



VPLYV VLASTNOSTI ŠTIEPKY NA VEĽKOSŤ A TVAR MALEJ SPAĽOVACEJ KOMORY

Jaroslav Longauer - Jerzy Swigoñ - Jaroslav Longauer jr.

Abstract

The properties of forest wood chips including size, shape and volumetric weight, need to be reflected in the designs of small combustion chambers as far as they influence the quality and controllability of a combustion process. These physical properties are particularly important for the cauldrons which outputs range from 40 to 200 kW in regard to the possibility of automated control of combustion and compliance environmental emission limits. In regard to the emission limits and energy efficiency, our experiments prove that designs of a combustion chamber predetermine the quality of combustion of small desintegrated forest chips. In the case of small-sized beech chips with a moisture content up to 30 %, the shape of a chamber has influenced separation of individual combustion phases. In the case of the air, not only its disponible volume, but also distribution and thoroughness of mixing with combustion gases at the appropriate reaction temperature proves to be critically important for the energy efficiency. Our experiments demonstrate, in addition, that the shape of a chamber predetermines largely also the composition of exhaustion gases.

Key words: forest wood, combustion chamber, combustion product, energy utilization

1. ÚVOD

Najnovšie trendy využívania palív vo vidieckých sídlach a okrajových prihraničných regiónoch uprednostňujú využívanie palív z dendromasy v jej rôznych tvaroch pre jej cenovú výhodnosť a dostupnosť. V lesnom hospodárstve je dnes možné pre energetické využitie získať dendromasu ako palivo vo forme kusového dreva ale i vo forme lesnej štiepky. Zdroje vo forme klasického palivového dreva sa obmedzujú pretože lesným závozom cenovo výhodnejšie je dodávať túto dendromasu ako vlákninu drevospracujúcim podnikom a na export. Z týchto dôvodov v súčasnosti nastupuje využitie paliva vo forme štiepky z ihličnatých a listnatých drevín z nehrubia a konároviny, ktoré nie sú vhodné na ďalšie spracovanie v technológiách drevopriemyslu [2]. Takéto palivo je veľmi vhodné pre riadené automatické spaľovanie pre výrobu tepla. Pre jednotlivé technológie spaľovania lesnej štiepky v spaľovacích zariadeniach musí sa táto pred využitím vhodne upraviť tak, aby zodpovedala technickým požiadavkám pre dané zariadenie.

Úpravou lesnej štiepky sa sleduje jej homogenizácia ako paliva rovnomerného granulačného zloženia, ktorú už je možné ekologicky spaľovať pri jej maximálnom ekonomickom a energetickom využití [9]. Takéto úpravy paliva si vyžadujú spaľovacie

zariadenia nižších výkonov, ktoré využívajú automatický proces podávania paliva a jeho dávkovania do priestoru spaľovania. Takýmto zariadením je i malá spaľovacia komora, ktorá môže byť zabudovaná priamo v kotlovej jednotke ale i mimo nej a ktorá je predmetom nášho riešenia. Tvar a vnútorné usporiadanie spaľovacej komory musí vychádzať z daného použitého paliva pre zaistenie využitia jeho maximálnej výhrevnosti s dopadom na ekonomické a environmentálne kritériá.

Protikladom takéhoto využitia lesnej štiepky ako alternatívneho paliva na jej energetické zhodnotenie sú dnes súčasné trendy jej spaľovania vo veľkých kotlových jednotkách na roštach 5 až 25 MW kotlov samostatne alebo spolu s uhlím. Jej energetické zhodnotenie v týchto neupravených zariadeniach je nižšie pričom dochádza i k nedodržaniu požadovaných emisných limitov tj. emisných kritérií o ktorých si využívatelia myslia, že spaľovaním dendromasy prípadne agromasy tieto sa vylepšia. I tieto zariadenia po technických úpravách a vhodnom riadení spaľovacieho procesu môžu dosiahnuť požadované kvalitatívne požiadavky.

2. VYBRANÉ VLASTNOSTI PALIVA A ICH VYMEDZENIE

Lesná štiepka podľa ON 49 0095 má vlastnosti palivového dreva. Zastúpenie jednotlivých ihličnatých a listnatých drevín nie je v štiepke percentuálne obmedzené. Základné rozmery lesnej štiepky sú: dĺžka 5 až 50 mm (v smere vlákien) šírka 5 – 30 mm a hrúbka 5 – 10 mm.

V riešenom projekte sa uvažuje ako s palivom so zelenou bukovou lesnou štiepkou vytvoreného z nehrubia – konároviny s priemerom do 120 až 150 mm vyrobenej v sekacích zariadeniach na lesných medziskladoch ako i v priestoroch, kde je spaľovacieho zariadenia umiestnené. Palivo, podľa typu sekacieho zariadenia sa vyznačuje svojou granulometrickou skladbou [2,4]. Veľkosť a tvar lesnej štiepky, ako paliva, má veľký význam pre rovnomernosť dávkovania do spaľovacej komory pre daný systém, kde sú prevažne závitkové podávacie mechanizmy a iné dávkovacie mechanizmy. V mnohých prípadoch, na požiadanie zákazníkov štiepka musí prejsť cez triediace zariadenia, ktoré sú už bežné u jej výrobcu alebo jej dodávateľa. Riešený projekt predpokladá s dvoma typmi podávania a to podľa veľkosti spaľovacej komory do 80 kW a od 80 do 200 kW a viac. Pre menšie rozmerové typy podávacích závitoviek tj. pre spaľovacie komory do 80 kW experiment si vyžiadal drobnú lesnú štiepku s možnosťou spaľovania zmesi štiepky a piliny upravenej na sitovacom zariadení s nasledovným granulárnym zložením uvedenom v tab. č.1.

Tab. č. 1 Granulačné zloženie upravenej lesnej štiepky

Sitová analýza	Veľkosť otvorov v sítach [mm]							
	do 5	5	10	15	20	30	35	40
Zastúpenie v %	16	18	16	13	11	10	9	7

Tab. č. 2 Zložky fytomasy v bukovvej lesnej štiepke

Drevo %	64,1	Kôra %	33,3	Lístie %	1,6
---------	------	--------	------	----------	-----

Pre malý typ spaľovacej komory (do 80 kW) bola v experimente použitá drobná buková lesná štiepka s granulárnym zložením do veľkosti otvorov v sítach 20 mm.

3. OPTIMALIZÁCIA VNÚTORNÉHO TVARU SPAĽOVACEJ KOMORY

Veľkosť a tvar malej spaľovacej komory pre spaľovanie drobnej lesnej štiepky s vplyvom na vznik emisií, a jej konštrukčné riešenie vychádzali z dynamických pohybových Navier Stokesových rovníc, z teórie spaľovania palív (zo statiky a dynamiky procesu spaľovania) a následne odvodených vzťahových závislostí pre výpočet produkcie spalín zo spaľovania danej dendromasy a ich chemického zloženia [1, 2, 3, 5, 8, 11].

Pri optimalizácii vnútorného tvaru malej spaľovacej komory vo vzťahu k účinnosti premeny primárnej energie obsiahnutej v palive a vo vzťahu k zaťaženiu životného prostredia sa ukazuje ako veľmi vhodné využívať výpočtové metódy založené na metódach konečných objemov (CFD metóda). Táto metóda umožňuje simulovať celý proces premeny primárnej energie obsiahnutej v palive až po odovzdanie tepla do teplotného média. Tento proces sa skladá zo splyňovania paliva, prúdenia plynu a spalín v spaľovacej komore, prívodu primárneho a sekundárneho vzduchu, prúdenie spalín a odovzdanie tepla zo spalín do teplotného média v danej kotlovej jednotke. Každá etapa predstavuje samostatný úsek riešenia, ktorý je potrebné zapracovať do uceleného vyššie uvedeného procesu. V príspevku je uvedená CFD metóda simulácie procesu využívania energie na modelovom zdroji tepla na malej spaľovacej komore, ktorá využíva drobnú bukovú lesnú štiepku ako palivo.

Modelový tepelný zdroj – malá spaľovacia komora, ako zdroj pre optimalizáciu tepelných parametrov, bol vybraný z niekoľkých valcových a lineárnych geometrických modelov. Lineárny geometrický tvar komory [5] bol prijateľný predovšetkým z dôvodov variabilnosti modifikovania vnútorného usporiadania tvaru a veľkosti vnútorného priestoru malej spaľovacej komory čo umožnilo niekoľkonásobné overovanie spaľovania za iných podmienok. Experimentálne boli overené vnútorné riešenia prostredníctvom variabilnosti vnútorných častí pri čom sa zvlášť dôraz kládol na prednú klenbu komory, ktorá zohráva zvlášť významnú funkciu pri ohreve paliva v zóne sušenia paliva. Sklon prednej klenby a súčiniteľ tepelnej pohltivosti sú odvodené tak, aby plocha horiacej vrstvy paliva mohla čo najviac odrážať sálavé teplo zo žeravej vrstvy do oblasti sušenia. Z tohoto dôvodu vnútorný tvar hornej prednej časti komory bol nepravidelný polparaboloid následne upravený v ďalšej časti komory do tvaru, ktorý spĺňa aerodynamický únik prchavej horľaviny a tvorbu spalín do výstupu komory, čo je vidieť na modelovom riešení na obr. č.1 až č.3.

Optimalizované množstvo spaľovacieho vzduchu, v závislosti na množstve privádzaného vzduchu, sa dopravuje pod šikmý perforovaný rošt ako primárny a do strán komory ako sekundárny spaľovací vzduch. Menšia vrstva paliva na rošte v blízkosti stien kúreniska umožňuje ľahší prechod väčšieho množstva spaľovacieho vzduchu, ktorý sa nespotrebuje len v procese horenia paliva na rošte, ale hlavne v procesoch horenia prchavej horľaviny v priestore nad vrstvou paliva. Popol sa sústreďuje v priestoroch pod roštom a za roštom v zbernej jímke odkiaľ sa odstraňuje.

3.1 Vstupné parametre pre experiment a do modelu pre modelovanie

Vykonanie experimentu a simulácie procesu spaľovania bolo realizované s množstvom 3 - 4 kg drobnej bukovkej lesnej štiepky s maximálnym granulačným zložením do 20 mm. Buková štiepka bola vyrobená z bukového nehrubia do priemeru suroviny 40 mm čomu odpovedalo i zastúpenie jednotlivých zložiek dendromasy. Vlhkosť štiepky, ako paliva, bola v rozsahu 25 až 27 % jej absolútnej vlhkosti s výhrevnosťou 14,2 MJ/kg [4]. Prívod vzduchu bol generovaný ťahom 15 až 45 Pa pri teplote 20 °C a atmosférickom

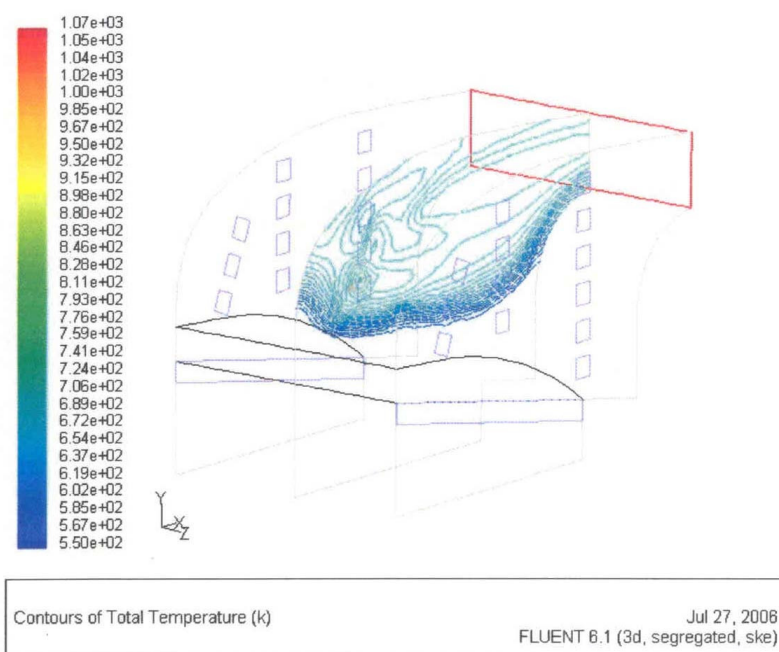
tlaku 101 350 Pa. Prebytok spaľovacieho vzduchu pri experimentoch sa pohyboval v rozpätí od 1,9 do 2,1.

3.2 Model turbulencie a horenia

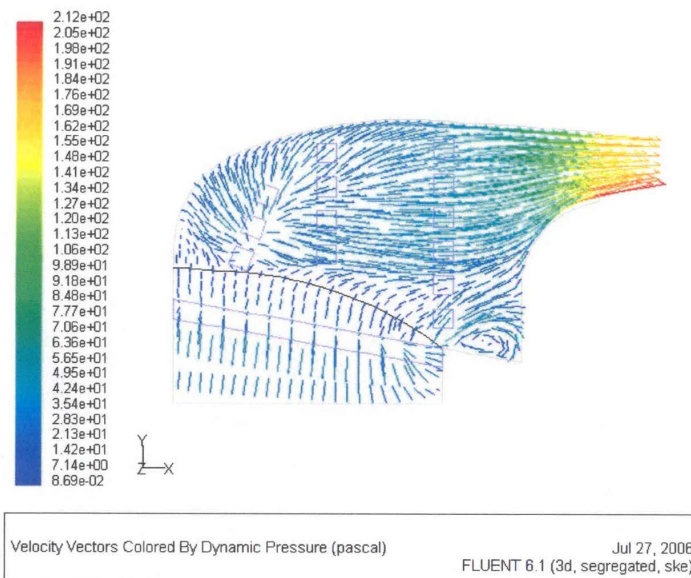
Pre modelovanie tvaru malej spaľovacej komory bol optimalizovaný $k - e$ model turbulencie vychádzajúci z teoretického rozboru dynamických pohybových rovníc, kde (k) je kinetická rýchlosť turbulentných fluktuácií a (e) je rýchlosť rozptylu turbulentnej energie. Empirické konštanty modelu sú $c_1 = 0,09$, $c_2 = 1,92$, $P_{rk} = 1,0$, $P_{re} = 1,3$. Vybratý bol kinetický model horenia dreva. Prívod paliva bol nastavený ako hmotnostný tok 0,00148 kg/s. Pre časovú náročnosť výpočtu sa tento model nastavil ako jednofázový.

3.3 Výsledky simulácie

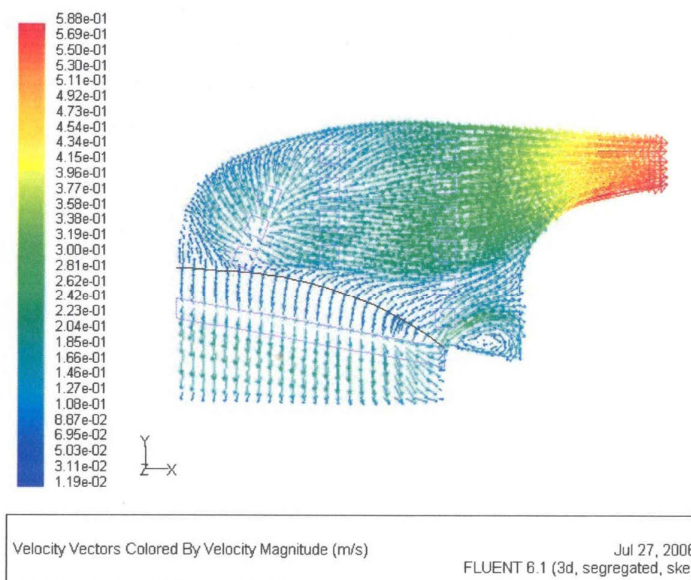
Na obr. č. 1 až č.3 sú uvedené vybrané výsledky simulácií teplôt, tlakov a rýchlostí vo vybraných prierezoch malej spaľovacej komory, ktoré vychádzali z jej teoretického, experimentálneho a modelového riešenia pre najvhodnejšiu energetickú a environmentálnu optimalizáciu jej tvaru.



Obr. 1 Rozloženie teplôt v strednom priereze komory



Obr. 2 Rozloženie dynamického tlaku v strednom priereze komory



Obr. 3 Rozloženie rýchlostí v strednom priereze komory

4. ZÁVER

Tvorba a vznik plynných emisií pri spaľovaní drobnej bukovej lesnej štiepky s jej energetickým využitím vychádzali z teoretických a experimentálnych analýz pre určenie vnútorného tvaru malej spaľovacej komory. Pre konečné určenie tvaru malej spaľovacej

komory významne prispeli CFD metódy predovšetkým $k\text{-}e$ model turbulencie vychádzajúci z Navier Stokesových rovníc, z rovníc teórie spaľovania a vzťahových závislostí pre výpočet produkcie spalín a ich chemického zloženia zo spaľovania uvedeného paliva. Tvar hornej časti malej spaľovacej komory vo forme polparaboly bol takto prispôsobený pre experimentálne overenie, ktoré preukázalo, že pri dodržaní technických požiadaviek prevádzkovania uvedenej malej spaľovacej komory požadované emisné limity podľa vyhlášky MŽP SR č.706/2002 Z.z. boli pod stanovenými hranicami.

LITERATÚRA

- [1] Baranský, J.: Physical and numerical modelling flow pattern and combustion process in pullwerized fuel fired boiler. Stockholm – október 2002.
- [2] Dzurenda, L.: Spaľovanie dreva a kôry. Technická univerzita vo Zvolene. Zvolen 2006.
- [3] Dzurenda, L.: Technický výpočet emisnej hodnoty NO z procesu spaľovania smrekovej lesnej štiepky. In. Zborník MVK “Energetika a životné prostredie - Moderní energetické technológie a obnoviteľné zdroje” VŠB TU Ostrava, 2005.
- [4] Dzurenda, L.- Orłowski, K.- Wasilewski, R.: Optimal selection of the sawdust separation device for a narrow-kerf sawing machine PRW 15 M. In: Annals of Warsaw Agricultural University – SGGW, Forest and Wood Technology No 56/2005.
- [5] Longauer, J.- Swigoň, J. - Černecký, J.: Modelovanie tvaru a veľkosti spaľovacej komory – východiskové kritériá. In. Zborník XIV. MVK “Aplikácia experimentálnych a numerických metód v MT” ŽU v Žiline, SjF KtaH strojov. Rajecké Teplice 2004.
- [6] Longauer, J.- Swigon, J.- Marko, M.: Selected properties of forest wood chips for energy utilization. In. MVK Katedier mechaniky tekutín a termomechanik. VŠT SjF Brno - Blansko 2005.
- [7] Longauer, J. a kol.: Modelovanie tvaru malej spaľovacej komory. In. Zborník XV. MVK “Aplikácia experimentálnych a numerických metód” v MT. ŽU v Žiline, SjF KET. Žilina - Strečno 2006.
- [8] Ponevsky, N.: Teória plameňa. ES VŠT v Košiciach. Košice 1988.
- [9] Swigoň, J.- Longauer, J.: Energy Consumption in Wood Pellets Production. Folia Forestalia Polonica. Wyd. AR Poznan. Seria B, Zeszyt 36. 2005.
- [10] Malcho, M. – Jandačka, J.: Využitie biomasy pre zabezpečovanie vykurovania školských objektov. Zborník z 1. Konferencie “ Malé vodné diela a alternatívne zdroje energie”. Košice, 2001.
- [11] Jandačka, J.- Malcho, M. a kol.: Simulácia procesu horenia v zdroji tepla na splyňovanie dreva. In. Zborník XV. MVK “Aplikácia experimentálnych a numerických metód v MT” ŽU v Žiline, SjF KET. 2006.

The article is based on the results of the projects VEGA-SR č.1/1335/04 financed by the Granting Agency for Science of the Slovak Republic.