

2.6. Istraživanje strujanja niskotemperaturske plazme i razvoj plazma tehnologija - P. Pavlović, P. Stefanović

Prvi period - izgradnja eksperimentalne baze

Saradnja s JNA, od sredine sedamdesetih godina, na problemima termičke zaštite primenom ablativnih materijala, nametnula je potrebu za intenzivnim razvojem eksperimentalne baze u Laboratoriji za termotehniku i energetiku. Za potrebe ovih istraživanja, pod rukovodstvom Mr Pavla Pavlovića razvijeno je i uvedeno u upotrebu više instalacija za generisanje visokotemperaturnih tokova: 1. acetilenska instalacija sa predmešanim kiseonično-acetilenskim slobodnim plamenom temperature do 3000 K [1], zaustavnim toplotnim fluksom do 5 MW/m² i brzinama gasovitih produkata sagorevanja do 200 m/s, 2. plazmatronska instalacija snage 250 kW sa elektrolučnim generatorom vazdušne i azotne plazme na atmosferskom pritisku temperature do 6000 K i 3. plazmatronska instalacija snage 250 kW sa elektrolučnim generatorom plazme sa gasodinamičkom i magnetnom stabilizacijom električnog luka [2].

Tokom razvoja i izrade ovih instalacija u periodu do 1984 godine, osvojen je širok fond teorijskih i praktičnih znanja potrebnih za proračun, konstruisanje i izradu elektrolučnih generatora plazme. Ta osnovna znanja su predstavljala osnov uspeha u razvoju plazma tehnologija tokom sledeće faze istraživanja.

Paralelno sa razvojem eksperimentalnih instalacija u periodu od 1982 do 1990 godine, praktično isti tim istraživača intenzivno je radio na razvoju i primeni kontaktnih metoda za dijagnosticiranje visokotemperaturnih turbulentnih tokova. Tako su razvijene: a) dinamička metoda leteće Pitot-sonde za merenje prostorne raspodele zaustavnog pritiska u visokotemperaturnim turbulentnim tokovima [3], b) entalpijska sonda za merenje lokalnih vrednosti totalne entalpije i pritiska, za izdvajanje gasovitog ili dvofaznog uzorka iz hemijski reaktivne visokotemperaturne gasne sredine kao i posredno merenje lokalne temperature i brzine plazma toka [4], c) dinamička metoda letećeg termopara za merenje prostorne raspodele temperature u osnosimetričnim plazma tokovima i [5] d) kapacitivni i vodeni kalorimetri za merenje zaustavnog toplotnog fluksa [6]. Razvijene kontaktne merne metode su prve ove vrste primenjene i razvijene u našoj zemlji, pri čemu je predloženo i izvedeno niz originalnih rešenja mernih sondi. Metode su poslužile u daqim eksperimentalnim istraživanjima karakteristika visokotemperaturnih tokova, za karakterizaciju generatora plazme i kasnije u razvoju plazma tehnologija.

Uspešna realizacija plazmatronske instalacije od 250 kW, koja po svojim tehničkim mogućnostima i tehničko-tehnološkim rešenjima i danas dostiže jedinstven nivo na Balkanu, stvorila je preduslove za realizaciju dve specifične plazmatronske instalacije: a) instalacije sa elektrolučnim generatorom snage 250 kW na pritisku 100 bar i elektrolučnim generatorom snage 2 MW. Međutim, posle izvršenih proračuna, razrade konstrukcije i izrade potpune tehničke dokumentacije za ove plazma generatore krajem osamdesetih godina, do njihove realizacije nije došlo zbog prekida u finansiranju.

Drugi period - usmerena fundamentalna istraživanja radi razvoja tehnologija

Termalna plazma sa visokim temperaturama (i do 10 000 K), visokim koncentracijama energije i hemijski visoko aktivnih čestica, sa mogućnošću nezavisne realizacije hemijskog sastava od temperaturnog nivoa, predstavljaju moćno sredstvo u razvoju novih tehnologija. Polazeći od te činjenice pod rukovodstvom Mr Pavla Pavlovića za potrebe beogradske privrede urađena je tokom 1986 i 1987 obimna studija [7] o mogućnostima primene plazme u različitim oblastima tehnike i tehnologije. Sledeći rezultate ove studije u Laboratoriji za termotehniku i energetiku se pristupilo istraživanjima u cilju razvoja specifičnih plazma tehnologija.

Osnovni pravci na kojima je rađeno od kraja osamdesetih godina do danas su: 1. plazma tehnologije za sintezu ultradisperznih neoksidnih prahova (nitrida, karbida, ili kompozitnih prahova kao što su: silicijum-nitrid, silicijum-karbid, aluminijum-nitrid, bor-nitrid, bor-karbid itd.), 2. plazma tehnologija za gasifikaciju uglja odnosno za dobijanje acetilena, 3. plazma tehnologija za pripalu i podršku vatre na gorionicima sa ugljenim prahom kod energetskih kotlova, 4. plazma tehnologije za topjenje oksidnih keramičkih materijala i 5. plazma tehnologije u oblasti zaštite životne sredine tj. za razgradnju industrijskih otpadnih toksičnih materija. U istraživački tim je uključen veći broj saradnika Laboratorije koji su svojim upornim radom, bogatim znanjem i umećem doprineli da se osvoje široka znanja i uvedu u primenu brojni postupci, metode i matematički i numerički modeli neophodni za uspešno sprovođenje teorijskih i eksperimentalnih istraživanja u ovoj oblasti.

Treba pre svega istaknuti značajne rezultate na osvajanju metoda proračuna i numeričke procedure za proučavanje ravnotežnog (i kvaziravnotežnog) hemijskog sastava i određivanje ukupne entalpije (uključujući toplote faznih transformacija i toplote formiranja iz elemenata u standardnom stanju) heterogenih višekomponentnih sistema realizovane pod rukovodstvom Dr Živote Kostića. Rezultati tih proračuna omogućili su određivanje temperaturnih, energetskih i masenih (protočnih) parametara odgovarajućih plazmenih procesa sinteze ultradisperznih keramičkih prahova (Si₃N₄, SiC, BN, AlN, i dr.) kao i njihovu optimizaciju [9,10,11,12,13,14,15,16,17,18] ili procesa plazmene razgradnje pojedinih sirovina odnosno otpadnih toksičnih i genetski opasnih materija (naprimer piroliza uglja ili ugljovodonika, razgradnja i uništavanje polihloriranih bifenila - transformatorskih uglja na bazi piralena i dr.) [19,20,21, 22,23,24,25,26].

Značajna pažnja, bila je posvećena analizi termičkih i strujnih uslova u plazma reaktorima. Savremen matematički i numerički model visokotemperaturnog dvofaznog osnosimetrijskog turbulentnog strujanja, prvobitno je osvojen i korišćen od strane Dr Dragoslava Milojevića i Dr Gorana Živkovića [8,27,28]. Kasnije je model veoma uspešno usavršen i prilagođen za izučavanje međufaznog prenosa količine kretanja, toplote i mase duž putanja čvrstih čestica (praha Si, polazne sirovine) ubačene u plazma reaktor u radovima Dr Predraga Stefanovića [29,30,31,32,33,34,35,36,37, 38,39,40]. Parametarska analiza uticaja pojedinih veličina (temperatura i brzina plazme na ulazu u reaktor, početni prečnik čestica, brzina i ugao ubacivanja čestica, temperatura zida reaktora, geometrija reaktora) na intenzitet ovih procesa u plazma reaktoru, omogućila je optimizaciju i međusobno usaglašavanje parametara rada reaktora u procesu sinteze odabranog novog materijala u formi ultradisperznog praha (Si_3N_4 , SiC, BN, AlN)

Na osnovu prethodnih proračuna izvedene su serije eksperimentalnih istraživanja koja su rezultirala u uspešnoj sintezi novih neoksidnih keramičkih prahova Si_3N_4 i SiC [41,42,43,44,45]. Kasnija istraživanja obavljena u Laboratoriji za materijale Instituta Vinča, potvrdila su mogućnost dobijanja kvalitetnih proizvoda konstrukcione keramike na bazi ovih ultradisperznih prahova [46,47].

U procesu razvoja plazmenih tehnologija posebna pažnja je bila posvećena rešavanju postupka doziranja polazne sirovine (u vidu kohezivnih prahova) i izdavanju gotovog proizvoda u vidu ultradisperznog praha (radovi S. [ikmanovića i dr. [48,49]) i karakterizaciji dobijenih prahova [29, 48,49]

U ovom (prethodnom) periodu uspešno su realizovani projekti:

- Razvoj plazmenih tehnologija, 1988-1991 god. (Savezni sekretarijat za razvoj projekat PP-128, ruk. Mr Pavle Pavlović) [9,34,41,45,48].
- Plazmartonski gorionici za potpalu i podršku vatre kod kotlova loženih ugqenim prahom 1991-1994 god. (pr. S.2.0066, ruk. Mr Pavle Pavlović) [19,50,51].
- Razvoj prototipa plazmene peći snage 100 kW za elektrolučno topjenje kvarcnog peska, 1993-1984, (Savezno min. za nauku, tehnologiju i razvoj, pr. br. KPR-138/1-93, ruk. Mr Predrag Stefanović

U narednom periodu (do 2000 god.) obzirom na aktuelnost problematike planirana su sledeća istraživanja:

- Istraživanje procesa plazmahemijske sinteze kompozitnih prahova (Si_C_N,.....)
- Razvoj plazmene tehnologije za dobijanje čađi i vodonika iz ugqovodonika
- Projektovanje i uvođenje plazmene tehnologije za potpalu i podršku vatre na jednom od energetske kotlova loženih ugqenim prahom.

Reference

- 1 P. Pavlović, P. Stefanović: "Issledovanie temperaturnogo pol] gazovogo potoka kislorodno-acetilenovoj gorelki optičeskim metodom" u zborniku "**Processi perenosa v vnjsokotemperaturnnkh i himičeski reagirayih potokah**", editori S.S.Kutateladze, S.Oka, ITF SO AN SSSR, Novosibirsk, str. 122,132, 1982.
- 2 P. Pavlović P. Stefanović: "Issledovanie karakteristik plazmatronov linejnoj shemi" u zborniku "**Processi perenosa v odno- i dvuhfaznwh sredah**", editori S.S.Kutateladze, S.Oka, ITF SO AN SSSR, Novosibirsk, str. 171,179, 1986.
- 3 P.Stefanović: "Razvoj dinamičke metode merenja profila zaustavnog pritiska u visokotemperaturnim turbulen-tnim tokovima", Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1988
- 4 Stefanović , P. Pavlović, M. Janković: "High sensitive calorimetric probe for diagnostics thermal plasma at the exit of electric arc heater", *Proceedings of the 9th Int. Symp. on Plasma Chemistry*, Pugnochiuso, Italy str. 314-318, 1989
- 5 M.Janković: "Strujno i temperaturno polje turbulentnog mlaza plazme" Magistarski rad, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1989
- 6 P.Pavlović, P.Stefanović, V.Vujović, "Measurement of total heat flux distribution for normal impigement of air plasma jet on a flat plate" u knjizi Heat and Mass Transfer under Plasma Conditions, Ed. P.Fauchais, Begell House Inc. New York, pp.315-322, 1995
- 7 Pavlović i dr.: Studija za OZN Beograd, "Perspektive razvoja i primena savremenih tehnologija u Beogradskoj industriji", poglavlje "Plazma tehnologije" (1986-1990)
- 8 Živković: "Topljenje i isparavanje čestica u visokotemperaturnoj struji gasa", Magistarski rad, Mašinski Fakultet, Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1990.
- 9 Ž. G. Kostić, P. Pavlović, P. Stefanović: "Thermodynamic Studies of High Temperature Equilibria of the Si-N, Si-C-H and Si-O-C-H Systems", COLLOQUE DE PHYSIQUE C-5, Suppl. au *le Journal de Physique*, Tome 51, N° 18, pp. C5-11 - C5-17, 1990.

- 10 Ž. G. Kostić, P. Lj. Stefanović, P. B. Pavlović, S. \. [ikmanović: Thermodynamic Analysis of the BCl_3 Reduction to Boron Powder Using Thermal Arc Plasma, *Journal of High Temperature Chemical Processes*, Vol.1 n^o3, pp. 267-274, Sept. 1992.
- 11 Ž. G. Kostić, P. Lj. Stefanović, P. B. Pavlović, S. \. [ikmanović: "Thermodynamic Analysis of Al-N, Al-NH₃, and Al-O-C-N Systems for Aluminum Nitride Powder Production in a Thermal Plasma", *J. Serb. Chem. Soc.*, 60(10) pp. 927-934, 1995.
- 12 Ž. G. Kostić, P. Lj. Stefanović, P. B. Pavlović: "Thermodynamic Consideration of Si-N, Si-N-H Systems for Silicon Nitride Powder Production in a Thermal Plasma", *Ceramics Int.* 22 (3) pp.179-186, 1996.
- 13 Ž. G. Kostić, P. Lj. Stefanović, P. B. Pavlović, S. \. [ikmanović: "Optimal Plasma Process Routes in the Al-H-N, Systems for Aluminum Nitride Powder Production", *J. Serb. Chem. Soc.*, 62(11) pp.927-934, 1997.
- 14 Ž.G. Kostić, P.Lj. Stefanović, P.B. Pavlović, D.B. Cvetinović: "Thermodynamic Consideration of B-O-C-H System for Boron Carbide (B_4C) Powder Synrthesis in Thermal Plasma", *PROGRESS IN PLASMA PROCESSING OF MATERIALS*, (Ed. P.Fauchais), Begel House Inc., New York - Wallingford (UK) 1997 pp. 889-898.
- 15 Ž. G. Kostić, P. Pavlović, P. Stefanović: "Results of High Temperature Equilibria Thermodynamics Studies of Chemical Systems for Boron Nitrid and Boron Carbide Synthesis in Thermal Plasma, *Proc. of 10th Int. Symp. on Plasma Chemistry*, Vol. I, 4-9 August 1991, Bochum, Germany, pp.1.4-20, p1-p6.
- 16 Ž.G.Kostić, P.B.Pavlović, P.Lj.Stefanović, V.V.Vujović: "Thermodynamic analysis of aluminium nitride powder production in thermal plasma from Al-N, Al-N-H and Al-O-C-N systems", *Proceedings II, XXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases*, Bochum 19.-24. september 1993, pp.,273-274, Bochum-Germany 1993.
- 17 Ž.G. Kostić, P.Lj. Stefanović, P.B. Pavlović.: "Thermodynamic Cosideration of B-O-C-H-N System for Boron Nitride Powder Production in Thermal Plasma", *Proc. of the European Ceramic Society Fourt Conference*, 2-6 October, Riccione, Italy, Vol.1, pp. 307-314, 1995
- 18 Ž.G. Kostić, P.Lj. Stefanović, P.B. Pavlović, "Optimizacija procesa dobijanja ultradisperznog praha borkarbida (B_4C) iz bortrioksida (B_2O_3) ili ortoborne kiseline (H_3BO_3) u propan-butan plazmi, *Tehnika-Novi Materijali*, 5-6, str. NM6-NM10, 1996.
- 19 Ž. G. Kostić, P. Lj. Stefanović, P. B. Pavlović, S. \. [ikmanović: "Thermodynamic Consideration of Polychlorinated Biphenyl Decomposition in Air Thermal Plasma", *J. Serb. Chem. Soc.*, 59(10) pp. 767-773, 1994.
- 20 Ž.G. Kostić, P.B. Pavlović, P.Lj. Stefanović S.\. [ikmanović: "Thermodynamics Consideration of Polychlorinated Byphenyls Decomposition in Thermal Plasma", *THERMAL PLASMA PROCESSES*, VDI BERICHTE 1166, ISBN 3-18-091166-2, VDI-Verlag GmbH - Dusseldorf 1995, pp. 643-650.
- 21 Ž.G. Kostić, S.\. [ikmanović, P.B. Pavlović, P.Lj. Stefanović, D.B. Cvetinović, V.H. Pišlar: "Plazmena razgradnja i uništavanje polihloriranih bifenila i drugih otrovnih i genetski opasnih materija", *TEHNOLOGIJE I OPREME SMANJENJA TOKSIČNE EMISIJE iz STACIONARNIH I MOBILNIH IZVORA*", (Zbornik preglednih radova, ured. Prof. Dr. M. Radovanović i Mr A. Jovović), Univ. u Beogradu, Mašinski fakultet, Beograd Nov. !997, str. 145-169.
- 22 Ž.G. Kostić, P. Stefanović, P. Pavlović, S.\. [ikmanović: "Equilibrium Product of Polychlorinated Biphenils Decomposition in Water Steam Plasma", *Proc. of I Regional Symposiun: CHEMISTRY and the ENVIROMENT*, Vrnjačka Banja 25-29 Sept., Vol 2, pp. 663-666, 1995,
- 23 P.Lj. Stefanović, Ž. G. Kostić, P. Pavlović, D.B. Cvetinović: "Comparison of Polychlorinated Biphenils Decomposition Procrsses in Water Steam and Air Thermal Plasmas", *Proc. of I Regional Symposiun: CHEMISTRY and the ENVIROMENT*, Vrnjačka Banja 25-29 Sept., Vol 2, pp. 667-670, 1995,
- 24 V. Vujović, Ž. Kostić, P. Pavlović: "Analiza mogućnosti visokotemperaturne paroplazmene gasifikacije uglja", *Procesna tehnika*, Broj 1, str. 17-22, 1994.
- 25 D. Cvetinović, P. Pavlović, Ž. Kostić, P. Stefanović, S. [ikmanović: "Tehnološki aspekti korišćenja plazma ehnologije za dobijanje acetilena iz domaćih ugljeva", *Termotehnika*, God. XXII, Broj 2-3, str. 103-118, 1996.
- 26 P.B. Pavlović, Ž.G. Kostić, D.L. Agbaba, V. Županski, D.B. Cvetinović, P.Lj. Stefanović, S. Zec, S. \. [ikmanović: "Plazma tehnološki proces za razgradnju i uništavanje toksičnog otpadnog solventa (istrošeni CuAlCl_4 - toluen)", *Procesna tehnika*, Broj 3-4, str. 216-220, 1996.
- 27 D. Miilojević: Dvodimenzioni turbulentni tok smese fluid - čvrste čestice sa aspektom prenosa toplote i mase, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1986.
- 28 G. Živković, D. Milojević: "Plavljenje i isparenje tvrdih čestice v plazme azota", *Vwsokotemperaturnnje tečeni] i teploobmen*, izd. Akad. nauk SSSR, Sib. otd. Inst. Teplofiziki, str. 57-75, 1990.
- 29 P.Lj. Stefanović: Termičko strujni uslovi za plazma sintezu ultra-disperznog praha silicijum-nitrida- Si_3N_4 , Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 1997.

- 30 P.Lj. Stefanović, P. B. Pavlović, Ž. G. Kostić, S. N. Oka : "Mathematical Analysis of Critical Parameters of Si Particles Evaporation in Axisymmetric DC Plasma Reactor, *Journal of High Temperature Chemical Processes*, Vol. 1, n°3, pp. 359-366, Sept. 1992.
- 31 P.Lj. Stefanović, P. Pavlović, Ž.G. Kostić, S. Oka: "Numerical Analysis of Momentum, Heat and Mass Transfer Between Nitrogen Plasma and Injected Si Particles in Axisymmetric Reactor", HEAT AND MASS TRANSFER UNDER PLASMA CONDITIONS, (Ed. P.Fauchais), Begel House Inc., New York 1995, pp. 169-176.
- 32 P.Lj. Stefanović, S. Nemoda, P. Pavlović, Ž.G. Kostić, S. Oka: "Mathematical Model of the Reactive Quenching Process in Plasma Reactor", HEAT AND MASS TRANSFER UNDER PLASMA CONDITIONS, (Ed. P. Fauchais), Begel House Inc., New York 1995, pp. 429-436.
- 33 P.Lj. Stefanović, D. Cvetinović, P. Pavlović, Ž.G. Kostić: "Numerical Analysis of Momentum, Heat and Mass Transfer Between Nitrogen Plasma and Injected Al Particles in Axisymmetric Reactor", PROGRESS IN PLASMA PROCESSING OF MATERIALS, (Ed. P.Fauchais), Begel House Inc., New York - Wallingford (UK) 1997 pp. 643-650.
- 34 P.Lj. Stefanović, P. Pavlović, Ž. G. Kostić: "Combined Calculation of Temperature and Velocity Profile on Nitrogen Thermal Plasma at the Exit of Plasma Torch, *Proc. of 10th Int. Symp. on Plasma Chemistry*, Vol. I, 4-9 August 1991, Bochum, Germany, p. 1.1-27.
- 35 P.Lj. Stefanović, P.B.Pavlović and Ž.G.Kostić: "Numerical analysis of thermal plasma inlet parameters influence on Si particle evaporation in axisymmetric reactor", *XVI Summer school and Int. Symp. on the Physics of ionized gases*, (16 SPIG) p.p. 278-81, Beograd 25-28.09.1993.
- 36 P.Lj. Stefanović, P.B.Pavlović, Ž.G.Kostić: "Computer simulation of particle evaporation in thermal plasma flow reactor", *Proceedings I, XXI International Conference on Phenomena in Ionized Gases*, Bochum 19.-24. september 1993, str.403-404, Bochum-Germany 1993.
- 37 P.Lj. Stefanović, P. Pavlović, Ž.G. Kostić, S. Oka: "Numerical Analysis of Heat Transfer Between Nitrogen Plasma and Injected Si Particles in Axisymmetric Reactor", *Proceedings of Tenth International Heat Transfer Conference*, Vol. 5, pages 381.-386., Brighton United Kingdom, 14.-16. avgust 1994.
- 38 P.Lj. Stefanović, P.B. Pavlović, Ž.G. Kostić, D.B. Cvetinović,: "Numerical Analysis of Si Particles Injection and Evaporation Process in Thermal Plasma Reactor", *Proc. of the 12th International Symposium on Plasma Chemistry*, 21-25 August, Mineapolis, USA, Vol.III, pp.1397-1402, 1995.
- 39 P.Lj. Stefanović, P.B. Pavlović, Ž.G. Kostić, D.B. Cvetinović, S.N. Oka: "Numerička analiza međufaznog prenosa količine kretanja, toplote i mase između Si čestica i turbulentnog toka azotne plazme (Numerical Analysis of Interphase Momentum, Heat and Mass Transfer Between Si Particles and Turbulent Nitrogen Thermal Plasma Flow)", *II Int. Symp. Contemporary Problems of Fluid Mechanics* 30 Sept - 2 Oct. 1996, Belgrade, (Program and Abstracts) p. 80, 1996.
- 40 P.Lj. Stefanović, D. B. Cvetinović, P. B. Pavlović, Ž. G. Kostić: "Numerical Analysis Momentum, Heat and Mass Transfer Between Nitrogen Thermal Plasma and Injected Ti Particles in Axisymmetric Reactor", *Proc. of the 13th Int. Symp. on Plasma Chemistry*, Beijing, China, August 18-22, Vol III, pp. 1043-1048, 1997.
- 41 P.B. Pavlović, P.L. Stefanović, Ž.G. Kostić, S. Bošković, S.D. Šikmanović: "Plazmohimičeskij sintez ultradisperznog poro[ka nitrida kremni] (Si_3N_4) v reaktore s <lektrodugovnm plazmotronom", *Himi] v wssokih <nergij*, Tom 27, N° 4, str. 74-82, 1993.
- 42 P.B. Pavlović, Ž. G. Kostić, P. Lj. Stefanović: "Thermal Plasma Synthesis of Ultrafine Si_3N_4 and SiC Ceramic Powders", *Materials Science Forum* Vol. 214 pp. 205-214, 1996.
- 43 P.Lj. Stefanović, Ž.G. Kostić, D.B. Cvetinović,: "Plasma Proces for Ultrafine Si_3N_4 Powder Production" *Proc. of the European Ceramic Soc. 4th Conf.*, 2-6 October, Riccione, Italy, Vol.1, pp. 241-248, 1995.
- 44 P.Lj. Stefanović, P. B. Pavlović, Ž. G. Kostić, S. \. [ikmanović, D. B. Cvetinović: "Synthesis of Ultrafine Si_3N_4 Powder in a DC Thermal Plasma", *Proc. of the 13th Int. Symp. on Plasma Chemistry*, Beijing, China, August 18-22, pp. 2084-2089, 1997.
- 45 P.Lj. Stefanović, P.Pavlović, Ž.Kostić, S. [ikmanović, D. Cvetinović: "Plazmahemijska sinteza ultradisperznog praha silicijumkarbida", *"TEHNIKA"-novi materijali*, god. 3 br. 3-4, str. NM10-14, 1994.
- 46 P.B. Pavlović, P.Lj. Stefanović, S. Bošković, E. Kostić: "Plasma Synthesis and Sintering of Ultrafine Si_3N_4 and SiC Powders", *THERMAL PLASMA PROCESSES, VDI BERICHTE 1166*, ISBN 3-18-091166-2, VDI-Verlag GmbH - Dusseldorf 1995, pp. 317-324.
- 47 P. Pavlović, P. Stefanović, S. Bošković, E. Kostić, S. Šikmanović: "Plazmohimičeskij sintez ultradispersnwh poro[kov SiC i Si_3N_4 i ih spekanie", *Prikladna] fizika*, vnjp. 3/4, str. 22-29, 1995.
- 48 S. [ikmanović, P. Pavlović, P. Stefanović: "Kontinuirano doziranje finih kohezionih prahova", *Procesna tehnika*, Broj 3-4, str. 14-17, 1992
- 49 S.\. [ikmanović, P.B. Pavlović, P.Lj. Stefanović: "Sistem za izdvajanje finih čestica iz gasa na višim temperaturama", *Zbornik radova II Simp. HEMIJA I ZA[TITA ŽIVOTNE SREDINE*, Vrnjačka Banja 9-13 jun 1993, str. 479-480, Beograd 1993.

- 50 P.B. Pavlović, P.Lj. Stefanović, S.\. [ikmanović, D.B. Cvetinović: "Geometric Parameters Influence on Vortex D.C. Plasma Torch Working Characteristics", *PROGRESS IN PLASMA PROCESSING OF MATERIALS*, (Ed. P.Fauchais), Begel House Inc., New York - Wallingford (UK) pp. 119-128, 1997.
- 51 P. Pavlović, P. Stefanović, V. Vujović, B. Repić, S. [ikmanović, D. Cvetinović: "Plazmatronski gorionici za potpalu i podršku vatre kod kotlova loženih ugljenim prahom", *INDUSTRIJSKA ENERGETIKA-94* (23-24 jun), *Zbornik radova*, str. 194-199, Beograd, 1994.