

2.4. Razvoj novih tehnologija sagorevanja

Istraživanje i razvoj tehnologije sagorevanja u fluidizovanom sloju - S. Oka

Sredinom 70-tih godina, posle dve uzastopne energetske krize postalo je jasno (mada ni do danas nije prihvaćeno kao zvanična energetska politika i strategija razvoja energike) da je neophodno istraživanja usmeriti ka razvoju onih energetskih tehnologija koje će omogućiti maksimalno, ekonomski i ekološki opravdano korišćenje domaćih ugljeva, biomase i industrijskog i gradskog otpada, na efikasan, ekonomičan i ekološki prihvatljiv način [1,2,3]. Iz istih razloga istraživanja je trebalo usmeriti i na obnovljive izvore energije, i to pre svega na biomasu, kao najveći obnovljivi energetski potencijal [4].

1976 godine, gotovo istovremeno kad i u razvijenim zemljama, počeo je u Laboratoriji za termotehniku i energetiku, dogoročan istraživačko-razvojni poduhvat: da se na osnovu sopstvenih istraživanja samostalno razviju ložišta za proizvodnju toplih gasova i vodogrejni i parni kotlovi sa sagorevanjem u mehurastom fluidizovanom sloju (MSFS). Istraživanja su počela u saradnji sa domaćim proizvođačima energetske opreme, i uz podršku fondova za nauku.

Inicijativa za istraživanje i razvoj tehnologije sagorevanja u fluidizovanom sloju u Laboratoriji za termotehniku i energetiku proistekla je 1976 godine iz interesa Fabrike termičkih uređaja "CER" iz Čačka da se razviju mala ložišta za sagorevanje uglja i biomase (snage 1-10 MW_t) kao generatori toplog vazduha ili vrelih gasova za njihove sušare za poljoprivredne i industrijske proizvode.

Posle pregleda stanja razvoja novih tehnologija u svetu i studentskog boravka S. Oka u Engleskoj, kada se prvi put upoznao sa istraživanjem sagorevanja u fluidizovanom sloju, donesen je zaključak da je jedina tehnologija sagorevanja koja može da zadovolji postavljene zahteve (mala snaga ložišta, korišćenje nekvalitetnog uglja bez prethodne pripreme i zaštita okoline) je sagorevanje u fluidizovanom sloju (SFS) [5,6]. Zaključeno je da

oblasti malih i srednjih snaga (1-150 MW_t) za proizvodnju toplotne i električne energije u industriji i poljoprivredi i za daljinsko grejanje kotlovi SFS (i sa mehurastim i sa cirkulacionim fluidizovanim slojem) imaju izrazitu prednost nad konvencionalnim kotlovima: (a) za sagorevanje nekvalitetnih ugljeva, biomase, industrijskog i gradskog otpada i drugih goriva koja ne mogu sagorevati u drugim tipovima kotlova, (b) u slučaju potrebe naizmeničnog korišćenja različitih goriva, (c) pri promeni kvaliteta uglja usled iscrpljenosti rudnika, (d) kada treba zadovoljiti stroge norme o emisiji NO_x i SO₂, (e) pri rekonstrukciji i revitalizaciji konvencionalnih kotlova na čvrsta ili tečna goriva i prelsku na sagorevanje uglja [6,7].

U to vreme je sagorevanje u fluidizovanom sloju i u svetu bila nova tehnologija sagorevanja, koja je počela da se razvija sa prvom energetskom krizom, početkom sedamdesetih godina.

Koncepcija istraživanja i razvoja imala je sledeće osnovne ciljeve [6,8]:

- u prvoj fazi programa organizovati primenjena istraživanja i razvoj inženjerskih metoda proračuna ložišta i kotlova,
- istraživanja usmeriti na one procese koji zavise od specifičnosti naših ugljeva (lignita i mrkih ugljeva),
- za proračun ostalih procesa korigirati rezultate istraživanja u drugim zemljama, iz literature, ili kroz intenzivnu međunarodnu saradnju,
- izgraditi eksperimentalnu bazu neophodnu za primenjena i razvojna istraživanja - eksperimentalna ložišta i pilot-postrojenja,
- eksperimentalnim ispitivanjima odrediti za naše ugljeve podatke neophodne za izbor koncepcije, konstrukciju i proračun ložišta i kotlova SMFS,
- izgradnjom i ispitivanjem demonstracionog postrojenja potvrditi rezultate istraživanja i metode proračuna i proveriti mogućnost prenošenja rezultata dobijenih na laboratorijskim ložištima za proračun industrijskih postrojenja realnih razmera,
- u drugoj fazi programa, koja bi počela pre završetka prve faze, otpočeti fundamentalna istraživanja važnijih procesa, na manjim laboratorijskim aparaturama, a zatim,
- razviti matematičke modele za analizu procesa u ložištima SFS, kao osnovu za savremene matematičke modele.

Razvoj tehnologije SFS u Laboratoriji za termotehniku i energetiku, predstavlja jedan od primera savremenog razvoja tehnologija koji počinje fundamentalnim i primenjenim istraživanjima osnovnih procesa, a završava se izgradnjom pilot postrojenja, kao osnovom za izgradnju prvog industrijskog postrojenja [7,9]. Ovakav savremeni pristup razvoju tehnologija realizovan je posle višegodišnjih istraživanja, mada je u početku iz praktičnih razloga primenjenim istraživanjima i razvoju eksperimentalne baze dat prioritarni značaj.

U Laboratoriji su izgrađena dva eksperimentalna ložišta, jedno manjih dimenzija i drugo veličine pilot-postrojenja u kome je bilo moguće istraživati sagorevanje uglja u obliku u kome će biti korišćen u realnom postrojenju. Istraživanjima na ovim instalacijama dobijeni su prvi podaci za proračun i konstruisanje pilot-postrojenja snage 1 MW_t, koje je izgrađeno u krugu fabrike "CER" u Čačku.

Već 1982 godine fabrika "CER" je izgradila prva dva ložišta za sagorevanje sušenog Kolubarskog lignita, na sušari za kukuruz u [apcu, a 1986 godine MINEL i CER su zajednički izgradili jedan vodogrejni kotao snage 9.3 MW u Institutu u Vinči, kao demonstracioni kotao. Za razvoj tehnologije sagorevanja u fluidizovanom

sloju ekipa istraživača Laboratorije (Lj. Jovanović, B. Arsić, D. Dakić, B. Grubor) na čelu sa rukovodiocem istraživanja Simeonom Oka, dobila je Oktobarsku nagradu grada Beograda, zajedno za inženjerima u razvoju fabrike "CER" (Miloš Urošević) i MINEL-Termoremont (Ilija Kovačević) [5,10,11].

Do danas je na osnovu istraživanja u Laboratoriji izgrađeno i u pogonu oko 40 ložišta proizvodnje CER-Čačak, snage 1-10 MW_t i dva parna kotla kapaciteta 2.5 t/h pare u OTEKS-u iz Ohrida. Pored toga razrađena je konstrukcija, do radioničkih crteža, parnog kotla za sagorevanje otpadne biomase za VISKOZU iz Loznice, kapaciteta 15 t/h pare, ali izgradnja nije započeta.

Sakupljena znanja, eksperimentalna baza i podaci dobijeni ispitivanjem niza različitih goriva (ugljeva i biomase) omogućili su da se domaća mašinogradnja osposobi za proizvodnju sopstvenih konstrukcija ložišta za proizvodnju toplog vazduha snage 1-10 MW_t i vodogrejnih i parnih kotlova termičke snage do 50 MW_t za sagorevanje uglja različitog kvaliteta i otpadne biomase [5,12].

Nažalost, energetska mašinogradnja, koja je podržavala i pratila ovaj program (MINEL-Beograd, i CER-Čačak), nije imala većeg uspeha u uvođenju ove tehnologije u proizvodnju energije u našoj zemlji, i pored očiglednih energetskih i ekoloških razloga za njenu primenu. Razlozi su pre svega neekonomske cene goriva i energije i nepostojanje propisa o zaštiti okoline.

Istraživanja i razvoj tehnologije sagorevanja u fluidizovanom sloju neprekidno se vrše u Laboratoriji do danas. Pored uspeha u razvoju sopstvenih konstrukcija ložišta i kotlova ostvaren je i niz originalnih rezultata u fundamentalnim i primenjenim istraživanjima:

* Formirana je iskusna grupa istraživača koja ima međunarodnu reputaciju sposobna da dalje razvija ovu tehnologiju (Dr. S. Oka, Dr. B. Grubor, Dr. M. Ilić, Mr. B. Arsić, Mr. D. Dakić, a povremeno Dr. Lj. Jovanović, Dr. S. Nemoda, i mlađi istraživači V. Barišić, A. Vušanović).

* Izgrađena je snažna eksperimentalna baza - dva eksperimentalna ložišta za fundamentalna ispitivanja kinetike sagorevanja koksnog ostatka, kinetike oslobađanja isparljivih materija, fragmentacije čestica uglja pri sagorevanju u FS, pilot-postrojenje za ispitivanje podobnosti uglja za sagorevanje u fluidizovanom sloju, hemijski reaktor za ispitivanje efikasnosti krečnjaka za vezivanje SO₂, instalacija za ispitivanje hidrodinamike cirkulacionog fluidizovanog sloja, više manjih aparatura za ispitivanje osobina fluidizovanog sloja.

* Formulasana je originalna metodologija za ispitivanje podobnosti goriva za sagorevanje u fluidizovanom sloju (metodologija ITE-IBK) [6,13,14]. Uporedno je ispitano više od 20 domaćih ugljeva istovetnom metodologijom što je omogućilo utvrđivanje uticaja karakteristika ugljeva, i posebno lignita i mrkih ugljeva na osobine i konstrukciju kotlova i ložišta SMFS [6,9,10,13,14]. Određene su sledeće najvažnije karakteristike sagorevanja: (1) temperatura starta, (2) optimalna veličina čestica uglja, (3) efikasnost sagorevanja, (4) količina generisane toplotne energije u sloju i iznad sloja, (5) potreba za uvođenjem sekundarnog vazduha, (6) raspodela pepela na leteći pepeo koji se odnosi iz ložišta i pepeo koji ostaje u sloju, (7) potreba za recirkulacijom nesagorelih čestica, (8) granulometrijski sastav letećeg pepela i pepela u ložištu, (9) emisija SO₂ i NO_x i (10) neophodna količina krečnjaka. Ispitivanja ugljeva od lignita do antracita, pokazala su da se u pogodno konstruisanim kotlovima i sa pravilno izabranim radnim parametrima, može uspešno organizovati sagorevanje ugljeva vlažnosti do 60%, sa procentom pepela do 40%, udelom isparljivih gorivih materija do 40% (i biomase sa 68% isparljivih), toplotne moći i znatno manje od 8 MJ/kg. Ispitivanja su omogućila da se uspostave neke opšte zakonitosti uticaja karakteristika uglja na konstrukciju kotlova SMFS, čime je omogućena i preliminarna analiza uslova sagorevanja i konstrukcije kotla SMFS, pre izvršenih detaljnih ispitivanja podobnosti uglja za sagorevanje u fluidizovanom sloju.

* Utvrđeno je da su ligniti i mrki ugljevi veoma pogodni za sagorevanje u fluidizovanom sloju, na suprot do tada u svetu važećem mišljenju da ugljevi sa velikim procentom isparljivih gorivih materija nisu pogodni za ovu vrstu sagorevanja [6,10,13,14,15].

* Formirana je baza podataka o ugljevima koja omogućuje da se za svaki ugalj izabere optimalna koncepcija kotla [6,9].

* Za proračun i konstruisanje kotlova i ložišta MSFS, na osnovu podataka dobijenih ispitivanjem ugljeva metodologijom ITE-IBK, razvijen je inženjerski metod proračuna, koji uključuje i klasični normativni proračun kotlova. Za potrebe ovog proračuna obavljena su iscrpna istraživanja prenosa toplote i uticaja zračenja na razmenu toplote snopa uronjenih cevi i fluidizovanog sloja u uslovima sagorevanja. Konstatovano je da uticaj zračenja, ako i postoji u oblasti temperatura u ložištima kotlova SFS nije veći od eksperimentalne greške proračunskih korelacija [6,16,17].

* Razvijena je originalna metodologiju za određivanje efikasnosti krečnjaka u vezivanju SO₂ pri sagorevanju u MFS [6,18].

* U saradnji sa više svetskih univerziteta, razvijen je kompleksan matematički model za proračun procesa pri sagorevanju u fluidizovanom sloju. Naš doprinos ovom modelu dao je B. Grubor u svojoj doktorskoj tezi [19,20], u onim delovima koji su presudni za sagorevanje lignita, odnosno ugljeva sa velikim procentom isparljivih gorivih materija - razvojem i uključivanjem podmodela za proces doziranja uglja na površinu sloja [21], oslobađanje gorivih isparljivih materija, fragmentaciju čestica goriva [22,23,24], sagorevanje poroznih čestica koksnog ostatka [25,26,27,28,29]. Razvijeni matematički model proveren je modeliranjem procesa

sagorevanja veoma različitih ugljeva i ložištima raznih dimenzija i koncepcija i izvršeno upoređenje sa rezultatima merenja. Proračuni su upoređeni sa rezultatima merenja sagorevanja 26 ugljeva (12 jugoslovenskih), sa tri naša postrojenja: pilot-postrojenje u Laboratoriji za termotehniku i energetiku u Vinči, industrijski vodogrejni kotao u Vinči snage 9,3MW_t i industrijski parni kotao u Ohridu kapaciteta 2,5 t/h pare, na dva industrijska kotla MSFS u Holandiji, demonstracioni kotao u Delft-u i industrijski parni kotao snage 90MW_t.

* Značaj istraživanja **procesa primarne fragmentacije čestica uglja** uočen je u Laboratoriji veoma rano. Među prvim u svetu je pokazano (magistarski rad D. Dakića) da su mlađi ugljevi (ligniti) otporniji na raspadanje u procesu devolatilizacije, zbog toga što njihova porozna struktura olakšava difuziju vlage i gorivih isparljivih materija van čestice. Određen je kritični prečnik fragmentacije za različite ugljeve u zavisnosti od njihovih karakteristika (odnos sadržaja gorivih isparljivih materija i sadržaja ravnotežne vlage), i u opšti model uključen jednostavan statistički model za određivanje najverovatnijeg broja i srednjeg prečnika čestica posle raspadanja [22,23,24].

* Za modeliranje procesa sagorevanja lignita određene su **korelacije za proračun koeficijenata razmene toplote i materije između čestica uglja i fluidizovanog sloja**, važne za proračun brzine sušenja, oslabljanja isparljivih i sagorevanja koksnog ostatka [30,31,32,33]. Kasnije u doktorskom radu M. Komatine je izvršeno detaljno merenje temperature čestice gorućeg koksnog ostatka i razvijen model za proračun temperature čestice koksnog ostatka [34,35].

* U toku su ispitivanja kinetike i oslobadjanja gorivih isparljivih materija raznih ugljeva, i biomase u okviru dve magistarske teze [36].

* Najveći deo dugogodišnjih fundamentalnih istraživanja bio je posvećen **procesima sagorevanja koksnog ostatka**. Ispitivani su uporedno ugljevi različite starosti - ligniti, mrki ugljevi i antracit, da bi se utvrdila povezanost karakteristika sagorevanja sa karakteristikama, sastavom i starošću uglja. Ispitivanja su vršena na raznim temperaturama i sa raznim veličinama čestica. Određene su mnoge karakteristike sagorevanja naših ugljeva i parametri neophodni za ispravno modeliranje sagorevanja u fluidizovanom sloju: temperatura paljenja, temperatura starta, brzina sagorevanja koksnog ostatka i energija aktivacije i predeksponencijalni koeficijent. Ovi podaci do sada nisu bili poznati za naše ugljeve [25,26,27,28,29].

* Na osnovu eksperimentalnih istraživanja obavljenih u magistarskoj tezi, M. Ilić je u doktorskoj tezi razvio kompleksan nestacionarni model sagorevanja porozne čestice koksnog ostatka. Model može da posluži kao osnova za predviđenje procesa starta ložišta i kotlova SFS [37].

U toku dugogodišnjih istraživanja urađeno je 6 magistarskih i 7 doktorskih teza, kako saradnika Laboratorije tako i saradnika Mašinskog fakulteta u Beogradu, Skopju, Bitolju i Banja Luci i više diplomskih radova.

Rezultati istraživanja sagorevanja u fluidizovanom sloju prikazani su u celini i u nekoliko preglednih radova [11,38], dva tematska zbornika radova [39,40] i u monografiji [6] za koju je S. Oka dobio Oktobarsku nagradu grada Beograda za 1994 godinu.

Istovremeno sa istraživanjima sagorevanja uglja u fluidizovanom sloju, vršena su i istraživanja sagorevanja biomase [12,41,42] i razvijena ložišta i kotlovi MSFS za sagorevanje biomase. Niz godina Laboratorija je inicijator korišćenja biomase kao obnovljivog izvora energije [4,43,44]. Posebno značajan rezultat je utvrđivanje uzroka sinterovanja pepela biomase pri sagorevanju u fluidizovanom sloju, i originalna predlog za otklanjanje ovog problema [45].

Iako je u periodu krize, izgubljen korak u razvoju tehnologije SFS, ostvareni rezultati omogućili su da se otpočinu istraživanja sagorevanja u cirkulacionom fluidizovanom sloju, sa ciljem uvođenja kotlova ovog tipa u elektroprivredu Srbije [46,47,48,49]. U promenjenim uslovima, i uz pravilnu energetska politiku, kotlovi i ložišta sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju, biće primenjeni u našoj energetici, što će biti zasluga Laboratorije za termotehniku i energetiku.

Reference

1. Oka, S.: Istraživačko-razvojni rad u oblasti razvoja kotlovskih postrojenja za sagorevanje Jugoslovenskih lignita, Savetovanje YUGEL-a "RAZVOJ ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE OD 1991-2000", Maj 1991, Ohrid, Zbornik radova, knjiga II, pp.557-565.
2. Oka S.: Prioritetni pravci naučnoistraživačkog rada u oblasti energetike u Jugoslaviji, Elektroprivreda, God. XLIX, No.2, april-jun 1996, pp. 3-12, (Pregledni rad)
3. Oka, S.: Istraživanje i razvoj tehnologija za sagorevanje uglja, Predavanje po pozivu, Naučni skup posvećen 85-to godišnjici prof. Mladena Popovića, Zbornik radova, Izd. Mašinski Fakultet Beograd, 1992, pp. 303-326.
4. Ninić N., Oka S., Nikolić S., Nikolić M., Mičić J.: ENERGETSKI POTENCIJAL BIOMASE U SRBIJI, Izdanje Društva termičara Jugosavije, april-maj 1994,
5. Oka, S.: Sagorevanje u fluidizovanom sloju, nova tehnologija za sagorevanje uglja i drugih čvrstih goriva, ENERGIJA I RAZVOJ, Izd. Društva "N. Tesla", Beograd, 1986, pp.147-156.

6. Oka, S.: SAGOREVANJE U FLUIDIZOVANOM SLOJU, Procesi i primena, Izd. Jugoslovensko društvo termičara, 1994.
7. Oka S.: Advanced Technology Development and Critical Processes and Research Topics for bubbling FBC Boiler Design, Thermophysics and Aeromechanics, Vol. 2, No.3, 1995, pp. 251-266
8. Oka, S., Jovanović, Lj.: Clean Coal Technology Transfer and Co-operation: Some Questions and Problems, Invited paper, The IEA-OECD International Conference on the CLEAN AND EFFICIENT USE OF COAL - The New Era for Low-Rank Coal, February 24-27th 1992, Budapest, Conference Proceedings, OECD/IEA, Paris, 1993, pp.673-684.
9. Oka, S.: Data Base for Bubbling Fluidized Bed Boiler Design, Invited Lecture, International Seminar NEW TECHNIQUE AND TECHNOLOGY IN THERMAL POWER PRODUCTION, Ulan Ude, Baikal, Russia, 28th June - 2nd July 1995.
10. Oka, S., Arsić, B., Dakić, D., Urošević Miloš: Experience and Problems of the Lignite Fluidized Bed Combustion, 3rd European Coal Utilization Conference: "Coal Technology Europe", 11-13 October 1983, Amsterdam, Proceedings of the Conference, Vol. 2, pp. 87-93.
11. Oka S., Arsić B., Dakić D.: Razvoj ložišta i kotlova sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju, Primenjena nauka, No.1, jan. 1985, pp.25-30,
12. Oka, S., Grubor, B.: Primena kotlova i ložišta sa fluidizovanim slojem za sagorevanje loših ugljeva, Naučno-stručni skup "Racionalno korišćenje toplotne energije", Kopaonik, 28.06-01.07. 1995, Zbornik radova, pp.43-61.
13. Oka, S., Grubor, B., Arsić, B., Dakić, D.: The Methodology for the Investigation of Fuel Suitability for FBC and Results of Comparative Study of Different Coals, FLUIDIZED BED COMBUSTION IN PRACTICE: CLEAN, VERSATILE, ECONOMIC, Ed. Insitute of Energy, London, December 1988, pp.I/8/1-19.
14. Oka S., Grubor B., Arsić B., Dakić D.: Metodologija i rezultati issledovanja prigodnosti ugljeja dlja sžiganija v kipjaščem sloje, Izvestija SO AN SSSR, Sibirskij fiziko-tehničeskij Žurnal, mart 1993, No.3, pp.68-78,
15. Oka, S., Arsić, B., Dakić, D.: Some Characteristics of Fluidized Bed Combustion of Crushed Lignite, with and witout fines, 3rd International Fluidized Bed Combustion Conference, Fluidized Combustion: Is it Achieved its Promice?, London 1984, Vol. 1, pp.189-194.
16. Arsić, B., Oka, S.: Prelaz toplote na horizontalnu cev uronjenu u fluidizovani sloj pri sagorevanju uglja, Int. Rep. of the Vincha Institute, IBK-ITE-478, Dec. 1984, Beograd,
17. Grubor, B.: Prelaz toplote između fluidizovanog sloja i uronjenih horizontalnih cevi Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1982,
18. Arsić, B., Oka, S., Radovanović, M.: Characterization of Yugoslav Limestones in a Fluidized Bed Reactor, Proceedings of the 4th International Conference on Fluidized Bed Combustion, London, December 1989, pp. I/17/1-I/17/9.
19. Grubor, B.: Izučavanje i matematičko modeliranje procesa pri sagorevanju uglja u mehurastom fluidizovanom sloju, Doktorska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1992,
20. van den Bleek, C., Brem, G., Grubor, B., i dr.: Documentation of the IEA-AFBC Model, a) Version 1.0, april 1989, b) Version 1.1., August 1990, Publ. TNO, Apeldoorn, Holland,
21. Grubor, B., Verwey, N.: Implementation of Over-Bed Feeding of Coal in the IEA-Model, 19th IEA-AFBC Meeting, 7. November 1989, Goteborg, Sweden,
22. Dakić, D., Honing, G., Valk, M.: Fragmentation and Swelling of Various Coals During Devolatilization in a Fluidized Bed, Fuel, 1989, Vol. 68, July, pp. 911-916
23. Dakić, D.: Uticaj karakteristika čvrstih goriva i termodinamičkih parametara radnog režima na ponašanje goriva pri sagorevanju u fluidizovanom sloju, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Beogradu, 1990.
24. Dakić, D.: Istraživanje procesa primarne fragmentacije uglja za vreme sagorevanja u fluidiziranom sloju, Doktorska teza, Mašinski fakultet, Beograd, (u toku)
25. Oka, S.: Kinetics of Coal Combustion in Fluidized Bed, Heat and Mass Transfder in Fluidized Bed, Hemisphere Publ. Co., New York, 1986, pp. 371-383,
26. M. Ilić: Istraživanje kinetike sagorevanja uglja u fluidizovanom sloju, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1992
27. Ilić, M., Oka, S., Grubor, B.: Results of Experimental Investigation of Combustion Kinetics in FBC, Proc. of the 10th International Heat Transfer Conference, Brighton, UK, August 1994, Vol. 3, pp. 215-220,
28. Ilić M. S., Oka S. N., Grubor B. D.: Combustion Regimes and Temperature of Coal Char Particles in a Fluidized Bed, Thermophysics and Aeromechanics, Vol. 2, No. 4, 1995, pp. 329-340
29. Ilić, M., Oka, S., Dakić, D.: Combustion Kinetics of Coal Chars in Fluidized Bed, Propceedings of the 13th International FBC Conference, Orlando, USA, May1995, Vol. 2, pp. 1463-1468,
30. Komatina, M.: Razmena toplote i mase čestice uglja pri sagorevanju u fluidizovanom sloju, Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1992,

31. Komatina, M., Oka, S., Grubor, B., Voronjec, D.: Experimental Investigation of Heat Transfer Between Bubbling Fluidized Bed and Large Particle, Proceedings of the 10th International Heat Transfer Conference, Brighton, August 1994, Vol. 3., pp. 215-220,
32. Oka S., Vukašinović, B., Komatina, M., Ilić, M.: Experimental Investigation of Mass Transfer Between Single Active Particle and Bubbling Fluidized Bed and Large Particle, Proceedings of the 13th International FBC Conference, Orlando, Florida, USA, 7-10 May 1995, Vol.2, pp. 1419-1426,
33. Oka, S., Komatina, M., Ilić, M., Grubor, B., Vukašinović, B.: Heat and Mass Transfer of Active Particle in a Fluidized Bed, 3rd Minsk International Heat and Mass Transfer Forum, Minsk, Belarus, May, 1996., Vol.5, pp.211-215
34. Komatina, M.: Temperatura čestice uglja pri sagorevanju u fluidiziranom sloju, Doktorska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1997
35. Komatina M., Ilić M., Oka S.: Heat Transport in Coal Particles During Devolatilization in Fluidized Bed, Proceedings of the 14th International FBC Conference, Vancouver, Canada, 11-14 May 1997, Vol.2, pp. 863-870,
36. P. Gvero: Piroliza biomase u fluidizovanom sloju, Magistarska teza, Mašinski fakultet u Beogradu, 1997.
37. M. Ilić: Sagorevanje koksnog ostatka uglja u nestacionarnim uslovima rada ložišta sa fluidiziranim slojem, Doktorska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1997
38. Oka S.: Research and Development of the Fluidized Bed Combustion Technology, Scientific review, Series: Science and Engineering, No. 16, 1996, Beograd, Serbian Scientific Society, pp. 53-73
39. SAGOREVANJE U FLUIDIZOVANOM SLOJU, posebno izdanje časopisa TERMOTEHNIKA br.3/4, Tematski zbornik pozvanih radova, ed. S. Oka i B. Grubor, 1990.
40. Ninić N., Oka S.: SAGOREVANJE BIOMASE U ENERGETSKE SVRHE, Tematski zbornik pozvanih radova, Izd. Društvo termičara Jugoslavije i Naučna Knjiga, Beograd, 1992,
41. Oka S., Arsić B.: Šžiganije biomassi v psevdoožiženom sloje, u knjizi Processi perenosa v visokotemperaturskih i himičeski reagirujušćih potokah, Sbornik naućnih trudov, ed. akad. S.S.Kutateladze, S.Oka, Izd. AN SSSr, Sibirskoe Otdelenije, Novosibirsk, 1982, pp.40-49,
42. Grubor B., Oka S., Arsić B., Jovanović J.: Idejno-tehnićko rešenje kotla SFS na drveni otpadak, Termotehnika, Br.3/4, 1990, pp.261-270,
43. Oka, S.: Sagorevanje drvnih i ratarskih otpadaka u fluidizovanom sloju, Zbornik radova SAGOREVANJE BIOMASE U ENERGETSKE SVRHE, Bioblioteka naućno-istraživaćkih dostignuća, Izdanje Društva termičara Jugoslavije i Naućne knjige, Editori N. Ninić, S. Oka, Beograd, 1992, pp. 67-74.
44. Oka S.: Korišćenje otpadne ćvrste biomase u energetske svrhe-Program razvoja tehnologija i uslovi za njegovu realizaciju, Zbornik Radova, Sagorevanje biomase u energetske svrhe, Biblioteka naućnoistraživaćkih dostignuća, Izd. Društvo termičara Srbije i Naućna Knjiga, editori N. Ninić, S. Oka, Beograd, 1992, pp.9-19
45. Grubor B., Oka S., Ilić M., Dakić D., Arsić B.: Biomass FBC Combustion - Bed Agglomeration Problems, Proceedings of the 13th International FBC Conference, Orlando, Florida, USA, 7-10 May 1995, Vol.1, pp. 515-522,
46. Oka, S.: Kotlovi sa sagorevanjem u cirkulacionom fluidizovanom sloju, Stanje tehnologije i iskustva u eksploataciji, Elektroprivreda, God. XLV, Br. 3-4, 1992, pp.124-129.
47. Oka, S., Grubor, B., Ilić, M., Zdjelarić, M.: Sagorevanje u cirkulacionom fluidizovanom sloju, Interni Izveštaj, Institut za nukelarne nauke -Vinća, NIV-ITE-2, mart 1992.
48. Oka, S., Ilić, M., Vušanović, A.: Analiza parametara i karakteristika izgrađenih kotlova sa cirkulacionim fluidizovanim slojem u svetu, Interni Izveštaj (Elaborat rađen za Elektroprivredu Srbije), Institut za nukelarne nauke -Vinća, NIV-ITE-107, mart 1995.
49. [kara, B., Oka, S.: Analiza osobina ugljeva i drugih ćvrstih goriva ćije je sagorevanje ispitivano u laboratorijskim i industrijskim kotlovima sa fluidizovanim slojem, Interni Izveštaj (Elaborat rađen za Elektroprivredu Srbije), Inst. za nukelarne nauke -Vinća, NIV-ITE-84, oktobar 1994.

Magistarske teze

1. B. Grubor: Prelaz toplote između fluidizovanog sloja i uronjenih horizontalnih cevi, Mašinski fakultet, Beograd, 1982,
2. S. Nemoda: Prenos toplote i tempratursko polje u fluidizovanom sloju, Mašinski fakultet u Beogradu, 1987
3. D. Dakić: Uticaj osobina uglja na karakteristike procesa sagorevanja u fluidizovanom sloju, Mašinski fakultet, Beograd, 1991,
4. M. Komatina: Razmena toplote i mase čestice uglja pri sagorevanju u fluidizovanom sloju, Mašinski fakultet, Beograd, 1992,
5. M. Ilić: Istraživanje kinetike sagorevanja uglja u fluidizovanom sloju, Mašinski fakultet, Beograd, 1992
6. P. Gvero: Piroliza biomase u fluidizovanom sloju, Mašinski fakultet u Beogradu, 1997.

Doktorske teze

1. Z. Kostić: Kinetika sagorevanja biomase u fluidizovanom sloju, Mašinski fakultet, Skoplje, 1987,
2. Jojbašić, Lj. : Kinetika sagorevanja uljnih škriljaca u fluidizovanom sloju; Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, 1988 godine.
3. B. Grubor: Izučavanje i matematičko modeliranje procesa pri sagorevanju uglja u mehurastom fluidizovanom sloju, Mašinski fakultet, Beograd, 1992,
4. I. Mijakovski: Hidrodinamika i prenos toplote na slobodni tela vo fluidiziren sloj, Tehnički fakultet, Bitolj, 1992,
5. M. Komatina: Temperatura čestice uglja pri sagorevanju u fluidiziranom sloju, Mašinski fakultet, Beograd, 1997
6. D. Dakić: Istraživanje procesa primarne fragmentacije uglja za vreme sagorevanja u fluidiziranom sloju, Mašinski fakultet, Beograd, (u toku)
7. M. Ilić: Sagorevanje koksnog ostatka uglja u nestacionarnim uslovima rada ložišta sa fluidiziranim slojem, Mašinski fakultet, Beograd, 1997.