

Ing. Jan HRDLIČKA, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav energetiky

Biomasa a uhlí v kotlích malých výkonů

Biomass and Coal in small Scale Boilers

Recenzent
 prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.

Autor se zabývá odlišnými palivovými vlastnostmi biomasy a uhlí. Popisuje specifické přístupy ke spalování a konstrukci kotlů a především pak ke způsobu přívodu spalovacího vzduchu. Věnuje se rovněž novým legislativním požadavkům pro malé zdroje tepla vyplývajícím z novelizace zákona o ochraně ovzduší.

Klíčová slova: uhlí, biomasa, spalování, ochrana ovzduší

The author deals with different combustible properties of biomass and coal. He describes specific approaches to combustion and fabrication of burners and to the method of burning air supply, in particular. He applies himself to new legislative requirements for small heat sources ensuing from the novelty of Act on Environmental Air Protection.

Key words: coal, biomass, combustion, environmental air protection

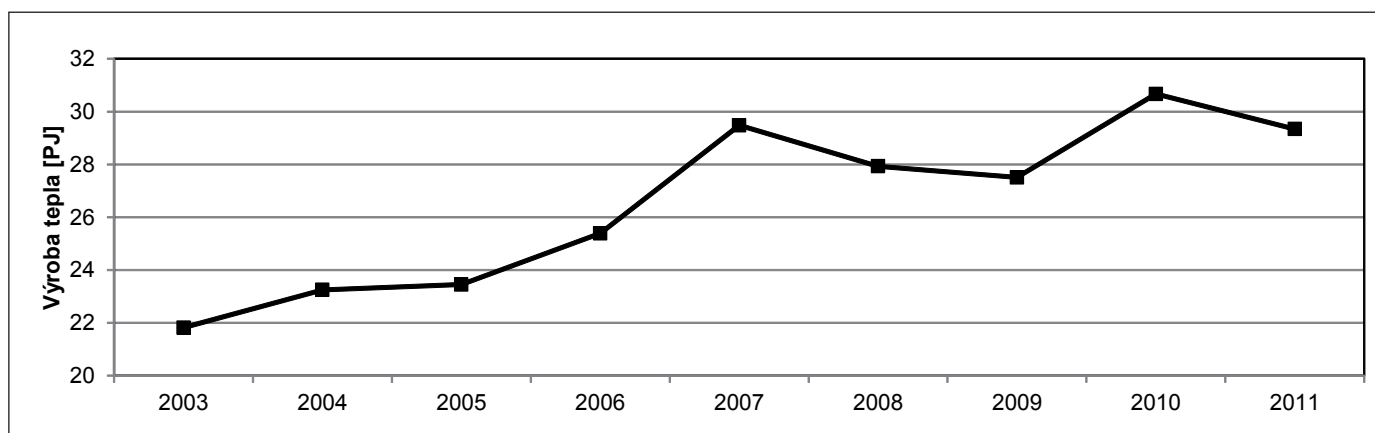
ÚVOD

Z hlediska statistiky má využití biomasy pro vytápění s určitými výkyvy stále rostoucí trend, jak je patrné z grafu na obr. 1. Nárůst představuje jak využití biomasy v domácnostech, tak v průmyslu.

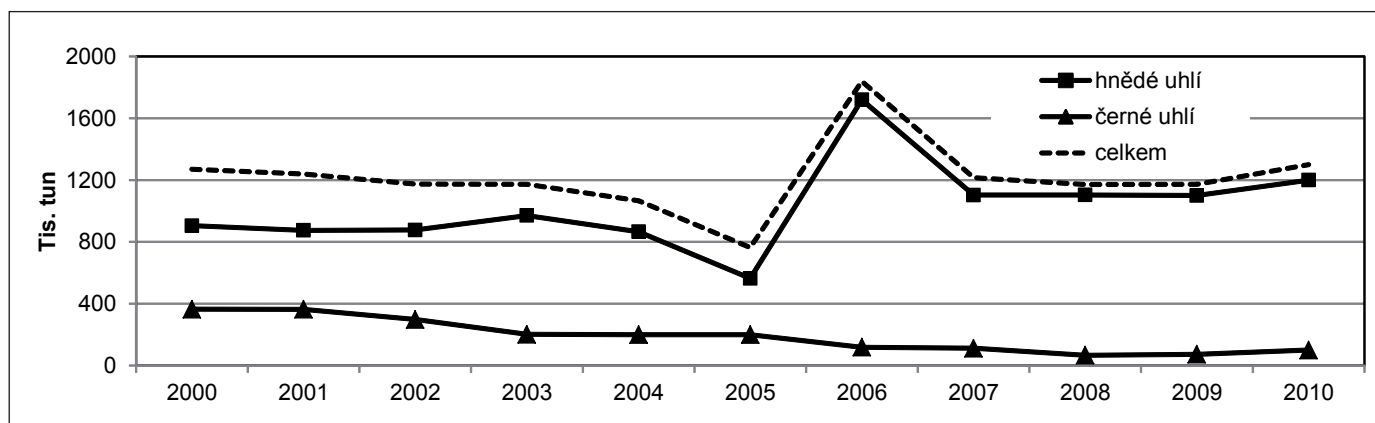
Trend ve spotřebě uhlí v domácnostech je zobrazen v grafu na obr. 2, souhrnná statistika však neexistuje, data pocházejí ze statistických ročenek Českého statistického úřadu. V grafu je rozlišeno černé a hnědé tříděné uhlí s tím, že jejich využití je v rámci ČR rozděleno i geograficky.

Hnědé uhlí je více využíváno v oblasti Čech, zatímco černé uhlí více na Moravě a ve Slezsku.

Z grafu je zřejmé, že v posledních letech podíl domácností využívajících uhlí v absolutních číslech neklesá, naopak zaznamenává mírný nárůst. Skoková změna spotřeby uhlí v domácnostech v roce 2006 dobře koresponduje se skokovým zdražením zemního plynu v tomtéž roce. Nárůst spotřeby s ohledem na cenu uhlí se projevil pouze u hnědého uhlí. Černé uhlí (spolu s černouhelným koksem) vykazuje stále mírně klesající míru využívání.



Obr. 1 Výroba tepla z biomasy v letech 2003 až 2011 [1]



Obr. 2 Množství uhlí využívané v domácnostech 2000 až 2010 [1]

PRÁVNÍ PŘEDPISY

Z hlediska provozu malých kotlů, ať už na biomasu nebo na uhlí, přinesla určitou změnu novelizace zákona o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb., nově nyní zákon č. 201/2012 Sb. Podstatnou změnou je zrušení kategorizace zdrojů znečištění ovzduší na zvláště velké, velké, střední a malé a rozlišují se nyní podle tepelného příkonu tři základní skupiny stacionárních zdrojů, a to nad 50 MW, 0,3 až 50 MW a méně než 0,3 MW. První dvě kategorie se dále dělí na tři další podskupiny, opět podle tepelného příkonu. V zákoně jsou rovněž vyjmenovány (v příloze 2) druhy stacionárních zdrojů znečištění ovzduší. Nově jsou i pro kategorii malých zdrojů pod 300 kW (rozděleno dále na kategorie do 65 kW, 65 až 187 kW a 187 až 300 kW) stanoveny minimální emisní požadavky na zdroj pro spalování pevných paliv, která jsou dále dělena na fosilní a biologická. Tyto minimální emisní požadavky jsou stanoveny s platností od 1. 1. 2014 a dále budou zpřísněny od 1. 1. 2018. Emisní požadavky jsou shrnuty v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1 Minimální emisní požadavky na stacionární zdroje spalující tuhá paliva s tepelným příkonem menším než 300 kW, platné od 1. 1. 2014 do 31. 12. 2017 [2]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	CO [mg.m ⁻³ _{N₂}] 10% O _{2ref}	TOC [mg.m ⁻³ _{N₂}] 10% O _{2ref}	TZL [mg.m ⁻³ _{N₂}] 10% O _{2ref}
Ruční	Biologické	≤ 65	5000	150	150
		65 až 187	2500	100	150
		> 187 až 300	1200	100	150
	Fosilní	≤ 65	5000	150	125
		65 až 187	2500	100	125
		> 187 až 300	1200	100	125
Samočinná	Biologické	≤ 65	3000	100	150
		65 až 187	2500	80	150
		> 187 až 300	1200	80	150
	Fosilní	≤ 65	3000	100	125
		65 až 187	2500	80	125
		> 187 až 300	1200	80	125

Tab. 2 Minimální emisní požadavky na stacionární zdroje spalující tuhá paliva s tepelným příkonem menším než 300 kW, platné od 1. 1. 2018 [2]

Dodávka paliva	Palivo	Jmenovitý tepelný příkon [kW]	CO [mg.m ⁻³ _{N₂}] 10% O _{2ref}	TOC [mg.m ⁻³ _{N₂}] 10% O _{2ref}	TZL [mg.m ⁻³ _{N₂}] 10% O _{2ref}
Ruční	Biologické/ /Fosilní	≤ 300	1200	50	75
Samočinná	Biologické/ /Fosilní	≤ 300	1000	30	60

Hodnoty jsou vztaženy na suché spaliny, teplotu 0 °C a tlak 101,325 kPa a referenční obsah kyslíku 10 %. V případě sálavých zdrojů pro připojení k otopné soustavě nebo k instalaci do obytné místnosti je to 13 %.

Otázka ovšem je, jakým způsobem bude zajištěno dodržení těchto emisních limitů, resp. minimálních emisních požadavků v domácnostech, když už byly zákonem stanoveny. V zákoně má provozovatel definovanou povinnost provozovat spalovací stacionární zdroj na pevná paliva

o jmenovitém tepelném příkonu od 10 do 300 kW včetně, který slouží jako zdroj tepla pro teplovodní soustavu ústředního vytápění, v souladu s minimálními požadavky podle tabulky 1 a 2. Také má za povinnost provádět jednou za dva kalendářní roky kontrolu technického stavu a provozu tohoto zdroje odborně způsobilou osobou. Nicméně toto neplatí pro zdroje umístěné v rodinném domě, v bytě nebo ve stavbě pro rodinnou rekreaci, nejde-li o prostory užívané pro podnikatelskou činnost.

Další podstatnou změnou je to, že zákon explicitně zakazuje spalovat ve zdrojích s příkonem pod 300 kW hnědé uhlí energetické, lignit, uhelné kaly a proplátky. Zákon, resp. jeho prováděcí vyhláška č. 415/2012 Sb. rovněž udává požadavky na kvalitu paliv. Jedná se v podstatě o náhradu zrušené vyhlášky č. 13/2009 Sb., která stanovovala požadavky na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší. Sledované parametry jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Požadavky na kvalitu uhlí a výlisků z biomasy pro stacionární zdroje s tepelným příkonem pod 300 kW [3]

	Tuhá paliva obecně do 31. 12. 2013	Uhlí od 1. 1. 2014	Výlisky z biomasy od 1. 1. 2014
voda W ^r [%]	-	< 33	< 15
výhřevnost Q _i ^d [MJ/kg]	-	> 15	> 15
výhřevnost Q _r ^r [MJ/kg]	> 12	-	-
popel A ^d [%]	-	< 13	< 10
měrná sítatost [g/MJ]	< 0,9	< 0,65	-

Poznámka – index „r“ v tab. 3 značí původní stav paliva, index „d“ značí sušinu paliva. Dále jsou u výlisků z biomasy specifikovány ještě limity stran obsahu chloru, arsenu, kadmia, rtuti a olova a jejich sloučenin.

SPECIFIKA SPALOVÁNÍ BIOMASY A UHLÍ

Biomasa a uhlí se od sebe podstatně liší jak složením hořlaviny, tak složením popelovin, a to natolik výrazně, že není možná jejich jednoduchá záměna ani ve spalovacích zařízeních malých výkonů. V tab. 4 je uveden přehled vlastností hořlaviny u několika druhů biomasy a tříděného hnědého uhlí.

Tab. 4 Vlastnosti hořlaviny (horní index „daf“) tříděného hnědého uhlí a vybraných druhů pelet z biomasy

	C ^{daf} (%)	H ^{daf} (%)	N ^{daf} (%)	O ^{daf} (%)	S ^{daf celk} (%)	V ^{daf} (%)
dřevo	51,0	6,9	0,26	41,8	0,03	81,9
šťovík	50,6	7,1	1,10	41,1	0,10	80,3
chrastice	51,2	7,1	3,47	37,9	0,20	79,4
seno	50,6	7,6	2,00	38,8	0,18	80,0
hnědé uhlí	64,6	5,7	1,27	20,6	3,35	54,0

Podstatné rozdíly jsou zřejmé v prvkovém složení, kdy biomasa obecně má nižší podíl uhlíku a naopak vysoký podíl kyslíku v hořlavině. To je důvod, proč má hořlavina biomasy obecně nižší výhřevnost než hořlavina na uhlí. Dalším významným rozdílem je obsah síry. Zatímco u biomasy je její podíl relativně nízký do cca 0,3 % a její převažující podíl je síra siranová (asi 50 %), tedy nespálitelná, u uhlí je její obsah řádově vyšší

a nespalitelný podíl představuje u českých hnědých uhlí přibližně pouze 5 %. To samozřejmě přináší podstatně vyšší emise SO_2 emitované při spalování. Pokud bychom spočítali teoretickou koncentraci SO_2 ve spalinách pro dřevo a hnědé uhlí podle složení v tab. 4 při typickém provozním stavu kotle malého výkonu, získáme po přepočtu na normální stavové podmínky a referenční obsah kyslíku pro biomasu následující hodnoty:

- dřevo: $30 \text{ mg/m}^3_{\text{N}}$,
- hnědé uhlí: $3200 \text{ mg/m}^3_{\text{N}}$.

Rozdíl v předpokládané koncentraci je tedy 2 řády. Oxid siřičitý má přitom dva významné negativní účinky.

První z nich je jeho škodlivost v atmosféře, kde je významnou znečišťující látkou způsobující dýchací problémy. V souvislosti s odsířením většiny velkých zdrojů spalujících uhlí jsou v současnosti jeho zdrojem především lokální topeniště využívající uhlí, která ovlivňují zejména kvalitu místního ovzduší. Emise SO_2 se přitom nelze vyhnout, ani když se bude jednat o moderní zařízení s řízeným spalovacím procesem. Úroveň této emise je dána pouze obsahem spalitelné síry v palivu.

Druhou negativní vlastností SO_2 je skutečnost, že již ve spalovacím prostoru kotle oxiduje dále na oxid sírový SO_3 , který s vodní parou reaguje na kyselinu sírovou. V případě poklesu teploty spalin, zejména na konci teplosměnných ploch kotle, dojde k její kondenzaci (udává se teplota přibližně $160 \text{ }^\circ\text{C}$) a hrozí velké riziko koroze teplosměnných ploch. Z toho vyplývá, že je důležité provozovat malé kotle na uhlí pokud možno trvale, bez cyklů vyhasínání a zatápění, u kterých jsou typické stavy kondenzace spalin. Samozřejmostí by proto také měla být u každého kotle natápěcí smyčka, řízená termostatickým trojcestným ventilem tak, aby studenou vratnou vodou nebyly teplosměnné plochy při zatápění či v rámci udržovacího režimu příliš ochlazovány.

V případě spalování biomasy prakticky nehrozí riziko kondenzace kyseliny sírové. Je zde riziko jiné, které souvisí s další rozdílnou vlastností biomasy a uhlí a tou je obsah prchavé hořlaviny. Ta je v normě definována jako podíl hořlaviny paliva, které se uvolní při zahřátí vzorku paliva bez přístupu vzduchu na teplotu $850 \text{ }^\circ\text{C}$. V podstatě se jedná o složky paliva, které se během spalovacího procesu nejdříve odplyní a hoří až nad vrstvou paliva v plynné fázi. V praxi to při spalování biomasy znamená tzv. dlouhý plamen a je nutné, v porovnání s uhlím, úplně změnit způsob přívodu spalovacího vzduchu. Zatímco při spalování uhlí v malých zařízeních se prakticky všechen vzduch přivádí pod rošt pod vrstvou paliva, u biomasy to musí být naopak, převažující většina vzduchu musí být přivedena nad vrstvou paliva. V případě, že se při spalování biomasy nepřivádí nad vrstvou paliva dostatečné množství vzduchu, dochází k neúplnému vyhoření odplyněné složky paliva a zvýšení tvorby oxidu uhelnatého a uhlovodíků. Uhlovodíky, neboli v podstatě nespálené složky hořlaviny, pak mohou kondenzovat na koncových teplosměnných plochách kotle a vytvářet dehtové nánosy. Toto riziko je největší zejména při režimu zatápění a proto je potřebné, aby byl kotel vybaven natápěcí smyčkou.

Další zmíněnou vlastností je chování popelovin uhlí a biomasy za vysokých teplot. Rozdílnost je dána především prvkovým složením popelovin, které je výrazně odlišné. V tab. 5 jsou porovnávána zastoupení majoritních prvků v popelovině biomasy (zde na příkladu dřeva) a hnědého uhlí, konkrétně ořech 1 z produkce SD, a.s.

Tab. 5 Složení popeloviny dřeva a hnědého uhlí v hm. % oxidů prvků

	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	Mn	Ti	P	S
dřevo	8,4	1,5	2,2	3,87	22,7	0,41	49,32	0,12	0,01	4,85	5,44
uhlí	44,7	27,5	11,1	2,01	6,71	1,16	1,11	0,04	1,97	0,59	3,22

Rozdíly ve složení jsou značné a mají přímou souvislost s odlišným chováním popelovin při vysokých teplotách. Tyto rozdíly jsou dokumentovány v tab. 6 na třech charakteristických teplotách – teplota měknutí, tání a tečení – pro vybrané druhy biomasy a pro tříděné hnědé uhlí pro domácnosti.

Tab. 6 Charakteristické teploty popelovin biomasy a uhlí

	Teplota měknutí ($^\circ\text{C}$)	Teplota tání ($^\circ\text{C}$)	Teplota tečení ($^\circ\text{C}$)
dřevo	1255	1280	1320
šřovík	1150	1170	1200
chrastice	860	905	980
seno	1080	1170	1200
hnědé uhlí	1400	1470	> 1500

Z tabulky jsou opět zřejmé zásadní rozdíly. Charakteristické teploty u popelovin biomasy jsou o 200 až $400 \text{ }^\circ\text{C}$ nižší než u uhlí. U některých biopaliv se můžeme setkat i s extrémními hodnotami okolo 800 až $900 \text{ }^\circ\text{C}$. To samozřejmě způsobuje komplikace při spalovacím procesu, kdy může snadno dojít k tepelné deformaci nebo až k roztečení popela a tím i k zablokování spalovací komory. Důsledkem je, kromě omezení objemu spalovacího procesu, i výrazně zvýšená úroveň produkce emisí CO a uhlovodíků vzhledem k nemožnosti dokonalého spálení paliva. Tomu lze předejít zcela odlišnou konstrukcí spalovací komory v porovnání s uhlím. Nezbytné je striktně dodržené stupňové spalování paliva, kdy je palivo nejprve částečně zplyňováno pod stechiometrickým množstvím spalovacího vzduchu a dohořívá v dalších částech spalovací komory v plynné fázi za přívodu sekundárního vzduchu. Jedním z řešení, používaných u kotlů větších výkonů, je také aktivní chlazení roštu, které se zatím u kotlů malých výkonů neaplikuje.

ZÁVĚR

Biomasa a uhlí mají natolik odlišné palivové vlastnosti, že je nelze v jednom spalovacím zařízení jednoduše zaměnit. Obě paliva vyžadují specifický přístup ke konstrukci kotlů, lišící se především ve způsobu přívodu spalovacího vzduchu. Biopaliva pro spalování v domácnostech je také nutné pečlivě volit a z důvodu některých problematických vlastností (např. zmíněná tavitelnost popelovin) mohou být některá z nich pro toto použití vyloženě nevhodná, neboť potřebné technické podmínky pro jejich spalování nelze zajistit tak, jako v zařízeních větších výkonů. S potenciální nedokonalostí spalovacího procesu a vyšší tvorby emisí úzce souvisí i novelizované právní předpisy, které zavádějí emisní limity, resp. požadavky na minimální úroveň emisí i pro kotle s tepelným příkonem pod 300 kW a tedy se dotýkají i kotlů malých výkonů.

Kontakt na autora: jan.hrdlicka@fs.cvut.cz

Poděkování. Tato práce vznikla s podporou výzkumného záměru MSM6840770035 „Rozvoj ekologicky šetrné decentralizované energetiky“.

Použité zdroje:

- Český statistický úřad. *Statistická ročenka České republiky 2012*. Praha: Český statistický úřad, 2012. ISBN 978-80-250-2253-5.
- Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. Sbirka zákonů České republiky, 2012.
- Vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. Sbirka zákonů České republiky, 2012. ■