

THE BOUNDARY CONDITIONS FOR A NUMERICAL MODELING OF A BIOMASS COMBUSTION PROCESS

Trávníček P., Vítěz T., Mareček J.

Department of Agriculture, Food and Environmental Engineering, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: petr.travnicek@mendelu.cz

ABSTRACT

Our objective was to determine some boundary conditions for use of a numerical model calculation of a biomass combustion process. Particle size distribution (PSD) of sawdust and wood shavings mixture were performed according to Rosin-Rammler. On the basic of analyze was designed granulometric curves – curve of Cumulative weight under sieve, curve of cumulative weight over sieve and curve of frequency distribution. Samples of sawdust and wood shavings mixtures were collected from the fuel bunker in the furniture factory. Size of mesh were 0.1 mm, 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm, 1.6 mm, 3 mm, 5 mm a 6 mm. Curve of frequency distribution had non-standard behavior. These behaviors probably cause of special material – wood shavings in the mixture have non-spherical form. The basic information for a boundary condition entry to CFD model was preserved.

Key words: biomass combustion process, particle size, CFD model

ÚVOD

Nevhodně definované okrajové podmínky mohou proces CFD (Computational Fluid Dynamic) výpočtu ovlivnit natolik, že jinak z fyzikálního hlediska správně vytvořený numerický model neodpovídá skutečnosti. Z tohoto důvodu je určení okrajových podmínek pro účely výpočtu CFD modelu velmi důležité. Při vytváření CFD modelu spalovacího procesu tuhého paliva lze mezi okrajové podmínky zařadit například distribuci velikosti částic paliva, složení spalín, chemické složení paliva, tlak tekutiny na výstupu ze spalovacího prostoru, rychlost proudění tekutiny, přebytek vzduchu a jiné.

Značný vliv na CFD výpočet spalovacího procesu tuhého paliva má analýza distribuce velikosti částic, která mimo jiné zahrnuje analýzu četnosti dané frakce ve vzorku. Pro tuto analýzu se používá několik různých složitých matematických modelů nebo jejich modifikací (González-Tello et al., 2008), které zahrnují například distribuci velikosti částic podle Rosin-Rammlera, Gates-Gaudis-Schumanna nebo podle Nukiyama-Tanasawa. Použití těchto modelů závisí na druhu materiálu, jenž je analýze podrobován. Metoda určení vhodnosti modelu pro daný druh materiálu uvádí v odborné literatuře Macías-García et al., 2004.

V příspěvku je provedena analýza distribuce velikosti částic směsi pilin a hoblin. Tento spalovaný materiál má svá specifika (např. hobliny ve směsi nemají sférický charakter), a proto je důležité zvolit vhodný model. Pro tento účel byl zvolen nejvyužívanější matematický model a to analýza distribuce velikosti částic podle Rosin-Rammlera.

MATERIÁL A METODIKA

Vzorek materiálu pro účel analýzy byl odebrán ze zásobníku paliva spalovacího zařízení. Sběr vzorků byl proveden v souladu s normou ČSN ISO 10381-6:1998 Kvalita půdy - Odběr vzorků - Část 6. V den odběru byl vzorek transportován do laboratoře, kde byl při 105 °C v elektrické peci vysušen na standardní sušinu.

Po úpravě vzorku byla provedena síťová analýza pomocí soustavy sít o rozměrech ok 0,1 mm, 0,2 mm, 0,3 mm, 0,4 mm, 0,5 mm, 1,6 mm, 3 mm, 5 mm a 6 mm. Navážka odpadního písku o hmotnosti $50 \pm 1,5$ g byla vložena na horní síť. Jednotlivé frakce odpadního písku byly separovány síťovým rozborem, resp. setřásáním písku pomocí kmitání stolice, na které byla sada sít o vnitřním průměru 200 mm umístěna. Počet kmitů byl nastaven na hodnotu 150 za minutu, doba trvání zkoušky byla zvolena na 15 minut. Poté byly jednotlivé frakce ze síta odebrány a zváženy. Vážení bylo provedeno analytickými váhami Radwag AS 220/X s přesností 0,0001 g. Na základě změřených dat byly sestrojeny granulometrické křivky – křivka kumulativní hmotnosti částic nad sítím, křivka kumulativní hmotnosti částic pod sítím a křivka četnosti částic.

Kumulativní hmotnost nad sítím

Křivka kumulativní hmotnosti nad sítím udává hmotnostní podíl zrn x_z , které jsou větší než je rozměr oka síta x o velikosti x v závislosti na velikosti ok sít x . (Rosin and Rammler, 1933).

$$R(x) = \frac{\Delta m \cdot (x_z > x)}{m} \quad [-] \quad (1)$$

kde:

Δm – hmotnost částic s rozměrem ok x a větších [kg]

m – celková hmotnost navážky vzorku [kg]

Kumulativní hmotnost pod sítím

Hmotnostní podíl zrn, jejichž velikost x_z je roven velikosti ok síta x nebo menších než je rozměr oka síta x v závislosti na velikosti ok sít x , je udáván pomocí křivky kumulativní hmotnosti pod sítím (Rosin and Rammler, 1933).

$$P(x) = \frac{\Delta m \cdot (x_z \leq x)}{m} \quad [-] \quad (2)$$

kde:

Δm – hmotnost částic o velikosti x_z rovné nebo menší nežli oko síta x [kg]

m – celková hmotnost navážky vzorku [kg]

Četnost

Křivka četnosti se odvodí z křivky kumulativní hmotnosti pod sítím. Křivku četnosti definuje hmotnostní podíl částic $dP(x)$, ježž připadají na jednotkový interval.

$$y(x) = \frac{dP(x)}{dx} \quad [m^{-1}] \quad (3)$$

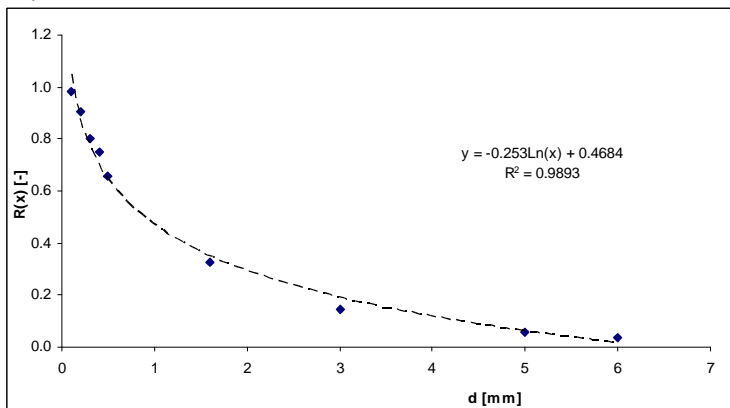
VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledné hodnoty ze sítové analýzy vzorku jsou uvedeny v Tab. 1. Křivka znázorňující hmotnostní podíly součtu jednotlivých frakcí neboli kumulativní hmotnost nad sítím, je uvedena v Grafu 1. Z tohoto grafu je patrné, že křivka má logaritmický průběh a koeficient determinace, zde činí po zaokrouhlení $R^2 = 0,99$.

Tab. 1: Zjištěná data pro sestavení granulometrických křivek

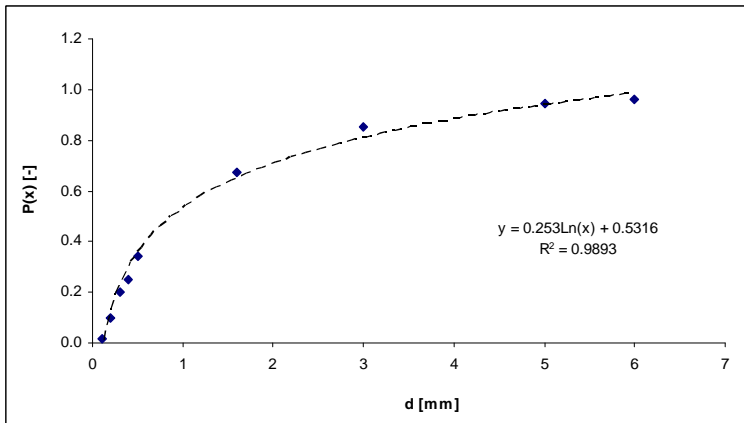
Velikosti zrn	Velikost oka	Zastoupení frakce	Zastoupení frakce	Kumulativní hmotnost nad sítím R(x)	Kumulativní hmotnost pod sítím P(x)	Četnost y(x)
[mm]	[mm]	[g]	[-]	[-]	[-]	[m ⁻¹]
<0.1	0.1	3.9479	0.0784	0.9814	0.0186	0.0002
0.1 – 0.2	0.2	5.1094	0.1015	0.9030	0.0970	784.3094
0.2 – 0.3	0.3	2.5530	0.0507	0.8015	0.1985	1015.0588
0.3 – 0.4	0.4	4.7443	0.0943	0.7508	0.2492	507.1917
0.4 – 0.5	0.5	16.5542	0.3289	0.6565	0.3435	942.5262
0.5 – 1.6	1.6	9.1431	0.1816	0.3276	0.6724	298.9763
1.6 – 3	3	4.5850	0.0911	0.1460	0.8540	129.7438
3 – 5	5	0.8295	0.0165	0.0549	0.9451	45.5439
5 – 6	6	1.9340	0.0384	0.0384	0.9616	16.4793

Graf 1 Křivka kumulativní hmotnosti nad sítím



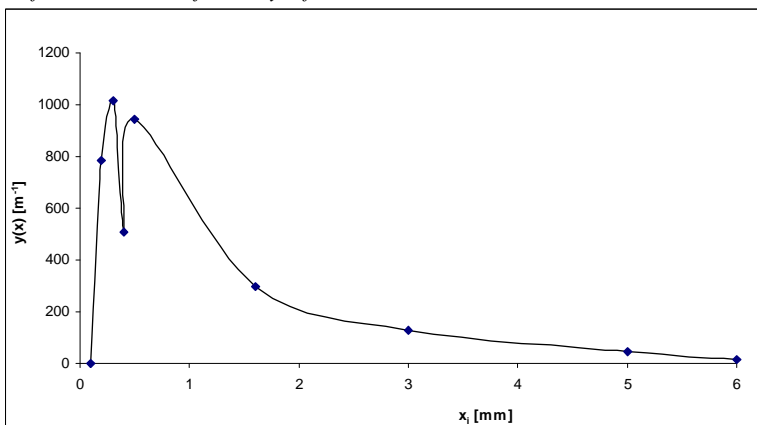
Přirozený logaritmus průběhu funkce kumulativní hmotnosti pod sítím je absolutní hodnotou přirozeného logaritmu funkce kumulativní hmotnosti nad sítím. Křivka kumulativní hmotnosti pod sítím je tedy reciprokou ke křivce kumulativní hmotnosti nad sítím. Křivka kumulativní hmotnosti pod sítím je vyjádřena v Grafu 2.

Graf 2 Křivka kumulativní hmotnosti pod sítím



Křivka četnosti jednotlivých frakcí je znázorněna v Grafu 3. Z grafu je patrné, že největší četnost částic se vyskytuje v intervalu velikosti částic od 0,5 mm do 1,6 mm. V průběhu funkce se však vyskytuje anomálie, která není u jiných materiálů analyzovaných podle Rosin-Rammlera běžná (Vítěz et al., 2010). Jedná se o propad hodnoty $y(x)$ u částic o rozměru 0,4 mm. Tato anomálie je pravděpodobně způsobena specifiky zkoušeného materiálu, kde hobliny (jež jsou částí palivové směsi) nemají sférický tvar.

Graf 3 Křivka četnosti jednotlivých frakcí ve vzorku



ZÁVĚR

Rozseвовá analýza paliva pro potřeby numerického modelu spalovacího procesu biomasy ukázala nestandardní průběh funkce četnosti jednotlivých frakcí ve vzorku. Základní informace pro zadávání okrajových podmínek do softwaru provádějícího numerickou simulaci však z provedeného měření zůstává zachována. Jedná se především o vypočítanou hodnotu největších četností jednotlivých frakcí, která je nutná pro zdárný průběh CFD výpočtů. Ostatní informace, jako je funkce kumulativní hmotnosti nad sítím a kumulativní hmotnosti pod sítím, jsou ze statistického hlediska průkazné. Koeficient determinace činí $R^2 = 0,99$. V současné době probíhá testování ostatních matematických modelů pro analýzu distribuce velikosti částic, jejichž výsledky jsou potom uplatňovány při zadávání okrajových podmínek do CFD modelů. Výsledky použitých CFD modelů jsou poté mezi sebou porovnávány a vyhodnocovány.

LITERATURA

González-Tello, P., Camacho, F., Vicaria, J. M., González, P.A. (2008): A modified Nukiyama-Tanasawa distribution function and Rosin-Rammler model for the particle-size-distribution analysis. *Powder Technology* 186: 278–281

Macías-García, A., Cuerda-Correra, Eduardo M., Díaz-Diez, M. A. (2004): Application of the Rosin-Rammler and Gates-Gaudin-Schuhmann models to the particle size distribution analysis of agglomerated cork, *Materials Characterization* 52: 159–164.

Rosin, P.; Rammler, E. (1933): The Laws Governing the Fineness of Powdered Coal. *Journal of the Institute of Fuel* 7: 29–36

Vítěz T., Kukla R., Trávníček P. (2010): Physical properties of sand from the waste water treatment plants. *Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun.* 58: 233–238.