

Bibliid: 0350-2953 (2012) 38, 2:145-151
UDK: 536.7:662.952.2:676.011

Originalni naučni rad
Original scientific paper

**UTICAJ SMERA DOVOĐENJA SEKUNDARNOG VAZDUHA
NA PRODUŽENJE VREMENA ZADRŽAVANJA GASOVA U LOŽIŠTU**

**INFLUENCE OF DIRECTION OF SECONDARY AIR SUPPLY
TO EXTENSION OF GAS RESIDENCE TIME IN FURNACE**

Borivoj Stepanov, Biljana Miljković, Ivan Pešenjanski
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6.
E-mail: bstep@uns.ac.rs

SAŽETAK

Karakteristika biomase je visok sadržaj volatila, lako isparljivih materija. Da bi se obezbedilo njihovo potpuno sagorevanje jedna od mogućnosti je u produženju vremena zadržavanja gasova u zonama u kojima je temperatura iznad temperature paljenja. U suprotnom, neiskorišćenje ove energije dovodi do potrebe za povećanom potrošnjom goriva, i samim tim do većeg zagađenja okoline.

U ovom radu se prikazuje kako ugao dovođenja sekundarnog vazduha utiče na vreme zadržavanja gasova.

Da bi se proučio ovaj uticaj, usled velike složenosti spregnutih procesa koji se odvijaju u ložištu posmatra se problem izotermnog strujanja. Ovaj pristup je podržan i često primenjivan u literaturi.

Rezultati pokazuju razliku u srednjem vremenu zadržavanja gasova između najboljeg i najlošijeg slučaja od 20%.

Ključne reči: Biomasa, poboljšanje sagorevanje, simulacija, CFD

1. UVOD

Srbija raspolaže sa značajnim količinama ostataka iz poljoprivredne proizvodnje. Procenjeno je da sa 4.5 miliona ha poljoprivrednog zemljišta ostaci u energetske jedinice izraženo čine 1.4 miliona toe (Martinov and Tešić, 2007) čime bi se mogao pokriti deo od 11.8 miliona toe ukupne potrošnje fosilnih goriva.

Prema rezultatima ispitivanja prikazanih u (Martinov et al., 2006; Pešenjanski and Stepanov, 2005) kotlove koji se lože baliranom slamom odlikuju efikasnosti u opsegu od 31-73%, i vrednosti koeficijenta viška vazduha od 1.3 do 8.8.

Navedeni rezultati navode na zaključak da specifičnosti biomase kao goriva nisu uzete u obzir pri projektovanju ovih kotlova i da je svrsishodno razmatrati načine njihovog poboljšavanja. Pri čemu bitna karakterika biomase je u visokom sadržaju volatila. Pri zagrevanju biomase u ložištu dolazi do njihovog oslobađanja pri znatno nižim

temperaturama od onih koje odgovaraju uglju. Za slamu sadržaj volatila iznosi 71% prema (Ebeling and Jenkins, 1985; Domalski et al., 1986)

2. MATERIJAL I METOD

2.1. Vreme zadržavanja

Vreme zadržavanja je jedan od 3 najznačajnija parametra koji kontrolišu kvalitet sagorevanja. Pored vremena zadržavanja na kvalitet sagorevanja utiču i temperatura i turbulencija odnosno mešanje. Ustaljeno je u literaturi da se ova tri parametra nazivaju skraćeno 3 t-a kvalitetnog sagorevanja po njihovim početnim slovima (vreme zadržavanja na engleskom je residence time).

Povećanje vremena zadržavanja dovodi do boljeg sagorevanja, onog koje je bliže potpunom, pri čemu se omogućava snižavanje koeficijenta viška vazduha. Niz merenja je pokazao da kotlovi na biomasu rade sa nedozvoljeno visokim vrednostima koeficijenta viška vazduha koji ustvari pretvara kotao od uređaja za produkciju tople, vrele vode ili pare u zagrejač vazduha. U industriji koja proizvodi spalionice otpada je vreme zadržavanja povećavano metodom indukovanja spiralnog strujanja pomoću odgovarajućeg rasporeda i orijentacije gorionika. U ovom radu se istražuju uticaji ugla sekundarnog vazduha na vreme zadržavanja. Sekundarni vazduh je uobičajen u uređajima za sagorevanje i njegovi glavni zadaci su da inicira ili intenzifikuje turbulenciju ili da utiče na temperaturni nivo, kao i da poboljša mešanje kroz linearni i ugaoni momenat. Gumc je napisao u (Gumz, 1951): "Broj mlaznica, njihova lokacija i smer su jedne od najneizvestnijih faktora pri korišćenju mlaznica sekundarnog vazduha". Ovde treba napomenuti da je istraživanje sistema za sagorevanje sa sekundarnim vazduhom zastalo pošto je proboj tehnološki uspeo sprasenom uglju, kao i gasovitim i čvrstim gorivima tokom II svetskog rata. (Niessen, 2002)

2.2 Izotermni pristup

Hladni tok je poznat pod drugim imenima: izotermalni tok, nereagujući tok i svi ovi pojmovi označavaju modelovanje strujanja pri kojem se ne razmatra uticaj reakcija. Sa ciljem da se utvrdi uticaj projektnih varijabli istraživači iz oblasti sagorevanja su se često oslanjali na simulacije tipa hladnog toka. Primeri su referencirani u (Han et al., 1997), i reč je o nizu radova iz oblasti spaljivanja otpada (Fehr and Vaclavinek, 1992; Choi et al., 1994; Ravichandran and Gouldin, 1992; Nassezadeh and Swithenbank, 1991; Nasserzadeh et al., 1994).

Modeli hladnog toka su izuzetno korisni, jer oni daju značajnu količinu informacija pri čemu se minimiziraju i složenost i troškovi, (Han et al., 1997).

2.3 Korišćeni softver

Ovaj numerički eksperiment je urađen korišćenjem STAR CCM+ koda, programa CD adapco grupe. CFD solver se koristi za rešavanje problema koji uključuju strujanje, prenos toplote i analizu naponskih stanja u materijalu. U mogućnosti je da reši probleme koji uključuju interdisciplinarnost i složene geometrije. Procesor kompjutera na kome su vršene ove simulacije je Intel Pentium E2140 1M Cache, 1.60 GHz, 800 MHz FSB dvo jezgri procesor.

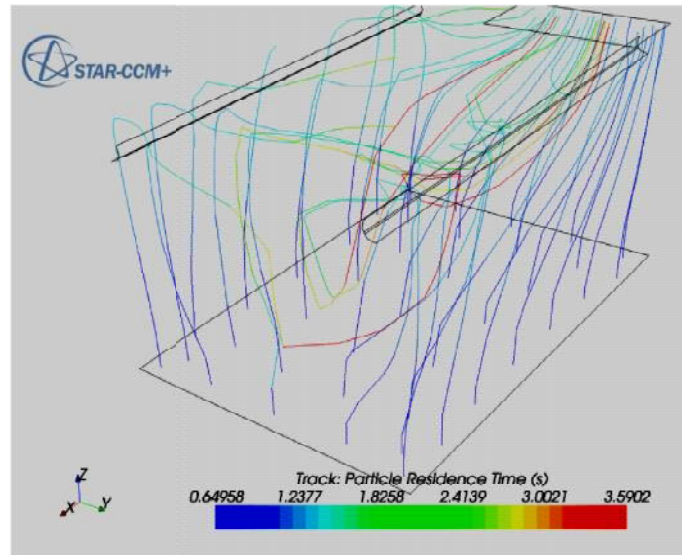
2.4 Opis modela

Geometrija ložišta je prosta, kao i ona koja je najčešće prisutna u praksi. U gornjem desnom uglu ložišta je smešten izlaz, a u gornjem delu ložišta sa leve i desne strane su postavljeni injektori sekundarnog vazduha pravougaone forme. Tip procepa je izabran, da bi se postigao veći uticaj na strujanje fluida. U praksi su uobičajene perforirane cevi, ali je njihov uticaj na strujanje fluida značajno manji. Volatili se oslobađaju sa dna ložišta, pri čemu je za "dno" uzeta gornja strana bale slame. Vazduh je medijum u simulaciji. Zadati protoci za svaki od injektora su 0.017 kg/s, dok za volatile on iznosi 0.155 kg/s. Do ovih podataka se došlo analizom eksperimenata iz okvira doktorske disertacije (Janić, 2000).

Turbulentno strujanje se opisuje Rejnoldsovim jednačinama strujanja, koje predstavljaju osrednjene Navije Stoksove jednačine. Osrednjavanje Navije Stoksovih jednačina dovodi do pojave novih članova u njima koji se nazivaju "prividnim" gradijentima napona i toplotnog fluksa koji potiču od turbulentnog kretanja. Ove nove veličine se moraju dovesti u vezu sa srednjim veličinama strujanja za šta su neophodni modeli turbulencije.

Sistem jednačina se zatvara kroz korišćenje modela turbulencije: Realizable Two-Layer K-Epsilon Model. Primenjen je Coupled Flow model u kome se jednačine održanja mase i momenta simultano rešavaju korišćenjem „time- (or pseudo-time-) marching“ pristupa. (Star CCM+ manual, 2009)

Četiri slučaja je proučavano, svaki od njih je određen uglom injektora meren od vertikale. U slučaju 01 je ugao 45°, slučaj 02 60°, slučaj 03 75° i slučaj 04 90°. Na slici 1 je prikazan u gornjem desnom uglu izlaz, injektori vazduha na obe strane i površina sa koje se oslobađaju volatili kao donja površina. Linije koje polaze sa volatilne površine su izabrane strujnice volatila. One predstavljaju „virtuelna“ sredstva vizuelizacije strujanja. Za istu namenu se koristi na primer i boja u tečnosti ili dim u gasu. Na engleskom se sredstva vizuelizacije označavaju kao tracers- trejsers. Broj i mesto početnih tačaka strujnica se unapred definiše. Prevelik broj početnih tačaka strujnica odnosno samih strujnica može da prikrije karakter strujanja, u ovom slučaju postojanje dva vrtloga. U ovoj simulaciji se analizira 40 strujnica. Legenda pokazuje vreme zadržavanja čestica. Svaka strujnica menja boje kako se čestica približava izlaznom preseku. Za potrebe analize u sledećem delu je potrebno poznavanje poslednje vrednosti za jednu strujnicu, i to one kada se čestica nalazi na izlaznom preseku ili u tači stagnacije.



Sl. 1. Strujnice koje započinju na mestima gde su locirani trejseri na volatilnoj površini – za slučaj 02

Fig. 1. Streamlines starting at tracer points located at the volatile plane -Case 02

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Raspodele vremena zadržavanja za trejsere za četiri proučavana slučaja su prikazani u tabeli 1.

Tab. 1. Broj trejsera koji napuštaju ložište u datom vremenskom intervalu

Tab. 1. Number of tracers that leave the furnace in corresponding time interval

Interval vremena zadržavanja [s] Interval of times retaining [s]	Slučaj 01 Case 01	Slučaj 02 Case 02	Slučaj 03 Case 03	Slučaj 04 Case 04
Manje od 0.5	0	0	0	0
0.5-1	9	8	8	9
1-1.5	9	12	14	12
1.5-2	10	7	8	11
2-2.5	7	5	3	4
2.5-3	0	3	1	2
3-3.5	2	1	2	1
3.5-4	1	1	2	1
4-4.5	0	1	1	0
4.5-5	1	1	0	0

Srednja, minimalna i maksimalna vremena zadržavanja trejsera su prikazana u tabeli 2. Ovi podaci pokazuju uticaj ugla sekundarnog vazduha na srednje vreme zadržavanja gasova. Najbolji slučaj je 02 sa pripadajućim uglom od 60°. Najgori slučaj je onaj sa uglom 90°. Relativna razlika između najboljeg i najlošijeg slučaja srednjeg vremena zadržavanja iznosi 20 %

Tab 2. Srednje, minimalne i maksimalne vrednosti vremena zadržavanja trejsera
Tab 2. Average, minimal and maximal residence times of tracers

	Slučaj 01 Case 01	Slučaj 02 Case 02	Slučaj 03 Case 03	Slučaj 04 Case 04
Srednje vreme zadržavanja [s] Average residence time [s]	1.8	1.87	1.7	1.56
Minimalno vreme zadržavanja [s] Minimal residence time [s]	0.77	0.81	0.799	0.8
Maksimalno vreme zadržavanja [s] Maximal residence time [s]	5.05	6.16	4.33	4.64

U tabeli 3 se nalazi delimično objašnjenje za rezultate iz tabele 2. Rezultati pokazuju da je postavka slučaja 04 dovela do bržeg strujanja što se očitava iz prva dva reda koji zajedno čine i najveći deo zapremine ložišta. Podaci za brzine manje od 0.5 m/s su za slučaj 04 manja, a za opseg brzina od 0.5 do 1.5 su veća nego za odgovarajuće vrednosti za slučaj 02.

Tab. 3. Zapremina u ložištu u kubnim metrima gde se brzina nalazi u odgovarajućem opsegu

Tab. 3. Furnace volume in cubic meters where velocity is in corresponding range

Brzina u opsegu [m/s] Velocity in range [m/s]	Slučaj 01 Case 01	Slučaj 02 Case 02	Slučaj 03 Case 03	Slučaj 04 Case 04
Manje od 0.5 Less than 0.5	0.178	0.178	0.169	0.158
0.5-1.5	0.057	0.057	0.067	0.077
1.5-2.5	0.005	0.005	0.005	0.005
2.5-3.5	0.002	0.002	0.002	0.002
3.5-4.5	0.001	0.0009	0.001	0.001
4.5-5.5	0.0004	0.0005	0.0005	0.0005
5.5-6.5	0.000002	0.000004	0.000002	0.000002

4. ZAKLJUČAK

U ovom eksperimentu je prikazana primena softvera za numeričko rešavanje problema strujanja (eng. CFD) za poboljšanje sagorevanje. Jedna od tri bitne promenjive je uzeta u fokus razmatranja. Reč je o vremenu zadržavanja gasova u ložištu. Duže vreme zadržavanja dovodi do boljeg sagorevanja. Pravac dovođenja sekundarnog vazduha utiče na strujno polje u okviru ložišta kotla. Stvaraju se dva vrtloga. Sa jedne strane se produžava putanja gasova, ali sa druge strane nepoznanica je brzinsko polje. Do pojave CFD softvera vreme zadržavanja se moglo samo procenjivati ili eksperimentalno određivati. CFD softver izračunava brzinsko polje, a zatim i raspodelu vremena zadržavanja. Ovaj numerički eksperiment pokazuje da postoji značajan uticaj pravca dovođenja sekundarnog vazduha na srednje vreme zadržavanja gasova, i to razlike između najboljeg i najlošijeg slučaja iznose 20%.

5. LITERATURA

- [1] Choi, S, Lee, J. S, Kim, S. K, Shin, D. H. (1994): Cold flow simulation of municipal waste incinerators. In Proceedings of 25th Int. Symp. On Combustion;. The Combustion Insitute, Irvine, California, U.S.A.
- [2] Domalski, E, Jobe, T, Milne, T. (1986): Thermodynamic data for biomass conversion and waste incineration. Boulder, US: National bureau of standards; Technical report No.: SERI/SP-271-2839
- [3] Ebeling, J, Jenkins, B: Thermochemical properties of biomass fuels. Agricultural and natural resources communication services webservice - Available at:<ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfiles/ca3905p14-62863.pdf>[accessed 24.09.2012.].
- [4] Fehr, M., Vaclavinek, J. A. (1992): Cold model analysis of solid waste incineration. *International journal of energy research*; 16: 277-283.
- [5] Gumz, W. (1951): Overfire Air Jets in European Practice. *Combustion*; 22: 39–48.
- [6] Han, J.H, Jeong, K, Choi, J. H, Choi, S. (1997): A hot-flow model analysis of the msw incinerator. *International journal of energy research*; 21: 899-910.
- [7] Janić, T. (2000): Kinetika sagorevanja balirane pšenične slame; Doktorska disertacija; Poljoprivredni fakultet Novi Sad.
- [8] Martinov, M, Tesic M.(2007): Cereal/soybean straw and other crop residues utilization as fin Serbia–status and prospects. In: Proceedings of the Workshop "Cereals straw and agricultural residues for bioenergy in European Union New Member States and Candidate Countries; Novi Sad, Serbia.
- [9] Martinov, M., Tešić, M., Brkić, M. (2006): Efficiency and emission of crop residues combustion facilities in Serbia – Status and needed measures for improvement, *Thermal Science*; 10, Suppl., No. 4: 189-194.

- [10] Nasserzadeh, V, Swithenbank, J, Schofield, G, Scott, D. W., Loader, A. (1994): Effects of high speed jets and internal baffles on the gas residence times in large municipal incinerators, *Environmental Progress*;13 (2): 124-133
- [11] Nasserzadeh, V, Swithenbank, J. (1991): Design optimization of a large municipal solid waste incinerator, *Waste Management*; 11: 249-261.
- [12] Niessen, W. (2002): *Combustion and incineration processes*. New York, US: Marcel Dekker Inc.;
- [13] Pešenjanski, I., Stepanov, B. (2005): Test results for a 250 KW bio-mass energy boiler and suggested technical and organizational measures to increase energy efficiency of current boiler installations, *Savremena poljoprivredna tehnika*; 31(4): 197-203.
- [14] Ravichandran, M, Gouldin, F. C. (1992): Numerical Simulation of Incinerator Overfire Mixing. *Combustion Science & technology*; 85: 165-185.
- [15] Star ccm+ Manual, CD-Adapco. (2009); Melville, NY, USA.

INFLUENCE OF DIRECTION OF SECONDARY AIR SUPPLY TO EXTENSION OF GAS RESIDENCE TIME IN FURNACE

Borivoj Stepanov¹, Biljana Miljković¹, Ivan Pešenjanski¹

¹ Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6.

SUMMARY

Biomass characteristic is a high content in volatiles, substances easily vaporized. In order to secure their complete combustion one of options is to increase the gas residence time in zones in which the temperature is above the ignition temperature. Not utilisation of this energy results in increase of fuel consumption and to greater environmental pollution.

In this paper is presented how angle of secondary air supply influences gas residence time.

In order to study this influence, due to the high complexity of the coupled phenomena occurring in furnace, problem of isothermal flow is set. This approach is supported and frequently applied in the literature.

Results show difference in average residence time between the best and worse case of 20%.

Key words: Biomass, combustion improvement, simulation, CFD

Napomena: Rad predstavlja deo istraživanja na projektu Razvoj metoda, senzora i sistema za monitoring kvaliteta vode, vazduha i zemljišta III 43008 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj

Primljeno: 10. 03.2012.

Prihvaćeno: 31.04.2012.

