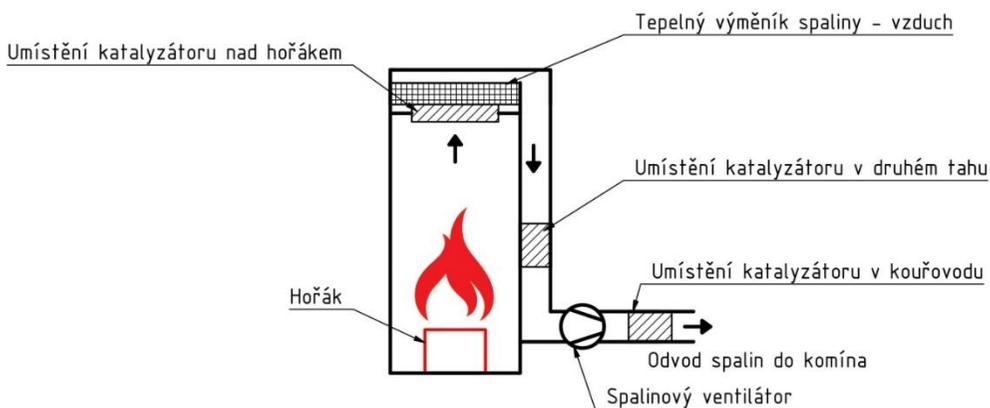
Vzhledem k náchylnosti většiny katalyzátorů k deaktivaci oxidy síry probíhaly experimenty při spalování dřevní biomasy, přesněji tedy bílých dřevních pelet značky M&M Pellets. Prvkové složení použitého paliva prezentuje Tab. 2. Výhřevnost zvoleného paliva byla 17,02 MJ/kg. Podíl prchavé hořlaviny byl cca 84 %.

Tab. 2 Prvkové složení použitého paliva v surovém stavu^(r) (uvedeno v procentech).

Prvek	Označení	hmotnostní zlomek
Uhlík	C ^r	47,4
Vodík	H ^r	6,1
Dusík	N ^r	< 0,1
Kyslík	O ^r	40
Síra	S ^r	< 0,1
Voda	W ^r	6
Popel	A ^r	0,4

2.5 Umístění katalyzátorů

Vybraná krbová kamna nabízela 3 dostupná místa, kam je možné instalovat katalyzátor. Za dostupná místa byla považována taková, kdy bylo možné do spalinové cesty umístit katalyzátor bez nevratného zásahu do zařízení a jeho výměna, či vyčištění byla možná v řádech jednotek minut. Jedná se o umístění nad spalovací komorou (pod výměníkem), dále v druhém tahu spalín a nakonec v kouřovodu za krbovými kamny. Tato umístění prezentuje Obr. 3.



Obr. 3 Zjednodušený řez krbovými kamny se zaznačením umístění katalyzátorů

Zkouškám s katalyzátory předcházela spalovací zkouška označená jako Režim 1, kdy byly stanoveny referenční hmotnostní koncentrace znečišťujících látek (uváděné jako hmotnostní koncentrace látek vztažené na metr krychlový

suchých spalin při referenčním obsahu kyslíku $\varphi_{\text{ref},[\text{O}_2]} = 13 \%$ a podmínkách: $T = 273,15 \text{ K}$; $p = 101325 \text{ Pa}$) ve spalinách daného spalovacího zařízení bez použití katalyzátoru. K těmto hodnotám byly dále vztahovány naměřené hodnoty hmotnostních koncentrací znečišťujících látek z následujících spalovacích zkoušek s katalyzátory.

2.5.1 Nad spalovací komorou (Režim 2)

Při Režimu 2 byl katalyzátor umístěn nad spalovací komorou, před vstupem do výměníku tepla spaliny - vzduch. Teplota spalin se zde pohybuje cca mezi 550 - 600 °C. Takto relativně nízká teplota byla dána vysokým přebytkem spalovacího vzduchu ve spalinách, kterým byly značně ředěny a tím i ochlazovány. Do tohoto prostoru v průběhu hoření šlehaly plameny. Plocha, kterou zde mohl katalyzátor zaujímat, byla cca 150 cm² a jeho výška zde mohla být maximálně 2,5 cm (pro bezproblémové připevnění katalyzátoru), což limitovalo celkovou reakční plochu, která zde činila cca 3850 cm². Objem katalyzátoru byl zvolen dle prostorových možností. Reakční plochy katalyzátoru byly počítány z měrného povrchu katalyzátoru na jeho 1 cm³ objemu. Jeho ustavení v daném místě je patrné na Obr. 4.



Obr. 4 Ustavení katalyzátoru v místě nad ohništěm (pohled zespod)

2.5.2 V druhém tahu (Režim 3)

Jakmile spaliny prošly přes výměník spaliny – vzduch, došlo k jejich obratu směrem dolů do tzv. druhých tahů a dále k výstupu spalin z kamen. Tento prostor byl komfortně přístupný ze spalovací komory, se kterou sousedí. Druhý tah byl rozdělen za výměníkem spaliny – vzduch na dvě části o shodném průřezu, které se před výstupem z kotle opět spojovaly. Obr. 5 prezentuje spalovací komoru v provozuschopném stavu, přičemž je ve středu levé fotografie vidět stěna oddělující komoru od druhého tahu. Stav po odmontování této stěny a instalaci katalyzátoru je patrný na stejném obrázku vpravo. Katalyzátor vytvarovaný tak, aby přesně vyplnil průřez druhého tahu, byl vložen do jeho obou stran a následně byl zajištěn proti sjíždění dolů. Teplota spalin se v tomto místě pohybovala v rozmezí

400 – 500 °C. Aktivní plocha takto tvarovaného katalyzátoru činila cca 3920 cm² (objem katalyzátoru byl zvolen s ohledem na katalyzátor použitý u Režimu 2).



Obr. 5 Spalovací komora (vlevo); umístění katalyzátoru v druhém tahu (vpravo) - červené šipky vyznačují směr proudění spalin

2.5.3 V kouřovodu (Režimy 4, 4.1, 4.2, 5 a 6)

Po sloučení obou kanálů druhého tahu procházely dále spaliny spalínovým ventilátorem a následně ven ze spalovacího zařízení do kouřovodu.

Třetí instalace katalyzátoru byla ihned za kamny v kouřovodu. Výhodou tohoto umístění byl velký prostor využitelný pro katalyzátor samotný. Teplota spalin se v běžném provozu u vybraného spalovacího zařízení v tomto místě pohybovala okolo 300 °C. Na toto místo byly zaměřeny tři spalovací zkoušky s proměnnými hloubkami katalyzátorů. Vždy se jednalo o válec o průměru 10 cm, avšak nejprve o výšce 4,5 cm (Režim 4 – objem katalyzátoru byl zvolen tak, aby se blížil objemu katalyzátoru použitého u Režimu 2), následně 8 cm (Režim 5) a nakonec 16 cm (Režim 6). Tento experiment byl zaměřen na kvantifikaci vlivu velikosti aktivní plochy katalyzátoru na míru konverze znečišťujících látek. Katalyzátor o výšce 4,5 cm byl podroben i dlouhodobé spalovací zkoušce kvantifikující vliv zanášení, jejíž výsledky prezentují Režim 4.1 a Režim 4.2.

2.6 Zajištění shodných vstupních podmínek při měření

Dle rozdílných vstupních podmínek se může např. míra vlivu aktivní plochy katalyzátoru na jeho míru konverze měnit. Kromě rozdílné teploty katalyzovaného plynu a rozdílné rychlosti proudění mohou výsledky ovlivňovat také vstupní koncentrace katalyzovaných plynů, množství distribuované aktivní látky na jednotku plochy katalyzátoru a v neposlední řadě také možné nečistoty v katalyzovaném plynu, které se mohou na katalyzátoru v průběhu jeho funkce usazovat a tím i měnit aktivní plochu. Vstupní podmínka rozdílné rychlosti proudění byla eliminována takřka stejnými objemy katalyzátorů u Režimu 2 až 4 a stejným nastavením řídicí jednotky krbových kamen.

Vstupní podmínka rozdílné vstupní koncentrace katalyzovaných látek ve spalínách byla eliminována volbou zařízení, které kontinuálním dávkováním paliva a spalovacího vzduchu mělo zajistit co možná nejpodobnější složení vstupních spalín do katalyzátoru v průběhu zkoušek.

Jednotlivé kusy katalyzátoru byly odřezávány z jednoho velkého kusu, čímž byla eliminována vstupní podmínka proměnného množství nanesené aktivní látky na jeho plochu. Na všech testovaných kusech katalyzátoru bylo množství nanesené aktivní látky vztažené na jednotku plochy stejné.

Vstupní podmínka zanášení katalyzátoru usazenými částicemi byla eliminována zkrácením doby zkoušení a skutečností, že pro každou zkoušku byl použit úplně nový nezanesený a nedeaktivovaný kus katalyzátoru.

2.7 Zanášení katalyzátoru pevnými znečišťujícími látkami

Katalyzátory jako takové jsou dnes užívány pro konverzi znečišťujících látek u výkonově velkých a středních spalovacích zařízení, které z pravidla disponují systémem pro odloučení pevných znečišťujících látek. Vzhledem k tomu, že malá spalovací zařízení tímto systémem, až na výjimky (prozatím) nedisponují, je nutné počítat s ulpíváním částic na povrchu katalyzátoru. Tímto tzv. zarůstáním katalyzátoru pevnými znečišťujícími látkami dochází ke snížení jeho účinnosti a zároveň dochází k nebezpečí ucpání celého kouřovodu.

Nebezpečí zanášení katalyzátorů je možné snížit umístěním katalyzátoru do oblasti vysokých teplot (ideálně bezprostředně nad oblast plamene), kde může část nespálených zbytků vyhořet. Druhou možností je zvýšení bezpečnosti provozu spalovacího zařízení s katalyzátorem je zajištění obtoku spalín kolem katalyzátoru, kdy však obtok musí být regulovatelný, tak aby při běžném provozu procházelo co nejvíce spalín kolem aktivní látky a na druhou stranu nemohlo dojít k ucpání celého průřezu kouřovodu. Tím se

však snižuje míra konverze znečišťujících látek katalyzátory. Další možností je periodické čištění katalyzátoru a to buď přímo uvnitř spalinové cesty, nebo po vytažení katalyzátoru ven. První ze zmíněných variant může představovat např. systém ofukování tlakovým vzduchem s jeho ústím u místa katalyzátoru, který by zbavil povrch katalyzátoru usazenin. Čištění katalyzátoru až po jeho vynětí ze spalinové cesty je možné provést např. mechanicky, pneumaticky, nebo oplachem vodou, podle možností katalyzátoru.

2.8 Vyhodnocení výsledků

Koncentrace měřených látek ve spalínách a jejich teploty byly zaznamenávány jako minutové průměry. Všechny uvedené výsledné hodnoty jsou průměry koncentrací měřených látek (uváděny jako hmotnostní koncentrace v mg/m^3) v suchých spalínách za celé období zkoušky přepočtené na normální podmínky ($T = 273,15 \text{ K}$; $p = 101325 \text{ Pa}$) a referenční objemovou koncentrací kyslíku ve spalínách $\varphi_{\text{ref};[\text{O}_2]} = 13 \%$. Co se týče objemového zlomku vodní páry ve vlhkých spalínách, vzhledem k předpokládanému neměnnému složení paliva mezi jednotlivými zkouškami, docházelo k jeho změnám pouze na základě změny vzdušné vlhkosti a přebytku vzduchu. Objemový zlomek vodní páry při všech zkouškách nabýval hodnoty cca 6 %. Účinnost katalyzátoru neboli jeho míra konverze znečišťujících látek byla vypočtena z porovnání hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalínách Prototypu I při provozu bez katalyzátoru pomocí vzorce (1).

$$X = \frac{\rho_{BO} - \rho_B}{\rho_{BO}} [\%] \quad (1)$$

X – míra konverze znečišťující látky při průchodu katalyzátorem[%]

ρ_{BO} – hmotnostní koncentrace znečišťující látky bez katalyzátoru [mg/m^3]

ρ_B – hmotnostní koncentrace znečišťující látky při měření s katalyzátorem [mg/m^3]

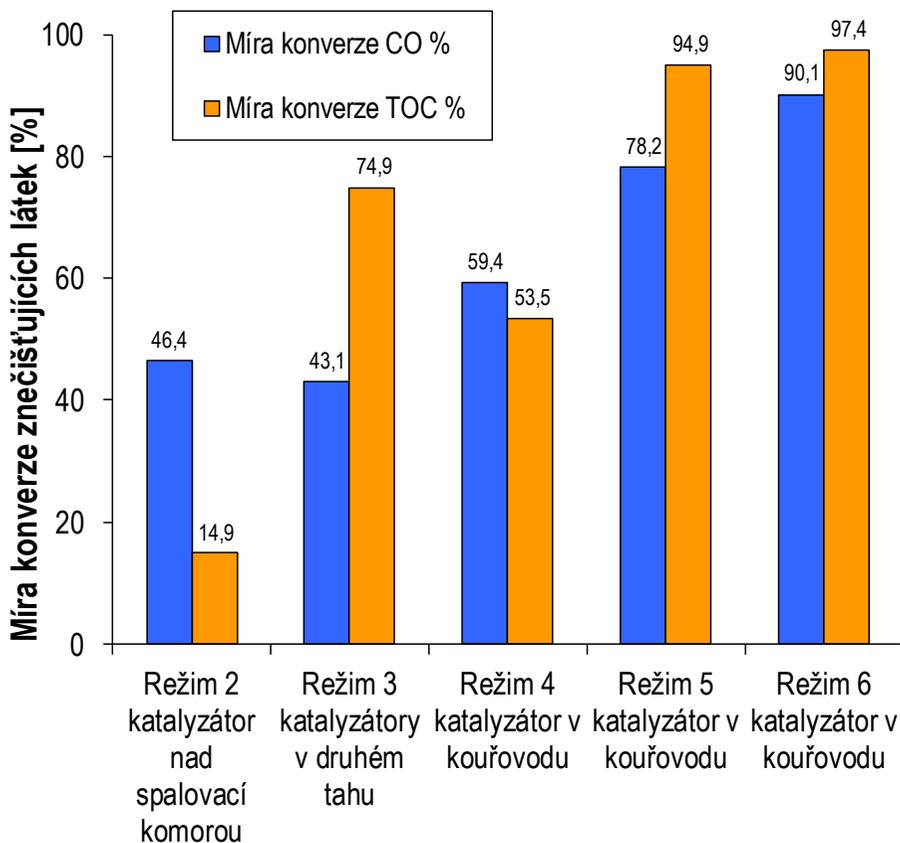
3 Výsledky a diskuze

Měření bylo zacíleno na chování katalyzátoru při ustáleném provozu. Zápal probíhal vždy stejným způsobem a to tak, že po důkladném vyčištění krbových kamen byla zapnuta řídicí jednotka, čímž se spustilo dávkování paliva a foukání vzduchu do hořákové části. Po uplynutí 2 minut byl zapálen ruční plynový hořák, jehož plamen byl nasměrován do vzniklé hromádky paliva. Tímto hořákem byla hromádka zapalována po dobu jedné minuty. Cca 20 minut po ukončení tohoto procesu byl připojen analyzátor a začala probíhat analýza spalín při ustáleném provozním stavu Prototypu I.

Rychlost stoupaní teploty spalin u katalyzátorů po zápalu závisela na jejich umístění. K zahřátí na teplotu blíží se průměrné teplotě dané zkoušky došlo vždy v řádech jednotek minut. Katalyzátor instalovaný nad spalovací komorou byl „omýván“ nejteplejšími spalinami, zatímco ty umístěné v kouřovodu byly „omývány“ spalinami chladnějšími.

3.1 Míra konverze znečišťujících látek testovanými katalyzátory

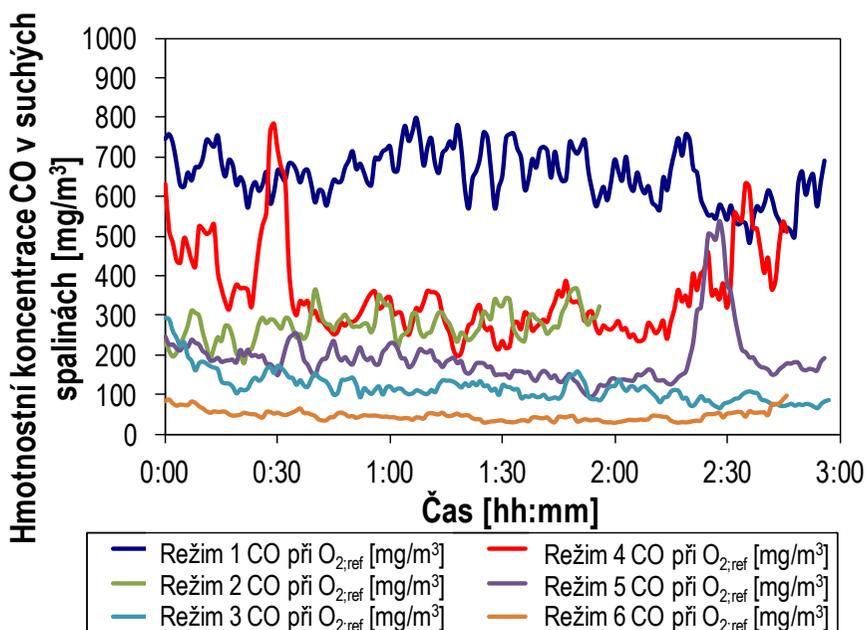
Míry konverze znečišťujících látek zkoumanými katalyzátory vytvarovanými a umístěnými do proudu spalin dle výše popsaných informací jsou prezentovány na Obr. 6 a Tab. 3. Kompletní průběhy hmotnostních koncentrací CO ve spalinách při použití nedeaktivovaných katalyzátorů jsou prezentovány Obr. 7. Kompletní průběhy hmotnostních koncentrací TOC ve spalinách při použití nedeaktivovaných katalyzátorů jsou prezentovány na Obr. 8. Kompletní průběhy teplot spalin u katalyzátorů v období analýzy spalin jsou prezentovány na Obr. 9.



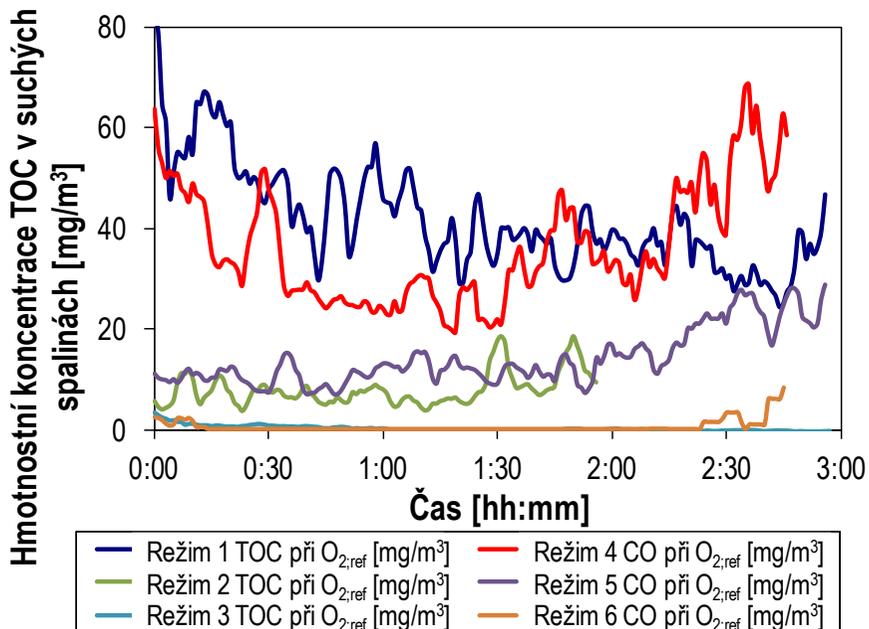
Obr. 6 Výsledky testování katalyzátorů

Tab. 3 Výsledky testování katalyzátorů (pozn.: výsledná koncentrace emisí NO_x je přepočtena na NO₂)

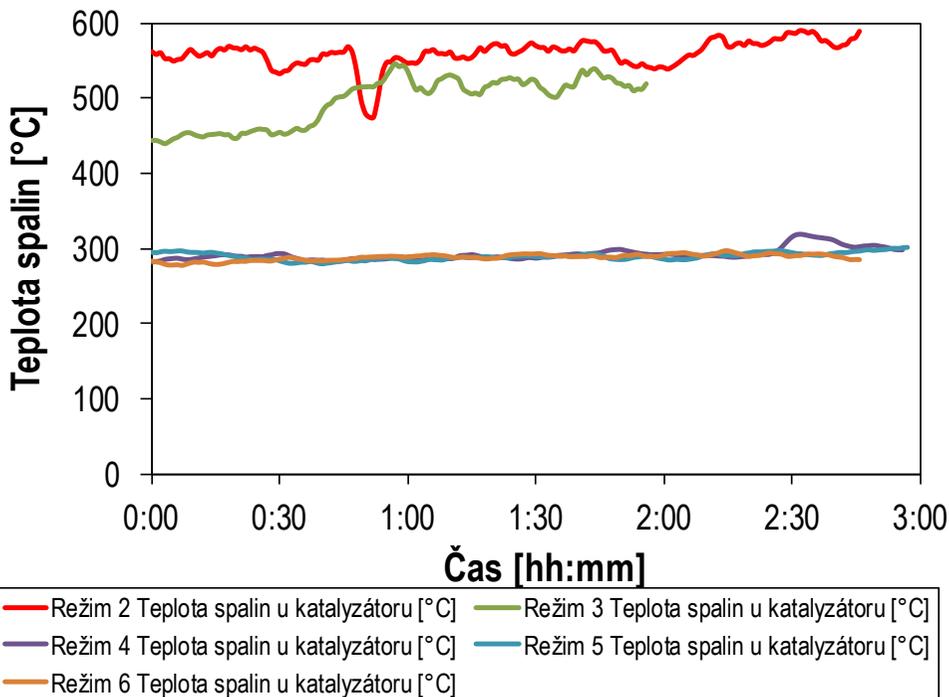
Číslo režimu		Režim 1 bez katalyzátoru	Režim 2 katalyzátor nad spalovací komorou	Režim 3 katalyzátory v druhém tahu	Režim 4 katalyzátor v kouřovodu	Režim 5 katalyzátor v kouřovodu	Režim 6 katalyzátor v kouřovodu	Režim 4.1 katalyzátor v kouřovodu (deaktivovaný)	Režim 4.2 katalyzátor v kouřovodu (deaktivovaný)
Délka zkoušky	h	3,0	2,8	2,0	3,0	4,5	2,8	3,0	3,0
Vstupní plocha do katalyzátoru	c ²	-	154,1	56,0	78,5	78,5	78,5	78,5	78,5
Hloubka katalyzátoru	cm	-	2,0	7,0	4,5	8,0	16,0	4,5	4,5
Objem katalyzátoru	cm ³	-	385	392	353	628	1256	353	353
Aktivní plocha katalyzátoru	cm ²	-	3 853	3 920	3 533	6 280	12 560	3 533	3 533
Doba zdržení molekuly katalyzovaného plynu u povrchu katalyzátoru	ms	-	50,6	54,3	53,2	89,6	183,0	51,8	51,7
Teplota spalin u katalyzátoru	°C	-	561	508	293	292	288	290	290
Objemový tok spalin	m ³ /hod	30,3	27,4	26,0	23,9	25,2	24,7	24,5	24,6
Objemový zlomek kyslíku v suchých spalinách	%	16,2	15,7	15,4	14,8	15,2	15,1	15,1	15,1
Přebytek vzduchu	-	4,34	3,94	3,72	3,40	3,61	3,53	3,53	3,54
Referenční objemový zlomek kyslíku ve spalinách	%	13	13	13	13	13	13	13	13
Hmotnostní koncentrace znečišťujících látek v suchých spalinách při referenčním kyslíku	CO	649	348	369	264	141	64	315	394
	NO _x	117	95	121	108	115	109	121	110
	SO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-
	TOC	39	33	10	18	2	1	1	12
Míra konverze CO	CO ₂	149	148	149	150	151	151	152	151
	%	-	46,4	43,1	59,4	78,2	90,1	51,5	39,2
Míra konverze TOC	%	-	14,9	74,9	53,5	94,9	97,4	68,9	9,0
Míra konverze vztažena k	-	-	Režim 1 bez katalyzátoru	Režim 1 bez katalyzátoru	Režim 1 bez katalyzátoru	Režim 1 bez katalyzátoru	Režim 1 bez katalyzátoru	Režim 1 bez katalyzátoru	Režim 1 bez katalyzátoru



Obr. 7 Průběh hmotnostní koncentrace CO při jednotlivých režimech



Obr. 8 Průběh hmotnostní koncentrace TOC při jednotlivých režimech



Obr. 9 Průběh teplot spalin vstupujících do katalyzátoru při jednotlivých režimech

Jak je patrné, nejvhodnější se pro daný typ katalyzátoru z hlediska konverze CO a TOC jeví Režim 6, tedy katalyzátor umístěný v kouřovodu za krbovými kamny o průměru 10 cm a hloubce 16 cm. Míry konverze byly cca 90 % pro CO a cca 97 % pro TOC. O cca 2,5 % při konverzi TOC byl horší katalyzátor testovaný při Režimu 5, který byl rovněž umístěn v kouřovodu. Při konverzi CO byl pak tento katalyzátor horší o cca 12 %. Stejně umístěný katalyzátor o hloubce 4,5 cm (Režim 4) mírně překonal poloviční hodnoty nejlepšího testovaného katalyzátoru s výsledky cca 59 % pro konverzi CO a cca 54 % pro konverzi TOC.

Katalyzátor rozdělený na dvě části a umístěný do druhého tahu vynikal, vzhledem k jeho objemu, vysokou mírou konverze TOC, která se blížila k 75 %, avšak míra konverze CO byla cca 43 %.

Katalyzátor umístěný nad spalovací komorou (Režim 2) se prezentoval nejnižší mírou konverze TOC, která nepřesáhla 15 %. Míra konverze CO dosahovala cca 46 %. U tohoto režimu jako u jediného došlo ke zkřehnutí monolitického materiálu do takové míry, že jej nebylo možné vyjmout z krbových kamen bez jeho destrukce. Teplota spalin blížící se k 600 °C se ukázala pro použití tohoto

typu katalyzátoru jako nevhodná z hlediska tepelné degradace těla katalyzátoru.

Dle ČSN EN 14785 jsou limitní hodnoty pro hmotnostní koncentraci CO ve spalínách (přepočtené na referenční objemovou koncentraci kyslíku ve spalínách $O_{2ref} = 13 \%$) stanoveny na 500 mg/m^3 při jmenovitém výkonu spotřebiče a 750 mg/m^3 při sníženém výkonu spotřebiče^[5]. Limity dalších znečišťujících látek pro tento typ zařízení nejsou stanoveny.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o prototyp zařízení, bez štítkové hodnoty jmenovitého výkonu, nebylo možné porovnávat, zdali byl z hlediska tohoto požadavku vyhovující, či nikoliv. Pokud by však hodnota 5,6 kW byla stanovena jako jmenovitý výkon (počítáno pro předpokládanou tepelnou účinnost zařízení 80 %), katalyzátor by dle výsledků mohl být řešením pro splnění výše uvedeného limitu.

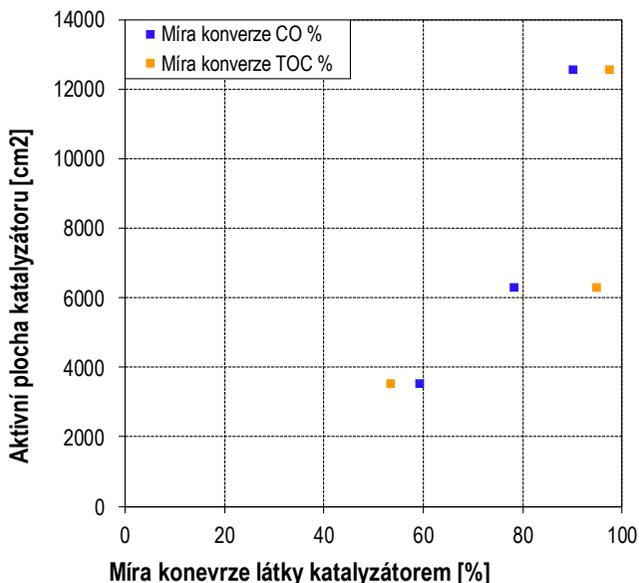
3.2 Vliv aktivní plochy katalyzátorů a času setrvání spalin v jejich vnitřním prostoru na míru konverze znečišťujících látek

Vzhledem k režimům 4, 5 a 6, při kterých měly tři různé katalyzátory takřka stejné podmínky (průměrná teplota spalin, průměrná rychlost proudění spalin), bylo možné kvantifikovat vliv aktivní plochy katalyzátoru $TiO_2 - WO_3 - V_2O_5$ na míru jejich konverze. Měřením byl potvrzen základní předpoklad, kdy s rostoucí aktivní plochou rostla i míra konverze znečišťujících látek katalyzátory. Při zvýšení objemu katalyzátoru cca dvojnásobně mezi Režimy 4 a 5 došlo k navýšení míry konverze TOC cca o 40 %. Další dvojnásobné navýšení aktivní plochy v Režimu 6 přineslo zanedbatelné navýšení míry konverze TOC. Závislosti míry konverze CO a TOC na velikosti aktivní plochy jsou prezentovány na Obr. 10.

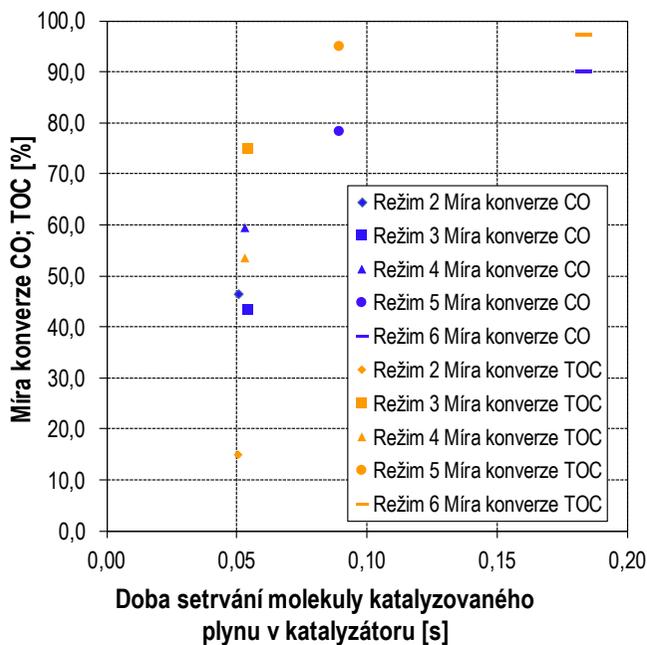
Co se týče hmotnostní koncentrace CO ve spalínách, z naměřených dat vyplývá, že závislost míry konverze znečišťujících látek na velikosti aktivní plochy katalyzátoru byla při daných podmínkách rostoucí. Mezi Režimem 4 a 5 došlo k navýšení o cca 19 % a mezi Režimy 5 a 6 došlo k navýšení o cca 12 %.

Na Obr. 11 je prezentován čas setrvání molekuly katalyzovaného plynu uvnitř katalyzátoru. Jedná se o obrácené hodnoty tzv. prostorové rychlosti, která rovněž bývá u katalyzátoru tohoto typu uváděna. Výsledné hodnoty potvrdily shodný čas setrvání spalin uvnitř katalyzátorů použitých při Režimech 2, 3 a 4 a zároveň potvrdily vliv teploty spalin na míru konverze znečišťujících látek v nich obsažených. Dále výsledné hodnoty kvantifikovaly rozdílný čas setrvání spalin v katalyzátoru při Režimech 4, 5 a 6. Při všech

režimech bylo proudění spalin na vstupu do katalyzátoru laminárního charakteru.



Obr. 10 Závislost míry konverze CO a TOC na aktivní ploše katalyzátoru umístěného v kouřovodu za spalovacím zařízením

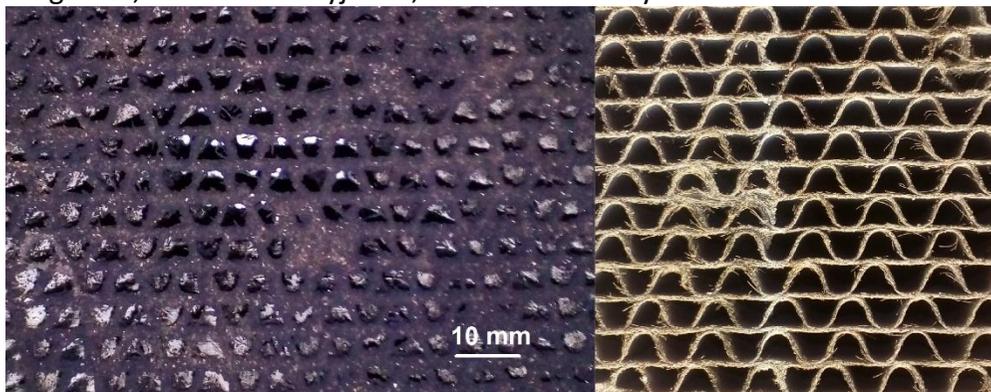


Obr. 11 Závislost míry konverze CO a TOC na době setrvání molekuly katalyzovaného plynu v katalyzátoru

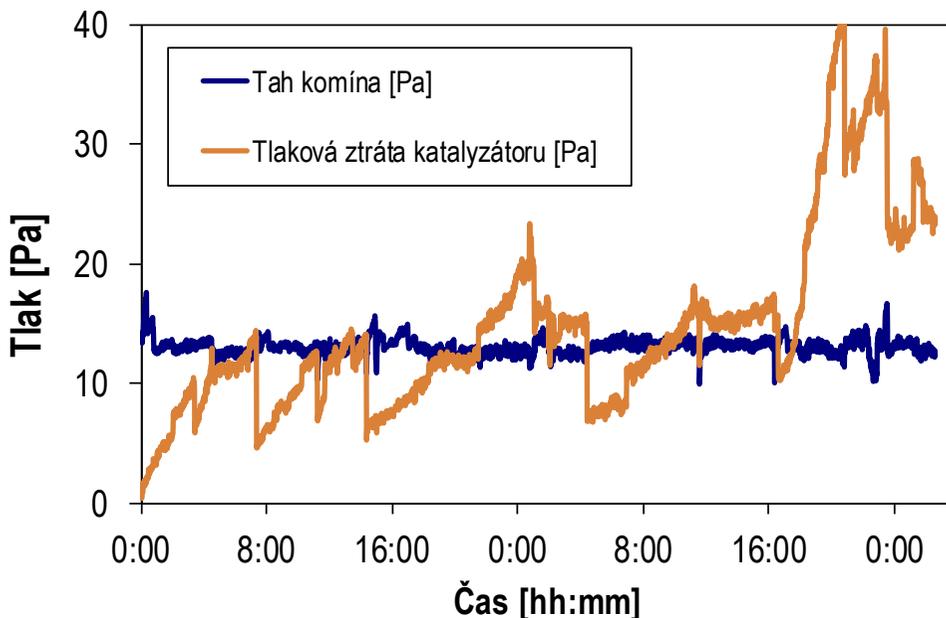
3.3 Dlouhodobé použití v malém spalovacím zařízení

Katalyzátory při Režimech 3, 4, 5 a 6 byly po spalovací zkoušce vždy částečně zaneseny. Rozdíl mezi katalyzátory, z nichž jeden nebyl použitý a druhý byl v provozu po dobu cca 5 hodin v kouřovodu za spalovacím zařízením, prezentuje Obr. 12. Jak je z obrázku patrné, vstupní hrany do katalyzátoru, který byl použit, byly obaleny pevnými částicemi a v některých místech byly dokonce štěrbinu úplně zalepeny.

Zanášení katalyzátoru umístěného v kouřovodu při provozu bylo dále zkoumáno delší spalovací zkouškou, u které byl měřen tah v komíně (nastaven na 12 Pa) a tlaková ztráta katalyzátoru. Výsledky tohoto měření prezentuje Obr. 13. Během zkoušky došlo k několika situacím, kdy byla tlaková ztráta na katalyzátoru rovna tahu v komíně. Tato situace byla několikrát přerušena skokovým poklesem tlakové ztráty katalyzátoru, přičemž reálně došlo k uvolnění části pevných znečišťujících látek ucpávajících štěrbinu v katalyzátoru. Jak je z tohoto grafu patrné, během cca 22 hodin došlo k zanesení do takové míry, že byl v kouřovodu za spalinovým ventilátorem přetlak oproti okolí spalovacího zařízení. Tento stav může při netěsnostech v části spalinové cesty od kouřového hrdla spotřebiče po katalyzátor, popřípadě při netěsnostech samotného spalovacího zařízení, vést k úniku spalin do okolí spalinové cesty, nebo spotřebiče. Po cca 29 hodinách provozu se tlaková ztráta katalyzátoru vrátila pod hodnotu komínového tahu, avšak po cca 34 hodinách provozu tuto hranici opět překročila a v tomto režimu fungovala, až na malou výjimku, do konce zkoušky.



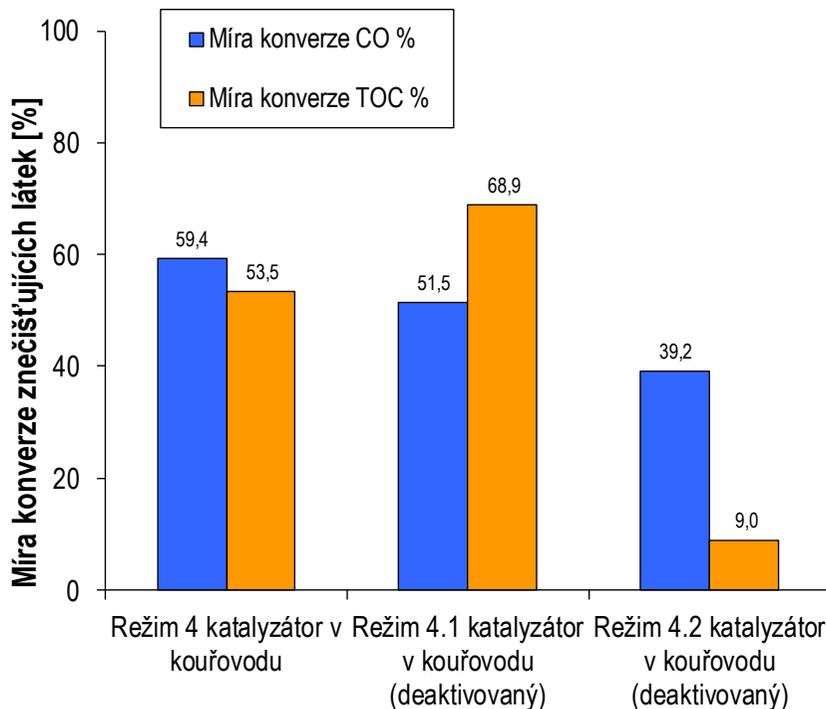
Obr. 12 Stav katalyzátoru po cca 5 hodinách provozu spalovacího zařízení
Režim 4 (vlevo); nepoužitý katalyzátor (vpravo)



Obr. 13 Závislost tlakové ztráty katalyzátoru na čase při konstantním komínovém tahu

Po 25 hodinách této dlouhodobé zkoušky proběhla tříhodinová analýza spalin za katalyzátorem a tedy i ověření míry konverze katalyzátoru po cca jednodenním nepřetržitém provozu. Tento režim byl označen jako Režim 4.1. Výsledky z tohoto měření jsou prezentovány na Obr. 14. Jak je z grafu patrné, došlo ke snížení míry konverze CO o cca 10 %, naopak míra konverze TOC byla o cca 15 % vyšší. Tento jev může být vysvětlen kvalitnějším spalováním při Režimu 4.1 oproti Režimu 4 vzniklý např. jinak uspořádanou hromádkou paliva. Absolutně se jednalo o rozdíl 6 mg/m^3 , což je hodnota blížící se hodnotě nejistoty měření.

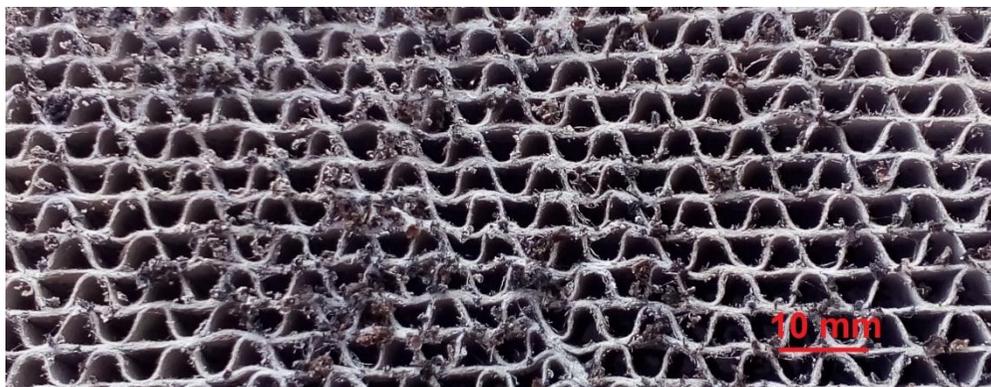
Po cca 48 hodinách této dlouhodobé zkoušky proběhla další tříhodinová analýza spalin za katalyzátorem. Tento režim byl označen jako Režim 4.2. Výsledky z tohoto měření prezentuje Obr. 14. Jak je z grafu patrné, došlo ke snížení míry konverze CO o cca 20 % oproti novému katalyzátoru, míra konverze TOC byla rovněž nižší a to o cca 44 %. Toto měření tedy potvrdilo klesající míry konverze znečišťujících látek katalyzátory, které byly dlouhodobě vystavovány spalinám obsahujícími pevné znečišťující látky. Popis jedů a maskovacích látek katalyzátoru není součástí této studie.



Obr. 14 Míra konverze katalyzátoru pro Režim 4, Režim 4.1 a Režim 4.2 (porovnání nepoužitého a zaneseného katalyzátoru pro dvě intenzity zanesení)

Při Režimu 2 byl potvrzen předpoklad menší míry ucpávání katalyzátoru při jeho umístění do oblasti vyšších teplot (popř. přímo do oblasti plamene) z důvodu možného vyhoření usazených sazí. Po vytažení katalyzátoru použitým při tomto režimu bylo jeho zanesení pevnými znečišťujícími částicemi oproti katalyzátorům umístěným na jiné pozice, při srovnatelně dlouhém času provozu spalovacího zařízení, zjevně menší. Stav katalyzátoru po Režimu 2 je patrný na Obr. 15

Z pohledu dlouhodobého užití se jevil katalyzátor umístěný nad spalovací komorou v oblasti vysoké teploty spalin v kombinaci s otvory pro případný obtok spalin jako nejvhodnější varianta z hlediska pomalejšího zanášení, avšak i u této varianty je po delším časovém úseku velmi pravděpodobné ucpání otvorů katalyzátoru čímž je tedy nemožné takovýto provoz označit za bezpečný. Jakákoliv instalace katalyzátoru je spojena s nutností zvýšené četnosti servisních zásahů do spalovacího zařízení ve smyslu jeho kontroly, čištění a případné výměny.



Obr. 15 Fotografie použitého katalyzátoru po ukončení spalovací zkoušky zahrnující Režim 2

3.4 Porovnání katalyzátoru na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ s jinými běžně dostupnými katalyzátory

Při porovnání výsledků měření s dřívějším výzkumem[1] se jevily katalyzátory na bázi platiny, či palladia jako vhodnější pro aplikace podobného typu. Objem testovaných katalyzátorů byl u těchto měření stejný jako u Režimu 4. Výzkumy však nekvantifikovaly míru vlivu hustoty sítě (počet ok na jednotku plochy), a tedy aktivní plochy katalyzátoru a zároveň nekvantifikují vliv typu nosiče na míru konverze látek. Katalyzátor $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ prokazoval při zachování objemu výrazně vyšší míru konverze TOC než katalyzátor s keramickým nosičem a palladiem jako aktivním prvkem a zároveň nižší míru konverze co se týče CO. Stejně objemný katalyzátor na kovovém nosiči s platinou jako aktivním prvkem vykazoval rovněž vyšší míru konverze u CO, co se týče TOC, byly míry konverze obou katalyzátorů srovnatelné.

4 Závěr

Tato studie popsala míry konverze CO a TOC ve spalinách malého spalovacího zařízení katalyzátorem voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ v různých částech vybraného spalovacího zařízení. Jako nejvhodnější umístění katalyzátoru z hlediska míry konverze se ukázaly varianty umístění do kouřovodu případně do druhého tahu spalin. U první ze zmíněných variant bylo dosaženo vyšší míry konverze CO, u druhé vyšší míry konverze TOC, při stejném objemu katalyzátoru, tedy při zachování přibližně stejného zdržení spalin v katalyzátoru.

Z hlediska určení změny míry konverze CO a TOC ve spalinách malého spalovacího zařízení katalyzátorem voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ při zvýšení času setrvání spalin v katalyzátoru byl potvrzen předpoklad

říkající, že s rostoucí aktivní plochou katalyzátoru, při zachování stejné rychlosti proudění spalin, vzrostla jejich míra konverze CO a TOC.

V této studii byla provedena kvantifikace vlivu dlouhodobého provozu katalyzátoru voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ na jeho funkci z hlediska míry konverze CO a TOC ve spalinách malého spalovacího zařízení a zároveň proběhlo zhodnocení procesu jeho ucpávání. Dlouhodobý provoz ukázal sestupnou tendenci míry konverze CO a TOC v závislosti na čase provozu. Dále byla prokázána vysoká míra zanášení s částečnou mírou samovolného čištění povrchu katalyzátoru, kterou je myšleno uvolnění usazených pevných znečišťujících látek zpět do proudu spalin. Toto samovolné čištění má svůj limit a tak není možné bez použití sekundární metody pro čištění katalyzátoru např. profukem tlakovým vzduchem označit provoz použitých krbových kamen s použitým katalyzátorem při daných podmínkách za bezpečný. Použití zvoleného katalyzátoru v kombinaci se zvoleným spalovacím zařízením znamená přímé riziko úniku spalin do okolí spalovacího zařízení a spalinové cesty.

Z hlediska porovnání katalyzátoru voštinového typu na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ s dřívějšími výzkumy katalyzátorů na bázi drahých kovů, se pro tuto aplikaci ukázal nově testovaný katalyzátor jako méně vhodný pro konverzi CO v případě, že bude její účinnost vztažena na jednotku objemu katalyzátoru. Testovaný katalyzátor, co se týče míry konverze TOC týče, je na podobné úrovni jako porovnávané katalyzátory.

Celkově je možné zhodnotit použití katalyzátoru na bázi $\text{TiO}_2 - \text{WO}_3 - \text{V}_2\text{O}_5$ jako řešení pro zařízení, která primárními opatřeními nejsou schopna splnit limitní hodnoty hmotnostních koncentrací CO a TOC ve spalinách, avšak pouze v případě, že je zajištěna průchodnost katalyzátoru pravidelným čištěním. Legislativní limit pro hmotnostní koncentraci CO ve spalinách při jmenovitém tepelném výkonu 500 mg/m^3 při referenčním objemovém zlomku kyslíku 13 %, znamená, že by nemohlo být testované zařízení bez použití katalyzátoru uvedeno na trh. Všechna měření, která byla provedena s katalyzátory, ověřila splnění tohoto limitu při jejich použití, přičemž nejlepší výsledek byl pod tímto limitem takřka desetinásobně. Reálné hodnoty hmotnostních koncentrací znečišťujících látek ve spalinách se při běžném provozu přitom často násobně liší oproti hodnotám naměřeným na zkušebně, kde jsou všechny podmínky „ideální“. Jednou z hlavních příčin je především u lokálních topidel s ruční příkládkou paliva vliv obsluhy spalovacího zařízení, který tak může být katalyzátorem částečně eliminován.

Na výše popisovaném katalyzátoru dosud nebyly prováděny testy míry konverze znečišťujících látek při různých definovaných teplotách s použitím

modelových plynných směsí ve zkušebním reaktoru. Dále nebyl pozorován vliv koncentrace kyslíku a vodní páry na míru konverze katalyzátoru. Tyto testy mohou být předmětem následujícího výzkumu.

S katalyzátory jako zařízeními pro čištění spalín od znečišťujících látek se setkáváme každodenně u automobilů, kde je jejich aplikace mnohem méně problematická a možná i proto jsme si na jejich přítomnost již dávno zvykli. Po vyřešení výše uvedené problematiky by mohla být jejich oblast působnosti rozšířena i do malých spalovacích zařízení.

Poděkování

Tento článek byl vypracován v rámci projektu „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“, identifikační kód LO1403, za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I a projektů specifických výzkumů SGS SP2018/102 „Identifikace spalování nevhodných paliv při vytápění domácností, použitelnost katalyzátorů pro zmenšení emisí znečišťujících látek“ a SGS SP2019/83 „Sledování provozních parametrů malého spalovacího zařízení a stanovení jejich vlivu na kondenzaci vody ve spalinové cestě“.

Použitá literatura

- [1] KRPEC, K., HORÁK, J., MARTINÍK, L., KUBESA, P., HOPAN, F., KYŠUČAN, Z., KREMER, J. a JANKOVSKÁ, Z.. Potenciál využití katalyzátorů při spalování dřeva v domácnostech. *TZB-info*. Praha: Topinfo, 2013, 2013. ISSN 1801-4399.
- [2] REICHERT, G., SCHMIDL, C., HASLINGER, W., STRESSLER, H., STURMLECHNER, R., SCHWABL, M., WÖHLER M. a HOCHENAUER C.. Impact of oxidizing honeycomb catalysts integrated in firewood stoves on emissions under real-life operating conditions. *Fuel Processing Technology*. 2018, 177, 109-118. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.04.016. ISSN 03783820. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378382018303515>
- [3] FERRANDON, M., BERG M. a BJÖRNBOM E.. Thermal stability of metal-supported catalysts for reduction of cold-start emissions in a wood-fired domestic boiler. *Catalysis Today*. 1999, 53(4), 647-659. DOI: 10.1016/S0920-5861(99)00152-2. ISSN 09205861. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0920586199001522>
- [4] ČSN EN 303-5:2013 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. Leden 2013. Praha: UNMZ, 2013.

- [5] ČSN EN 14785:2013 Spotřebiče spalující dřevní pelety k vytápění obytných prostorů – Požadavky a zkušební metody. Březen 2007. Praha: UNMZ, 2007.
- [6] NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) 2015/1189 ze dne 28. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva. Brusel: Úřední věstník Evropské unie, 2015, L 193/101.
- [7] "Takové to domácí topení": problematika lokálních topenišť v Moravskoslezském kraji. Ostrava: Moravskoslezský kraj, Krajský úřad Moravskoslezského kraje, 2012. ISBN 978-80-87503-27-0.
- [8] *Informace o vyhodnocení výsledků imisního monitoringu v roce 2016* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2016 [cit. 2018-08-23]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_o_kvalite_ovzdu_si/\\$FILE/OOO-Zprava_o_kvalite_ovzdu_si_2016-20180105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zprava_o_kvalite_ovzdu_si/$FILE/OOO-Zprava_o_kvalite_ovzdu_si_2016-20180105.pdf)



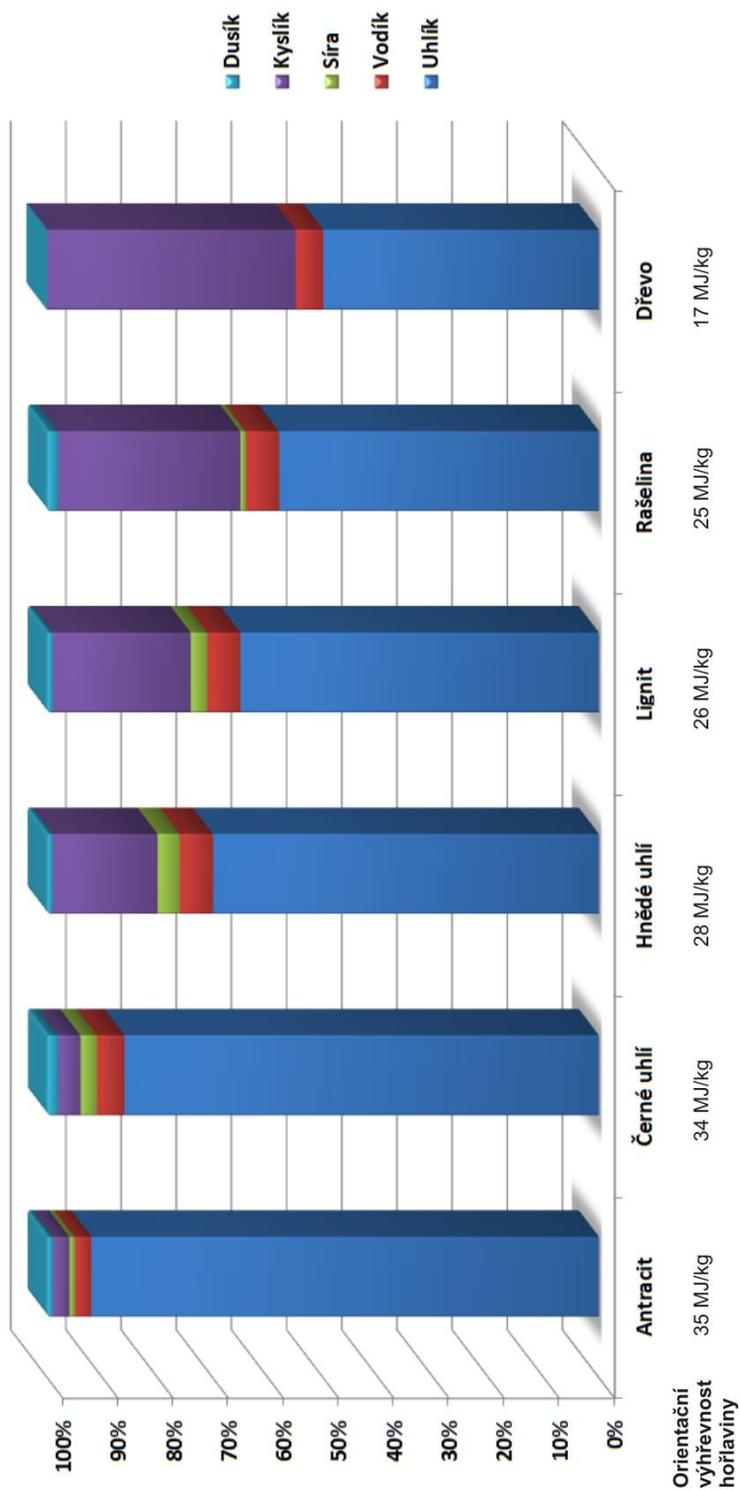
O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (1) - aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy.

Datum: 21.5.2012 | Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: prof. Ing. Pavel Noskivič, CSc.

1 Složení paliva

Obecně můžeme říci, že palivo je látka, která hoří a že při tomto procesu se uvolňuje teplo, které využíváme pro naše potřeby (topení, vaření, koupání). Palivo se skládá z hořlaviny (h) a balastu. Hořlavina je ta část, kterou v palivu chceme, protože je nositelem energie. Balastem nazýváme tu část paliva, která je v palivu obsažena, ale nepřináší žádný energetický zisk, hovoříme o vodě (W) a popelovině (A). Se snižujícím se obsahem vody a popeloviny se zvyšuje kvalita paliva, snáze a účinněji se spaluje, obsahuje více energie. Se snižujícím se obsahem popeloviny se zmenšují emise tuhých znečišťujících látek (prach) a zmenšuje se náročnost údržby spalovacího zařízení (odpopelnění – tuhý zbytek po spálení nazýváme popelem).

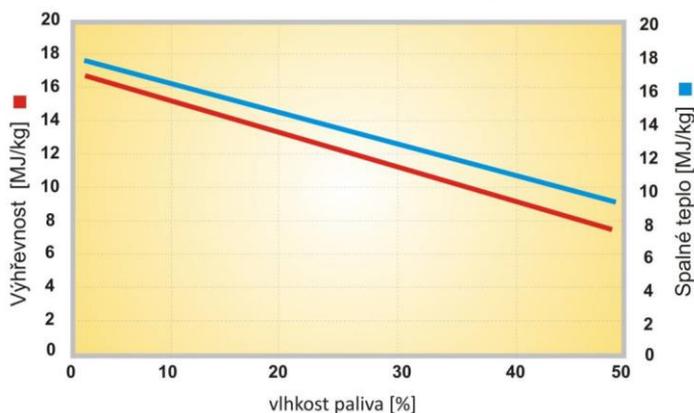
Organická složka paliva (hořlavina) se skládá s pěti základních prvků: C – uhlík, H – vodík, O – kyslík, N – dusík a S – síra. První tři zásadním způsobem ovlivňují vlastní spalovací proces a poslední dva spíše ovlivňují produkci znečišťujících látek (tvorba oxidů dusíku – NO_x a oxidu siřičitého – SO_2). Uhlík, vodík a síra představují aktivní prvky hořlaviny a jsou nositeli chemicky vázané energie, která se při jejich spalování uvolňuje. Kyslík a dusík představují pasivní složku hořlaviny, protože nepřináší žádnou energetickou hodnotu. Složení hořlaviny jednotlivých paliv je proměnlivé, ale pro možnost porovnání jsou na obr. č. 1 uvedeny průměrné hodnoty složení hořlaviny. „Mladá“ paliva (biomasa) jsou málo prouhelněna, takže obsahují nejméně uhlíku (cca 45 %), ale více vodíku (cca 5 %) a kyslíku (cca 40 %). Stejně tak obsahují více prchavé hořlaviny (hořlavina, která se po dostatečném zahřátí uvolňuje v podobě hořlavých plynů), takže se snáze zapalují a hoří větším plamenem.



Obr. č. 1 Srovnání prvkového složení hořlaviny různých paliv včetně jejich výhřevnosti

Základním a zřejmě i nejdůležitějším parametrem, který charakterizuje palivo, je výhřevnost a spalné teplo. Zjednodušeně řečeno tyto veličiny vyjadřují množství chemicky vázaného tepla (např. v MJ nebo kWh), které se uvolní při dokonalém spálení jednotkové hmotnosti paliva (např. v $\text{kg}_{\text{paliva}}$ nebo v t_{paliva}). Čím větší výhřevnost, tím méně musíme přikládat, abychom vytopili stejný prostor. Hodnota výhřevnosti závisí pouze na obsahu aktivních prvků hořlaviny (C, H, S), čím větší část paliva bude tvořena těmito prvky, tím více energie bude obsahovat a tím větší výhřevnost bude mít. Se zvyšujícím se obsahem vody a popeloviny se snižuje obsah aktivních prvků a tedy výhřevnost klesá. Obsah popeloviny můžeme ovlivnit jen minimálně, ale obsah vody např. u biomasy (dřeva apod.) jsme schopni výrazně snížit sušením. Kdyby dřevo bylo naprosto suché, tak by jeho výhřevnost (hovoříme o výhřevnosti hořlaviny, popelovina je zanedbatelná, její obsah je většinou menší než 1 %) byla kolem $17 \text{ MJ/kg}_{\text{hořlaviny}}$. Bohužel surové dřevo (čerstvě pokácené) obsahuje značné množství vody (je mokré, „živé“). Obsah vody je ovlivněn druhem stromu a také ročním obdobím, ve kterém byl strom pokácen. Obsah vody v surovém dřevu se pohybuje přibližně od 40 do 60 hmotnostních procent. Výrazná závislost výhřevnosti dřeva na jeho vlhkosti je uvedena na obr. č. 2. Zjednodušeně můžeme říci, že polovina surového dřeva je tvořena vodou a druhá polovina je tvořena hořlavinou, takže výhřevnost surového dřeva bude přibližně poloviční ($8,5 \text{ MJ/kg}_{\text{dřeva}}$ – ve skutečnosti to bude ještě méně o výparné teplo vody $1,2 \text{ MJ}/0,5 \text{ kg}$ vody, ale to bude vysvětleno později) ve srovnání s výhřevností samotné hořlaviny ($17 \text{ MJ/kg}_{\text{hořlaviny}}$). Výhřevnost dřeva po jednom roce sušení se zvýší cca na $11,2 \text{ MJ/kg}_{\text{dřeva}}$ a po dvou letech sušení, kdy dřevo můžeme již považovat za vysušené a vhodné pro spalování (obsah vody pod 20 %), se zvedne jeho výhřevnost přibližně na $13,1 \text{ MJ/kg}_{\text{dřeva}}$.

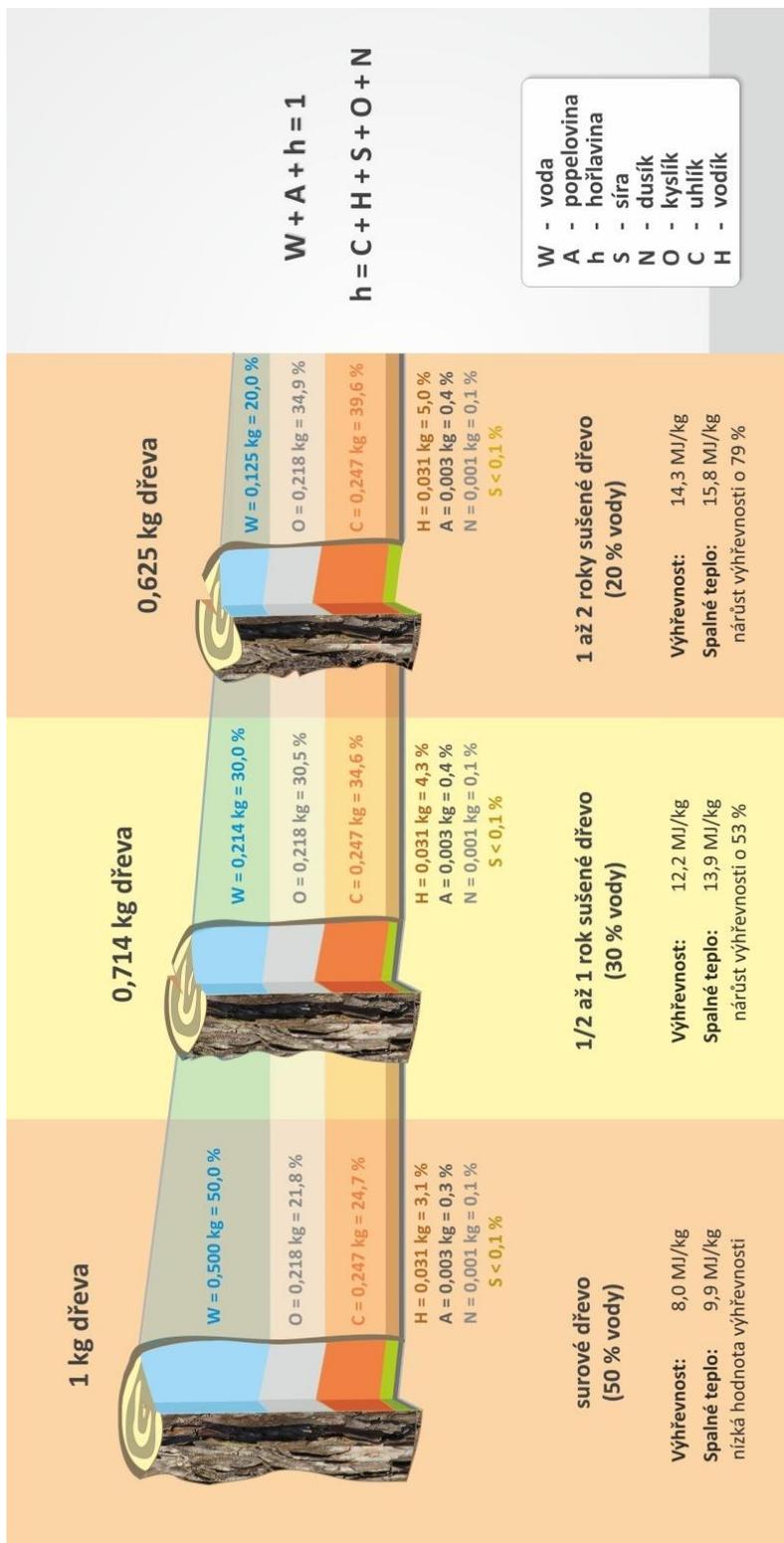
Co se děje, když se suší surové dřevo, názorně popisuje obr. č. 3. Na levé straně obrázku je znázorněn kus surového (mokrého) dřeva (polínko) o hmotnosti jeden kilogram, který obsahuje cca 0,5 kg, tedy 50 % vody. Po jednom



Obr. č. 2 Závislost výhřevnosti a spalného tepla dřeva na jeho vlhkost

roce sušení (venku pod přístřeškem) se obsah vody zmenší cca na 30 % (v prvním roce se odpaří cca 0,286 kg_{vody}) a po dvou letech bude menší než 20 % (v druhém roce se odpaří cca 0,089 kg_{vody}). To znamená, že celková hmotnost původního polínka se zmenší z jednoho kilogramu cca na 0,625 kg (za dva roky se odpařilo cca 0,375 kg_{vody}). Množství aktivní hořlaviny zůstalo v daném kusu paliva nezměněno (cca 0,25 kg uhlíku – C a cca 0,025 kg vodíku – H), ale protože se snížila celková hmotnost polínka, je koncentrace aktivní hořlaviny vyšší, nyní tvoří cca 44 % z původních 27,5 %. Proto se zvýšilo i množství měrné energie - výhřevnost paliva, která se vyjadřuje jako množství energie v MJ na kg paliva (výhřevnost vzrostla z původních 7,3 MJ/kg na 13,1 MJ/kg, což je navýšení cca o 80 %). Není to dáno tím, že by se zvýšilo množství hořlaviny, ale tím, že se zmenší hmotnost polínka cca o 0,375 kg vody, která se během dvou let odpaří. Aby se vypařil (voda přejde do plynného stavu a opustí strukturu dřeva – dřevo se vysuší) jeden kilogram vody, je nutné spotřebovat (dodat) tzv. výparné (skupenské) teplo vody, které má hodnotu cca 2,45 MJ/kg_{vody}. Pro výše uvedených 0,375 kg vody se tedy jedná cca o 0,92 MJ. O toto teplo se nám také zvýšila výhřevnost kousku dřeva, protože voda nehoří a při spalování dřeva dochází v ohništi k jeho sušení, následně pak hoří aktivní prvky hořlaviny. Chytrý člověk suší dřevo alespoň dva roky, protože ví, že suché dřevo má vyšší výhřevnost, dá se efektivněji spálit (lépe hoří a produkuje méně emisí znečišťujících látek), takže se mu sníží spotřeba paliva a v neposlední řadě prodlouží životnost spalovacího zařízení (menší obsah vody ve spalínách snižuje riziko kondenzace a dehtování).

Nejlépe se dřevo suší v dobře větraném dřevníku nebo stačí přístřešek na zahradě. Ve sklepě může surové dřevo plesnivět a hnít, což snižuje jejich energetickou hodnotu (záleží na vlhkosti a provětrání sklepa). Potřeba sušení dřeva klade zvýšené náklady na venkovní prostory k jeho uskladnění a sušení. Průměrný dům vytápěný kusovým dřevem spálí ročně kolem deseti metrů krychlových dřeva. V ideálním případě byste měli mít ve venkovních prostorech skladovány minimálně dvě roční spotřeby dřeva (ty jsou ve fázi sušení) plus již vysušené palivo v skladovacích prostorách u kotelny nebo ve venkovních prostorách. Je nutné mít přehled o tom, které palivo je již dva roky sušeno a které se bude v nadcházející topné sezóně spalovat (nejlépe označit). To představuje nemalé prostorové nároky.



Obr. č. 3 Schématické zobrazení toho, co se děje se složením a výhřevností dřeva, když jej sušíme

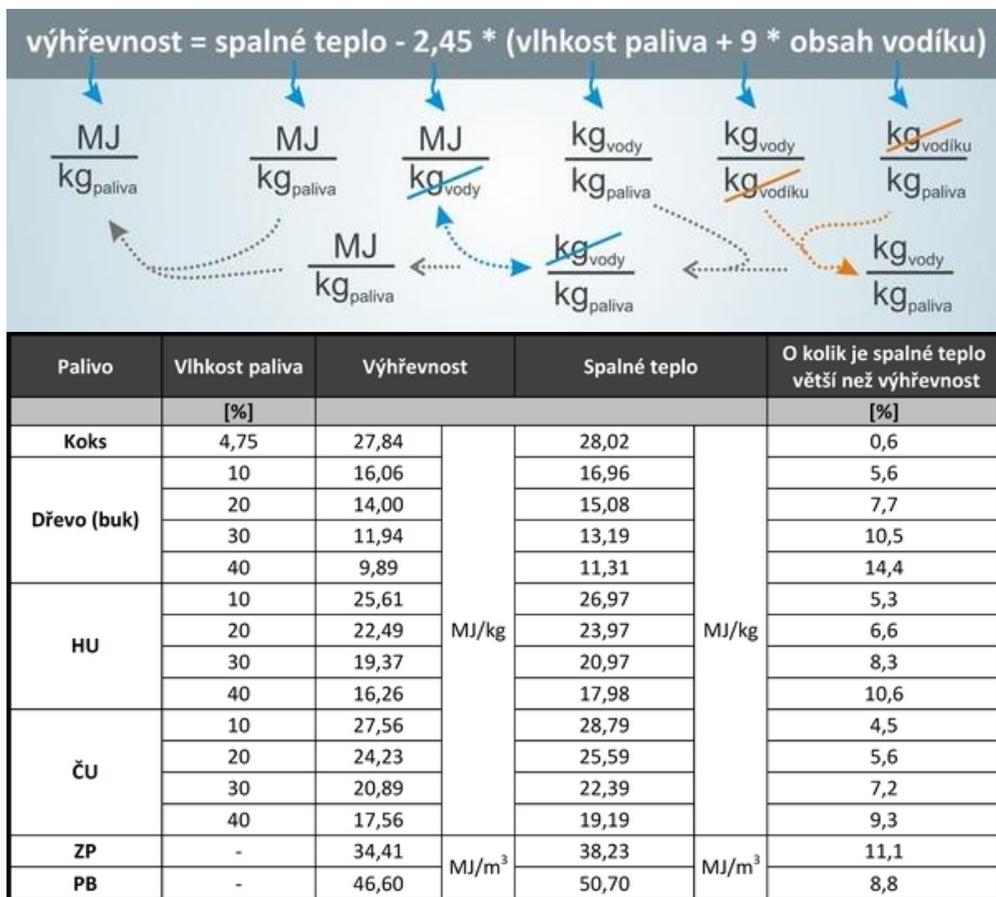
Lidé se často mylně domnívají, že tvrdé dřevo (např. dub, ořešák, javor, třešeň, jabloň, jasan, buk, hrušeň, švestka, akát, habr) má větší výhřevnost než dřevo měkké (např. smrk, borovice, jedle, topol, vrba, lípa, modřín, bříza). Je to mylný názor, ale na druhou stranu je nutné říci, že spálením kousku tvrdého dřeva se uvolní více tepla, než když spálíme objemově stejný kousek měkkého dřeva. Čím to tedy je? Je to tím, že tvrdé dřevo je těžší, má větší hustotu ($\text{kg}_{\text{dřeva}}/\text{m}^3_{\text{dřeva}}$) a výhřevnost vyjadřuje množství tepla obsaženého v kilogramu paliva. Při stejném obsahu vlhkosti bude jeden koš měkkého dřeva lehčí než stejný koš tvrdého dřeva, takže při jeho spálení se víc ohřejeme. Kvalitní pelety či brikety mají hustotu o něco větší než voda, takže jednoduchým testem můžete zjistit, jak na tom jsou ty vaše. Dejte vaši peletu nebo část brikety do nádoby s vodou a pokud se ponoří a neplave, je její hustota větší než hustota vody $1000 \text{ kg}_{\text{vody}}/\text{m}^3_{\text{vody}}$.

Množství energie v palivu vyjadřujeme buď jako výhřevnost nebo jako spalné teplo. Výhřevnost se nedá změřit a počítá se ze spalného tepla, které se stanoví v kalorimetru a z obsahu vodíku (prvkový rozbor paliva). Nejlépe lze pochopit rozdíl mezi výhřevností a spalným teplem, když si popíšeme, jak se v reálu tyto hodnoty získávají. Spalné teplo se měří v kalorimetru, který si můžeme představit jako nádobu (patrona – podobná nerezové termosce), do které vložíme misku s přibližně jedním gramem (jedna polovina kávové lžičky) najemno pomletého paliva. Nádobu naplníme kyslíkem (aby palivo dobře hořelo), uzavřeme a pak jej zapálíme. Palivo hoří, což je reakce při, které se uvolňuje teplo (exotermní). Celá nádoba je ponořena ve vodě (cca teplota laboratoře = $20 \text{ }^\circ\text{C}$), která se díky uvolněnému teplu zahřívá, celá nádoba s vodou je tepelně izolovaná od okolí. Můžeme říci, že srdce kalorimetru představuje přesné měření absolutní hodnoty teplotního rozdílu (diference) teploty vody před zapálením paliva až po jeho úplné shoření (teplota po zapálení prudce roste a postupně se ustálí na hodnotě cca do $25 \text{ }^\circ\text{C}$). Známé množství zahřáté vody, hodnota tepelné kapacity vody a teplotní diference je přímo úměrná teplu např. v kJ, které se uvolnilo při spalování známého množství paliva např. v g. Tento poměr představuje spalné teplo paliva, které se vyjadřuje např. v kJ/g, MJ/kg, GJ/t, kWh/kg apod. **Spalné teplo** je definováno jako teplo, které se uvolnilo při spálení jednotkového množství paliva s tím, že produkty spalování (spaliny) jsou ochlazené na původní teplotu paliva, takže veškerá voda obsažená ve spalinách zkondenzuje a na konci experimentu je v kapalném stavu. U **výchřevnosti** je tomu tak, že voda ve spalinách nezkondenzuje (přestože by byly ochlazené na původní teplotu), ale zůstane v plynném stavu, takže se neuvolní skupenské teplo vody. Jedná se pouze o teoretický stav,

který nelze v praxi experimentálně změřit, proto se výhřevnost vypočítává ze spalného tepla. Do spalin se voda může dostat třemi cestami:

- Palivo, které hoří, je vlhké a obsahuje vodu, která při spalování nehoří, ale vypařuje se, takže dochází k sušení paliva, odpařená voda následně tvoří část spalin (z jednoho kilogramu – litru vody se jeho vypařením vytvoří cca 1,2 m³ vodní páry (zvětší objem více než tisíckrát, proto opatrně při hašení, pozor s rozpáleným tukem na pánvičce či ve fritovacím hrnci – prskání).
- Jedním z aktivních prvků hořlaviny je vodík, který je ve struktuře tuhých paliv vázán v různých podobách, u plynných a kapalných paliv se jedná o směs mnoha uhlovodíků (např. zemní plyn obsahuje převážně metan, dále často používáme tyto uhlovodíky: propan, butan, benzín, nafta a např. slivovice je mimo jiné směs mnoha uhlovodíků). Když vodík v jakékoliv podobě hoří, tvoří se vodní pára, která je součástí spalin (v mrazivých dnech můžeme pozorovat bílý kouř nad komíny, to je vodní pára). Z jednoho kilogramu vodíku se vytvoří cca devět kg vodní páry, což je přibližně 11,2 m³ vodní páry. Spálením jednoho metru krychlového zemního plynu se vytvoří cca 1,5 kg (1,9 m³) vodní páry.
- Také samotný spalovací vzduch obsahuje vzdušnou vlhkost.

Spaliny tedy obsahují vodní páru z vlhkosti paliva, ze spalování vodíku a ze spalovacího vzduchu. Pokud spaliny ochladíme pod teplotu rosného bodu, vodní pára zkondenzuje (stejně tak se v zimě orosí brýle, když vejdemo do teplé místnosti, protože brýle mají nižší teplotu než teplota rosného bodu vody obsažené ve vzduchu), mění skupenství z plynného na kapalné a tím se uvolní skupenské teplo vody (2,45 MJ/kg_{vody}), které je stejně velké jako teplo, které se spotřebuje na to, abychom vodu vypařili. Zde je ten zásadní rozdíl mezi spalným teplem a výhřevností. U spalného tepla vodní pára zkondenzovala, ale u výhřevnosti uvažujeme s tím, že voda obsažená ve spalinách zůstane v plynném stavu, tedy jako vodní pára, takže se neuvolní skupenské teplo vody z kondenzace. Z výše uvedeného vyplývá, že pokud palivo obsahuje vodu nebo vodík, bude spalné teplo větší než výhřevnost viz. obr. č. 4. Výhřevnost se ze spalného tepla vypočítá tak, že se spalné teplo sníží o skupenské teplo vody dle tohoto vztahu:



Obr. č. 4 Porovnání hodnot výhřevností a spalných tepel různých paliv

Dva kilogramy suchého nebo čtyři kilogramy mokrého dřeva mají přibližně stejnou výhřevnost jako jeden metr krychlový zemního plynu. V současné době se pohybuje cena jednoho metru krychlového zemního plynu pro domácnosti, které jej používají pro vytápění kolem 15 Kč včetně DPH. Ale jak říká náš profesor (Pavel Noskiewič): „Růst ceny energií je jak přírodní zákon, cena stále poroste“.

Selský rozum by velel k tomu, abychom při spalování využívali spalné teplo a ne „jenom“ výhřevnost. Žel, není to tak snadné, protože pokud bychom chtěli využít spalné teplo, museli bychom donutit zkondenzovat (dostatečně ji zchladit) vodní páru obsaženou ve spalinách, což způsobuje tyto základní komplikace:

- zvýšené požadavky na korozní odolnost teplosměnných ploch výměníku, kondenzát může být agresivní;

- zvýšené požadavky na odvod spalin, kapičky kondenzátu, dehtování – odolný kouřovod a komín, odvod kondenzátu;
- nízká teplota spalin minimalizuje komínový tah, takže je nutné, aby zařízení mělo kouřový a nebo vzduchový ventilátor;
- zanášení teplosměnných ploch, kondenzace dehtů, ulpívání prachu a sazí, nutnost čištění;
- nízkopotenciální teplo – aby byly spaliny zchlazeny pod rosný bod, je potřebná dostatečně nízká teplota zpátečky – ideální využití pro podlahové vytápění např. při teplotním spádu 50/30 °C;
- kondenzát a jeho likvidace (v současnosti je u plynových kotlů do 50 kW povoleno kondenzát vypouštět do kanalizace).

Kondenzace vodní páry obsažené ve spalinách má tato pozitiva:

- snížení teploty spalin = zmenšení komínové ztráty = zvýšení účinnosti;
- při kondenzaci vodní páry se uvolňuje skupenské teplo vodní páry, toto teplo je předáno topné vodě (v teplovodním výměníku kotle) a tím se navýší množství vyrobeného tepla, využíváme nejen výhřevnost, ale část skupenského tepla, resp. rozdílu mezi spalným teplem a výhřevností.

Kondenzace se využívá v kondenzačních kotlích a u kotlů spalujících plyná paliva se jedná o velmi rozšířenou technologii. Plyné palivo je „čisté“ a „suché“, takže komplikace s kondenzátem jsou minimální. Teoreticky se spálením jednoho metru krychlového vytvoří cca 1,5 kg (litru) vody. V reálném provozu je to o něco méně a z plynového kondenzačního kotle do kanalizace vyteče cca jeden kilogram (litr) kondenzátu, což představuje cca 66% využití zisku z kondenzace vody ze spalin. Využití kondenzace při spalování tuhých paliv je v začátcích a zatím existují jen aplikace, pro spalování dřevních peletek, kde však zisk kondenzací není nijak značný. Vývoj směřuje k využití kondenzace při spalování vlhké (více než 40 %) biomasy v podobě dřevní štěpky.

Účinnost kotle se počítá jako poměr tepla vyrobeného (výkon) k teple dodanému (příkon). V Evropě se při výpočtu účinnosti teplo dodané vyjadřuje z **výchřevnosti** paliva, proto se v případě kondenzačních kotlů můžete setkat s výslednou účinností, která je vyšší než 100 %. Samozřejmě, že se nejedná o perpetuum mobile, ale jde o to, zda se teplo dodané do kotle vyjadřuje z výchřevnosti či spalného tepla. Správně by se mělo vyjadřovat ze spalného tepla, jenže potom by takto vyjádřená účinnost nebyla porovnatelná s účinností „klasických“ nekondenzačních kotlů. Nutnost porovnání je žádoucí, a proto se nabízí tato řešení:

- u všech kotlů počítat příkon ze spalného tepla, toto řešení by bylo z pohledu správnosti nejlepší, ale to by znamenalo, že u dosud prodávaných nekondenzačních kotlů by se účinnost musela přepočítat a znamenalo by to také to, že by se její hodnota snížila (např. z 90 na 83 %). Z pohledu výrobců, ale i z pohledu zákazníků je tento krok těžko akceptovatelný;
- ponechat původní výpočet účinnosti, kdy je příkon počítán z výhřevnosti a vysvětlit, že přestože účinnost kondenzačních kotlů vychází větší než 100 %, nejedná se o perpetuum mobile, ale o údaj, který umožní porovnání účinnosti kondenzačního a nekondenzačního kotle;
- třetí způsob by mohl být kombinací dvou výše uvedených bodů a mohl by uvádět obě hodnoty.

2 Co má společného vztah muže a ženy se spalováním, spotřebou vzduchu a množstvím spalin?

Podstatou spalovacího procesu je hoření paliva, jedná se o jev, při kterém hoří palivo za vývinu tepla a světla (plamen, žhavé uhlíky). Aktivní hořlavina paliva (C, H, S) reaguje se vzdušným kyslíkem (O₂). Protože je tato reakce doprovázena uvolňováním tepla, nazýváme jí exotermní, spaliny (produkty spalování) mají vysokou teplotu a my využíváme jejich teplo pro potřeby vytápění, ohřev vody nebo vaření. Ke spalovacím reakcím dochází při všech teplotách, přičemž její hodnota určuje její rychlost (čím větší teplota, tím větší rychlost reakce), o hoření hovoříme tehdy, pokud je spalovací reakce doprovázena světelným efektem např. plamenem (teplota spalin dosáhne spektra viditelného pro lidské oko). Pokud je rychlost reakce vyšší než rychlost zvuku, hovoříme o výbuchu, ale jedná se také o hoření. Vybouchnout může i prach (uhelný, mouka apod.), ale z výše uvedeného je zřejmé, že pokud ve zviřeném prachu nebude hořlavina, prach nevybouchne, protože v něm nemá co hořet, není v něm hořlavina, nemá se z čeho uvolnit energie (jeden ze způsobů proti-výbuchových opatření pracuje na principu rozprašování inertního prachu).

Jednou z nejtěžších věcí, které život staví před učitele je, jak jednoduše popsat nějaký děj či problém, vymyslet jednoduchou definici. Můj oblíbený Richard P. Feynman definoval spalování biomasy takto: „Stromy vznikly převážně ze vzduchu. Když je spálíme, vrátí se zpátky do vzduchu, přičemž se uvolní sálavé teplo, což je sálavé teplo Slunce, které bylo třeba, aby se vzduch přeměnil v dřevo stromů; trocha popela je pozůstatek té části stromů, která neměla původ ve vzduchu, ale v zemi“.

Pro lepší představivost a atraktivnost se pokusím **spalování paliva přirovnat ke vztahu muže a ženy**. Přestože určitě bylo o vztahu muže a ženy napsáno více knih než o spalování paliva, stejně je tato oblast lidského života zahalena mnoha tajemstvími a můžeme konstatovat, že zákonitosti spalovacích reakcí jsou nám lépe pochopitelné. Toto přirovnání použijeme pro lepší pochopení principů spalování, přestože není dokonalé, protože používá mnohá zjednodušení a nepřesnosti. Jednou z mnoha součástí manželského života je jejich intimní život. Aby muž „zreagoval“ se ženou, je nutné splnit minimálně tyto čtyři podmínky a stejně je tomu s hořlavinou a oksyličovadlem:

- Muž a žena se musí v dané oblasti či prostoru vyskytnout, musí tam být.
- Muž a žena se musí k sobě přiblížit, musí se sejít, vzít se za ruku a obejmout se.
- Musí se jim chtít.
- Musí mít čas a prostor, aby spolu „zreagovali“.

Podrobnějšímu vysvětlení těchto čtyř bodů se věnují další úvahy (díl II.). Jak moc vhodné je porovnání spalování se vztahem mezi mužem a ženou a jak dobře se mi podařilo vykreslit detaily těchto jevů, nechávám již na posouzení laskavého čtenáře. Při svých přednáškách jsem často vyzýval posluchače, aby se mnou sdíleli, co z jejich pohledu je ještě třeba, aby „zreagovali“. Vícekrát mimo jiné zazněly tyto parametry: dobré víno, pěkná hudba, peníze, přítmi apod. Těmto bodům se dále detailněji nevěnuji, ale na druhou stranu z pohledu spalování bychom mohli např. hovořit o katalyzátoru. Katalyzátor snižuje hodnotu energetické bariéry, kterou je třeba překonat, aby reakce proběhla (stejně tak např. pracuje katalyzátor, který se běžně používá v autech).

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory MPO v rámci řešení projektu FR-TI1/178 Krbová kamna se sníženou produkcí prachu a MŠMT v rámci řešení projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0036 Inovace pro efektivitu a životní prostředí.

O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2) - aneb palivo, tvorba znečišťujících látek a spalování jako vztah muže a ženy.

Datum: 28.5.2012 | Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: prof. Ing. Pavel Noskivič, CSc.

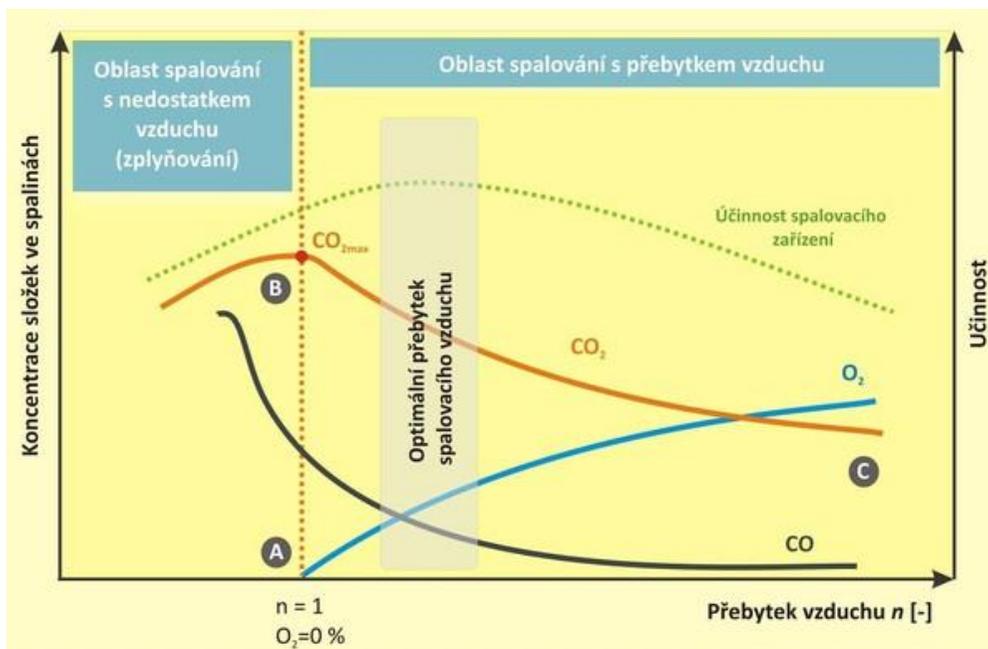
1 Co má společného vztah muže a ženy se spalováním, spotřebou vzduchu a množstvím spalin?

1.1 Muž a žena se musí v dané oblasti či prostoru vyskytnout, musí tam být

V oblasti spalování to znamená, že musí být přítomno palivo, v něm je obsaženo něco, co může hořet, tedy aktivní hořlavina (C, H, S) a oxysličovadlo (nejčastěji vzdušný kyslík).

Palivo nebude hořet bez přítomnosti kyslíku (pokud hořící svíčku přiklopíme obrácenou sklenicí, přestane po vyčerpání kyslíku hořet, zápal v dole uhasíme tím, že jej uzavřeme a budeme do něj pouštět inertní plyn, např. dusík).

Spalovací rovnice, které bilančně popisují reakci mezi hořlavinou a kyslíkem, zjednodušeně vyjadřují množství kyslíku (vzduchu), který je potřeba k tomu, aby došlo k jejich reakci. Toto množství nazýváme stechiometrické (teoretické) a představuje minimální potřebu pro spalování v případě, že by se všichni sešli a všichni zreagovali. V tomto případě je přebytek spalovacího vzduchu n (poměr skutečného a teoretického množství spalovacího vzduchu) roven jedné. V reálném spalovacím procesu je toto množství nedostatečné, protože řečeno jazykem přirovnání: se ti dva nesejdou. Proto ve většině případů je skutečné množství spalovacího vzduchu větší než teoreticky potřebné. Tím zvyšujeme pravděpodobnost toho, že se setkají (dokonalost spalování, minimalizace CO) a hovoříme o spalování s přebytkem spalovacího vzduchu (1,5 až 2 pro automatické kotle, 2 až 4 pro kotle a kamna s ručním přikládáním paliva). Se zvyšujícím se přebytkem spalovacího vzduchu ovšem postupně klesá teplota v ohništi, takže začne klesat i kvalita spalování, dále roste množství spalin, tím také roste komínová ztráta a snižuje se účinnost spalovacího zařízení. Každé zařízení má svůj optimální přebytek spalovacího vzduchu, při kterém je dosaženo optimálních hodnot CO a účinnosti viz obr. č. 5.



Obr. č. 5 Vliv přebytku spalovacího vzduchu na účinnost a kvalitu spalování

Při reálném provozu měníme přebytek spalovacího vzduchu tím, jak regulujeme množství nasávaného spalovacího vzduchu. Takže pokud otevřeme dvířka popelníku, regulační klapky vzduchů apod., budeme se pohybovat v pravé části grafu. Pokud uzavřeme přívody spalovacích vzduchů, začne se snižovat přebytek spalovacího vzduchu a v grafu se přemísťujeme směrem vlevo. Jak moc se posuneme vlevo, záleží také na tom, jak dobře je spalovací zařízení těsné (těsnicí šňůry apod.). Pokud uzavřeme všechny přívody spalovacích vzduchů a nepozorujeme evidentní pohasnutí plamene (např. u krbových kamen to můžeme pozorovat přes sklo dvířek), tak se spalovací vzduch dostává k palivu netěsnostmi a my se stále pohybuje v pravé části grafu, což je doprovázeno vysokou komínovou ztrátou, a tedy nízkou účinností. Pokud je zařízení těsné, můžeme se po uzavření přívodu vzduchu dostat až do oblasti, kde je nedostatečné množství spalovacího vzduchu a vlastně začneme palivo zplyňovat. Toto se velmi často děje, pokud na noc přiložíme velkou dávku paliva a pak, protože jdeme již spát, všechny přívody vzduchů uzavřeme. Je pravda, že se podstatně prodlouží doba (hoření – zplyňování), ale křivka CO nám ukazuje, jak dramatickému nárůstu produktů nedokonalého spalování dojde a také účinnost je velmi špatná.

Křivka označená jako „O₂“ ukazuje průběh koncentrace kyslíku v závislosti na přebytku spalovacího vzduchu. Pokud bychom k palivu přivedli právě tolik

vzduchu, kolik je třeba (přebytek $n = 1$) a nastal by stav, že se sejdou, chce se jim a mají na to čas, tak by se všechen přivedený kyslík spotřeboval, takže jeho koncentrace by byla nulová, to popisuje bod „A“. Při tomto stavu by také došlo k tomu, že veškerý uhlík by shořel na CO_2 , takže jeho koncentrace by byla maximální, tehdy hovoříme o CO_2_{max} , viz bod „B“. Se zvyšujícím se přebytkem spalovacího vzduchu poroste koncentrace kyslíku ve spalinách. Naopak koncentrace CO_2 bude klesat, protože přebytečný vzduch bude CO_2 ředit.

Se vzrůstajícím přebytkem spalovacího vzduchu se zlepšuje spalování, klesá CO , ale na druhou stranu roste množství spalin, takže roste množství tepla vyvedeného komínem, takže klesá účinnost. Je to zase jako v tom životě, jedná se o kompromis. Spalujeme s dostatečně vysokým přebytkem spalovacího vzduchu, abychom měli CO na rozumné úrovni a přitom neměli příliš nízkou účinnost. Každé spalovací zařízení pro dané palivo má optimální hodnotu spalovacího vzduchu (viz plocha v grafu).

Zjednodušeně (záleží na složení) můžeme říci, že pro spálení jednoho kilogramu uhlí potřebujeme minimálně (teoreticky) cca 6 metrů krychlových vzduchu pro spálení jednoho kilogramu dřeva cca 4 metrů krychlových vzduchu. Pro lepší, tedy automatické a zplyňovací kotle bývá přebytek spalovacího vzduchu cca 2 (obsah kyslíku ve spalinách cca 10,5 %), takže spotřeba vzduchu bude dvojnásobná ve srovnání s teoretickou, tedy cca 12 m^3 na jeden kilogram paliva. Kotle s ruční dopravou paliva (prohořivací a odhořivací) včetně krbových kamen, sporáků a krbových vložek spalují palivo s ještě větším přebytkem spalovacího vzduchu cca s hodnotou 2 až 4. U otevřeného krbu nedochází k regulaci přívodu spalovacího vzduchu, koncentrace kyslíku ve spalinách dosahuje dle fáze spalovací periody cca až kolem dvaceti procent, což odpovídá hodnotě přebytku vzduchu cca dvacet. V tomto případě je již množství skutečného vzduchu, který se spotřebuje (je nasáno do krbu a odvedeno komínem) pro spálení jednoho kilogramu dřeva kolem 100 metrů krychlových. Proto účinnost otevřených krbů je cca 10 %, což se výrazně projeví na velké spotřebě paliva. Množství nasávaného vzduchu je dáno „výkonem odsávání komínu“. Komín pracuje jako kouřový ventilátor, který vysává spaliny z topeniště. Komínový tah vzniká na základě rozdílů hustot spalin a okolního vzduchu a jedná se o stejný jev, který nejdříve popsal pan Archimedes, když se koupal ve vaně. Základní parametry ovlivňující tah komínu jsou tyto:

- teplota spalin – množství přiloženého paliva a jeho složení, konstrukce spalovacího zařízení, tepelná izolace komínu,
- účinná výška komínu a jeho vnitřní průměr,

- tlaková ztráta celé spalinové cesty (průměr kouřovodu, množství a tvar napojovacích dílů, údržba-čištění).

Základní funkcí komína je bezpečně odvést spaliny, které vzniknou při spalování paliva v napojeném spalovacím zařízení.

Množství spalín je přibližně stejné jako množství nasátého spalovacího vzduchu.

Potřebné množství spalovacího vzduchu se dle typu a výkonu malého spalovacího zařízení pohybuje přibližně v rozsahu od 10 do 1000 m³/h. Této potřebě je také nutné přizpůsobit přívod vzduchu k danému zařízení, který je zajištěn nasáváním přes netěsnosti oken, dveří a přes větrací otvory (mimo případ s externím přívodem spalovacího vzduchu). Zvýšené požadavky na tepelnou izolaci mimo jiné zvyšují těsnost oken, ale také celých domů. Pokud v místnosti, kde je spalovací zařízení nainstalováno (kotel v kotelně, kamna v obývacím pokoji) není zajištěn dostatečný přívod spalovacího vzduchu, musí být vzduch přiveden samostatným přívodem z exteriéru. Většina nových kamen již má sveden přívod spalovacího vzduchu do jednoho centrálního místa (většinou vzadu nebo doleje vyvedena trubka o průměru cca 100 mm).

Výkony digestoří mohou dosáhnout několika set metrů krychlových vzduchu odsátého z prostoru kuchyně. V případě, že je spalovací zařízení umístěno ve stejné místnosti (obytné haly spojené s kuchyňským koutem nebo kuchyňským sporákem), mohlo by dojít k zpětnému tahu komínu např. kamen, protože výkon digestoře je větší než „výkon“ tah komínu. Tomuto stavu je nutné zabránit (dostatečný a nebo externí přívod vzduchu).

1.2 Muž a žena se musí k sobě přiblížit, musí se sejít, vzít se za ruku a obejmout se

V oblasti spalování to představuje konstrukci spalovacího zařízení, rozvody spalovacího vzduchu, způsob jeho přívodu, ohřevu a dopravy k hořlavině paliva.

Velká část dnes používaných ohnišť (malých výkonů) používá rošt, jehož základní funkce je právě v umožnění přívodu spalovacího vzduchu (primárního) k palivu. Podstatné je, aby konstrukce spalovacího zařízení zajistila přívod okysličovadla přímo až k hořlavině. Nestačí jen přivést dostatečné množství spalovacího vzduchu do ohniště – jde o to, aby si podali ruku, aby se mohli obejmout, nelze provést spalování na dálku.

Další faktor, který rozhoduje o tom, zda se potkají, je granulometrie paliva. Tlaková ztráta vrstvy tříděného paliva (při stejné výšce) je podstatně menší

než vrstva netříděného paliva, která obsahuje velké množství prachu (menších částic paliva), nemluvě o uhelných kalech (jen jemný prach). Kaly se míchají s vodou, aby nepropadly roštem do popelníku, nicméně prostupnost vzduchu je nulová, proto tuto vrstvu uživatelé rozrušují pohrabáčem (vytváření „komínu“), aby alespoň někudy mohl spalovací vzduch projít. Kaly jako prachové palivo je vynikající pro velké uhelné kotle s práškovými hořáky, ale pokud nám jde o to, co vychází z našich komínů, jedná se o palivo naprosto nevyhovující (to, že se po nějaké době nekouří z komínu, neznamená, že palivo dobře hoří, jedovatý oxid uhelnatý jako hlavní parametr nedokonalosti spalování je plyn bezbarvý a bez zápachu, jeho koncentrace jsou v těchto případech na úrovni několika procent).

Většinou je teplota spalovacího vzduchu podstatně nižší než teplota plamene (plamen je hořící prchavá hořlavina a je složena převážně z uhlovodíků a z hořlavého plynu CO), což v praxi znamená, že jejich promíchání je obtížné (mají různé viskozity). Pokud se ovšem nepromíchají, můžeme v souvislosti s příkladem hovořit o tom, že si nepodali ruce, nepřiblížili se k sobě, prostě jdou vedle sebe spalovací komorou s minimální šancí kontaktu. Můžeme si to představit tak, že proud vzduchu narazí na oblast plamene a ten se chová jako by byl pokryt nepropustnou blánou (plachta na hladině vody v bazénu), takže přestože přivedeme dostatečné množství vzduchu do ohniště, kyslík s hořlavinou se nesejde, takže nemohou zreagovat. Technicky se tato komplikace v ohništi zmírňuje předehřevem spalovacího vzduchu (zmenšení odlišnosti viskozit), zvětšením vstupní rychlosti spalovacího vzduchu (trysky, větší rychlost poruší „blánu“ plamene) a optimalizací proudění (maximalizace víření je vlastně kombinací dvou výše uvedených opatření).

Hoření začíná na povrchu látek a pokud neshoří povrchová vrstva, nemůže hořet další. Tím se vysvětluje relativně pomalý průběh hoření. Dřevěné třísky hoří podstatně rychleji než větší špalky. Rychlost hoření souvisí s množstvím uvolněné energie a tím tedy s výkonem zařízení. Proto po příjezdu na „studenou“ chatu topíme nejdříve menšími kousky dřeva, ty mají větší povrch, rychleji hoří a tím získáme větší výkon s tím, že v první fázi vytápění nás netrápí celkem nízká účinnost spalovacího zařízení (vysoká teplota spalin znamená velkou komínovou ztrátu). U velkých uhelných kotlů se uhlí mele na prášek, protože má podstatně větší povrch než kusové uhlí.

1.3 Musí se jim chtít

To v oblasti reálného života představuje specifickou oblast a hlavně u ženy má tento bod mnoho souvislostí. Žena je citlivá na předchozí chování partnera

a není pro ni jednoduché přejít do „reakčního módu“, ale protože se tato kapitola má věnovat spalování, nebudu zabíhat do podrobností a nechám to již na citlivosti a otevřenosti manželů.

V oblasti hoření je chtění dáno výši teploty. Čím větší teplota je v oblasti, kde se vyskytuje hořlavina a vzdušný kyslík, tím více se jim chce reagovat a tím se také zvyšuje rychlost reakce.

Po dosažení zápalné teploty začne hořlavina hořet. Zápalná teplota jednotlivých hořavin se podstatně liší, např. u dřeva je to kolem 600 °C, u benzínu kolem 200 °C.

Složení hořlaviny paliva (poměr mezi uhlíkem, vodíkem a kyslíkem) ovlivňuje zásadním způsobem zápalnou teplotu paliva. Málo prouhelněná paliva (dřevo, lignit, hnědé uhlí) obsahují velké množství prchavé hořlaviny (směs uhlovodíků), které se snadno zapalují. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku (černé uhlí, antracit) se množství prchavé hořlaviny výrazně zmenšuje, což komplikuje jejich zapalování. Koks představuje palivo s „nulovým“ obsahem prchavé hořlaviny, protože při koksování dochází (vysoká teplota bez přístupu vzduchu – termický rozklad) k uvolnění prchavé hořlaviny (koksárenský plyn) a odplyněný zbytek je uhlík s popelovinou. Dřevěné uhlí, které se používá na grilování, se v podstatě vyrábí stejně jako koks, jen jako vstupní surovina je použito dřevo a uvolněný plyn je dřevní plyn. To je důvod, proč se koks a dřevěné uhlí tak špatně zapalují. Proto papírem nebo nějakým podpalovačem nejdříve zapálíme suché dřevěné třísky (větší povrch), ty zapálí větší kousky dřeva a tento hořící materiál zapálí uhlí či koks.

Spalování uhlí vyžaduje vyšší spalovací teploty. Až výroba roštů (19. století) umožnila rozšíření spalování uhlí. Do té doby se spíše spalovalo dřevo, protože bezroštová ohniště neumožnila dosáhnout vyšší teploty (cca nad 1000 °C), které jsou potřebné pro kvalitní spalování uhlí.

Pokud bychom se na hoření paliva podívali přes bilanci vstupů a výstupů, mohli bychom při nulových tepelných ztrátách vypočítat maximální (adiabatickou) teplotu (pro dřevo se vzduchem kolem 1980 °C). Reálná teplota plamene při spalování dřeva ve spalovacím zařízení se pohybuje přibližně v rozsahu 650 až 950 °C. Teploty dosažené v ohništích při spalování uhlí jsou cca 800 až 1200 °C.

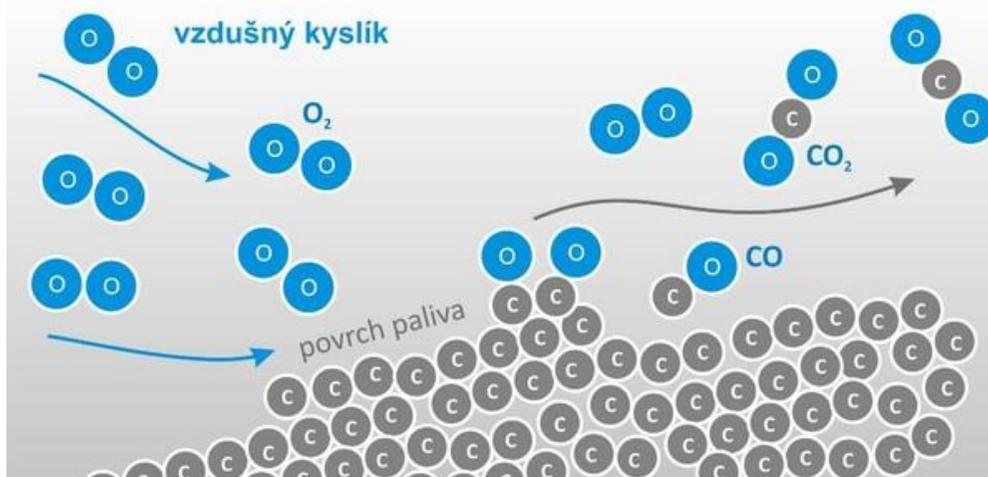
Souhrnně můžeme říci, že pokud se hořlavina s okysličovadlem setká, ale není vystavena dostatečné teplotě, k hoření nedojde a nebo dojde jen k nedokonalému částečnému hoření. Se zvyšující se teplotou se rychlost a kvalita spalování zlepšuje.

1.4 Musí mít čas a prostor, aby spolu „zreagovali“

V oblasti spalování to znamená objem a uspořádání spalovací komory a celého spalovacího zařízení. Objem spalovací komory je přizpůsoben vlastnostem spalovaného paliva. Například při spalování paliv s větším obsahem prchavé hořlaviny (hnědé uhlí a biomasa) je velká část paliva tvořena hořlavým plynem (směs uhlovodíků), který se uvolňuje již při zahřátí paliva na dostatečnou teplotu cca 200 až 400 °C. Hořící plyn vnímáme jako plamen (stejně tomu je u táboráku při opékání a nebo v krbových kamnech při hoření kusového dřeva).

Každá reakce stejně tak spalovací reakce probíhá s jistou rychlostí, přičemž čím větší teplota tím větší je rychlost reakce, ale přesto dokončení reakce vyžaduje minimální čas, který je nutný pro úplné dokončení reakce. Po tento čas musí být naplněny všechny tři výše uvedené podmínky – musí tam být, musí se sejít a musí se jim chtít. Pokud k třem uvedeným podmínkám přidáme i dostatečný prostor, který poskytuje dostatečný čas pro oxidaci hořlaviny, dojde k její dokonalému spálení. Uhlík shoří na oxid uhličitý (CO_2 , mimo jiné toto je plyn, který vydechujeme a také jej můžeme nalézt v bublinkách perlivé minerálky). Uhlovodíky, které tvoří prchavou hořlavinu shoří na CO_2 a vodní páru (H_2O) a síra shoří na SO_2 .

Pokud je čas nedostatečný, bude reakce předčasně ukončena a nedojde k dokonalému vyhoření hořlaviny. Přesný průběh oxidace uhlíku není zcela znám, ale velmi zjednodušeně si jej můžeme představit tak, že uhlík částečně oxiduje na hořlavý plyn oxid uhelnatý (CO je jedovatý, bezbarvý plyn bez zápachu), který následně dohoří na CO_2 . Schématicky je hoření uhlíku zobrazeno na obr. č. 6. Obdobně je tomu s uhlovodíky než shoří na CO_2 a H_2O .



Obr. č. 6 Schématické zobrazení procesu hoření paliva – uhlíku

2 Nedokonalé spalování

O dokonalém spalování hovoříme tehdy, pokud veškerá hořlavina shoří (uhlík na CO_2 a uhlovodíky na CO_2 a vodu). Tak jak to již v životě bývá, může reakce proběhnout dokonale, částečně a nebo vůbec. Stejně tak je tomu i při spalování paliva, nic není dokonalé. Část uhlíku neshoří vůbec (černý popel, černé saze a popílek v komíně) a část uhlíku shoří jen na CO. Nedokonalé spalování identifikujeme dle produktů nedokonalého spalování, za které hlavně považujeme CO, saze a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Nedokonalé spalování nastane, pokud jedna ze čtyř výše uvedených podmínek není zcela v pořádku. V dnešní době není problém změřit koncentraci CO (mobilní zařízení vlastní i některé kominické firmy) a získat tím představu o kvalitě spalování a kvalitě spalovacího zařízení.

Pokud dáme studenou lžičku nad plamen (např. svíčky), její povrch zčerná a zůstanou na ní černé saze. Rozžhavené saze vnímá lidské oko jako červenou (až oranžovou) barvu. Barva plamene svíčky je červená, protože jsou v něm hořící saze, barva plamene z plynového hořáku (zemní plyn nebo propan butan) je modrá, protože neobsahuje žádné saze a vodíkový plamen je modrý. Pokud však u plynového hořáku omezíme přívod vzduchu (např. u přenosného vaříče, který se používá na hory, zakryjeme trysky hořáku rukou nebo páskou), barva plamene se změní – částečně zčervená, což identifikuje nedokonalé spalování. Při přenášení hořící svíčky, můžeme pozorovat zvýšený vývin sazí (černé okraje plamene), protože vzduch proudící kolem plamene jej více ochlazuje a tím zhoršuje spalování, Svíčku sfouknutím zhasneme, protože proudící vzduch odvede teplo od knotu a zchladí plamen pod zápalnou teplotu. Pokud bude vnitřní povrch výfuku automobilu světle našedlý, bude to ukazovat na lepší spalování kapalného paliva v motoru ve srovnání s černým povrchem výfuku. Stejný princip platí u vzhladu částic, které se zachytávají v komínu za kamny či kotlem, ale i v samotném kotli na teplosměnných plochách.

CO je hořlavý plyn, takže pokud je jeho koncentrace vysoká (řádově v procentech), narůstá ztráta plynným nedopalem (pokud by CO v zařízení shořelo, tak by mohlo předat teplo, které by se využilo, ale protože neshořelo, nestalo se tak a tato energie „vyletěla komínem“) a snižuje se účinnost spalovacího zařízení.

3 Účinnost spalovacího zařízení, jak jí doma změřit a dá se zvětšit?

Jak již bylo uvedeno dříve, účinnost spalovacího zařízení vyjadřuje poměr mezi získanou energií (to, co jsme z toho získali, např. ve formě tepla z otopného tělesa – výkon) a přivedenou energií (to, co jsme do toho dodali, spálené palivo – příkon). Jedná se o přímou metodu stanovení účinnosti, která je ovšem pro běžného uživatele těžko aplikovatelná s ohledem na problematičnost stanovení výkonu.

Druhý pohled je nazýván jako nepřímá metoda stanovení účinnosti. Vychází z předpokladu, že ideální stroj či zařízení pracuje s účinností 100 %. Protože žádné reálné zařízení není perpetuum mobile, jeho účinnost je menší než 100 %. Je menší o energetické ztráty, takže můžeme říct, že účinnost je rovna 100 % minus suma jednotlivých ztrát [%].

Zjednodušeně můžeme u malých spalovacích zařízeních hovořit o těchto ztrátách:

- ztráta způsobená únikem hořlaviny v tuhých zbytcích – černý popel obsahuje ještě hořlavinu, která by mohla hořet (při spalování koksu někdy dochází ke spékání a tato ztráta může dosáhnout více než 10 %, při spalování dřeva u krbových kamen můžeme počítat s hodnotou kolem 0,5 %).
- ztráta způsobená únikem hořlaviny ve spalinách (hořlavý plyn CO neshořel a tedy neodevzdal svou energii). U krbových kamen při koncentraci CO do 0,1 % (velmi dobrá kamna) bude tato ztráta přibližně do 1 %, ale při koncentraci kolem jednoho procenta CO může tato ztráta dosáhnout hodnot až 6 %.
- ztráta způsobená únikem tepla v tuhých zbytcích (pouze pokud bychom dávali ven horký popel z popelníku, který při chladnutí postupně odevzdá teplo do okolí, u zařízení s jednorázovou dopravou paliva do kotle a kamen k tomuto běžně nedochází, proto můžeme uvažovat s nulovou hodnotou).
- ztráta způsobená odevzdáním tepla do okolí – záleží na tepelné izolaci kotle, jak je teplý povrch, to se projeví tím, jak velké teplo je v kotelně, tato ztráta se běžně pohybuje do 1,5 %. U krbu, krbových a kachlových kamen, krbové vložky a kuchyňských sporáků se nejedná o ztrátu, protože to jsou zařízení, jejichž cílem je ohřívání vzduchu v místnosti, kde jsou instalována. U těchto zařízení se jedná o výkon zařízení a to je to, co chceme a proč to děláme.

- ztráta způsobená únikem tepla ve spalinách tzv. komínová ztráta (ztráta citelným teplem spalin). Ta představuje část tepla, které tzv. „vyletí komínem“. U dobře pracujících spalovacích zařízení je tato ztráta naprosto dominantní (největší). Proto když se nyní budeme chtít naučit stanovit účinnost spalovacího zařízení, ve kterém doma topíme, budeme hovořit pouze o komínové ztrátě.

Zjednodušeně můžeme říci, že komínová ztráta nejvíce závisí na množství spalin a jejich teplotě. Teplotu spalin jsme schopni jednoduše změřit teploměrem. Ve většině obchodů, v nichž prodávají kamna, si můžete pořídit obyčejný „budíkový“ teploměr (rozsah alespoň do 400 °C), který umístíte tak, abyste změřili teplotu spalin vycházejících ze spalovacího zařízení (mezi spalovací zařízení a komín). Získáte tím první důležitý parametr pro stanovení účinnosti.

Druhým parametrem, který potřebujeme, je informace o množství spalin. Tato hodnota se získává obtížně, ale na druhou stranu souvisí s tím, kolik spalovacího vzduchu se do spalovacího zařízení nasává, tedy s jakým přebytkem spalovacího vzduchu pracujeme. Již jsme si vysvětlili, že každé spalovací zařízení má oblast s optimálním přebytkem spalovacího vzduchu, kde nejlépe pracuje. Také jsme hovořili o tom, že množství spalovacího vzduchu je ovlivněno nejen nastavením všech regulačních prvků (klapky apod.), ale že je důležité i to, jak jsou kamna či kotel těsné. Pokud uzavřeme všechny klapky a plamen hoří stále dál a viditelně nepohasne, je zřejmé, že vzduch je nasáván mimo tyto regulační prvky a nemá smysl je nastavovat, protože nic neregulují. Tyto netěsnosti je třeba nalézt a odstranit (většinou stačí vyměnit těsnicí šňůry ve dvířkách). Až budeme mít vzduch pod kontrolou – změna nastavení regulačních klapek se viditelně odrazí na velikosti a barvě plamene, můžeme těmito klapkami něco nastavit a ovlivnit.

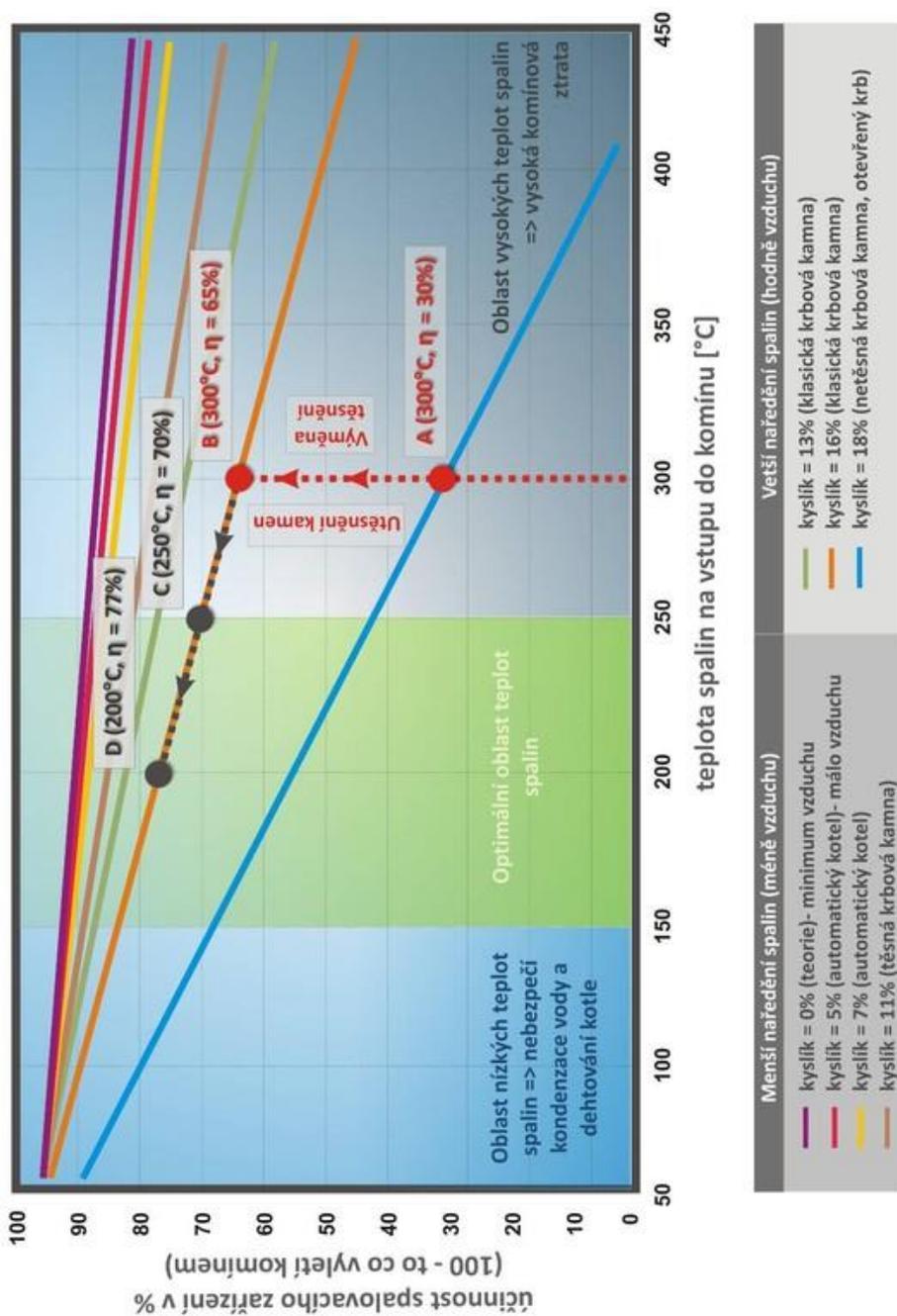
Informace o teplotě a částečně o tom, jak těsné spalovací zařízení máme, nám postačí k tomu, abychom si orientačně stanovili, s jakou účinností palivo spalujeme. S pomocí obr. č. 7 budeme postupovat takto:

- Dle výsledku testu těsnosti a typu spalovacího zařízení si na obr. č. 7 vybereme jednu z křivek, která nejlépe odpovídá naší situaci. Jestliže máme klasická krbová kamna a při uzavření všech regulačních klapek se plamen nijak nezmenšil, naše kamna jsou velmi netěsná a přibližně to odpovídá modré křivce (18 % kyslíku ve spalinách). Znamená to, že množství vzduchu nasávané do kamen se mění jen dle toho, jaký je tah komínu popř. jak máme nastavenou komínovou klapku. Pokud je komín v pořádku, můžeme předpokládat, že množství vzduchu je zbytečně velké a mnoho tepla jde do komínu.

- Během doby jednoho přiložení orientačně změříme průměrnou teplotu spalin za kamny. Např. naměříme teplotu 300 °C.
- Na ose x nalezneme teplotu spalin 300 °C a jdeme směrem nahoru až ke křivce (modrá), která označuje naše kamna – bod „A“. Na svislé ose odečteme hodnotu účinnosti 30 %.
- Výsledek nám tedy říká, že pokud máme netěsná kamna a teplota spalin se pohybuje okolo 300 °C (může to být běžný stav), využíváme teplo obsažené v palivu pouze s účinností 30 % (70 % energie vyhodíme). To jistě stojí za zamyšlení, protože 30 % je dost malá účinnost. Mimochodem, účinnost otevřeného krbu se pohybuje kolem 10 %. Neznamená to, že bychom se neohřáli, ale že ve srovnání s kamny o účinnosti např. 50 % spálíme v otevřeném krbu přibližně pětkrát více paliva.

Pokud chceme snížit spotřebu paliva (zvýšit účinnost), graf nám názorně ukazuje, jaké máme možnosti pro zlepšení. Pokud přijdeme na to, kde máme největší netěsnosti a odstraníme je (většinou stačí vyměnit těsnící šňůru), můžeme se posunout na oranžovou křivku do bodu „B“. Tím jsme zásadním způsobem zvýšili účinnost z původních cca 30 % na 65 % a naše spotřeba paliva klesne na polovinu. Jak se to mohlo stát? Nehovoříme o tom, že budeme mít vzduchové klapky uzavřené, právě naopak, nyní klapkami regulujeme potřebné množství vzduchu, ale co se zásadně změnilo, je to, že jsme omezili přívod falešného vzduchu. Nyní je podstatně menší množství spalin, protože máme částečně vzduch pod kontrolou a regulujeme jeho množství klapkami (menší množství vzduchu znamená menší množství spalin a tím tedy i menší komínovou ztrátu).

Graf naznačuje, jaké máme další možnosti zvýšení účinnosti. Pokud snížíme teplotu spalin, které vychází z kamen, snížíme množství tepla vycházejícího komínem ven, a tím opět zvýšíme účinnost. Teplotu spalin snížíme množstvím spalovaného paliva (musíme méně přikládat), nastavením vzduchových klapek a intenzitou chlazení kamen (u klasických krbových kamen to moc neovlivníme, u teplovodních kamen pomůžeme zvýšit průtok otopné vody, snížit teplotu vratné vody, u krbových vložek intenzitu chlazení zvýšíme otevřením všech klapek ohřívání vzduchu nebo zapnutím ventilátoru ohřívání vzduchu). Pokud teplotu spalin snížíme na hodnotu 250 °C, dostaneme se do bodu „C“, v němž jsme již na účinnosti kolem 70 %. Při teplotě 200 °C by byla účinnost kolem 77 % (bod „D“)



Obr. č. 7 Orientační závislost účinnosti spalovacího zařízení na teplotě spalin a těsnosti spalovacího zařízení

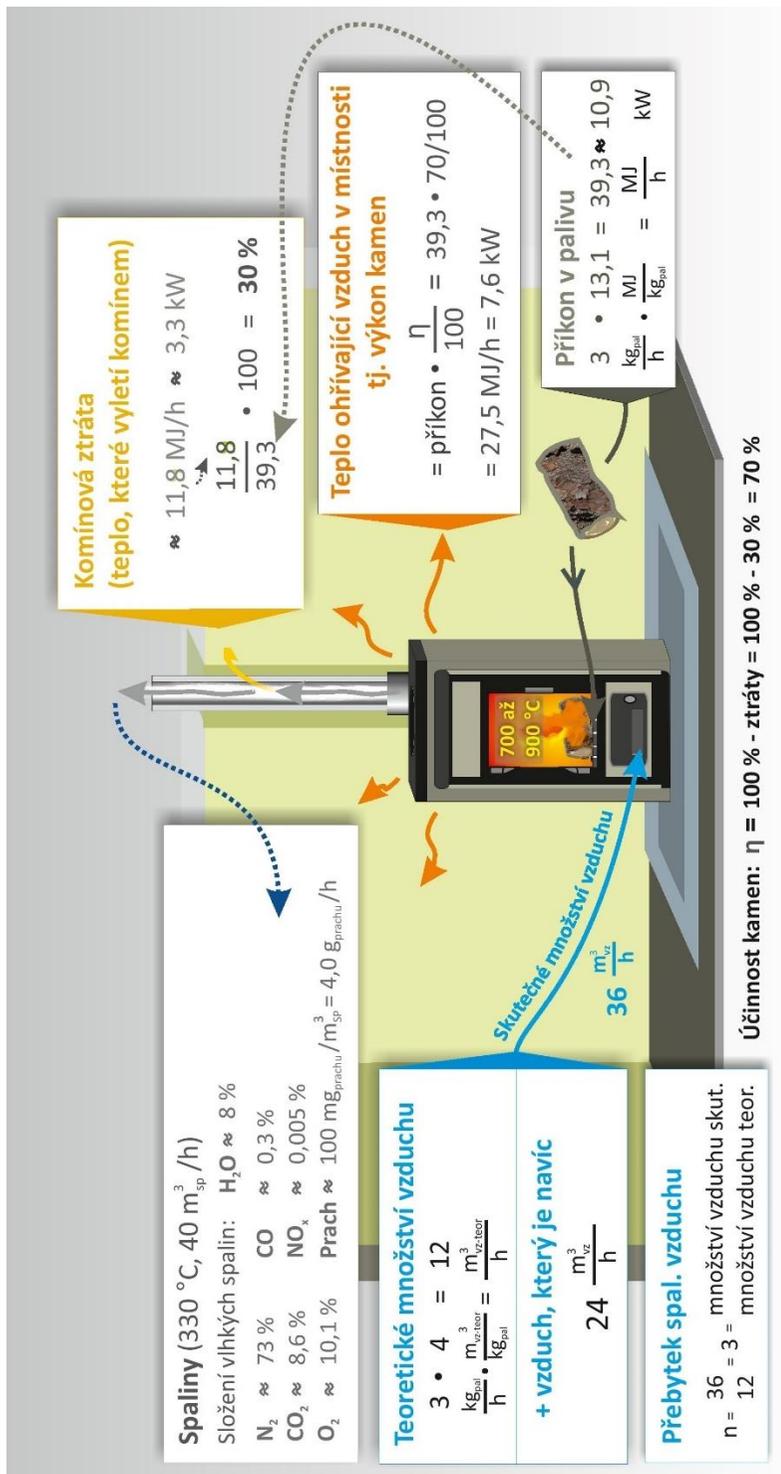
Teplotu spalin bychom u krbových kamen měli udržovat v rozsahu od 150 do 300 °C. U teplovodních kotlů by to mělo být cca od 150 do 250 °C. Pokud bude teplota moc vysoká, „vyletí“ nám mnoho tepla komínem. Ale pozor, teplotu spalin nemůžeme snižovat donekonečna, protože pokud budou spaliny moc studené (pod 150 °C, záleží na složení spalin – obsah vody a SO₃), může dojít ke kondenzaci dehtů a vodní páry a při nízké teplotě spalin může být i problém s malým tahem komínu. Kondenzace snižuje životnost komínu a spalovacího zařízení. Opět se zde jedná o kompromis, kdy spalinám odebereme co nejvíce tepla pro potřeby vytápění, ale jen do té míry, aby nám nezkorodoval kotel či kamna a „přežil“ komín (koroze, vlhnutí zdiva).

Často se hovoří o tom, jaký výkon provozované spalovacího zařízení má. Zde je na místě selský rozum, který říká, že to hlavně bude záležet na tom, kolik paliva budeme spalovat, tedy na příkonu. Pokud si orientačně určíte hodinovou spotřebu paliva, na obr. č. 9 si můžete nalézt, jaký příkon v kW to bude představovat. Takže např. pokud spálíte 3 kg suchého dřeva za hodinu, jedná se o příkon 39,3 MJ/h, což znamená (děleno 3,6) příkon 10,9 kW. Při sedmdesátiprocentní účinnosti kamen bude jejich výkon 7,6 kW. Detailnější bilanční rozbor této situace je na obr. č. 8.

Spotřeba dřeva kg/h	Surové dřevo w = 50%	1 rok sušené dřevo w = 30%	2 roky sušené dřevo w = 20%
	kW	kW	kW
2	4,0	6,2	7,3
3	6,1	9,3	10,9
4	8,1	12,4	14,6
5	10,1	15,5	18,2
6	12,1	18,6	21,9
7	14,1	21,7	25,5
8	16,2	24,8	29,1
9	18,2	27,9	32,8
10	20,2	31,0	36,4

Obr. č. 9 Orientační stanovení příkonu z hodinové spotřeby dřeva

O tom jak lépe topit a co pro to dělat hovoříme na naší „Edukativní show: Smokeman zasahuje“, se kterou jezdíme po městech země České a Moravské, více zde: <http://vec.vsb.cz/cz/zkusebna/edukativni-show-smokeman-zasahuje.html>.



Obr. č. 8 Schematicky vyjádřená bilance spalování suchého dřeva v krbových kamnech

4 Produkce škodlivin z lokálních topenišť

V obecném měřítku existují dva faktory, které ovlivňují kvalitu ovzduší kolem nás:

- rozptylové podmínky,
- množství emisí znečišťujících látek.

Zatímco první faktor může lidská vůle jen těžko ovlivnit, na tom druhém má také svůj podíl společně s průmyslem a dopravou téměř 600 tisíc domácností, které jsou vytápěny spalováním tuhých paliv.

V domácnostech mají lidé čtyři pomyslné stupně volnosti, neboli možnosti, jak optimalizovat vytápění vlastního domu. Jde o to, v čem spalujeme, co spalujeme, kdo topí (jak to umí) a jak se o spalovací zařízení a komín staráme. Každý z uvedených čtyř faktorů má zásadní vliv na množství emisí znečišťujících látek.

Bilance znečišťujících látek provádí ČHMÚ http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emisnibilance_CZ.html a všechna níže uvedená data pocházejí z tohoto zdroje. Vlastní bilance vychází ze spotřeby paliva a emisního faktoru, který vyjadřuje množství znečišťující látky emitované spálením jednotkové hmotnosti paliva (např. kg prachu na tunu paliva). Výše uvedené čtyři faktory zásadním způsobem (mnoho řádové rozdíly) ovlivní hodnotu emisního faktoru a to představuje omezení samotné bilance. Bilance pracuje s „průměrnými“ hodnotami emisních faktorů, které odpovídají spalování předepsaného paliva, kvalitní obsluhou při jmenovitých podmínkách. Tyto podmínky v reálném provozu nastanou jen omezeně, a proto je pravděpodobné, že výsledky bilance emisí z lokálních topenišť jsou spíše podhodnoceny. Ve výsledcích bilance není zahrnuto spalování nekvalitních paliv, vliv špatné obsluhy ani vliv sníženého výkonu spalovacího zařízení včetně špatné údržby.

Každý z provozovatelů spalovacího zařízení může částečně ovlivnit množství emisí. Z pohledu produkce znečišťujících látek u starších kotlů (prohořivací a odhořivací), je lépe přikládat častěji a menší dávku paliva. Po přiložení nechat palivo rozhořet, neuzavírat přívody spalovacích vzduchů. Moudrý člověk, pokud topí dřevem, tak je nechá vysušit aspoň dva roky, protože ví, že bude mít více tepla, spálí méně dřeva, méně se mu kouří z komínu a prodlouží životnost spalovacího zařízení.

Existuje mnoho znečišťujících látek, které jsou při spalování tuhých paliv emitovány. V současné době považujeme za nejproblematictější emise prachu a polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU). Dle výsledků bilancí (ČHMÚ) jsou tradičně největším znečišťovatelem ovzduší (emise prachu) u nás dopravní exhalace, které se na celkových emisích prachu podílejí 49 %.

Samotné domácnosti se však dle bilance s 31 % stávají druhým největším znečišťovatelem ovzduší v České republice, viz obr. č. 10 (2009). V případě monitorování pouze stacionárních zdrojů znečištění by se však podle dat ČHMÚ podílely české domácnosti na celkové produkci prachu více jak 60 %. Průmysl se na znečišťování ovzduší v ČR podílí 27 %, viz obr. č. 11. Jedná se o statistická data, která jsou poplatná použité metodice. Jedná se o průměrné roční hodnoty, které nijak nepostihují smogové situace.



Obr. č. 10 Bilance emisí prachu ze všech zdrojů znečištění v ČR 2009 dle ČHMÚ



Obr. č. 11 Bilance emisí prachu ze všech stacionárních zdrojů znečištění v ČR 2009 dle ČHMÚ

Také použité emisní faktory představují průměrné hodnoty pro daný druh paliva. Tyto emisní faktory nijak nezahrnují vliv obsluhy spalovacího zařízení, vliv nekvalitního paliva ani vliv špatné údržby zařízení a komínu. Na Výzkumném energetickém centru (<http://vec.vsb.cz/cz/>) jsme dělali rozsáhlou experimentální kampaň a navrhli jsme nové emisní faktory

pro jednotlivá paliva. Na obr. č. 12 jsou uvedeny hodnoty nově navržených emisních faktorů, včetně jejich porovnání s hodnotami emisních faktorů dnes používanými u nás a v Evropě. Na obr. č. 13 je uvedeno, kolik prachu vyprodukuje (vylétí komínem) jeden dům, který bude vytápěn spalováním tuhých paliv. Výsledky byly získány při spalování různých typů paliv (HU – hnědé uhlí, ČU – černé uhlí, buk, smrk, BIO pelety – vyšší hodnota byla z kukuřičné slámy a nižší z dřevních pelet), které byly spalovány v různých spalovacích zařízeních. Výsledky ukazují na výrazný vliv typu spalovacího zařízení. Moderní kotle (automatické a zplyňovací) vyprodukují podstatně méně emisí znečišťujících látek, než kotle zastaralých konstrukcí (prohořivací a odhořivací). Výsledky nezohledňují nekvalitní obsluhu a špatnou údržbu, stejně tak zda spalované palivo bylo suchá biomasa anebo tříděné uhlí. Pokud bychom spalovali nekvalitní palivo (mokrě dřevě, netříděné uhlí, odpady apod.) nebo špatně obsluhovali spalovací zařízení (špatně nastavení vzduchových klapek), došlo by podstatným způsobem k navýšení uvedených hodnot emisí prachu.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory MPO v rámci řešení projektu FR-TI1/178 Krbová kamna se sníženou produkcí prachu a MŠMT v rámci řešení projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0036 Inovace pro efektivitu a životní prostředí.



EF na palivo	hnědé uhlí tříděné			černé uhlí tříděné			dřevo		
	EEA	používané	stanovené	EEA	používané	stanovené	EEA	používané	stanovené
Tuhé emise	kg/t	g/kg							
SO ₂	kg/t	g/kg							
NO _x	kg/t	g/kg							
CO	kg/t	g/kg							
NM VOC	kg/t	g/kg							
CO ₂	t/t	kg/kg							
PCB	mg/t	µg/kg							
PCDD/F TEQ	mg/t	µg/kg							
HCB	mg/t	µg/kg							
Benzo(b)fluoranten	mg/t	µg/kg							
Benzo(k)fluoranten	mg/t	µg/kg							
Benzo(a)pyren	mg/t	µg/kg							
Indeno(1,2,3cd)pyren	mg/t	µg/kg							
4PAU	mg/t	µg/kg							

Ap ... obsah popele v původním vzorku paliva (%_{hm})

Sp ... obsah síry v původním vzorku paliva (%_{hm})

Qi ... výhřevnost paliva (MJ/kg)

x ... hodnota není definována

() hodnoty uvedené v závorkách představují konkrétní vypočtené hodnoty EF pro TzL a SO₂ dle Ap a Sp v testovaných palivech

EEA - emisní faktory doporučené dle EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009

Part B - 1. A.4. small combustion

používané - emisní faktory používané ČHMÚ pro bilanci ČR

stanovené - emisní faktory, které byly navrženy dle experimentální kabaně, Výzkumným energetickým centrem

Obr. č. 12 Porovnání stanovených emisních faktorů s dnes používanými

Kolik prachu vyprodukuje jeden dům za rok při vytápění tuhými palivy? [kg_{prachu}/rok a dům]

typ konstrukce zařízení	druh paliva					
	HU1	HU2	ČU	BUK	SMRK	BIO
automatický kotel	6	5	12			0,1 až 12
prohořivací kotel	249		59	16		
odhořivací kotel	32		52	15		
zplyňovací kotel 1	2			9		
zplyňovací kotel 2				2	10	
krbová kamna				7		

Obr. č. 13 Roční produkce prachu při vytápění jednoho rodinného domu různými palivy v různých spalovacích zařízeních

Pokud někdo doma spaluje odpad, existuje metoda, jak mu to prokázat?

Datum: 10.12.2018 Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. Stanislav Bajer, Ing. Milan Dej, Ph.D., Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Jiří Kremer, Ing. Martin Garba, Ing. Petr Kubesa, Ing. František Hopan, Ph.D., Ing. Jiří Ryšavý, Miroslav Jaroch, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Článek popisuje aktuální přístup legislativy ČR ke spalování odpadů v domácnostech, dále popisuje vznik a princip metody pro odhalování spalování nebo spoluspalování odpadů. V závěru článku je uvedeno, jaký je následný postup při prokázání spalování odpadu a jaké sankce hrozí majiteli dotčeného spalovacího zařízení.

1 Úvod

Problematika spalování odpadů není žádnou novinkou a byla již řešena např. v článcích [4] a [5]. Při spalování odpadů v domácích topeništích je blízké okolí zdroje zamořeno emisemi škodlivých látek, což má za následek obtěžování sousedních obyvatel zápachem, poškozování jejich majetku (od ušpinění vypraného prádla sušícího se venku, parapetů a oken až po škody na fasádách domů), v horším případě újmy na jejich zdraví (např. respirační choroby). Z důvodu zamezení emisí těchto nežádoucích látek došlo ke změně legislativy ochrany ovzduší, dovolující za určitých podmínek provést kontrolu podezřelé domácnosti. Kontrolní orgány za tímto účelem potřebují mít nástroj či metodu, která stanoví, co při kontrole odebrat a jak tento odběr vyhodnotit z hlediska spalování či nespalování odpadu.

2 Legislativní rámec problematiky v ČR

Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů (Zákon č. 172/2018 Sb. ze dne 19. července 2018) uvádí, že: *„Odpad podle jiného právního předpisu¹³), s výjimkou odpadu uvedeného v prováděcím právním předpisu, může být tepelně zpracován jen ve stacionárním zdroji, ve kterém je tepelné zpracování odpadu povoleno podle § 11 odst. 2 písm. d). Tepelné zpracování odpadu je možné pouze pod dohledem osoby autorizované podle § 32 odst. 1 písm. c).“* V § 17 odstavci 1 je také uvedeno, že: *„Provozovatel stacionárního zdroje je povinen spalovat ve stacionárním zdroji pouze paliva, která splňují požadavky na kvalitu paliv stanovené prováděcím právním předpisem a jsou určena výrobcem stacionárního zdroje*

nebo paliva uvedená v povolení provozu.“ [1] To tedy znamená, že v malém spalovacím zařízení (kotle, kamna) je nelegální spalovat odpady.

Zákon dále uvádí, že: „Vznikne-li důvodné podezření, že provozovatel spalovacího stacionárního zdroje umístěného v rodinném domě, v bytě nebo ve stavbě pro rodinnou rekreaci, nejde-li o prostory užívané pro podnikatelskou činnost, porušil některou z povinností dle § 17 odstavce 1 (Povinnosti provozovatele stacionárního zdroje), avšak toto porušení nelze prokázat bez provedení kontroly spalovacího stacionárního zdroje (například spalování odpadu), jeho příslušenství nebo používaných paliv, obecní úřad obce s rozšířenou působností provozovatele na tuto skutečnost písemně upozorní a poučí jej o povinnostech provozovatele spalovacího stacionárního zdroje stanovených v odstavci 1 a o následcích opakovaného důvodného podezření na jejich porušení v podobě provedení kontroly. Pokud opakovaně vznikne důvodné podezření, že tento provozovatel nadále nebo opětovně porušuje některou z povinností podle odstavce 1, je kontrolující oprávněn vstoupit do jeho obydlí za účelem kontroly dodržování povinností podle tohoto zákona. Vlastník nebo uživatel těchto prostor je povinen umožnit kontrolujícímu přístup ke spalovacímu stacionárnímu zdroji, jeho příslušenství a používaným palivům.“ [1]

Novela zákona o ochraně ovzduší platná od 1. 9. 2018 přinesla několik dalších změn, které byly zmíněny např. v článku [3].

3 Vznik metody SEMAFOR

MŽP vypsal veřejnou zakázku (dále jen úkol) s názvem: „Podklady pro zpracování metodiky indikace spalování odpadu prostřednictvím analýzy popela“. Řeшитelem této veřejné zakázky bylo Výzkumné energetické centrum, VŠB–TU Ostrava (dále VEC) a v rámci tohoto úkolu byla navržena metoda SEMAFOR, která byla následně implementována do aktualizovaného sdělení MŽP k provozování a ke kontrole spalovacích stacionárních zdrojů o jmenovitém tepelném příkonu 300 kW a nižším [2]. V rámci řešení tohoto úkolu byly provedeny analýzy cca 110 vzorků popelů.

4 Spalovací zkoušky

Při řešení úkolu „Podklady pro zpracování metodiky indikace spalování odpadu prostřednictvím analýzy popela“ byly nejprve naplánovány spalovací zkoušky ve zkušebně VEC, kde je možné provozovat různé spalovací zdroje při podmínkách blízkých reálnému provozu v obydlí uživatelů (provozovatelů) spalovacích zařízení. Pro dodržení těchto podmínek je ve zkušebně instalován

tzv. ředící tunel, umožňující řízené odsávání spalin z komína zkoušeného spalovacího zařízení.

Samotná spalovací zkouška se skládala ze zátopy, vytvoření základní vrstvy a spalování sledovaného paliva. Příkládání bylo řízeno tak, aby byl udržován stabilní výkon spalovacího zařízení (v rozmezí 50 až 80 % jmenovitého výkonu). Délka spalovací zkoušky byla závislá na typu spalovacího zařízení, kvalitě paliva a průběhu spalování. V poslední etapě spalovací zkoušky již nebylo další palivo přikládáno, takže postupně došlo k jeho vyhoření. Po vychladnutí (následující den) byl ze spalovacího zařízení odebrán popel a po tomto odběru bylo zařízení vyčištěno a připraveno na další zkoušku.

Použitá paliva byla vybrána z tuhých paliv dostupných na trhu v ČR a z běžných odpadních látek, které se mohou vyskytovat v domácnostech. Spalovací zkoušky s vytipovanými palivy proběhly v různých spalovacích zařízeních (prohořivací, odhořivací, zplyňovací). Zastoupení jednotlivých spalovacích zařízení bylo zvoleno z hlediska jejich procentuálního zastoupení v praxi a také z hlediska možnosti spalování odpadních látek v těchto zařízeních.

5 Metoda SEMAFOR

Je to metoda, která byla vytvořena za účelem posouzení popelů z pohledu spalování odpadů v malých spalovacích zařízeních. Cílem této metody je po vyhodnocení výsledků označit popel jako červený (prokázání spalování kontaminovaného paliva), oranžový (spalování kontaminovaného paliva nelze prokázat ani vyloučit), nebo zelený (neprokázání spalování kontaminovaného paliva). Metoda je graficky znázorněna na následujícím obrázku.



prokázání spalování kontaminovaného paliva

spalování kontaminovaného paliva nelze prokázat ani vyloučit

neprokázání spalování kontaminovaného paliva

Vyhodnocení je prováděno podle druhu deklarovaného paliva pro 6 následujících skupin:

- biomasa (např. dřevo, dřevní brikety, dřevní pelety)
- hnědé uhlí a hnědouhelné brikety
- černé uhlí

- hnědé uhlí + biomasa
- černé uhlí + biomasa
- nspecifikované palivo (např. blíže neurčené směsi biomasy a uhlí)

Každá z těchto skupin má stanovené své limitní hodnoty koncentrace vybraných ukazatelů (Sb, Cu, Pb, Sn, Zn, Ti a chloridů) ve vzorku popela po spalování paliva.

Limitní hodnoty jednotlivých sledovaných ukazatelů (P_{lim}) byly vypočteny z maximální koncentrace příslušné látky v souboru výsledků (P_{max}). Zjištěná maximální hodnota koncentrace příslušného ukazatele byla následně navýšena o 30 % (předpokládaná maximální nejistota analýzy ve zkušební laboratoři) a pro lepší přehlednost zaokrouhlena na nejbližší vyšší číslo dělitelné 5. Tato hodnota je označena jako limitní. Tento postup byl opakován pro každý ukazatel.

$$P_{lim} \doteq P_{max} \cdot 1,3 \text{ [mg/kg}_{sušiny}]$$

Limitní hodnota ukazatele „Ti“ byla brána jako relevantní pouze pro popely ze spalování biomasy, protože na rozdíl od čistých tuhých biopaliv byla koncentrace titanu zvýšená v popelech ze spalování odpadních dřevěných materiálů (okenní rámy) a směsi biomasy s odpady. V jakékoliv kombinaci s uhlím není tato hodnota brána z důvodu vyšší koncentrace „Ti“ v uhelných palivech.

V následující tabulce jsou uvedeny příslušné limitní hodnoty pro jednotlivé skupiny.

Limitní hodnota ukazatelů [mg/kg suš.]	Pb	Cu	Zn	Cl	Sb	Sn	Ti
biomasa	55	390	3 070	1 690	10	10	1 835
hnědé uhlí	35	300	375	2 015	5	5	x
černé uhlí	75	130	145	1 690	10	10	x
hnědé uhlí + biomasa	55	390	3 070	2 015	10	10	x
černé uhlí + biomasa	75	390	3 070	1 690	10	10	x
nespecifikované palivo	75	390	3 070	2 015	10	10	x

Součástí metody SEMAFOR jsou také požadavky na metody analýz vybraných ukazatelů.

Z výsledků analýz vzorků, uvedených v protokolu z laboratoře, jsou vypočteny „indexy překročení“ jednotlivých ukazatelů dle následující rovnice:

$$\text{index překročení [\%]} = \frac{\text{naměřená koncentrace daného ukazatele [mg / kg suš.]}}{\text{limitní hodnota daného ukazatele [mg / kg suš.]}} \cdot 100$$

Vypočtená hodnota je následně zaokrouhlena na celé číslo dolů.

6 Kritéria hodnocení jednotlivých ukazatelů

- „**povolená hodnota**“ – „index překročení“ daného ukazatele je menší nebo roven 100 %
- „**výrazně překročená hodnota**“ – „index překročení“ daného ukazatele je větší než 200 %
- „**podezřelá hodnota**“ – „index překročení“ daného ukazatele je větší než 100 % a menší nebo roven 200 %

Na základě vyhodnocení jednotlivých ukazatelů je provedeno vyhodnocení celého vzorku popela.

7 Kritéria hodnocení vzorku popela

ČERVENÁ = prokázání spalování kontaminovaného paliva

- dvě a více „**výrazně překročené hodnoty**“ (minimálně dva „indexy překročení“ jsou větší než 200 %)

ORANŽOVÁ = spalování kontaminovaného paliva nelze prokázat ani vyloučit

- dvě a více „**podezřelé hodnoty**“ (minimálně dva „indexy překročení“ jsou větší než 100 % a menší nebo rovny 200 %) nebo jedna „**výrazně překročená hodnota**“ (jeden „index překročení“ je větší než 200 %)

ZELENÁ = neprokázání spalování kontaminovaného paliva

- všechny „**povolené hodnoty**“ (všechny „indexy překročení“ jsou menší nebo rovny 100 %), maximálně jedna „**podezřelá**“ (jeden „index překročení“ je větší než 100 % a menší nebo roven 200 %)

8 Závěr

Na otázku uvedenou v názvu tohoto článku: „Existuje nějaká metoda, která by dokázala odhalit spalování odpadů? “ můžeme odpovědět, že taková metoda existuje, jmenuje se SEMAFOR a je již od 1. 1. 2018 uvedena ve sdělení MŽP [2]. Metoda je založena na analýze odebraného popela a porovnání získaných výsledků s limitními hodnotami vybraných ukazatelů (Sb, Cu, Pb, Sn, Zn, Ti a chloridů) pro čistá, resp. legální paliva. Při vyhodnocení popela tzv. červenou barvou (prokázání spalování kontaminovaného paliva) hrozí majiteli spalovacího zařízení podle zákona o ochraně ovzduší pokuta za přestupek až do výše 50 000 Kč. Skutečnost, že existuje metoda na odhalení spalování odpadů, by však neměla být hlavním impulsem pro provozovatele

proč s tímto „nešvarem“ přestat. Prvotní důvod, proč nespalovat odpady, by měl být především ten, že při spalování odpadů vzniká mnoho škodlivých látek, které nejen že obtěžují obyvatelstvo a životní prostředí, ale především představují významné zdravotní riziko pro zdraví nás všech. Pokud ovšem toto není pro někoho dostatečný důvod, musí nastoupit represivní řešení, kterému má uvedená metoda SEMAFOR napomoci.

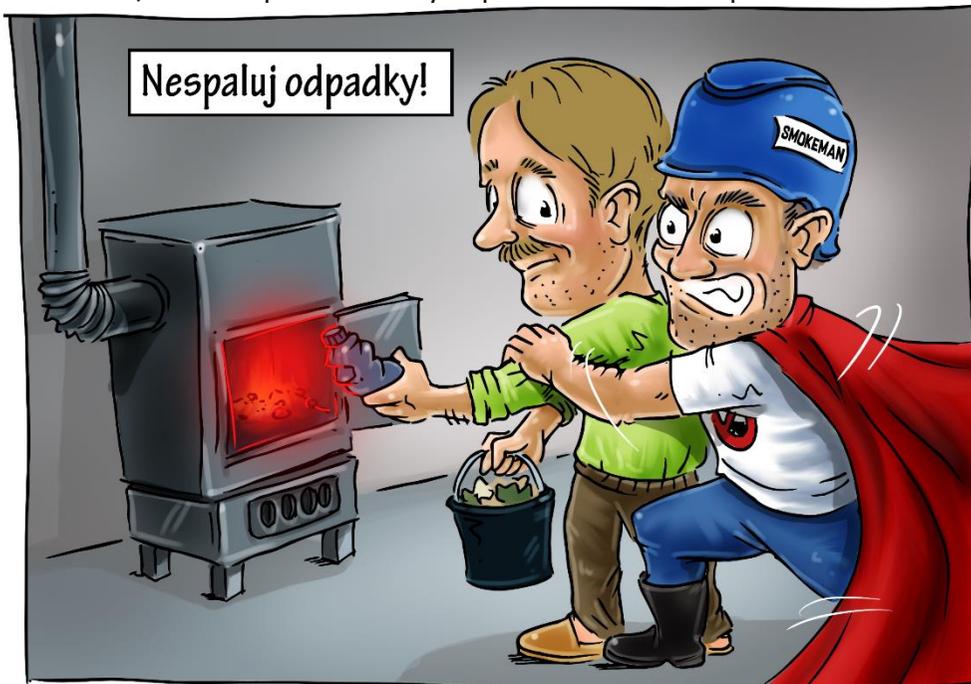
Poděkování

Tento článek vznikl za podpory MŽP v rámci veřejné zakázky T002/16/V00048151 „Podklady pro zpracování metodiky indikace spalování odpadu prostřednictvím analýzy popela“, dále byl podpořen v rámci projektu „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“, identifikační kód LO1403 za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I a projektu SP2018/102 „Identifikace spalování nevhodných paliv při vytápění domácností, použitelnost katalyzátorů pro zmenšení emisí znečišťujících látek“.

Použitá literatura

- [1] Zákon č. 172/2018 Sb. ze dne 19. července 2018, kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/\\$file/Z%20201_2012.pdf](https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/$file/Z%20201_2012.pdf).
- [2] SDĚLENÍ MINISTERSTVA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, ODBORU OCHRANY OVZDUŠÍ k provozování a ke kontrole spalovacích stacionárních zdrojů o jmenovitém tepelném příkonu 300 kW a nižším. Praha, 22. 3. 2018. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/spalovaci_stacionarni_zdroje_300kW_sdeleni
- [3] Pohledem znalce: Co přinese novela zákona o ochraně ovzduší pro lokální topidla na pevná paliva? Tzb-info: tzbinfo stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. c2001-2018, 31. 7. 2018 [cit. 2018-10-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/17699-pohledem-znalce-co-prinese-novela-zakona-o-ochrane-ovzdusi-pro-lokalni-topidla-na-pevna-paliva>.
- [4] Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř? TZB-info: tzbinfo stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. c2001-2018, 14. 1. 2013 [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>.

- [5] O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2) TZB-info: tzbinfo stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. c2001-2018, 28. 5. 2012 [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>.



Proč sušit dřevo a učit lidi topit? Vliv vlhkosti dřeva a obsluhy na emise znečišťujících látek.

Datum: 10.3.2014 | Ing. Jiří Horák, Ph.D.¹, Ing. František Hopan, Ph.D.¹, Ing. Kamil Krpec, Ph.D.¹, Ing. Petr Kubesa¹, Ing. Vendula Drastichová¹, Ing. Lubomír Martiník¹, Zdeněk Kysučan¹, Jiří Kremer¹, prof. Ing. Jozef Jandačka, PhD.², ¹VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum, ²Žilinská univerzita v Žilině, KET | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Problematika množství emisí produkovaných malými spalovacími zařízeními je neustále velmi živá a diskutovaná napříč celou společností. Malé zdroje znečišťování ovzduší spalující tuhá paliva se v celorepublikovém měřítku významně podílejí na znečišťování ovzduší. V lokálním měřítku může být jejich vliv zanedbatelný, anebo také až dominantní.

1 Úvod

Problematika množství emisí produkovaných malými spalovacími zařízeními je neustále velmi živá a diskutovaná napříč celou společností. Malé zdroje znečišťování ovzduší spalující tuhá paliva se v celorepublikovém měřítku významně podílejí na znečišťování ovzduší [11]. V lokálním měřítku (jednotlivé vesnice či města) může být jejich vliv zanedbatelný, anebo také až dominantní [12]. Například emise prachu z malých spalovacích zdrojů se podílejí na znečištění ovzduší v ČR z jedné třetiny [5]. Ještě horší je situace v produkci emisí polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) emitovanými malými zdroji, kde se dle bilancí příspěvek na celorepublikových emisích pohybuje v rozmezí 60 až 80 procent [5], [6]. Pro možnost snížení emisí z malých spalovacích zařízení je potřeba si nejprve definovat parametry, které nejvíce ovlivní tvorbu emisí znečišťujících látek [3], [13]:

- Typ spalovacího zařízení
- Palivo, kterým se ve spalovacím zařízení topí
- Kvalita obsluhy spalovacího zařízení, nastavení provozního výkonu
- Kvalita údržby spalovacího zařízení

Pouze pokud všechny tyto čtyři faktory budou správné, je možné docílit vysoké hospodárnosti provozu, vyšší účinnosti a v neposlední řadě nízkých emisí znečišťujících látek. Jde o kámen úhelný dané problematiky, neboť jeden špatný faktor vždy negativně ovlivní celý výsledek. Experimenty prezentované v tomto příspěvku byly zaměřeny na stanovení vlivu vlhkosti dřeva a sníženého výkonu na produkci emisí znečišťujících látek.

2 Metodika měření emisí

Koncentrace CO je měřena kontinuálním analyzátozem pracujícím na principu absorpce infračerveného (IR) záření. Koncentrace O₂ ve spalinách je stanovována kontinuálním analyzátozem pracujícím na paramagnetickém principu. Koncentrace OGC byly stanovovány kontinuálním analyzátozem pracujícím na plamenoionizačním principu (FID). Pro měření koncentrace prachu byla použita diskontinuální gravimetrická metoda vycházející z normy ISO 9096. Odběr vzorku pro stanovení koncentrace polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) byl prováděn filtračně kondenzačním vzorkovacím systémem a analýza vzorku byla následně prováděna v akreditovaných externích laboratořích metodou HRGC-HRMS. Odběr vzorku prachu a PAU byl prováděn v ředícím tunelu [2].

3 Spalovací zařízení použité při zkouškách

Všechny zkoušky byly provedeny na litinovém prohořivacím kotli (tento kotel byl zvolen, protože je v současné době jeden z nejpoužívanějších) o jmenovitém výkonu 20 kW při spalování kusového dřeva. Dle výrobce je kotel určen mimo jiné na spalování dřeva o maximální vlhkosti 20 % a výhřevnosti v rozmezí 14 až 18 MJ/kg. Výrobce uváděný minimální výkon kotle je 6,5 kW.

Kotel dle výrobce splňuje emisní třídu 1 dle normy EN 303-5:1999 s těmito požadavky [4]:

- koncentrace CO **25 000** mg/m³ *
- koncentrace OGC (celkový organický uhlík) **2 000** mg/m³ *
- koncentrace prachu (TZL) **200** mg/m³ *
- minimální účinnost pro použité spalovací zařízení je **54,8** %

* vztaženo na suché spaliny a 0 °C, 101 325 Pa a 10 % O₂

4 Provoz spalovacího zařízení při jednotlivých zkouškách

Na zkušebně Výzkumného energetického centra proběhla v roce 2013 série pěti spalovacích zkoušek s cílem stanovení vlivu vlhkosti paliva (smrkového dřeva) a stanovení vlivu kvality obsluhy – nastavení provozního výkonu (snížený a jmenovitý) na produkci emisí znečišťujících látek. Dále byly k porovnání přidány výsledky měření se suchým bukovým dřívím, které proběhly již v roce 2008. V tomto příspěvku jsou diskutovány výsledky zkoušek pro suché dřevo (buk, smrk) a pro mokrý smrk při různých výkonech kotle. Zkouška č. 1 reprezentuje průměrné hodnoty ze tří naměřených

zkoušek. Ostatní zkoušky č. 2 až 6 reprezentují hodnoty z jedné spalovací zkoušky během dvou až tří spalovacích period.

Zkouška č. 1 – Suché bukové dříví, spalovací zařízení bylo provozováno na jmenovitý výkon dle návodu výrobce kotle.

Zkouška č. 2 – Suché smrkové dříví, spalovací zařízení bylo provozováno na jmenovitý výkon dle návodu výrobce kotle.

Zkouška č. 3 – Suché smrkové dříví, spalovací zařízení bylo provozováno na snížený výkon regulací množství spalovacího vzduchu (uzavření komínové klapky, uzavření sekundárního vzduchu, razantní přivření primárního vzduchu). Suché palivo mělo tendenci hořet, ale hoření bylo omezováno sníženým přívodem spalovacího vzduchu.

Zkouška č. 4 – Mokrý smrkové dříví, spalovací zařízení bylo provozováno na jmenovitý výkon dle návodu výrobce kotle. Pro tuto zkoušku jsme chtěli použít palivo s vysokým obsahem vody (50 %_{hm.}), avšak po přiložení pouze takto vlhkého paliva do kotle, došlo po několika minutách k uhasnutí plamene v ohništi. Proto byl modifikován průběh zkoušky tak, že byla přiložena jedna třetina suchého smrkového dřeva o vlhkosti 9,6 %_{hm.}, kterou jsme nechali po dobu cca 3 minut rozhořet. Následně byly přiloženy zbylé dvě třetiny vlhkého smrkového dřeva o vlhkosti 49,8 %_{hm.}. Jmenovitého výkonu se však nepodařilo docílit, neboť mokrá část paliva se velmi špatně rozhořovala a dlouhou dobu trvalo, než se palivo vysušilo a zapálilo.

Zkouška č. 5 – Mokrý smrkové dříví, spalovací zařízení bylo provozováno na snížený výkon. Přikládání paliva probíhalo stejně jako u zkoušky č. 4 (třetina suchého paliva), ale navíc byla uzavřena komínová klapka. Uzavření komínové klapky se však téměř neprojevovalo na výkonu kotle, který byl jen o málo nižší než u zkoušky č. 4.

Zkouška č. 6 – Surové smrkové dříví, jednalo se o čerstvě pokácený smrk. Vlhkost čerstvě pokáceného stromu byla 60,4 %_{hm.}, spalovací zařízení bylo provozováno na jmenovitý výkon (nastavení kotle bylo shodné s doporučeným nastavením dle návodu k obsluze). Přikládání paliva probíhalo stejně jako u zkoušky č. 4 (třetina suchého paliva), jmenovitého výkonu kotle se však nepodařilo docílit.

5 Diskuse výsledků měření

Naměřená data jsou souhrnně uvedena v tab. č. 1. Pro srovnání jsou použity emise těchto znečišťujících látek oxid uhelnatý (CO), celkový organický uhlík (OGC), tuhé znečišťující látky (TZL) a jeden zástupce PAU benzo(a)pyren (B(a)P).

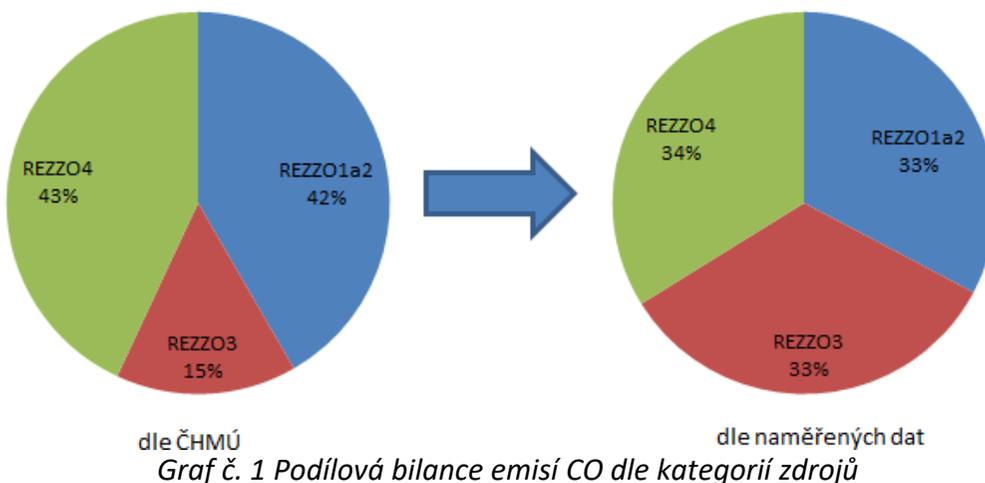
Pro srovnání naměřených průměrných koncentrací byly jako porovnávací měřítko zvoleny požadavky normy EN 303-5:1999 emisní třída 1 (štítek kotle). Koncentrace emisí CO (25 000 mg/m³ při 0 °C, 101 325 Pa a 10 % O₂) nebyly překročeny pro žádnou z uvedených spalovacích zkoušek. Koncentrace emisí OGC (2 000 mg/m³ při 0 °C, 101 325 Pa a 10 % O₂) byly překročeny při zkouškách č. 1, 4, 5 a 6. Koncentrace TZL (200 mg/m³ při 0 °C, 101 325 Pa a 10 % O₂) byly překročeny u všech spalovacích zkoušek. Požadované účinnosti kotle ve výši 55 % bylo dosaženo u všech spalovacích zkoušek (pohybovala se od 64 do 77 %). Emisní třída 1 je zastaralá a od roku 2014 bude možné v ČR prodávat pouze kotle splňující minimálně emisní třídu 3 (hodnoty v tab. č. 1). Hodnoty emisní třídy 3 jsou pro prohořivací kotle v reálném provozu nedosažitelné.

Dřevo je v ČR významným palivem [9], [10], které je používáno pro vytápění domácností (dřevo 53 %, hnědé uhlí 46 % celkové spotřeby tuhých paliv) a je velmi pravděpodobné, že jeho podstatná část je spálena v prohořivacích kotlích, které tvoří cca polovinu ze všech provozovaných zařízení [1]. Ze srovnání experimentálně stanovených měrných emisí a emisního faktoru (EF) pro CO vyplývá, že námi stanovené měrné emise CO jsou mnohonásobně vyšší (75 až 137krát) než dosud užívaný EF pro dřevo. Podobná je situace také u OGC (naměřené měrné emise OGC jsou 5,6 až 22,7 krát vyšší). „Optimističtější“ je situace u TZL, kde ani jedna námi naměřená hodnota měrné emise TZL nedosahuje dnes používanou hodnotu EF TZL pro dřevo. Měrné emise B(a)P byly naměřeny v rozsahu od 1,68 do 15,6 g/t. Spodní hranice těchto hodnot je přibližně na stejné úrovni jako EF používaný Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ).

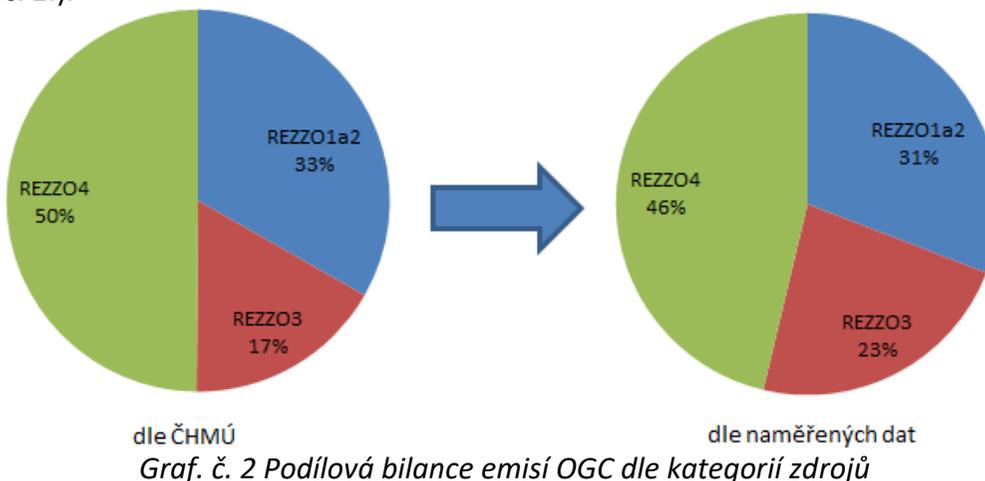
Jak by se zde prezentované měrné emise promítly do celorepublikových bilancí v případě, že by byly použity jako EF? Nejvíce by se navýšily emise CO a OGC. Podle ČHMÚ byly v roce 2011 emise CO z velkých a středních zdrojů (REZZO 1 a 2) 150 tis. t/rok, emise CO z mobilních zdrojů (REZZO 4) 155 tis. t/rok a emise CO z malých zdrojů (REZZO 3) 55 tis. t/rok. Pokud by se EF CO pro dřevo změnil z dnes užívané hodnoty 1,00 kg/t na hodnotu 75 kg/t (nejnižší námi naměřená hodnota měrné emise z tab. č. 1), tak by se emise CO z malých zdrojů změnily z 55tis. t/rok na 153 tis. t/rok (cca trojnásobný nárůst) a emise CO z malých zdrojů by tvořily přibližně jednu třetinu celkových emisí CO v ČR (viz graf. č. 1).

Tab. č. 1 Výsledky měření koncentrací emisí a měrných emisí na prohořivacím kotli při spalování dřeva

označení zkoušky		1	2	3	4	5	6		
palivo		buk	smrk	smrk	smrk	smrk	smrk		
požadovaná vlhkost		suchý	suchý	suchý	mokrý	mokrý	surový		
požadovaný výkon		jmenovitý	jmenovitý	snižovaný	jmenovitý	snižovaný	jmenovitý		
vlhkost paliva	%	9,58	11,0	11,0	36,5	37,8	43,9		
výhřevnost paliva	MJ/kg	15,7	16,1	16,1	10,8	10,5	9,24		
výkon kotle	kW	19,3	21,8	14,3	14,8	11,2	12		
teplota spalin za	°C	222	350	215	229	177	217		
koncentrace O ₂ za kotlem	%	10,9	11,1	9,37	14,6	12,6	14,0		
koncentrace emisí ve spalinách (přepočteno na 0 °C, 101325 Pa a 10 % O ₂)								EN 303-5 třída 1	EN 303-5 třída 3
CO	mg/m ³	11 000	12 600	17 500	15 500	18 000	15 900	25 000	5 000
OGC	mg/m ³	2 030	631	n.d.	3 260	3 700	4 170	2 000	150
TZL	mg/m ³	227	280	512	663	775	820	200	150
měrné emise vztažené na hmotnost paliva								EF dle ČHMÚ	
CO	kg/t	75,9	98,9	137	86,7	98,6	78,6	1,00	
OGC	kg/t	14,0	4,94	n.d.	18,2	20,2	20,5	0,890	
TZL	kg/t	1,56	2,19	4,01	3,7	4,24	4,05	5,20	
B(a)P	g/t	2,16	1,68	15,6	2,46	4,50	3,11	2,48	
měrné emise vztažené na výhřevnost paliva									
CO	kg/GJ	4,84	6,14	8,49	8,04	9,38	8,51		
OGC	kg/GJ	0,892	0,307	n.d.	1,69	1,93	2,22		
TZL	kg/GJ	0,0996	0,136	0,249	0,343	0,403	0,438		
B(a)P	mg/GJ	138	104	969	228	428	337		
n.d. - hodnoty nebyly naměřeny z důvodu poruchy analyzátoru (zablokovaná odběrová trasa)									
EF dle ČHMÚ – Emisní faktory pro dřevo používané Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) pro výpočet emisních bilancí malých spalovacích zdrojů pro ČR									



S OGC je to podobné. Podle ČHMÚ byly v roce 2011 emise OGC z velkých a středních zdrojů (REZZO 1 a 2) 23,2 tis. t/rok, emise OGC z mobilních zdrojů (REZZO 4) 34,8 tis. t/rok a emise OGC z malých zdrojů (REZZO 3) 11,8 tis. t/rok. Pokud by se EF OGC pro dřevo změnil z dnes užívané hodnoty 0,89 kg/t na hodnotu 4,94 kg/t (nejnižší námi naměřená hodnota měrné emise z tab. č. 1), tak by se emise OGC z malých zdrojů změnilly z 11,8 tis. t/rok na 17,2 tis. t/rok a dosáhly by stejné úrovně jako emise z velkých a středních zdrojů. Na celkových emisích OGC by se malé zdroje podílely z 23 % (viz graf č. 2.).



Pro vzájemné srovnání jednotlivých experimentálních zkoušek mezi sebou není srovnávání měrných emisí vztažených na hmotnost paliva příliš objektivní. Objektivnější je srovnání měrných emisí vztažených na výhřevnost

paliva tedy na energii. Toto srovnání je výhodné hlavně díky faktu, že se výhřevnost zkoušených paliv značně liší díky různému obsahu vody ve zkoušených palivech (prvkové složení a tedy i výhřevnost hořlaviny suché dřevní hmoty je téměř konstantní). Měrné emise uvedené v tab. č. 1 vztahené na výhřevnost paliva můžeme srovnávat z několika hledisek:

- Srovnání emisí ze spalování **tvrdeho a měkkého** dřeva (buk a smrk) při jmenovitém výkonu. Zde je možno konstatovat, že emise všech zde porovnávaných znečišťujících látek **jsou na přibližně podobné úrovni**.
- Srovnání emisí při spalování **mokrého, surového a suchého** smrkového dřeva při jmenovitém výkonu ukazuje, že **spalování vlhkého dřeva vede k tvorbě většího množství emisí** pro všechny uváděné znečišťující látky.
- Srovnání emisí při **sníženém a jmenovitém** výkonu při spalování jak suchého, tak mokrého smrkového dřeva ukazuje, že **při sníženém výkonu dochází k tvorbě většího množství emisí** pro všechny uváděné znečišťující látky.

Prozatím je pro nás nevysvětlitelné větší množství emisí B(a)P stanovené při spalování suchého dřeva při sníženém výkonu ve srovnání s množstvím emisí B(a)P při spalování mokrého dřeva taktéž při sníženém výkonu. Z podstaty by spalování mokrého dřeva při sníženém výkonu mělo být horší než spalování dřeva suchého. Výsledky zkoušek však ukazují, že měrné emise B(a)P jsou u mokrého dřeva při sníženém výkonu (428 mg/GJ) nižší než u suchého dřeva při sníženém výkonu (969 mg/GJ). Vypadá to tak, že vliv nekvalitního spalování na produkci emisí B(a)P je vyšší než vliv vlhkosti paliva. Na tuto oblast bude zaměřena pozornost při naší další experimentální činnosti.

6 Závěr

V úvodu bylo řečeno, že množství emisí závisí na čtyřech základních faktorech a v tomto příspěvku jsme se zaměřili na dva faktory. Prvním je kvalita paliva (v tomto případě byla zkoumána vlhkost paliva) a druhým je vliv obsluhy spalovacího zařízení – nastavení klapky a tím provoz na jmenovitý či snížený výkon. Z prezentovaných výsledků vyplývá, že jak spalování vlhkého paliva, tak provoz spalovacího zařízení na nižší než jmenovitý výkon vede k tvorbě vyššího množství emisí znečišťujících látek.

Naměřené emise znečišťujících látek byly srovnávány s požadavky danými normou EN 303-5 pro emisní třídu 1, do které bylo zařazeno spalovací zařízení, na kterém byly prováděny zkoušky. Z tohoto srovnání je patrné, že při certifikaci je certifikované spalovací zařízení provozováno jiným než běžným způsobem a některých požadovaných limitů je dosaženo pouze

při certifikaci. Dle dnes platné legislativy [7] se od 1. 1. 2014 tyto kotle již nesmí u nás vůbec prodávat a od září 2022 by se neměly ani provozovat. Je ovšem velkou otázkou, jak bude tento požadavek uveden do reálného života [8].

Dále byly naměřené emise srovnávány s emisními faktory pro dřevo používanými v ČHMÚ pro stanovování emisních bilancí z malých zdrojů. Při srovnání například měrných emisí CO docházíme k poznatku, že rozdíl mezi používaným emisním faktorem (1,00 kg CO na tunu dřeva) a reálně naměřených měrných emisí (75 až 137 kg CO na tunu dřeva) je přibližně stonásobný.

Proč tedy sušit dřevo a učit lidi topit? Při sníženém výkonu kotle (uzavření přívodu spalovacího vzduchu) se zhoršuje kvalita spalování. Mokrě dřevo výrazně snižuje výhřevnost paliva, takže není možné dosáhnout jmenovitého výkonu kotle. Voda nehoří, takže se musí nejdříve v ohništi ohřát a vypařit, což odebírá energii z ohniště, což snižuje teplotu v ohništi a snižuje množství uvolněného tepla do okolí a také kvalitu spalování. Chytrý člověk suší dřevo, protože se více zahřeje a méně smrdí (myšleno komín jeho domu, ne on sám :-)).

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory TAČR v rámci řešení projektu Centra kompetence TE01020036. Operačním programem Vzdělávání pro konkurenceschopnost a spolufinancovaného Evropským sociálním fondem, státním rozpočtem České republiky v rámci řešení projektu Příležitost pro mladé výzkumníky, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.0016, v rámci řešení projektu SP2014/125 Měrné emise znečišťujících látek a provozní vlastnosti malých spalovacích zdrojů a v rámci projektu „Rozvoj spolupráce mezi VEC a KET se zaměřením na odborný růst doktorandů a výzkumných pracovníků“, reg. č. 22410320040, který je realizován v rámci OP Přeshraniční spolupráce Slovenská republika – Česká republika a je spolufinancován z Evropského fondu pro regionální rozvoj.



Použitá literatura

- [1] HORÁK, J., HOPAN, F., KRPEC, K., DEJ, M., PEKÁREK, V., ŠYC, M., OCELKA, T., TOMŠEJ, T., Návrh emisních faktorů znečišťujících látek

- pro spalování tuhých paliv v malých spalovacích zařízeních. Topenářství, instalace, 2012, roč. 2012, č. 1, s. 42–46.
- [2] KRPEC, K., HORÁK, J., HOPAN, F., Měření emisí znečišťujících látek z kotlů malých výkonů. TZB-info, 2012, leden 2012, s. 1–10. dostupné na: <http://vytapani.tzb-info.cz/ochrana-ovzdusi/8200-mereni-emisi-znecestujicich-latek-z-kotlu-malych-vykonu>
- [3] HORÁK, J., KUBESA, P., HOPAN, F., KRPEC, K., KYSUČAN, Z., Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř?. TZB-info, 2013, roč. neuveden, č. Leden, s. 1–8. dostupné na: <http://vytapani.tzb-info.cz/zdroje-tepla/9475-co-nejvice-ovlivni-tvuj-kour>
- [4] EN 303-5:1999. Heating boilers – Part 5: Heating boilers for solid fuels, hand and automatically stocked, nominal heat output of up to 300 kW – Terminology, requirements, testing and marking.
- [5] MŽP ČR, Národní program snižování emisí České republiky, 2007, dostupné na: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_snizovani_emisi/\\$FILE/OOO-NPSE_CR-20120117.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_program_snizovani_emisi/$FILE/OOO-NPSE_CR-20120117.pdf)
- [6] European Environmental Agency, Bilance emisí pro země EU, <http://www.eea.europa.eu/>
- [7] Sbírka zákonů č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší. Zákon ze dne 2. května 2012
- [8] HORÁK, J., KRPEC, K., DVOŘÁK, J., HOPAN, F., Legislativní požadavky na teplovodní kotle na tuhá paliva určené k vytápění domácností. Topenářství – instalace, 2011, č. 5/2011, s. 50–54, ISSN 1211-0906.
- [9] Spotřeba energie v domácnostech ČR v roce 2003, ČSÚ, Praha, 2005.
- [10] BUFKA, A., ROSECKÝ, D., Spotřeba biomasy v domácnostech. MPO, Praha, 2006
- [11] NOSEK R., HOLUBČÍK M.: Measurement of particulate matter during the combustion of phytomass in small heat sources, Power control and optimization, Yangon, Myanmar, 2013. - ISBN 978-983-44483-63.
- [12] JANDAČKA, J., PAPUČÍK, Š., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M., KAPJOR, A.: Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy, GEORG Žilina, 2011, ISBN 978-80-89401-40-6
- [13] JANDAČKA, J., NOSEK, R., HOLUBČÍK, M.: Analýza vplyvu množstva spaľovacieho vzduchu na emisné a výkonové parametre zdrojov tepla, Vykurovanie 2012, ročník 20, rok 2012, s.99-104, ISBN 978-80-89216-45-1

SMOKEMANovo desatero správného topiče

Datum: 2.3.2015 | Ing. Jiří Horák, Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Ve Výzkumném energetickém centru (VEC) se problematice malých spalovacích zařízení pro vytápění domácností věnujeme již více než 20 let. Zkušenosti celého týmu zkušebny byly formulovány do SMOKEMANova desatera správného topiče.

Chcete ušetřit za palivo a méně kouřem obtěžovat své okolí? Ve Výzkumném energetickém centru (VEC) se problematice malých spalovacích zařízení pro vytápění domácností věnujeme již více než 20 let. VEC je vysokoškolským ústavem Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava (VŠB-TUO) a jeho součástí je Zkušebna spalovacích zařízení, kde bylo uskutečněno již téměř tři tisíce spalovacích zkoušek s nejrůznějšími typy kotlů, kamen a paliv. Jejich výsledky a dlouhodobé praktické zkušenosti umožňují říci, že existují „pouze“ čtyři základní parametry, které nejvíce ovlivní to, co vychází z komínů při vytápění domácností tuhými palivy. Jde především o to:

- do čeho palivo dáváme (typ spalovacího zařízení)
 - co tam dáváme (typ a kvalita paliva)
 - kdo to tam dává (kvalita obsluhy)
 - jak se o zařízení staráme (údržba spalovacího zařízení a spalinových cest).
- Pokud jen jeden z výše uvedených parametrů bude „špatný,“ tak to ovlivní celý výsledek a v tom je úhelný kámen této oblasti. Nestačí „jen“ zlepšit jeden parametr, např. vyměnit kotel, je třeba se zaměřit na všechny čtyři, více v článku „Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř?“.

Během všeho toho hoření, ohně, kouře a dýmu se na zkušebně VEC „zrodila“ postava SMOKEMANA, který se snaží lidem prakticky ukázat, jak mohou lépe vytápět jejich domácnosti tuhými palivy. Konfucius řekl: „Co slyším, to zapomenu. Co vidím, si pamatuji. Co si vyzkouším, tomu rozumím.“ Proto se během edukativní show „SMOKEMAN zasahuje“ snažíme vše ukázat prakticky. U nás je dotýkání přísně nařízeno. Zkušenosti celého týmu zkušebny byly formulovány do SMOKEMANova desatera správného topiče, které zní takto:

- (1) nebuď lhostejný k sobě ani ke svému okolí, zajímej se o to, co jde z Tvého komína**
- (2) suš dřevo minimálně jeden až dva roky**

- (3) nespaluj odpadky**
- (4) nastav regulační klapky tak, aby vzduch mohl k palivu, oheň nedus**
- (5) přikládej častěji menší dávku paliva než jednu velkou dávku za dlouhý čas**
- (6) pravidelně čisti kotel a komín**
- (7) používej moderní kotel či kamna**
- (8) udržuj teplotu spalin za kotlem mezi 150 až 250 °C**
- (9) nevyhazuj teplo oknem, nepřetápěj a top jen tam, kde potřebuješ**
- (10) top tak, jak chceš, aby topil Tvůj soused**

1 „nebud' lhostejný k sobě ani ke svému okolí, zajímej se o to, co jde z Tvého komína“

Lhostejnost je jed společnosti a spolehlivý základ jejího úpadku. Osobní svoboda končí tam, kde začíná svoboda někoho druhého. Pokud by kouř z „mého“ komínu respektoval hranice mého pozemku, tak pak může být každému jedno co, jak a v čem spalují. Jenže kouř nerespektuje hranice nejen pozemků, ale ani států. Potom pár bezohledných „čmoudilů“ dokáže výrazně zhoršit kvalitu vzduchu v širokém okolí jejich domu. Lhostejnost se dá částečně ovlivnit osvětou, ale pro nepoučitelné je třeba najít funkční represivní nástroje.

2 „suš dřevo minimálně jeden až dva roky – více se ohřeje a bude z toho méně kouře“

Čerstvé dřevo je různě mokré podle toho, ve kterém ročním období byl strom pokácen (v zimě je sušší). Pokud se jedná o „živý“ strom (ne suška), je obsah vody v dřevní hmotě cca 35 až 60 %. Pro obsah 50 % to znamená, že pokud přiložíme do kamen jeden kilogram dřeva, dáme do ohniště půl kilogramu dřevní hmoty a půl litru vody. Protože voda nehoří, nejdříve se ohřeje a potom se začne v ohništi vypařovat, což spotřebuje část tepla a následkem je nižší teplota v ohništi a horší kvalita spalování. Pokud necháme sušit dřevo v dobře větraném dřevníku nebo venku pod přístřeškem, cca za jeden až dva roky klesne obsah vody pod 20 %. Dřevo s takovýmto obsahem vlhkosti již můžeme považovat za suché a vhodné pro spalování v kamnech či kotlích. Vlhkost dřeva si jednoduše změříte doma v kuchyni, více článku: „Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva?“. Více o tom, proč sušit dřevo, naleznete v článku: „Proč sušit dřevo a učit lidi topit?“. V jednom metru krychlovém zemního plynu je cca tolik energie jako ve dvou kilogramech suchého či čtyřech kilogramech vlhkého dřeva.

3 „nespaluj odpadky“

Plasty separujte, protože se dají recyklovat a opět využít. Domovní odpad v malých spalovacích zařízeních sice shoří, ale jen za cenu nadměrné produkce emisí celé škály znečišťujících látek. Při edukativní show „SMOKEMAN zasahuje“ jsme mnohokrát k hořícímu dřevu přidali malé množství odpadu (např. PET láhev či linoleum). Tmavost kouře a jeho zápach jednoznačně hovořily o zhoršené kvalitě spalování. Naměřené koncentrace prachu byly přibližně deset až sto krát vyšší než při spalování suchého dřeva. Stejně tak dramaticky naroste množství polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) včetně prokazatelně karcinogenního B(a)P. Odpadky obsahují rozumné množství energie, ale kvalitně se dají spálit pouze v zařízeních k tomu určených (spalovny), kde je spalovací proces řízen a spaliny jsou následně dostatečně vyčištěny.

4 „nastav regulační klapky tak, aby vzduch mohl k palivu, oheň nedus“

V palivu hoří hořlavina, která je z převážné části tvořena uhlíkem a vodíkem. Hoření je doprovázeno uvolňováním energie, takže plamen a spaliny mají vysokou teplotu. Konstrukce kamen a kotlů umožňuje teplo z plamene a spalin použít pro vytápění obytných místností nebo ohřev otopné vody.

Pro kvalitní spálení jednoho kilogramu dřeva a uhlí je potřeba do kamen či kotle přivést přibližně 10 m³ vzduchu. Pokud se kyslík k hořlavině nedostane v potřebném množství, shoří hořlavina pouze částečně nebo vůbec. Tím se snižuje míra využití energie paliva a také se zvyšuje produkce znečišťujících látek. Více o tom, co je nutné proto, aby hořlavina kvalitně shořela a o přirovnání spalování ke vztahu muže a ženy se dozvíte v článku: “O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (1)”. Oheň potřebuje vzduch, nejhorší je kotel naložit a zavřít všechny přívody spalovacího vzduchu. Ono to sice vydrží až do rána, ale účinnost spalovacího procesu je velmi malá a produkce znečišťujících látek velká. Skutečnost, že kouř z komína není viditelný, ještě nezaručuje, že spalování je kvalitní. Více o tom, co nejvíce ovlivní kouř, naleznete v článku: “Co nejvíce ovlivní Tvůj kouř?”.

5 „přikládej raději častěji menší dávku paliva než jednu velkou dávku za dlouhý čas (neplatí pro automaty a zplyňovací kotle)“

Jeden ze základních rozdílů mezi moderními automatickými kotli a starými prohořivacími kotli je ve více než řádově rozdílném množství paliva, které právě hoří ve spalovací komoře. Je to dáno rozdílným způsobem dopravy paliva. U prohořivacího kotle je celá dávka paliva pro jednu spalovací periodu (několik hodin) přiložena najednou do spalovací komory (desítky kg paliva). U automatického kotle je palivo do spalovací komory dopravováno postupně (perioda dopravy je v desítkách sekund) a množství paliva ve spalovací komoře je o dva řády menší (stovky gramů) než u prohořivacího kotle. Palivo dopravené do ohniště prochází těmito fázemi: ohřev, usušení (odpaří se voda), uvolnění prchavé hořlaviny (plamen) a hoření odplyněného zbytku (uhlík – koks, dřevěné uhlí). Tyto fáze se různě překrývají, ale se zvětšující se dávkou paliva dochází k zvýraznění přechodu jednotlivých fází, takže kvalita spalování je u prohořivacích kotlů výrazně horší než u kotlů automatických. Pokud budeme palivo do prohořivacího kotle přikládat častěji po menších dávkách a k hořlavině se dostane dostatek vzduchu (nedusit), bude kvalita spalování lepší. Více o časovém průběhu hoření naleznete v článku: „Proces hoření kusového dřeva“. Ve starém kotli se dá topit buď zcela špatně, nebo trochu lépe. Ale i když se budete snažit sebevíc, staré kotle budou ovzduší znečišťovat vždy řádově více než moderní kotle. Starý kotel ročně vypustí do ovzduší přibližně 50 až 300 kg prachu. Nové kotle jsou podstatně kvalitnější, a pokud jsou správně provozovány (samozřejmě, že se dají také provozovat špatně), potom za rok do vzduchu vypustí méně než 15 kg prachu. Zlepšení nastane také u dalších škodlivin.

6 „pravidelně čisti kotel a komín“

Nezbytná je údržba kotle a komínu. Saze a popílek usazený na výměníku včetně zkondenzovaných dehtů se chovají jako izolace a brání předávání tepla spaliny otopné vodě. Teplota spalin vycházejících z kotle je vyšší, takže míra využití tepla z paliva se zmenšuje, roste komínová ztráta. Stejně tak se mohou tvořit nánosy v komíně. Ten je nutné čistit zejména kvůli bezpečnosti, protože u znečištěného komína může dojít k zahoření sazí. Pokud je spalovací proces velmi nekvalitní, hrozí postupné zanášení (až blokace) spalinových cest (hlavně komínu), což způsobuje provozní (komín netáhne) a bezpečnostní problémy (spaliny se částečně uvolňují do místnosti, kde je provozováno spalovací zařízení).

7 „používej moderní kotel či kamna (dle svých možností)“

Typ spalovacího zařízení zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu spalovacího procesu. Moderní spalovací zařízení znamená použití moderní technologie, ale nemá to nic společného s datem koupě zařízení. Obecně patří mezi kvalitní technologie automatické a zplyňovací kotle, ale i u nich se setkáme s lepší a horší kvalitou. Cena není vždy zárukou lepší kvality, je však možno říct, že se jedná o rozumně použitelný parametr. Obměna spalovacích zařízení je finančně nákladný proces a ne všichni si ho mohou dovolit (nejde jen o nový kotel, ale také o jeho instalaci a přídatné systémy). V dnešní době existují různé dotační programy, které se snaží zmenšovat rozdíl mezi náklady na pořízení nové a staré technologie (např. kotlíkové dotace, nová zelená úsporám a další jsou v jednání). Před plánovanou výměnou spalovacího zařízení se poradte s odborníky, nejen s jejich prodejci a výrobcí.

Spalování tuhých paliv je vždy doprovázeno produkcí znečišťujících látek a obecným cílem by mělo být snížení jejich množství na přijatelnou úroveň. Jedním z nástrojů ke snížení množství vypouštěných znečišťujících látek mohou být legislativní požadavky, které jsou uplatňovány při certifikaci spalovacích zařízení (uvádění na trh), a dále při jejich provozu. Cílem těchto požadavků je zvýšení kvality spalovacích zařízení. Tento nástroj není všelék a má samozřejmě svá omezení. Zjednodušeně v přirovnání s kontrolou kvality automobilů můžeme hovořit o tzv. STK kotle, která říká toto: pokud je vše optimální, může dané spalovací zařízení dosáhnout takovýchto (viz štítek) optimálních parametrů (emise a účinnost). Pokud jsou reálné provozní podmínky výrazně odlišné od těch, které byly na zkušebně, budou také reálné parametry (emise a účinnost) výrazně odlišné. Více o legislativních požadavcích platných v ČR a dalších evropských zemích naleznete pro kotle v článku: „Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? Legislativa v ČR a Evropě“ a pro kamna, vložky a sporáky v článku: „Jaké parametry musí splnit kamna, krbové vložky a sporáky? Legislativa v ČR a Evropě“.

Reálná provozní účinnost starých spalovacích zařízení je cca 40 až 65 %. Spotřeba paliva je u moderních spalovacích zařízení menší, protože jejich reálná provozní účinnosti je cca 80 až 90 %.

8 „udržuj teplotu spalin za kotlem mezi 150 až 250 °C“

Kotel či kamna jsou „jen obyčejné“ stroje, které slouží k přeměně chemicky vázané energie paliva na tepelnou energii pro vytápění domácností. Jelikož se nejedná o perpetuum mobile, je v zařízení využita jen část energie paliva, přičemž zbytek energie je nevyužit, ztracen. Sto procent mínus jednotlivé ztráty představují účinnost zařízení. Účinnost spalovacích zařízení na tuhá

paliva se pohybuje od necelých deseti (otevřené krby) až do devadesáti procent (automatické a zplyňovací kotle). U správně provozovaného spalovacího zařízení, je podstatná pouze komínová ztráta (nevyužité teplo vychází komínem). Pokud je spalovací zařízení provozováno špatně, razantně se navýší ztráty únikem hořlaviny v tuhých zbytcích a ve spalinách (černý popel, saze, vysoké koncentrace CO). Velikost komínové ztráty závisí na teplotě spalin a jejich množství. Účinnost vašeho spalovacího zařízení jste si schopni orientačně stanovit sami doma. Základní popis tohoto stanovení, včetně návodu na zvýšení provozní účinnosti, naleznete v článku: „Jak si doma změřit účinnost spalovacího zařízení a lze účinnost nějak zvětšit?“.

Pokud při správném přebytku spalovacího vzduchu je teplota spalin vyšší než 250 °C, je komínová ztráta zbytečně velká (vypouštíte teplo komínem). Se snižující teplotou spalin se zmenšuje komínová ztráta, a tedy roste míra využití energie z paliva. Pokud ovšem by teplota spalin byla moc nízká (dle typu zařízení menší než cca 100 až 150 °C), hrozí kondenzace vodní páry a dehtů, což snižuje životnost komínu a spalovacího zařízení. Jde tedy o kompromis, který říká ani moc málo (aby nedocházelo ke kondenzaci) a ani moc vysoko (abychom nevyhazovali teplo komínem).

9 „nevyhazuj teplo oknem, nepřetápěj a top jen tam, kde potřebuješ“

Spotřebu tepla ovlivňují parametry stavby, způsob jejího využívání a také požadovaná teplota v jednotlivých místnostech a chodbách obytných domů. Zvažte, kde potřebujete jak topit a optimalizujte spotřebu tepla (termostatické hlavice, řízená regulace). Snížení teploty v místnostech o 1 °C ušetří přibližně 6 % ročních nákladů na vytápění.

10 „top tak, jak chceš, aby topil Tvůj soused“

V Knize knih je v Matoušově evangeliu 7/12 uvedeno toto: „Jak byste chtěli, aby lidé jednali s vámi, tak vy jednejte s nimi; v tom je celý Zákon, i Proroci“. Cokoliv k tomuto dodávat by bylo zbytečné.

Nejedná se o vyčerpávající pravidla, ale pokud se jimi budeme řídit, mohlo by se celkové množství znečišťujících látek vypuštěných z „malých“ komínů zmenšit, což částečně (někde více, někde méně) napomůže lepší kvalitě vzduchu, který dýcháme. Je snadné říkat to oni a svalovat vinu jen na druhé, SMOKEMANovo desatero je skromný návod k tomu, jak (pokud topíme tuhými palivy) začít u sebe a pomoci dobré věci. Až nebudeme mít trám ve svém oku, můžeme se začít zabývat třískou a trámem v oku svých sousedů.

11 Výtah z životopisu SMOKEMANA:

Smokeman se narodil na zkušebně Výzkumného energetického centra 26. června, ráno v 5:52, někdy v sedmdesátých letech minulého století. Jeho životním posláním je zmenšovat kouř z našich komínů a napomáhat k čistotě ovzduší. Je to vyučený horník (1990), který se naučil těžit uhlí v hlubinných dolech, potom v rámci své diplomové práce svařoval autokola, aby ve finále v rámci svého doktorátu to vytěžené uhlí spaloval v kotlích malých výkonů. V letech 2003–2005 působil jako Národní expert na Joint Research Centre v Ispře (Itálie), kde se zabýval tvorbou perzistentních organických látek při spalování tuhých paliv v lokálních topeništích. Nyní působí jako vedoucí zkušebny Výzkumného energetického centra, které je vysokoškolským ústavem na VŠB-TU Ostrava. V poslední době se aktivně podílí na popularizaci vědy a problematiky ochrany ovzduší v rámci edukativní show „SMOKEMAN zasahuje“ a projektu „Ambasadoři vědy“.

Poděkování

Poděkování: Tento příspěvek byl vypracován v rámci projektu „Inovace pro efektivitu a životní prostředí – Growth“, identifikační kód LO1403 za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I.



Stačí „jen“ vyměnit kotle, aby byl čistší vzduch? Pilotní měření moderních kotlů na pevná paliva v domácnostech

Datum: 28.10.2019 | Ing. Jiří Horák, Ph.D., Ing. František Hopan, Ph.D., Jiří Kremer, Ing. Kamil Krpec, Ph.D., Ing. Milan Dej, Ph.D., Ing. Petr Kubesa, Ing. Lenka Kuboňová, Ph.D., Ing. Jiří Ryšavý, Ing. Oleksandr Molchanov, VŠB-TU Ostrava, Výzkumné energetické centrum | Recenzent: Ing. Zdeněk Lyčka

Byla provedena měření na osmi moderních kotlích na pevná paliva, které splňovaly požadavky na ekodesign v reálném provozu. V této práci jsou uvedeny jejich dosažené emisní a provozní parametry.

Vzhledem k častým dotazům k tomuto článku byla na úvod článku dodatečně vložena poznámka recenzenta, kterou mnozí čtenáři v závěru článku přehlédli.

Poznámka recenzenta

Článek pojednává o bezesporu zajímavém a prospěšném projektu. V závěrečném hodnocení autoři uvádějí, že „reálné provozní hodnoty jsou výsledkem kombinace těchto čtyř faktorů:

- c) kvalita konstrukce kotle,
- d) kvalita paliva,
- e) kvalita obsluhy,
- f) kvalita údržby.“

Zde bych rád doplnil, že čím modernější je konstrukce kotle na pevná paliva, tím závislejší je jeho optimální provoz také na kvalitní a funkční spalinové cestě a jeho bezproblémové „spolupráci“ s otopnou soustavou, například v článku zmiňovaný problém s nastavením optimálního teplotního spádu. Tento fakt je důležité zohlednit při hodnocení provozu kotle, neboť jej může výrazně ovlivnit. Měření byly kotle instalované v rámci kotlíkových dotací, tedy kotle plní požadavky na emise a účinnost dle Nařízení Komise EU č.2015/1189 o ekodesignu kotlů na pevná paliva. Zde je nutné zdůraznit, že:

Neplatí zaběhlé klišé o tom, že „ekodesign je víc než třída 5“.

Protože poměrně velké množství kotlů třídy 4 plní podmínky ekodesignu, a tudíž budou na trhu pro zákazníky dostupné i v následujících letech. Z tohoto pohledu je nutné pohlížet také na výsledky měření. Dále je nutné si uvědomit, že limity stanovené v normě ČSN EN 303-5:2013 pro zařazení kotlů do tříd jsou limity, kterých lze dosáhnout pouze za ideálních provozních

podmínek. Významné je i to, že hodnoty naměřené v tomto projektu jsou v průměru shodné, či dokonce lepší než emisní faktory, které se používají pro dané konstrukce při inventarizaci emisí ze spalování pevných paliv v domácnostech, tedy v souhrnných statistikách za Českou republiku. Velký přínos projektu vidím v tom, že opět nastoluje otázku povinného měření kotlů na pevná paliva při uvádění do provozu a nepřímo také podtrhuje význam zavedených pravidelných kontrol těchto spalovacích zdrojů podle zákona o ochraně ovzduší.

1 Úvod

Jedním z nejvýznamnějších antropogenních zdrojů znečišťování ovzduší (mimo jiné také aerosolem) je vytápění domácností pevnými palivy. Vláda ČR se prostřednictvím MŽP snaží o zlepšení kvality životního prostředí mimo jiné i ovzduší. Pozitivní aktivitou je dotovaná výměna starých a nevyhovujících kotlů za moderní kotle na pevná paliva (automatické, zplyňovací kotle) nebo přechod na jiné šetrné způsoby vytápění (tepelná čerpadla, plynové kondenzační kotle). Předmětem tohoto příspěvku je prezentace výsledků pilotního projektu měření osmi moderních kotlů pořízených z kotlíkových dotací. Všechny měřené kotle splňují požadavky na Ekodesign pro uvádění výrobků na trh (Nařízení Komise EU č. 2015/1189), jejich skutečně dosahované emisní parametry při reálném provozu v domácnostech jsou prezentovány v tomto příspěvku.

2 Metody měření

Bylo změřeno osm moderních teplovodních kotlů na pevná paliva, přičemž se nejedná o reprezentativní, náhodný vzorek a prezentované výsledky není možno extrapolovat na celou Českou republiku. Jmenovitý výkon měřených kotlů byl v rozsahu 20 až 30 kW.



Jedná se o tři zplyňovací kotle na kusové dříví, dva automatické kotle na hnědé uhlí a dva automatické kotle na dřevní pelety. Kotle byly, mimo dvě výjimky (1A, 2A) okomentované dále v textu, provozovány majitelem dle jeho zvyklostí. Výkon byl u automatických kotlů dán aktuální spotřebou domů,

u zplyňovacích kotlů bylo přebytečné teplo ukládáno do vybitých akumulčních nádrží (počáteční teplota cca 20 °C), takže kotle měly být provozovány při jmenovitém výkonu.

Byly měřeny parametry spalin ve spalinové cestě cca 100 až 500 mm za kotlem a) kontinuální měření teploty termočlávkovým čidlem, b) kontinuální měření tahu elektronickým tlakoměrem, c) kontinuální měření objemového podílu kyslíku v suchých spalinách paramagnetickou metodou, d) kontinuální měření objemového podílu oxidu uhelnatého v suchých spalinách NDIR metodou, e) jednorázový gravimetrický odběr podílu prachu v suchých spalinách, přičemž nebyly striktně dodrženy požadavky izokinetického vzorkování. Dále byly nepřímou metodou vyhodnoceny energetické účinnosti spalovacích zařízení. Byly provedeny rozbory paliv, stanoveny ztráty citelným teplem spalin, ztráty plynným a mechanickým nedopalem, ztráty sdílením tepla do okolí nebyly stanovovány (pro výpočet byla uvažována konstantní hodnota 3,5 %, dle zkušeností s podobnými zařízeními při provozu na snížený výkon). Tepelný výkon kotle byl stanoven na základě měření teplotního spádu (příložná čidla Pt100) a průtoku otopné vody (příložný ultrazvukový průtokoměr).

Stanovené koncentrace CO a prachu (přepočítané na $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při 0 °C, 101,3 kPa a referenční obsah $\text{O}_2 = 10 \%$) a energetické účinnosti (stanovené v % příkonu kotle) byly porovnány s limitními hodnotami pro třídy kotlů dle ČSN EN 303-5 (viz Obr. 1 až 3).

3 Výsledky a diskuse

3.1 Zplyňovací kotle na dřevo s ručním přikládáním

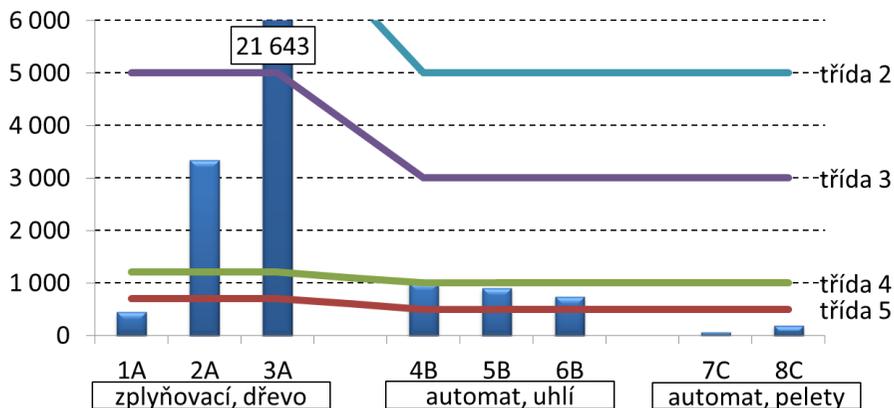
Pro tento typ kotlů je nezbytné, aby byly provozovány na jmenovitý výkon. Proto je použití těchto kotlů, včetně podmínek pro udělení dotace, podmíněno instalací dostatečné kapacity akumulčních nádob. Byli měřeni tři zástupci těchto kotlů.

Kotel s označením **1A** byl provozován na jmenovitý výkon přímo výrobcem zařízení, který byl měření přítomen a provozoval kotel optimálním způsobem. Přítomnost výrobce u měření si vyžádal provozovatel kotle. Během provozu bylo do kotle poměrně často zasahováno kvůli zabránění klenbování paliva nad hořákem, což by způsobovalo snížení kvality spalování a částečné snížení výkonu. Správně nastavený zplyňovací kotel, který je provozován téměř při jmenovitém výkonu a bez klenbování, může v reálném provozu běžně dosahovat kvality spalování i emisí prachu na úrovni třídy kotle 5 (CO pod 700, prach pod $60 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při 0 °C, 101,3 kPa a 10 % O_2 , viz Tab. 1 a Obr. 1, kotel

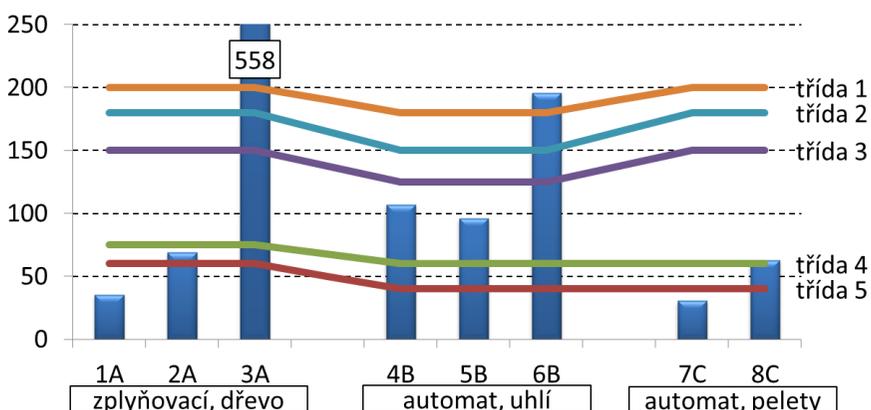
1A). Tento fakt dokládá kvalitu těchto konstrukcí kotlů, ale chybné nastavení kotle (nevhodně nastavená řídicí jednotka, zanedbání údržby) nebo otopné soustavy (nevhodné zapojení, provoz bez akumulčních nádrží nebo při nabitých akumulčních nádržích) způsobí provoz na snížený výkon. V praxi to znamená provoz s nedostatkem vzduchu se sníženými otáčkami nebo dokonce vypnutým odsávacím ventilátorem spalin.

Kotel s označením **2A** byl nevhodně nastaven, což způsobovalo trvalý provoz na snížený výkon, kolem 30 % jmenovitého výkonu. Majitel byl s nově pořízeným kotlem nespokojen. Asi měsíc před měřením došlo k nahromadění dehtů za kotlem a v komíně a následnému vyhoření komínu. Sledováním provozu kotle bylo zjištěno, že se po krátké době provozu snižují otáčky spalinového ventilátoru, což způsobuje provoz na snížený výkon i při vybitých akumulčních nádržích. Problém byl identifikován v nastavení maximální teploty spalin za kotlem na nízké úrovni 185 °C, po zvýšení této hodnoty na 250 °C se spalinový ventilátor roztočil na plné otáčky a následně se podstatně zvýšil i výkon kotle. Měření bylo provedeno až po tomto zásahu a kotel byl provozován po většinu doby provozu bez zásahů obsluhy (cca 1x za hodinu odstranění klenbování), přesto kotel dosáhl pouze přibližně poloviny jmenovitého výkonu (viz Tab. 1). Při provozu se projevoval efekt klenbování paliva nad hořákem, což způsobovalo kolísání kvality spalování a také snížení výkonu.

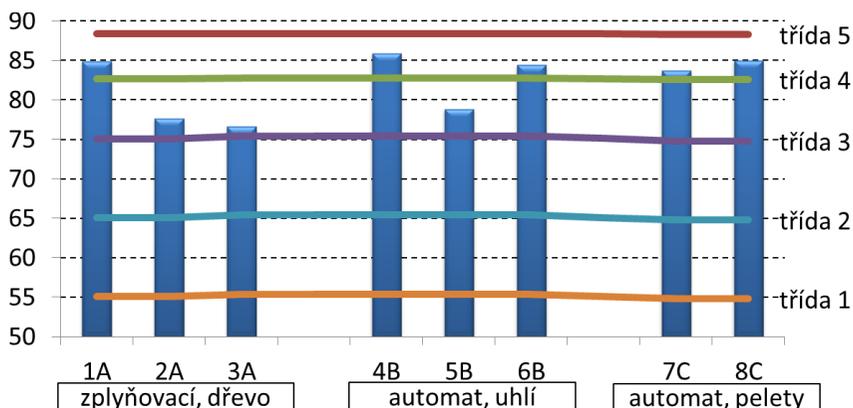
Kotel s označením 3A byl majitelem provozován obvyklým způsobem, ale byl nevhodně nastaven, to způsobovalo trvalý provoz na snížený výkon. Měření tohoto kotle bylo provedeno při tomto sníženém výkonu. Kotel vykazoval emisní parametry horší než staré prohořivací kotle (viz Tab. 1 a Obr. 1 až 3). Příčinou sníženého výkonu bylo nastavení vysoké teploty vratné otopné vody na 75 °C (pravděpodobně z důvodů zabránění koroze kotle), v kombinaci s nízkou požadovanou teplotou výstupní otopné vody nastavené na 80 °C. Tento stav způsobil, že při daném průtoku otopné vody (cca 1900 dm³/h) bylo možno dosáhnout maximální teplotní diference pouze 5 °C a bylo dosaženo výkonu pouze cca 11 kW. Problém byl v chybném požadavku na teplotu výstupní otopné vody, ne v tom, že teplota vratné otopné vody by byla zbytečně vysoko (to opravdu snižuje problémy s korozí).



Obr. 1 Srovnání naměřených hodnot koncentrace CO s limitními hodnotami dle ČSN EN 303-5 ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při 0 °C, 101 kPa, 10 % O₂, suchý plyn)



Obr. 2 Srovnání naměřených hodnot koncentrace prachu s limitními hodnotami dle ČSN EN 303-5 ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při 0 °C, 101 kPa, 10 % O₂, suchý plyn)



Obr. 3 Srovnání naměřených hodnot účinnosti s limitními hodnotami dle ČSN EN 303-5 (% příkonu)

3.2 Automatické kotle na hnědé uhlí

Z hlediska kvality spalování všechny tři měřené automatické kotle na uhlí (kotle označené **4B**, **5B** a **6B**) plnily limity CO pro třídu kotle 4 ($1000 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $101,3 \text{ kPa}$ a 10 \% O_2) viz Tab. 1 a Obr. 1. Dva majitelé uhelných kotlů si stěžovali na kvalitu dodávaného uhlí, která podstatně ovlivňuje množství produkovaného prachu. Kotel s označením **6B** byl montážní firmou dodán bez turbulátorů. Pravděpodobně díky tomu a také díky nekvalitnímu palivu (s vyšším podílem jemných frakcí) koncentrace prachu nedosáhla ani na limit třídy 1 ($180 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $101,3 \text{ kPa}$ a 10 \% O_2 , viz Tab. 1 a Obr. 2). U dalších dvou kotlů (**4B** a **5B**) koncentrace prachu splňovaly limit pro kotle třídy 3 ($150 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $101,3 \text{ kPa}$ a 10 \% O_2 , viz. Tab. 1 a Obr. 2).

3.3 Automatické kotle na dřevní pelety

Třetí skupinou byly automatické kotle na dřevní pelety. Tyto kotle pracovaly z hlediska kvality spalování (koncentrace CO viz Tab. 1 a Obr. 1, kotle s označením **7C** a **8C**) nejlépe ze všech měřených kotlů. Oba zástupci plnili limit CO pro třídu kotle 5 ($500 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ při $0 \text{ }^\circ\text{C}$, $101,3 \text{ kPa}$ a 10 \% O_2). U obou měřených kotlů byly shledány drobné potíže se zaneseným výměníkem. Majitel kotle označeného **7C** dokonce netušil, že i tato konstrukce kotlů potřebuje jednou za čas vyčistit. Po následném vyčištění výměníku se teplota spalin za výměníkem, dle vyjádření majitele, snížila cca o $50 \text{ }^\circ\text{C}$, což znamenalo změnu účinnosti ze stanovených $83,8 \text{ \%}$ na cca $87,4 \text{ \%}$. Tato hodnota účinnosti se již velmi přibližuje k limitu pro třídu 5, která požaduje účinnost minimálně $88,3 \text{ \%}$ (viz Obr. 3). Během měření dosáhly tyto kotle třídy 3 a 4 (při současném hodnocení limitních hodnot CO, prachu a účinnosti viz Tab. 1 a Obr. 1 až 3).

Tab. 1: Výsledky měření moderních kotlů na pevná paliva

označení kotle	konstrukce kotle, palivo	CO		prach		účinnost		dosažený výkon	jmenovitý výkon	komínový tah
		mg/m ^{3*}	třída ** kotle	mg/m ^{3*}	třída ** kotle	%	třída ** kotle			
1A	zplyňovací, kusové	449	5	35	5	84,9	4	16,8	22	34
2A		3 347	3	69	4	77,7	3	15,7	30	34
3A	dřevo	21 643	1	558	–	76,7	3	10,9	25	19
4B		997	4	107	3	85,9	4	10,2	25	23
5B	automat, hnědé uhlí	903	4	96	3	78,8	3	11,2	25	28
6B		746	4	196	–	84,5	4	11,4	25	15
7C	automat, dřevní pelety	62	5	31	5	83,8	4	12,4	20	21
8C		191	5	63	3	85	4	17,5	30	4

* suchý plyn; 0 °C; 101,3 kPa; O₂ = 10 % ** dle ČSN EN 303-5 dosažená pro daný parametr

Závěr

Prezentované výsledky není možno extrapolovat jako dopad kotlíkových dotací a rozhodně je není možno interpretovat jako selhání kotlíkových dotací. Naopak, pobídka k pořízení nového kotle s pomocí dotace



výrazným způsobem urychlila rozšíření moderních kotlů na pevná paliva v České republice. Také je nutné na tomto místě zdůraznit, že prezentované výsledky není možno považovat jako reprezentativní parametry určité konstrukce kotlů. Pro takové zhodnocení je nutné provést větší počet měření na reálně provozovaných zařízeních všech hlavních výrobců kotlů používaných v České republice.

Reálné provozní hodnoty jsou výsledkem kombinace těchto čtyř faktorů: a) kvalita konstrukce kotle, b) kvalita paliva, c) kvalita obsluhy, d) kvalita údržby. Vliv konstrukce konkrétního kotle je tedy pouze jedním ze čtyř faktorů ovlivňujících kvalitu výsledného procesu. V případě, že selže optimalizace jednoho nebo více z dalších tří faktorů, tak dochází ke zhoršení emisních nebo provozních parametrů. U moderních kotlů je selhání téměř vždy vinou lidského faktoru, ať již v podobě servisního technika nebo provozovatele.

Provedená měření je nutno chápat jako pilotní aktivitu pro potvrzení či vyvrácení hypotézy, že reálné moderní kotle mohou být výrazně zatíženy chybami způsobenými nedostatečnou důsledností 1) při instalaci a uvádění kotle do provozu, 2) nekvalitními dodávkami paliva, 3) nedostatečným proškolením uživatelů a 4) také určitými nesprávně vyloženými fakty (vytržení dobrých rad a principů z kontextu) (Horák, 2016). Například případ, kdy byla snížena požadovaná maximální teplota za kotlem, s pravděpodobným cílem zvýšení účinnosti kotle, tímto zásahem však došlo také k nechtěnému omezení výkonu zplyňovacího kotle. Nebo ve druhém případě, kdy někdo nastavil vysokou teplotu vratné vody do kotle, pravděpodobně pro zabránění koroze kotle, kde tímto zásahem v kombinaci s nevhodně malým tepelným spádem došlo taktéž k omezení výkonu zplyňovacího kotle a následnému dramatickému zhoršení emisních parametrů kotle. Problémem nebyla

hodnota vratné otopné vody, ale chybně nastavený požadavek na nízkou teplotu výstupní otopné vody (byla zbytečně nízká, takže kotel nemohl jet na jmenovitý výkon). Samostatnou otázkou je zavedení požadavku na realizaci měření při uvedení zařízení do provozu u zákazníka, které má prokázat splnění požadovaných parametrů – v Rakousku je to podmínka pro vyplacení dotace.

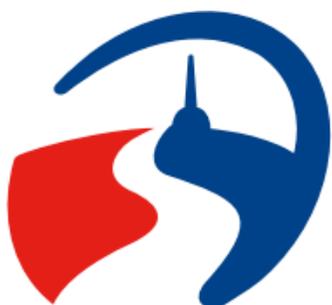
Ukazuje se, že citlivou oblastí u automatických uhelných kotlů je granulometrie paliva (zvýšený podíl jemné frakce navyšuje emise prachu). Jako dobrou lze považovat skutečnost, že při správném nastavení automatického kotle je značně omezen vliv obsluhy, neboť je minimalizován „pouze“ na příkládání paliva, vynášení popele a čištění výměníku a spalinových cest. Pro majitele nových zplyňovacích kotlů není vůbec snadné opustit jejich zažité návyky z provozu již zlikvidovaných starých kotlů. Je nutné si uvědomit, že každý typ spalovacího zařízení vyžaduje trochu jiný přístup. Správná edukace těchto uživatelů se jeví jako důležitý faktor pro optimalizaci provozu kotlů.

Cílem příspěvku je upozornit odbornou veřejnost na zjištěné chyby při uvádění instalovaných zařízení do provozu a nedostatky v zaškolování obsluhy kotlů. Pokud budou tyto skutečnosti správně pojmenovány, pak je možno najít nástroje pro jejich účinnou eliminaci. Naším společným cílem je totiž to, aby se emise znečišťujících látek snižovaly.

Splnění přísných emisních a provozních parametrů kotle při certifikaci není zárukou, že kotel bude takto pracovat i při skutečném provozu v domácnostech. Pro optimální provoz kotlů je potřeba kromě kvalitního kotle splnit ještě další tři podmínky. Tedy použití vhodného paliva, správná obsluha kotle a pečlivá údržba. Potom je zaručeno, že kotel bude pracovat optimálně s minimálním množstvím produkovaných znečišťujících látek a s vysokou účinností. Samotná výměna kotlů tedy nemusí být zárukou pro výrazné snížení emisí znečišťujících látek, ale je podmínkou první a nezbytnou. Proto autoři považují „kotlíkovou dotaci“ za správný počín, který by ovšem měl být doprovázen dalšími aktivitami.

Poděkování

Tato práce vznikla v rámci projektu „Realizace pilotního kontrolního měření emisí znečišťujících látek na spalovacích zařízeních pořízených v rámci kotlíkových dotací MSK“ podpořeného Moravskoslezským krajem, za podpory projektu reg. č.: CZ.02.1.01/0.0/0.0/18_069/0010049 financovaného z ERDF, v rámci projektu LO1403 za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I a projektu č. FV20623 za finanční podpory MPO v rámci programu TRIO.



Moravskoslezský
kraj

Použitá literatura

- [1] ČSN EN 303-5 Kotle pro ústřední vytápění – Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 300 kW – Terminologie, požadavky, zkoušení a značení.
- [2] Nařízení Komise EU č. 2015/1189, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign kotlů na tuhá paliva.
- [3] Horák, J.: Kotlíkgate Opravdu nové kotle pořízené z dotace budou produkovat méně emisí znečišťujících látek?, TZB-info (2016)



Užitečné odkazy:

<https://populair.sk/sk>

- Web projektu LIFE IP – zlepšení kvality ovzduší

https://www.mzp.cz/cz/lokalni_topeniste#reseni_problemu

- Web ministerstva životního prostředí: Lokální topeniště

http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/NovaMetodikaEBSp_alovZdrojuVDomacnostech.pdf

- Metodika inventarizace emisí ze spalování paliv v domácnostech

<https://www.tzb-info.cz/firmy/vyzkumne-energeticke-centrum-vsbtu-ostrava/clanky>

- Aktuální a kompletní seznam vydaných článků pracovníky Výzkumného energetického centra Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava na portálu tzb-info.cz

<https://vec.vsb.cz/cs/>

- Web Výzkumného energetického centra Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava

Autor:	Ing. Jiří Horák, Ph.D. a kolektiv	
Grafický návrh:	Michal Riedl, Ing. Jiří Ryšavý, Ing. Petr Kubesa, Ing. František Hopan, Ph.D.	
Vysokoškolský ústav:	Výzkumné energetické centrum, Inovace pro efektivitu a životní prostředí	9340, 9341
Název:	Příručka správného vytápění	
Místo, rok vydání:	Ostrava, 2020, I. vydání	
Počet stran:	222 stran	
Vydala:	Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava	
Tisk:	AMOS repro, spol. s.r.o.	
Náklad:	1000 ks	
Neprodejné		

Tato kniha obsahuje výběr z článků, které publikovali pracovníci zkušebny Výzkumného energetického centra – VŠB TU Ostrava na portálu www.tzb-info.cz a v odborném časopise Vytápění, větrání, instalace.

Za obsah této knihy jsou odpovědní autoři. Informace zde uvedené nejsou oficiálním stanoviskem orgánů Evropské unie. Poskytovatel dotace, Ministerstvo životního prostředí, není zodpovědný za obsah tohoto sdělení.

ISBN 978-80-248-4452-7