



Prototyp roštového kotle pro spalování rostlinných pelet

Pavel SKOPEC^{1,}, Jan HRDLIČKA¹, František HRDLIČKA¹, Tomáš DLOUHÝ¹, Matěj VODIČKA*

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav energetiky, Technická 4, Praha 6, 166 07

* **Email:** p.skopec@fs.cvut.cz

Článek se zabývá spalováním rostlinných pelet v prototypu roštového kotle. Paliva rostlinného původu jako zemědělské odpady či cíleně pěstované energetické plodiny jsou důležitá při zvyšování podílů obnovitelných zdrojů energie, ovšem sklon jejich popelovin ke spékání komplikuje jejich použití. Uvedený prototyp roštu umožňuje efektivně, ekologicky a uživatelsky přívětivě spalovat tento typ paliv. V článku jsou uvedeny výsledky měření emisí oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, celkového organického kyslíku a tuhých znečišťujících látek a je provedeno porovnání se současnými legislativními požadavky.

Klíčová slova: rostlinná biomasa, pohyblivý rošt,

1 Úvod

V současné době existuje silný tlak na stále vyšší využívání obnovitelných zdrojů energie, přičemž silným trendem je zavádění těchto obnovitelných zdrojů i do domácnosti, což lze například ilustrovat na řadě dotačních titulů podporujících pořízení vysoce účinných a ekologicky šetrných kotlů na spalování biomasy pro domácnosti. Cílem těchto dotačních programů je nahradit využívání fosilních paliv, zejména uhlí, mimo jiné také s ohledem na lokální znečištění ovzduší. Rostlinná paliva (zemědělské odpady i cíleně pěstované rostliny) byla již dříve považována za velmi důležitá paliva při zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie pro lokální vytápění.

Jedním z výrazných problémů při využívání rostlinné biomasy jako paliva je tavení popelovin výrazně komplikující provoz těchto zdrojů a rovněž s tím souvisejícího problému s produkcí plynných emisí. To je i důvodem proč je v současnosti v drtivé převaze využívání dřevní biomasy a rostlinná biomasa je využívána stále omezeně. Přitom jsou však zdroje dřevní biomasy, na rozdíl od rostlinné, využívány z převažující části dostupného potenciálu a dochází tak k nárůstu její ceny. To využívání biomasy začíná diskvalifikovat oproti fosilním zdrojům energie, přičemž výrobků určených pro spalování rostlinných paliv je na trhu stále omezené množství.

Tento příspěvek má za cíl představit vývoj nového typu kotle, který bude schopný efektivně a ekologicky spalovat standardizovaná paliva (pelety) na bázi rostlinných materiálů nižší kvality a nejrůznějších druhů odpadních a zbytkových materiálů pocházejících především ze

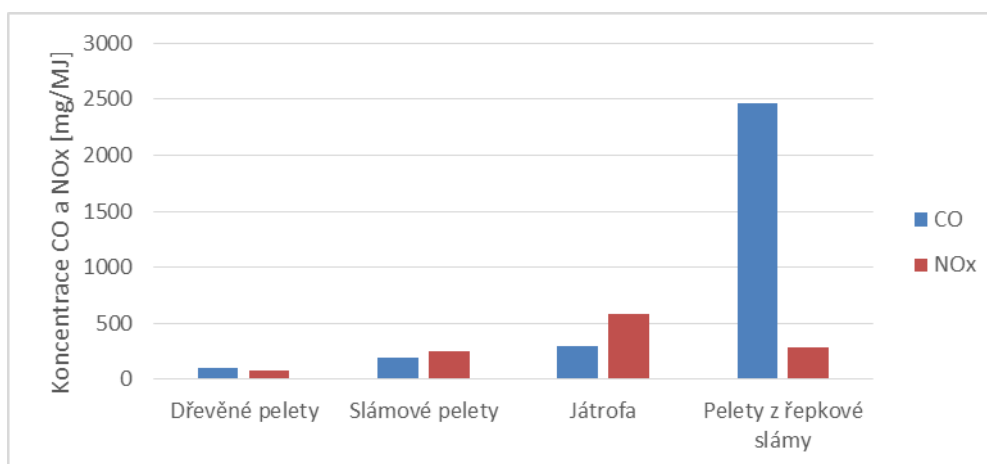


zemědělské výroby a údržby zeleně. Uvažovaná výkonová kategorie je od 25 do 500 kW, tedy vhodná pro vytápění provozních a komunálních budov ale rovněž i domácností.

2 Konstrukce roštu

Současný stav vývoje kotlů na biomasu ve sledované výkonové řadě do 500 kW je dobře popsán v literárně dostupných pramenech, např. [1] nebo [2]. Na evropském trhu je rozdělení typů kotlů podle paliva přibližně následující – 31 % pelety, 22 % kusové dřevo, 17 % dřevní štěpka, 30 % ostatní (většinou možnost spalování více druhů paliv). Z hlediska konstrukce spalovací komory je rozdělení přibližně následující – 60 % pevný rošt, 30 % pohyblivý rošt a 10 % retortový hořák. Pro spalování pelet jsou nejčastěji používány nálevkové nebo trubkové hořáky v oblasti pevných roštů a posuvné rošty s čelním přikládáním paliva v oblasti pohyblivých roštů. Chlazení roštu je řešeno v této výkonové kategorii výhradně primárním vzduchem, který je zaveden pod rošt, pokud je vůbec tato problematika řešena.

V případě spalování paliv s nízkou teplotou tavení popelovin na výše zmíněných typech roštů dochází k tvorbě lokálních aglomerací, což nedovoluje vysoké plošné zatížení roštu z důvodu nebezpečí nedostatečného chlazení roštnic a mechanismů pro posun paliva a zbytků po spalování. Dalším problémem je nedokonalé spalování a tím zvyšování plynných emisí zejména oxidu uhelnatého. Tento jev byl v minulosti zkoumán např. na kotli s posuvným roštem o výkonu 25 kW. Výsledky jsou uvedeny na Obr. 1.



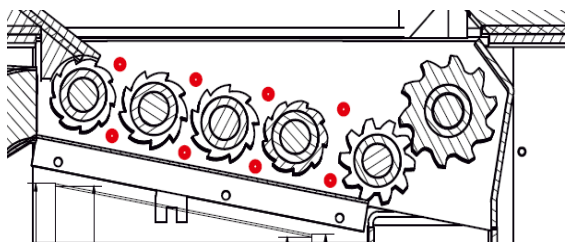
Obr. 1 Emise při spalování různých typů paliv

Z Obr. 1 vyplývají rostoucí emise CO pro spalování zemědělské biomasy. Důvodem takto zvýšených emisí je právě sklon popelovin k tvorbě aglomerací. Ty poté blokují účinnou plochu roštu, dochází k nerovnoměrnému přívodu spalovacího vzduchu a tím k výraznému zhoršení kvality spalování. Játrofa byla do přehledu přidána jen pro porovnání. Jedná se o druh sukulentní rostliny rostoucí v suchých tropických a subtropických oblastech. Rostlina je využívána v těchto oblastech k výrobě bionafty a zbylé výlisky je možné využít jako alternativní palivo. Nevýhoda je vysoký obsah dusíku v hořlavině, který má za následek výrazně zvýšené emise oxidů dusíku v porovnání s ostatními palivy a stejně jako ostatní zemědělská biomasa sklon ke spékání popelovin.

Výše uvedené problémy vedly ke zvolení zcela nové koncepce roštu s pohyblivými elementy. Tyto elementy slouží jak pro posuv a přesouvání materiálu tak i k drcení vzniklých aglomerátů. Základní koncepce roštu je uvedena na obrázcích 2 a 3. Rošt je tvořen několika



válci umístěnými v mírném sklonu za sebou a jedním koncovým protiválcem majícím za úkol konečné dodrcení vzniklých aglomerátů. Tyto pohyblivé elementy jsou uloženy ve vodou chlazených bočnicích. Napájení chlazení boků roštnic je zapojeno paralelně k vodnímu chlazení celého kotle. Toto řešení zajišťuje pohyblivost elementů roštu i při vysokém tepelném zatížení roštu. Dochází k chlazení i při regulačních prodlevách pohybu roštu a rovněž zajišťuje dodatečný odvod tepla ze spalovací plochy roštu. Obr. 2 představuje boční řez roštem. Obr.3 pak ukazuje celý prototyp roštu včetně usazení pohyblivých elementů ve vodou chlazených trámcích. Uvedené provedení odpovídá výkonu kotle na úrovni 75 kW.



Obr. 2. Řez základním řešením roštu s pohyblivými elementy – válci



Obr. 3. Prototyp chlazeného roštu s pohyblivými elementy.

Výše uvedený rošt je umístěn pod spalovací komorou s čelním přívodem paliva. Primární vzduch je přiváděn pod rošt. Do oblasti nejintenzivnější spalování prchavé hořlaviny je přiveden sekundární spalovací vzduch. Spalovací komora má silnou keramickou vyzdívkou, na kterou dále navazuje dvoutahový žárotrubný výměník. Výměník je osazen viřiči, které mají dva významy – slouží k samostatnému čištění výměníku bez nutnosti účasti obsluhy kotle a zároveň jsou pozitivním přínosem pro přestup tepla v trubkách, neboť zintenzivňují pohyb spalin v trubce a zároveň zvyšují sálavou plochu a tím přispívají k intenzivnějšímu přestupu tepla.

3 Měření emisí a účinnosti na kotli o výkonu 150 kW

Měření produkce plyných emisí probíhalo na prototypu kotle o výkonu 150 kW. Kotel je řízen samostatnou řídicí jednotkou. Palivem byly senné pelety, jejichž složení je uvedeno v Tab. 1.

Tab. 1. Prvkový rozbor paliva

C^r [hm.%]	O^r [hm.%]	H^r [hm.%]	S^r [hm.%]	N^r [hm.%]	A^r [hm.%]	W^r [hm.%]	Q_i^r [MJ/kg]
40,1	40,3	6,1	0,05	0,7	5,8	7,4	17,5

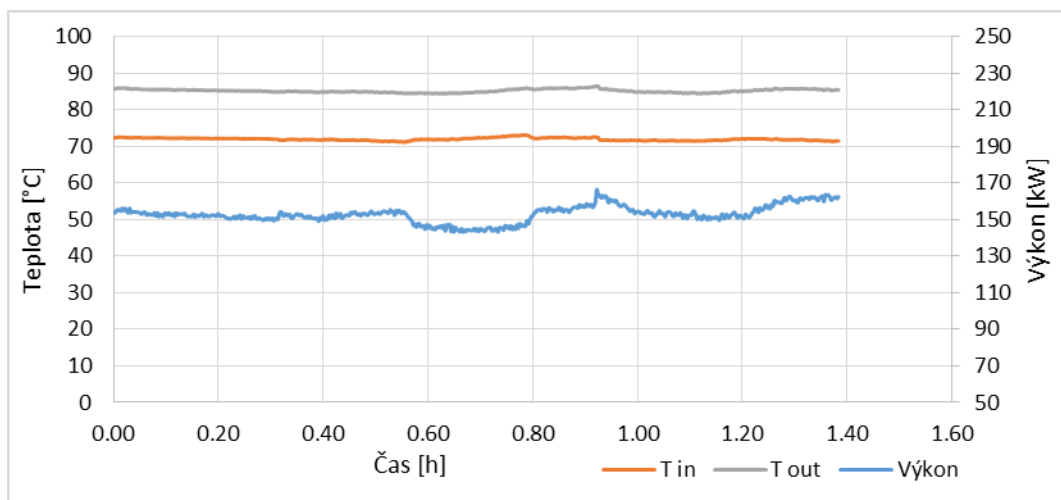
Po ustálení výkonu na úrovni kolem 150 kW a optimalizaci spalovacího procesu již nebylo do řízení kotle zasahováno. V tabulce 2 jsou uvedeny průměrné hodnoty z měření emisí. Hodnoty CO , SO_2 i NO_x jsou přepočítány na mg a vztaženy na referenční obsah kyslíku ve



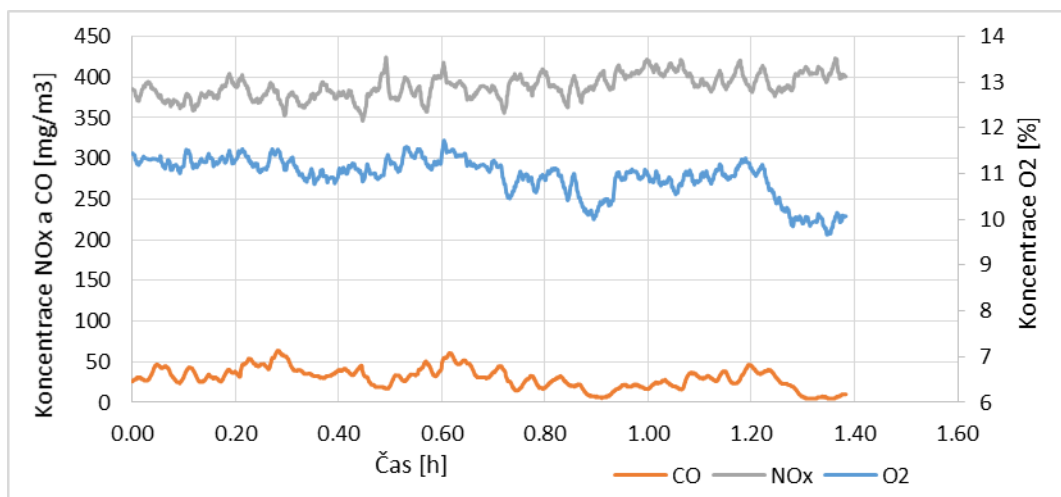
spalinách 10%. Pomocí gravimetrické metody s izokinetickým odběrem vzorku byly rovněž stanoveny emise tuhých znečišťujících látek. Na Obr. 4 je vynesena vývoj výkonu a teplotní spád kotle a Obr. 5 pak zobrazuje vývoj emisí během měření.

Tab. 2. Výsledky měření emisí

	O ₂ [%]	CO [mg/m ³]	NO _x [mg/m ³]	SO ₂ [mg/m ³]	OGC [mg/m ³]	TZL [mg/m ³]	Teplota spalin [°C]
Průměr	11,15	43	382	81	0,5	411	158
Směr. odch.	0,62	33	19	13	0,5		2



Obr. 4 Graf výkonu a teplotního spádu kotle



Obr. 5 Záznam emisí O₂, CO a NO_x

Z vývoje emisí uvedených na Obr. 5 a výsledků uvedených v Tab. 2 lze vypořadovat, že provoz kotle byl stabilní bez výrazných výkyvů jak během period posouvání paliva, tak během čištění výměníku pomocí vířičů, které nejsou na trendech nijak patrné. Průměrný výkon kotle během sledované periody byl 153 kW.

Emise NO_x odpovídají druhu použitého paliva a jsou způsobeny právě vyšším obsahem dusíku. Výraznější snížení emisí NO_x by vyžadovalo využití recirkulace spalin, což by ovšem



výrazně komplikovalo konstrukci kotle, jeho regulaci, zvýšila by se elektrická spotřeba a celkové výrobní náklady. V současné době ovšem nejsou žádné požadavky emisního limitu NO_x na kotle spalující nedřevní biomasu. Tento limit se objevuje až u kotlů spalujících dřevní biomasu či fosilní paliva v podobě požadavků na tzv. ekodesign kotlů na tuhá paliva, které musí splňovat všechny kotle jdoucí na trh po roce 2020.

Dalším bodem bylo vyhodnocení účinnosti kotle. Vzhledem k nemožnosti kalibrace dopravníku a zjišťování množství přívodu paliva byla účinnost kotle určena nepřímou metodou. Výsledky vyhodnocení jsou uvedeny v Tab. 3. Pro určení ztráty mechanickým nedopalem byl odebrán popel z výsypky popelovin a bylo určeno množství nespáleného uhlíku. Konstrukce kotle je navržena tak aby popílek z úletu, který se zachytí ve výměňkové části, byl odveden do společného zásobníku popela, proto je rozložení popela uvedeno jako 100% popela v propadu. V případě určování ztráty fyzickým teplem tuhých zbytků byla teplota odchozího popela odhadnuta na 300°C . Rovněž ztráta sáláním kotle do okolí byla odhadnuta. Výsledná účinnost zařízení vychází 89,3% i při poměrně velkém přebytku spalovacího vzduchu, který by vzhledem k ostatním emisím, převážně CO a TOC, mohl být ještě snížen.

Tab. 3. Vyhodnocení účinnosti kotle

Komínová ztráta	
Teplota spalin	158 °C
Přebytek vzduchu	2,1
Komínová ztráta	9 %
Ztráta chemickým nedopalem	
Koncentrace CO	43 mg/m ³
Ztráta chemickým nedopalem	0,02 %
Ztráta mechanickým nedopalem	
Podíl uhlíku v propadu	6 %
Rozložení popela – vše v propadu	100%
Ztráta mechanickým nedopalem	0,6 %
Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků	
Uvažovaná teplota popela	300 °C
Ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků	0,08 %
Ztráta sáláním a konvekcí	
Ztráta sáláním	1 %
Celková účinnost	89,3%

4 Porovnání výsledků kotle s platnými legislativními požadavky ČR

Měření ukázalo, že kotel vykazuje velice dobré spalovací vlastnosti a dosahuje vysoké účinnosti. V současné době se kvalita kotlů do výkonu 500 kW hodnotí pomocí zařazování do tzv. emisních tříd [3]. V Česku se v současné době hodnotí kotle dle normy ČSN EN 303-5:2013, která mimo jiné obsahuje emisní limity. Pro v současné době nejvyšší 5. třídu s biologickým typem paliva a samočinnou dodávkou paliva existují limity uvedené v Tab. 4. Uvedené limity jsou platné pro všechny výkony kotlů do 500 kW.



Emisními limity pro malé kotle se rovněž zabývá i zákon č. 201/2012 Sb. – o ochraně ovzduší [4], který stanovuje minimální emisní požadavky pro kotle uváděné na trh. Uvedený kotel spadá do výkonové kategorie 10 až 300 kW a dle tohoto zákona bude od ledna 2018 možné prodávat pouze kotle, které splní zjednodušeně řečeno třídu 4 dle ČSN EN 303-5:2013.

Tab. 4. Emisní limity pro 4. a 5. třídu kotlů s biologickým palivem a samočinnou dodávkou paliva [3]

	Mezní hodnoty emisí v mg/m ³ při 10% O ₂			Účinnost kotle [%]
	CO	TOC	Prach	
4. třída	1000	30	60	$80 + 2 \cdot \log P_{jm}$
5. třída	500	20	40	$87 + \log P_{jm}$

Porovnáním výsledků měření s hodnotami emisních limitů pro jednotlivé třídy je patrné, že v případě plynných emisí splňuje výše uvedený kotel emisní limity s velkými rezervami. V případě účinnosti vychází dle vztahu uvedeného v Tab. 4 požadovaná minimální účinnost kotle při jmenovitém výkonu 150 kW 89,2% což tento kotel rovněž splňuje. Jako problematické se ovšem jeví dodržení limitů pro tuhé znečišťující látky, které z měření vycházejí téměř desetinásobně v porovnání s 5. emisní třídou. Zvýšené emise tuhých látek jsou dány charakteristikou spalovaného paliva, které obsahuje velké množství prachového podílu – rostlinné pelety ze sena nejsou příliš kvalitní. Je tedy patrné, že kotel bude muset být vybaven zařízením na zachyt tuhých látek.

5 Závěr

Experimentální ověření ukázalo, že výše uvedená koncepce řešení roštu umožňuje spalování pelet ze zemědělské biomasy a odstraňuje nedostatky jiných typů roštů. Zařízení je schopné ekologicky a uživatelsky přívětivě spalovat paliva mající sklon ke spékání. Pro uvedenou koncepci roštu je důležité správné nastavení přívodu paliva a chodu roštu aby došlo k dostatečnému rozmělnění paliva po celé délce i šířce roštu. Toto nastavení zajišťuje vlastní automatika kotle. Konstrukce ohniště a přívod sekundárního vzduchu zajišťují dostatečné vyhoření paliva a sledované parametry splňují emisní normu 5. Hodnoty oxidů dusíku jsou zvýšené, což je dáno vyšším obsahem dusíku v palivu a právě tvorbou palivových oxidů dusíku. Problematické jsou emise tuhých látek, které bude nutné řešit přidáním zařízení na jejich zachyt.

Poděkování

Tato práce byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS16/211/OHK2/3T/12 s názvem „Snižování emisí NO_x při oxy-fuel spalování ve stacionární fluidní vrstvě“ a projektem TA04020180 „Výzkum a vývoj pokročilého kotle pro využití rostlinných paliv“.

Použitá literatura

[1] van Loo, S., Koppejan, J. The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing. London: Earthscan, 2008. ISBN 978-1-84407-24-1



- [2] Míguez, J.L. a kol. Review of technology in small-scale biomass combustion systems in the European market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012), str. 3867–3875
- [3] Horák, J. a kol. Jaké parametry musí splnit kotle na tuhá paliva? *Legislativa v ČR a Evropě – stav v roce 2017, Vytápění, větrání, instalace, 2017*, dostupné na <<http://vytapani.tzb-info.cz/15865-jake-parametry-musi-splnit-kotle-na-tuha-paliva>>
- [4] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů*. 13.6.2017. ISSN 1211-1244