



## EMISIE PRI SPALOVANÍ BIOMASY EMISSION FROM BURNING OF THE BIOMASS

Ivan Vitázek, Ján Tirol

### Abstract

At present renewable sources of energy are used for heating of the drying medium. It is, in the first place, biomass as an own source, above all straw. In the article the data coming from the verifying measurement in corn dryers are presented. In the first case a hot water boiler is used in which straw is combusted, in the second one a heater which supplies the drying medium at the required temperature through a combustion products-air heat exchanger. We present the selected dependences of CO<sub>2</sub> and nitrogen oxides production, their comparison with natural gas and ideal combustion. The facts presented conjure up the need of changing the opinion about the so-called ecological heat production from biomass. But if biomass replaces fossil fuels, its impact on the environment is much more positive.

**Key words:** biomass, emissions, combustion, heat sources, dryers

### Úvod

Sušenie materiálov patrí k energeticky najnáročnejším procesom a silne zaťažuje energetickú bilanciu poľnohospodárstva. Merné spotreby tepla na moderných sušiarňach dosahujú síce hranicu 3000 kJ.kg<sup>-1</sup>, sú však konštruované takmer výlučne na spaľovanie zemného plynu. Jedným zo spôsobov zníženia nákladov na palivo je práve náhrada fosílnych palív palivom z vlastných zdrojov, najčastejšie biomasou. Pod pojmom biomasa rozumieme všetku organickú hmotu, ktorá vznikla pomocou fotosyntézy, alebo hmotu živočíšneho pôvodu. Týmto pojmom je často označovaná rastlinná biomasa využiteľná pre energetické účely ako obnoviteľný zdroj energie. Biopalivo je palivo z biomasy. Biopalivá môžeme rozdeliť na pevné, kvapalné a plynné. V súčasnosti je chemická energia z biopalív uvoľňovaná najmä ich spaľovaním. Spaľovanie je oxidačný proces, pri ktorom sa horľavé zložky paliva oxidujú vzdušným kyslíkom, pričom sa energetický obsah paliva mení na teplo. Kvalita paliva ako zdroja energie závisí na akosti horľaviny a na obsahu balastu – vlhkosti a popola. Oproti pevným fosílnym palivám má biomasa výrazne vyšší podiel prchavej horľaviny, ktorá horí dlhým svietivým plameňom a ovplyvňuje konštrukciu vlastného spaľovacieho zariadenia rovnako ako prípravu a dopravu biomasy do ohniska. Obsah prchavej zložky (vzťahnutej na množstvo horľaviny) je pri rašelini cca 70 % hm., dreve 80-86 % hm., repkovej slame 80-86 % hm. a pri obilnej slame až 88 % hm.

Pri hodnotení a charakterizovaní palív používaných i v poľnohospodárstve sa okrem energetického a ekonomického hľadiska v súčasnosti čoraz viac presadzuje i hodnotenie z hľadiska environmentálneho. Doterajšie poznatky z analýz spalín pri spaľovaní biomasy poukazujú na potrebu revidovať názory o tzv. ekologicky čistej výrobe tepla z tohto paliva.

Na Katedre dopravy a manipulácie TF SPU v Nitre sa venujeme v oblasti techniky sušenia i overovacím a kontrolným meraniam poľnohospodárskych sušiarňí. Zameriavame sa i na ekológiu prevádzky, a to i na sušiarňach využívajúcich na ohrev sušiaceho prostredia biomasu, najčastejšie slamu. Uvádzame niekoľko poznatkov získaných na zdroji tepla pre sušiareň Chief, kde ohrev sušiaceho prostredia je realizovaný cez teplovodné výmenníky tepla, pričom voda je zohrievaná v kotle spaľujúcom slamu a zdroji tepla pre sušiareň Mathews-Company, kde ohrev sušiaceho prostredia zabezpečuje výmenník tepla spaliny-vzduch v ohrievači spaľujúcom taktiež slamu.

### Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ivan Vitázek, CSc.; SPU v Nitre, Technická fakulta, Katedra dopravy a manipulácie, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, tel.: +421 37 6414 756, e-mail: [ivan.vitazek@uniag.sk](mailto:ivan.vitazek@uniag.sk), Ing. Ján Tirol, Ph.D.; 951 17 Cabaj-Čápor 40, e-mail: [jan.tirol@gmail.com](mailto:jan.tirol@gmail.com)

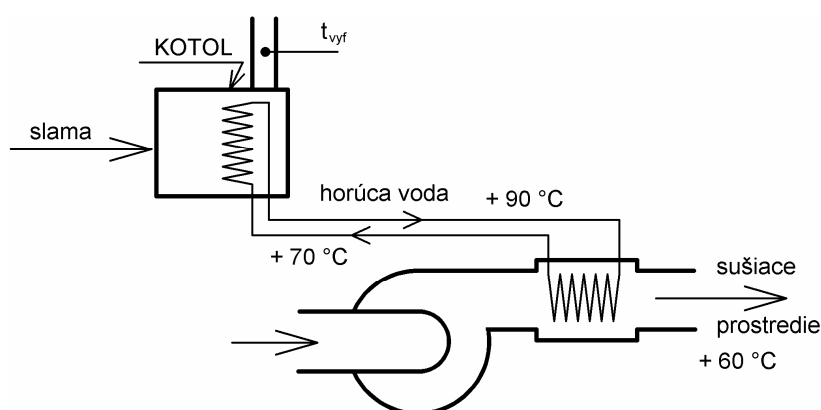


## Materiál a metódy

Po roku 1990 užívateľská sféra sušiarenských zariadení je charakterizovaná najmä požiadavkami na vysokú kvalitu a čistotu produktov, na vysoký stupeň automatizácie riadenia procesu sušenia a s tým súvisiacou minimalizáciou nárokov obsluhy, na zníženie spotreby energií - tepelnej a elektrickej a na znižovanie množstva odpadov a s tým súvisiace zlepšenie životného prostredia. Inováciu sušiarenského zariadenia zabezpečuje najmä dovoz sušiarňí zo zahraničia. Pre sušenie zrnín sú rozšírené sušiarne so zvislým vedením vrstvy medzi perforovanými plechmi, sušiarne s kanálikovou vnútornou štruktúrou a sušiarne zásobníkového typu.

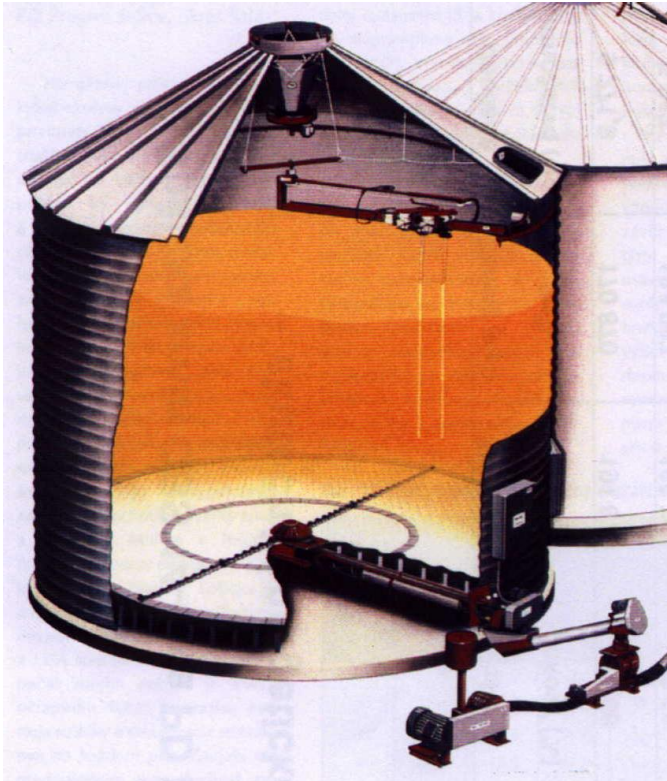
V základe takmer všetky sušiarne využívajú priamy ohrev sušiaceho prostredia s palivom zemný plyn, ako už bolo uvedené, snaha o zníženie nákladov na sušenie vedie k inštalovaniu spaľovacích zariadení na obnoviteľné zdroje.

Sušiarne CHIEF typ CBS sú zásobníkové sušiarne, konvekčné, protiprúdové. Zásobník o priemere cca 14 m, výšky 8 m má perforované dno (obr.2). Umiestňujú sa na betónové základy. Podlaha, ktorá je umiestnená na nosníkoch, je vyrobená z kvalitnej ocele. Odkvapkávaniu kondenzátu späť na sušený materiál zabraňuje strmý sklon strechy. Pôvodne bol zdrojom tepla teplovzdušný agregát s dvomi ventilátormi a dvomi plynovými horákmi. Plnenie zásobníka je zabezpečené cez horný otvor rozvrstvovačom zrnín. Zohriaty vzduch (priamy ohrev) je privádzaný zospodu sušiarne a hmota je miešaná pomocou vertikálnych závitoviek. Proces vyprázdňovania je riadený počítačom, čo zaručuje požadovanú vlhkosť zrna na výstupe. Vyprázdňovanie sa uskutočňuje pomocou závitovky, ktorá sa pohybuje po podlahe zásobníka. Vyprázdňovanie je riadené snímačom okamžitej vlhkosti sušeného materiálu. Výkonnosť sušiarňí Chief závisí od teploty sušiaceho prostredia a vstupnej vlhkosti materiálu. Pohybuje sa v rozmedzí od  $9 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$  až do  $30 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ . Pri rekonštrukcii bol vybudovaný nový zdroj tepla, ktorým je teplovodný kotol spaľujúci biomasu, v tomto prípade slamu z vlastnej produkcie. Na sušiarňi boli umiestnené na mieste plynových horákov výmenníky tepla, využívajúce pre ohrev vzduchu teplú vodu privádzanú potrubím z kotolne (schéma na obr.1, skutočné prevedenie na obr.3). Pôvodná spotreba plynu bola na dvoch sušiarňach najviac  $400000 \text{ m}^3$  zemného plynu. V súčasnosti pri dvojmesačnej prevádzke je predpokladaná potreba 1200 t slamy. Slama musí byť dobre zhutnená i kvôli ekonomike dopravy slamy na stredisko. Na automatizovanú linku, ktorou sa dopravujú balíky slamy do spaľovacej komory, sa zmestí cca 10 balíkov slamy, čo postačuje na 4 až 5 hodín prevádzky.



Obr.1 Schéma ohrevu sušiaceho prostredia po rekonštrukcii

Fig.1 Block diagram of the heating the drying medium after reconstruction



Obr.2 Zásobníková sušiareň CHIEF  
Fig.2 Container dryer CHIEF



Obr.3 Pohľad na výmenník tepla  
Fig.3 View of the heat exchanger

Na meranie emisného stavu spalín sme použili merací prístroj TESTO 330 (obr.4). Pomocou tohto prístroja je možné merať okamžitý stav a zloženie spalín rôznych palív. Umožňuje meranie CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, prebytku vzduchu, relatívnej vlhkosti spalín, teploty spalín, teploty vonkajšieho vzduchu a ďalších veličín. Výhodou tohto prístroja je okamžité vyhodnotenie nameraných hodnôt a možnosť uloženia nameraných hodnôt do vstavanej pamäte prístroja. Prístroj je ľahko prenosný a snímače sa kalibrujú automaticky počas celej svojej životnosti.



Obr.4 Prístroj TESTO 330  
Fig.4 Device TESTO 330

#### Spaľovanie biomasy v kotle s neriadeným spaľovaním

Meranie bolo realizované na sušiarňi MC1075, ktorá bola upravená pre nepriamy ohrev sušiaceho prostredia. Ako zdroj tepelnej energie sa používa balíková slama. Slama sa spaľuje v ohrievači vzduchu GRASO NP 1200. Používa sa priame spaľovanie na pevnom rošte. Spaľovanie je riadené iba na základe výstupnej teploty spalín. Ohrievač nemá zariadenie na sledovanie stavu emisií. Výkon ohrievača je 1 MW. Sušiacie prostredie sa ohrieva prostredníctvom výmenníka spaliny – vzduch. Sušiareň MC1075 je zariadenie so súvnou zvislou vrstvou sušeného materiálu medzi perforovanými plechmi. Meranie sme vykonali podľa rovnakej metodiky ako pri sušiarňi CHIEF.

#### Výsledky a diskusia

V tab.1 sú pre sušiareň Chief uvedené namerané priemerné hodnoty jednotlivých zložiek v spalínach, ako napr. obsah CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, NO a ďalších veličín.

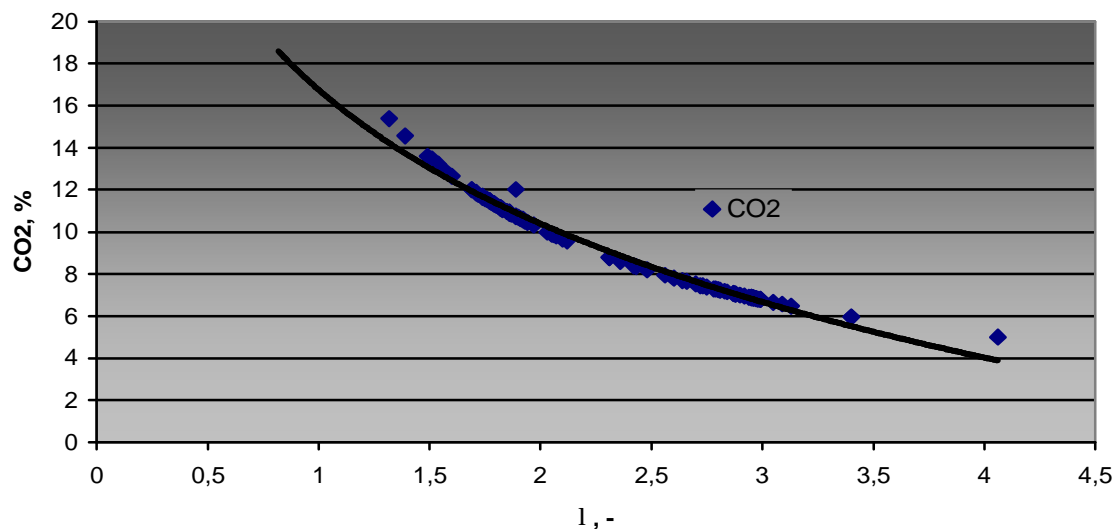


Tab.1 Priemerné hodnoty meraných veličín v spalinách  
Tab.1 Average measured values in combustion products

Teplota Spalín °C	Obsah CO <sub>2</sub> v spalinách %	$\lambda$ -	Obsah O <sub>2</sub> v spalinách %	Obsah CO v spalinách ppm	Teplota vzduchu °C	Účinnosť spaľovania %	Obsah NO <sub>x</sub> v spalinách ppm	Obsah NO v spalinách ppm
147,581	9,4372	2,2897	11,238	9,29	17,4	89,213	160,69	153,09

Z nameraných hodnôt vyplýva, že spaľovanie prebiehalo pri nízkych hodnotách produkcie emisií. Prevádzka kotla je automatizovaná a riadená zabudovaným počítačom.

Na obr. 5 je znázornená závislosť obsahu CO<sub>2</sub> v spalinách na prebytku vzduchu.



Obr.5 Obsah CO<sub>2</sub> v spalinách v závislosti od prebytku vzduchu  $\lambda$

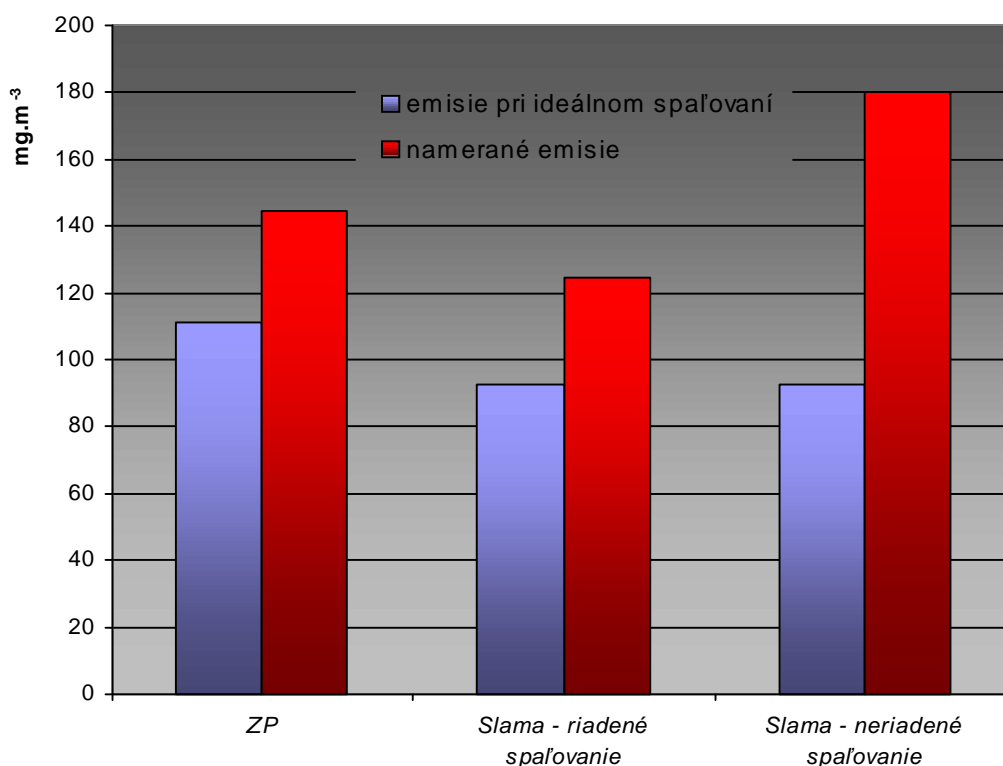
Fig.5 Dependence of CO<sub>2</sub> concentration in combustion gases on excessive air lambda ( $\lambda$ )

Na obr.6 sú namerané hodnoty emisií dusíka, ktorých veľkosť značne kolíše. Priemerné hodnoty emisií dusíka na zdroji s neriadeným spaľovaním sú uvedené v tab.2. Je zrejme, že produkcia emisií dusíka je v priemere vyššia ako pri horáku na zemný plyn (obr.6).

Tab.2 Priemerné hodnoty emisií nameraných pri spaľovaní bez riadenia  $\lambda$  sondou

Tab.2 Average emission values measured in the combustion without probe control of lambda ( $\lambda$ )

Teplota spalín °C	CO <sub>2</sub> %	$\lambda$ -	O <sub>2</sub> %	CO ppm	Teplota vzduchu °C	Účinnosť spaľovania %	NO <sub>x</sub> ppm	NO ppm
147,581	9,4372	2,5	13,238	25	16,8	80,35	151,25	144,29



Obr.6 Porovnanie produkcie emisií oxidov dusíka pri spaľovaní ZP a slamy  
Fig.6 Comparison of nitrogen oxides emissions in straw and natural gas combustion

Jednou z neželateľných znečisťujúcich látok v spalinách zo spaľovania fytohmoty (drevo, kôra, ihličie, lístie) sú oxidy dusíka vznikajúce nízkoteplotnou oxidáciou dusíka viazaného v palive. Koncentrácie oxidov dusíka v spalinách vznikajúcich uvedenou cestou sú závislé na množstve dusíka nachádzajúcom sa v palive. Údaje o obsahu dusíka vo fytohmote uvádzané v odbornej literatúre sú v značne širokom intervale  $N = 0,04 \div 2,3 \%$ . Základnými stavebnými prvkami fytohmoty (tab.3) je uhlík, vodík a kyslík (cca  $95 \div 98 \%$  v suchej hmote).

Tab.3 Zloženie vybraných druhov biopalív  
Tab.3 Composition of selected biofuel sorts

Druh biohmoty	C <sup>1</sup>	H <sup>1</sup>	O <sup>1</sup>	N <sup>1</sup>	S <sup>1</sup>	Cl <sup>1</sup>	Na <sup>2</sup>	Mg <sup>2</sup>	P <sup>2</sup>
Drevná hmota	50	6,2	43	0,1	0,02	0,01	35	170	80
Slama	49	6,3	43	0,5	0,10	0,40	500	700	1000
Zrno	46	6,6	45	2,0	0,10	0,10	50	1500	4000
Seno	49	6,3	43	1,4	0,20	0,81	1000	1700	3000

1) Hmotnostný podiel v horľavine (w - % daf),  
2) (mg.kg<sup>-1</sup> suš.)

Zdroj: ČSN CEN/TS 14961, [tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4534&h=202&pl=49](http://tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4534&h=202&pl=49)

Ako je uvedené v príspevku (Petříková, V., 2008), oproti hodnote obsahu chlóru v drevených peletách, ktorý je len 0,01 % hm (rozsah od 0,01 do 0,04 %), je obsah chlóru vo všetkých analyzovaných bylenných peletách vyšší, čo plne odpovedá aj typickým hodnotám obsahu chlóru uvedeným v ČSN P CEN/TS 14961. Z toho jednoznačne vyplýva, že nie je možné fytohmotu z rastlín (nedrewnú) posudzovať podľa obsahu chlóru vo fytohmote drevnej. Z výsledkov analýz peletiek možno ale taktiež doložiť, že slama je fytohmota, ktorá by mala



zaťažovať priestory kotla najviac. Pritom je bežné, že práve slama je fytopalivo, ktoré sa v rámci bylinnej fytoomasy používa najčastejšie pri vykurovaní obcí a miest. Svedčia o tom už niekoľko rokov úspešne fungujúce kotolne, kde sa používa ako palivo výhradne slama. Takéto kotolne fungujú k plnej spokojnosti napr. v Rakúsku, Dánsku i v ČR a inde, pričom nie sú žiadne správy o tom, že v krátkej dobe ničí kotly, ako sa u nás občas tieto domnienky v poslednej dobe šíria. Relatívne vyšší obsah chlóru v slame a v niektorých ďalších druhoch bylinnej fytoomasy oproti obsahu chlóru v drevných fytopalivách by teda nemal byť zásadnou závadou týchto typov fytoomasy.

Naproti tomu dodávateľ ohrievačov vzduchu NPA má iné skúsenosti. Ako je uvedené v príspevku (CEPLÁK, Ľ., 2008), najmä chlór, ktorý je v slame prítomný v oveľa väčšom množstve ako napr. v dendromase, môže viesť k rýchlejšej korózii teplovýmenných plôch kotla a dokonca ku vzniku nebezpečných dioxínov, ktorých prítomnosť v spalinách je priamo úmerná obsahu chlóru v palive. Ako teda uvádza dodávateľ týchto ohrievačov, v prednej časti výmenníka tepla spaliny-vzduch teplovýmenná plocha, ktorá je tepelne viac namáhaná, čiastočne koroduje od chlóru obsiahnutého v spalinách. Konštrukčné riešenie preto umožňuje ľahkú výmenu poškodených častí (bez zvárania).

V príspevku (KOČICA, J. a kol., 2004) sa uvádza, že zatiaľ čo obsah síry je v biomase nižší než u väčšiny iných palív (niektoré druhy hnedého uhlia i viac ako 1 %), celkový obsah chlóru je predsa len o čosi vyšší. Ako sa ďalej uvádza, je potrebné zdôrazniť, že sa nejedná o organicky viazaný chlór, ale o chlór vo forme anorganických chloridov, čo bolo experimentálne overené. Obavy z produkcie škodlivého chlorovodíka pri spaľovaní nie sú opodstatnené, pretože ten vzniká iba konverziou organicky viazaného chlóru.

## Záver

Náhrada fosílnych palív obnoviteľnými zdrojmi je veľmi aktuálna, preto aj problematike spaľovania biomasy je venovaná neustála pozornosť. Okrem toho, že biomasa je považovaná za najvýznamnejší z obnoviteľných zdrojov energie a o jej ekonomickej výhodnosti, najmä pokiaľ je z vlastných zdrojov, nie je už potrebné viesť dlhé diskusie, pozornosť sa sústreďuje na environmentálne aspekty. Nestačí už len konštatovanie, že pri spaľovaní biomasy sa uvoľní rovnaké množstvo CO<sub>2</sub> ako sa spotrebuje pri jej raste. Rozborom biopalív a spalín vznikajúcich pri spaľovaní sa venujú špecializované pracoviská s príslušným prístrojovým vybavením. V rámci našich možností realizované merania na zariadeniach pre ohrev sušiacieho prostredia dokladujú ich bezproblémovú prevádzku. Pozornosť bude potrebné venovať periodicite prikladania paliva, zvlášť u zariadení s dlhším časovým intervalom, a tým i väčším jednorázovým množstvom paliva pri zariadeniach s neriadeným spaľovaním. Produkciu emisií rôznych látok je možné ovplyvniť voľbou vhodného spaľovacieho režimu, jeho reguláciou a kontrolou.

Získané skúsenosti dokazujú, že i prevádzka poľnohospodárskych sušiarňí pomocou netradičných zdrojov energie z miestnych zdrojov vo forme biomasy je možná a ekonomicky výhodná. Z pohľadu produkcie emisií je nutné dodržiavať vstupnú vlhkosť paliva (slamy) a spôsob prikladania paliva daný výrobcom zariadenia. Zvlášť dôležité je to pri zariadeniach bez automatického prísunu paliva.

*Príspevok je publikovaný vďaka riešeniu grantového projektu VEGA 1/0708/09 „Výskum využitia tepelnej energie z obnoviteľných zdrojov v poľnohospodárskom sušiarstve s posúdením ekologicko-technických dopadov“.*

## Literatúra

1. CEPLÁK, Ľ.: *Využitie ohrievačov vzduchu typu NPA v sušiarstve*. In: Agrobioenergia, roč.3, 2008, č.4, s. 9-10.
2. DZURENDA, L.: *Produkcia oxidov dusíka z procesu spaľovania vlhkého dreva a kôry niektorých ihličnatých a listnatých drevín*. In: Acta Mechanica Slovaca, roč. 8, 2004, č. 3-A, s. 87-92.
3. KOČICA, J. a kol.: *Vlastnosti biomasy jako paliva*. <http://lesprace.silvarium.cz/content/view/398/21/>. (Lesnícká práce, roč.83, 2004, č. 3/04).



4. PETŘÍKOVÁ, V.: *Obsah chloru v biomase*. Biom.cz [online]. 2008-03-07 [cit. 2009-03-10]. Dostupné z www: <<http://biom.cz/cz-spalovani-biomasy/odborne-clanky/obsah-chloru-v-biomase>>. ISSN 1801-2655.
5. PETŘÍKOVÁ, V.: *Biomasa - alternatívne palivo z hľadiska chemického zloženia*. 2007-30-07 <http://www.agroforum.sk/archive/index.php/t-1775.html?start>
6. TIROL, J.: *Posúdenie možností alternatívnych zdrojov tepla pre sušiarne zrnín*. Dizertačná práca. Nitra: SPU, 2009, 125 s.
7. VITÁZEK, I. - HAVELKA, J.: *Odpadová biomasa ako zdroj tepelnej energie v poľnohospodárstve*. In: Acta Mechanica Slovaca, roč.4, 2000, č.3/2000, s. 437-442.
8. VITÁZEK, I.: *Využitie energie z biomasy – 2.časť*. In: Agrobioenergia – časopis Združenia pre poľnohospodársku biomasu, roč.3, 2008, č.1, s.20-23.
9. VITÁZEK, I. – TIROL, J. – HAVELKA, J.: *Analýza spalín pri spaľovaní biomasy*. In: Strojárstvo (Mechanical Engineering Journal), 2009, mimoriadne vydanie, jún, s. 294-297. ISSN 1335-2938
10. VOŘÍŠEK, T.: *Ohlasy ze semináře "Solární termické systémy a zdroje tepla na biomasu" a jejich efektivní integrace do soustav vytápění budov*. <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4534&h=202&pl=49>

**Súhrn:** V súčasnosti sa pri sušení obilnín začínajú vo väčšej miere využívať na ohrev sušiaceho prostredia obnoviteľné zdroje energie. Z nich má najvyššie zastúpenie biomasa ako vlastný zdroj, a to predovšetkým slama. V príspevku sú uvedené poznatky z overovacieho merania na sušiarňach obilnín, kde ako zdroj tepla slúži v jednom prípade teplovodný kotol spaľujúci slamu, v druhom prípade ohrievač, ktorý cez výmenník tepla spaliny-vzduch dodáva sušiace prostredie o požadovanej teplote. Uvedené sú vybrané závislosti produkcie CO<sub>2</sub> a oxidov dusíka, porovnanie so zemným plynom a ideálnym spaľovaním. Zistené poznatky evokujú potrebu upustiť od názorov o tzv. ekologicky neškodnej výrobe tepla z biomasy. Pokiaľ je však biomasa náhradou za fosílnu palivá, dopady na životné prostredie sú oveľa priaznivejšie.

**Kľúčové slová:** biomasa, emisie, spaľovanie, zdroje tepla, sušiarne