

Univerzitet u Beogradu

Elektrotehnički fakultet

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU

Predmet: Referat o urađenoj doktorskoj disertaciji kandidata mr Milovana Janićijevića, dipl.inž.elektrotehnike.

Odlukom br. 862/3 od 16.4.2013.godine, imenovani smo za članove Komisije za pregled, ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Milovana Janićijevića, dipl.inž.elektrotehnike, pod naslovom

“Modelovanje interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom”.

Posle pregleda dostavljene Disertacije, podnetih materijala i razgovora sa kandidatom, Komisija je sačinila sledeći:

REFERAT

1.UVOD

1.1. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

Prijavu doktorske disertacije pod naslovom “Modelovanje interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom” kandidat Milovan Janićijević je podneo 2.3.2011. godine. Na sednici Komisije za treći stepen studija Elektrotehničkog fakulteta konstatovano je da je Milovan Janićijević prijavio doktorsku disertaciju pod naslovom “Modelovanje interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom”, i u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta, Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta je predložena Komisija za ocenu uslova i prihvatanje teme u sastavu: dr Vitomir Milanović, red. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Branka Kaluđerović, naučni saradnik (Institut za nuklearne nauke Vinča), dr Aleksander Kovačević, (Institut za fiziku) dr Jelena Radovanović, vanr. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Milan Tadić, redovni profesor (Elektrotehnički fakultet u Beogradu). Za mentora disertacije predložen je dr Vitomir Milanović, red. prof.

Na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 8.3.2011. godine, prihvaćen je predlog Komisije za treći stepen studija, kao i predloženi mentor.

Na osnovu izveštaja Komisije za ocenu uslova i prihvatanje teme i prateće dokumentacije doktorske disertacije “Modelovanje interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom” predložena tema je usvojena na sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 5.7.2011. godine, a 26.9.2011. godine od strane Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu.

Na sednici Komisije za treći stepen studija održanoj 9.4.2013., konstatovano je da je kandidat mr Milovan Janićijević, dipl. inž. elektrotehnike, predao urađenu doktorsku disertaciju, pa je na osnovu uvida u disertaciju i prateće dokumente, a u skladu sa Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta, Komisija za treći stepen studija potvrdila ispunjenost potrebnih uslova za podnošenje predloga Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta za formiranje Komisije za pregled i ocenu doktorske disertacije. Komisija za treći stepen studija je predložila Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta Komisiju za pregled i ocenu doktorske disertacije u sastavu: dr Vitomir Milanović, redovni profesor u penziji (Elektrotehnički fakultet u Beogradu), dr Branka Kaluđerović, viši naučni saradnik (Institut za nuklearne nauke Vinča), dr Jelena Radovanović, vanr. prof. (Elektrotehnički fakultet u Beogradu) i dr Peđa Mihailović, docent (Elektrotehnički fakultet u Beogradu). Na 761. sednici Nastavno-naučnog veća Elektrotehničkog fakulteta, održanoj 16.4.2013. godine, prihvaćen je predlog Komisije za treći stepen.

1.2. Naučna oblast disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom “Modelovanje interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom”, spada u oblast Laserske tehnike, a naučno je aktuelna u oblasti novih materijala i interakcije lasera sa materijalom.

Mentor sa odgovarajućim kompetencijama za vođenje disertacije je dr Vitomir Milanović.

1.3. Biografski podaci o kandidatu

Milovan Janićijević je rođen 2.11.1976. u Beogradu. Osnovnu školu i gimnaziju opšteg smera, završio je u Gornjem Milanovcu sa Vukovom diplomom. Diplomirao je u oktobru 2004. godine na Odseku za fizičku elektroniku na smeru za Lasersku tehniku i optoelektroniku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Tema diplomskog rada je bila “Optička bistabilnost i primena u kvantnoj elektronici.” Iste godine je upisao postdiplomske studije na Elektrotehničkom fakultetu na smeru Laserska tehnika i optoelektronika. Odbranio je magistarski rad u julu 2009. godine sa temom: „Interakcija laserskog zračenja sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom.“; prosečna ocena položenih predmeta na poslediplomskim studijama bila je 10.

Od septembra 2005, paralelno sa magistarskim studijama, zaposlen je na neodređeno vreme u kompaniji „Metalac“ A.D. tj. „Metalac posude“ d.o.o. u Gornjem Milanovcu u Službi elektroodržavanja na mestu glavnog inženjera.

Milovan Janićijević, počevši od poslednjih godina studija, se u kontinuitetu bavi izučavanjem interakcije laserskog snopova sa materijalom. Prati razvoj kvantnih generatora novih tipova i

savremene materijale posebno savremene ugljenične materijale sa nanoporoznom strukturom. Bavio se modelovanjem interakcije laserskih snopova sa materijalom uopšte, sa akcentom na ugljeničnim materijalima. Pored termalnih i drugih modela, materijalu se prilazi i sa strane mikrogeometrijske strukture, koja se kod ugljeničnih materijala matematički bazira na teoriji fraktala. Kandidat je posmatrao interakciju kroz eksperimentalni i teoretski pristup. Zato je morao da se upozna i koristi se sa metodama karakterizacije materijala i sa korelacijom raznih tehnika.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Sadržaj disertacije

Doktorska disertacija pod naslovom “Modelovanje interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom”, je izložena na 331 stranica teksta. Sadrži 224 slika, od kojih je većina, odnosno 202, rezultat rada ove teze, 17 tabela, od koji je većina, odnosno 16 rezultat ove teze. Pored naslovne strane, sadržaja, rezimea na srpskom i engleskom jeziku, uvoda, zaključka, literature i biografije, doktorska disertacija kandidata je izložena u četiri celine: 1. Tipovi lasera korišćenih u eksperimentima sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom, 2. Ugljenični materijali-pregled tipova, osobina i strukture ugljeničnih materijala, 3. Interakcija i modelovanje interakcije laserskog zračenja sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom, i 4. Eksperimentalni deo. Rad se poziva na 115 referenci.

2.2. Kratak prikaz pojedinačnih poglavlja

U prvoj celini doktorske disertacije, analizirani su neki tipovi lasera na čvrstom telu sa raznim aktivnim materijalima i dye lasera. Među njima su aktivni materijali dopirani sa jonima Nd^{3+} , aleksandritni, Ti^{3+} :safirni laseri i drugi. Posebna pažnja je posvećena laserima, koji nisu u široj komercijalnoj upotrebi i sa ultra-kratkim impulsima, a od potencijalnog su interesa za proučavanje interakcije u više dijapazona koherentnog zračenja. Razmatrane su zavisnosti, koje se javljaju u poređenju modelovanja kontinualnih i impulsnih lasera različite frekvencije repeticije sa karakterističnim širinama impulsa (femtosekunda prema ps i ns). Pored režima rada, u prvom poglavlju disertacije je izloženo modelovanje «lasing» procesa (efikasnost, pouzdanost, vreme života, i dr.) opisanih kvantnih generatora.

Druga celina je posvećena ugljeničnim materijalima izabranog tipa. Cilj je bio da se izlože osnovne fizičke i hemijske karakteristike materijala od značaja za temu disertacije. Polazna tačka je razmatranje osobina ugljenika, faznog dijagrama ugljenika i elektronske strukture atoma ugljenika. Prikazani su tipovi ugljeničnih materijala od interesa za ovu disertaciju: staklasti karboni, karbonska vlakna, aktivni karbonski vlaknasti materijali i kompoziti sa ugljeničnim materijalima. Izložene su njihove osnovne fizičke i hemijske karakteristike. Posebna pažnja je posvećena strukturnim karakteristikama i modelima strukture izabranih ugljeničnih materijala.

Opisani su i tehnološki postupci za njihovu proizvodnju. Akcenat je stavljen na termičke i električne osobine ugljeničnih materijala, odnosno na toplotnoj i električnoj provodnosti. Opisani su relevantniji mehanizmi transporta toplote i naelektrisanja u ugljeničnim materijalima, i posebno su opisani neki od modela u kojima su oni sadržani. Predstavljene su merne tehnike za određivanje toplotne provodnosti i električne otpornosti ovih materijala. Razmatrana je i veza između električne i toplotne provodnosti kod ugljeničnih materijala, kao i savremene interpretacije Frantz-Wiedeman-Lorentz-ovog zakona.

Treća celina predstavlja prilaz interakciji laserskih snopova sa materijalima uopšte, a posebno sa ugljeničnim nanoporoznim materijalima. Opisane su i analizirane potrebne teoretske osnove i matematički pristupi. Birani su pristupi sa težištem na modelovanju procesa, koji se očekuju sa izabranim tipovima lasera i materijala. U tom delu disertacije, analizirani su termički i fotohemijski procesi indukovani laserskim snopovima. Fotohemijskim procesima, posvećena je posebna glava na početku treće celine. Definisani su osnovni fotohemijski procesi, kao i mehanizmi, koji su u njihovoj osnovi. Iako je moguće više prilaza za teorijsko-, analitičko-, numeričko- modelovanje ovih procesa, s obzirom na veliki broj energetske nivoa, i uopšte, kvantnih stanja molekulskih sistema ugljeničnih materijala, detaljan opis svih mogućih pobuda i kvantnih prelaza takvog sistema usled interakcije sa laserskim snopovima je praktično nemoguć. Zbog toga je izabran fenomenološki pristup u opisivanju fotohemijskih reakcija. Na bazi eksperimentalnih rezultata iz literature, analizirani su fotohemijski procesi za više kombinacija laserskog izvora i ugljeničnih materijala.

Kod termičkih procesa, primenjeni su Fourier-ovi i ne-Fourier-ovi prilazi problemu transporta toplote u materijalu. Poseban pristup je korišćen za slučaj ultrakratkih laserskih impulsa. U tom slučaju, analiza prilaza termalnim modelima zaslužuje posebnu diskusiju, a primenjuju se i drugi modeli (hidrodinamički i dr.). Problematika je tretirana uz uzimanje u obzir mikogeometrijske strukture posmatranog materijala i aproksimacije sa njenim zanemarivanjem. Ugljenični nanoporozni materijali spadaju u porozne medije, za koje je moguće koristiti makroskopski pristup, bez razmatranja mikogeometrijske strukture u kome se usrednjavaju mikroskopski procesi prenosa toplote unutar reprezentativne elementarne zapremine. Kad je od interesa razmatranje toplotnih procesa na mikroskopskoj skali, potrebno je dati opis mikogeometrijske strukture posmatranih materijala počevši od nanoskale. Pored toga, prikazano je korišćenje fraktalne analize za opis mikogeometrijske strukture ugljeničnih nanoporoznih tekstilnih materijala. Na osnovu fraktala tipa tepiha Sierpinskog, opisan je prenos toplote u ugljeničnom nanoporoznom tekstilnom materijalu.

Pored teoretskog razmatranja interakcije, razmatran je i industrijski pristup primene lasera za ugljenične materijale. Izložene su prednosti laserskih tehnika u odnosu na konvencionalne tehnike obrade, u svetlu sistema sa automatskom kontrolom i upravljanjem proizvodnim procesom. Razmatrani su kompoziti sa ugljeničnim vlaknima i vlaknasti, odnosno tekstilni ugljenični materijali.

Poseban deo treće celine je posvećen softverskim modelima za opis apsorpcionih i transportnih procesa, posebno razvijanih dalje ili modifikovanih u ovoj tezi. Analizirane su primene različitih numeričkih metoda (metoda konačnih razlika, metoda konačnih elemenata, BEM, i dr.), kao i modeli zasnovani na njima. Podrobnije je opisana primena softverskog paketa COMSOL Multiphysics za rešavanje problema toplotnog transfera. Aplikacioni modovi su posmatrani sa gledišta granica primenljivosti i modelovanja definisanih konkretnih slučajeva sa vođenjem računa o režimima rada lasera i u odnosu na dužinu impulsa i geometriju uzorka. Korišćenjem programa COMSOL Multiphysics, modelovana je interakcija staklastog ugljenika i impulsa Nd^{3+} :YAG lasera. Dobijena je temperaturna raspodela, kao posledica apsorpcije energije laserskog snopa od strane materijala i drugih toplotnih procesa u samom materijalu. Rezultati su predstavljeni u vizuelnoj formi, u 2D predstavi. Apsorpcija i provođenje toplote u materijalu su računati u jednoj ili dve dimenzije. Verodostojnost korišćenih i razvijenih modela je ocenjena poređenjem sa eksperimenatalnim rezultatima, tako da je saglasnost rezultata i eksperimenta bila osnova za davanje ocene uspešnosti dobijenih modela.

Eksperimentalnom delu rada je posvećena četvrta celina, koja uključuje opis izvedenih eksperimenata i tehnika za evaluaciju rezultata interakcije. Uključene su metode kojima se mogu porediti neke osobina materijala pre i posle interakcije (mikroskopija, optička i elektronska, spektroskopija i dr.). Eksperimenti su rađeni na šest različitih tipova uzoraka ugljeničnih materijala: 3D C/C kompozit, staklasti ugljenik, kompozit ugljeničnih vlakana i poliestarske smole, oksidisana ugljenična vlakna, grafitna tkanina i filc sa ugljeničnim vlaknima. U jednoj seriji eksperimenata korišćen je Nd^{3+} :YAG laser i svi su uzorci tretirani sa sličnim parametrima. Dobijena oštećenja uzoraka su predstavljala predmet dalje kvalitativne i kvantitativne analize. Pored eksperimentalnih metoda za analizu dobijenih izlaganja, korišćena je i analiza mikrografa posebnim prilazima analize slike.

Analizom ulaznih i izlaznih podataka, tražene su moguće interpretacije i objašnjenja dominantnosti određenih procesa i reakcija. Na bazi režima rada, centralne talasne dužine, širine linije, vremena izlaganja, maksimalnih i srednjih energija, opisani su izazvani procesi i reakcije u izloženom materijalu.

Jedan deo eksperimentalnog rada je analiziran izabranim programima za analizu mikrografa iz elektronske i optičke mikroskopije. Tu su kao materijal za analizu korišćena i druga izlaganja sa drugim materijalima i tipovima lasera. Na bazi dobijenih histograma slike, analize boje i prepoznavanja elementarnih oblika određene geometrijske forme, rezultati su izraženi kroz kvantifikovane parametre. Ove analize su povezane sa izazvanim procesima (oksidacija površine, formiranje kratera, ablacija materijala, strukturne promene). Ukupni rezultati su poslužili za kvantifikovanje intenziteta i indukovanih efekata interakcije.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost i originalnost

Problematika disertacije se odnosi na aktuelnu oblast laserske tehnike i savremenih materijala. Ugljenični materijali izabranog tipa imaju sve veći značaj u nauci, tehnici i medicini, tako da dublje sagledavanje procesa sa gledišta teoretskih pristupa, mogu da budu od koristi i za savremene tehnike obrade ovih materijala. Obrada ugljeničnih materijala, zasnovana na laserskim tehnikama nudi brojne pogodnosti u odnosu na tradicionalnije metode i tehnike. Ključne prednosti su: veća brzina, fleksibilnost obrade, lokalizovana oštećenja, bolja iskorišćenost materijala, duži radni vek opreme usled eliminacije procesa habanja i mogućnosti modularnog razvoja sistema. Osnov za dalje unapređenje laserskih tehnika obrade ugljeničnih materijala jeste proučavanje interakcije laserskih snopova sa ovim materijalima, što podrazumeva fenomenološki i fundamentalni pristup problematici, opisivanje i razumevanje procesa, koji se odigravaju tokom interakcije u samom materijalu i, na kraju, modelovanje interakcije. Kompiuterska simulacija, zasnovana na dobijenim modelima se pokazala kao pogodna uz odabrane programske pakete za određivanje efekata interakcije i usavršavanje i uvođenje novih laserskih tehnika obrade ugljeničnih materijala.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

Za potrebe izrade disertacije, kandidat je koristio literaturu, koja je relevantna za temu i naučnu oblast disertacije. Na kraju rada, navedeno je ukupno 115 bibliografskih referenci, koje uključuju najnovije naučne radove, klasične radove, monografije i knjige, kao i radove, čiji je autor ili koautor sam kandidat. Broj navedenih referenci ukazuje na širinu i temeljnost kandidata u pristupu i obradi teme disertacije. Neke karakteristične reference su:

1. C. M. Günther, B. Pfau, R. Mitzner, B. Siemer, S. Roling, H. Zacharias, O. Kutz, I. Rudolph, D. Schondelmaier, R. Treusch, S. Eisebitt, Sequential femtosecond X-ray imaging, Nature Photonics, Vol. 5, pp.99–102, 2011.
2. B. Oktem, C. Ülgüdür, F. Ömer Ilday, Soliton–similariton fibre laser, Nature Photonics, Vol.4, pp.307-311, 2010.
3. J. Yao, Y. Wang, Nonlinear Optics and Solid-State Lasers: Advanced Concepts, Tuning-Fundamentals and Applications, Springer, New York, 2012.
4. V. Yanovsky, V. Chvykov, G. Kalinchenko, P. Rousseau, T. Planchon, T. Matsuoka, A. Maksimchuk, J. Nees, G. Cheriaux, G. Mourou and K. Krushelnick, Ultra-high intensity 300 TW laser at 0.1 Hz repetition rate, Optics Express, Vol. 16, pp.2109-2114, 2008.

5. G. Turri, H. P. Jenssen, F. Cornacchia, M. Tonelli, M. Bass, Temperature-dependent stimulated emission cross section in Nd³⁺:YVO₄ crystals, J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 26 (11), pp. 2084-2088, 2009.
6. X. Délen, F. Balembois, P. Georges, Temperature dependence of the emission cross section of Nd:YVO₄ around 1064 nm and consequences on laser operation, J. Opt. Soc. Am. B, Vol. 28 (5), pp.972-976, 2011.
7. S. Nagabhushana, N.Sathyanarayana, Lasers and Optical Instrumentation, I K International Publishing House Pvt. Ltd , New Delhi, 2010.
8. W. Koechner, Solid-State laser engineering, Springer, New York, 2006.
9. S. Marinković, Z. Laušević, M. Polovina, Savremeni karbonski materijali, Institut za nuklearne nauke “Vinča”, Beograd, 1999.
10. K. K. Chawla, Composite materials: science and engineering, Second Edition, Springer Science+Business Media, New York, 1998.
11. P. Morgan, Carbon Fibers and Their Composites, CRC Press, New York, 2005.
12. N. Jiang, J.Y. Chen, D.V. Parikh, Acoustical evaluation of carbonized and activated cotton nonwovens, Bioresour. Techn., Vol. 100, pp. 6533–6536, 2009.
13. B. V. Kaluđerović, Prilog proučavanju dobijanja ugljeničnih vlaknastih materijala programiranih svojstava, Doktorska disertacija, Tehnološko-Metalurški fakultet, Beograd, 2004.
14. K. Babel, I. Krucińska, R. Cisło, M. Koszewska, Comparative Analysis of the Properties of Active Carbon Fibres Obtained from Different Precursors, Fibres & Textiles in East. Eur., Vol. 14 (4), pp.79-86, 2006.
15. M.Stefanović, Vlaknima ojačani polimerni kompoziti (komponente, struktura, ispitivanje), Partenon, Beograd, 2002.
16. Z.S.Abdel-Rehim, M.M.Saad, M.El-Shankankery, I.Hanafy, Textile fabrics as thermal insulators, Autex Res. J., Vol.6, No.3, pp.148-161, 2006.
17. N.D. Milošević, Application of the laser pulse method of measuring thermal diffusivity to thin alumina and silicon samples in a wide temperature range, Therm. Sci., Vol. 14 (2), pp.417-423, 2010.
18. J. H. Christie, I. M. Woodhead, A New Model of DC Conductivity of Hygroscopic Solids. Part I:Cellulosic Mater., Text. Res. J., Vol.72(3), pp.273-278, 2002.
19. W. E. Morton, J. W. S. Hearle, Physical properties of textile fibres, Fourth edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2008.

20. V. Šafarova, J. Gregr, Electrical conductivity measurement of fibers and yarns, 7th International Conference - TEXSCI 2010, Czech Republic, P74, pp. 1-8, 2010.
21. K. A. Nowakowski, Laser beam interaction with materials for microscale applications, PhD Thesis, Worcester, 2005.
22. Y. G. Ly, X. L. Huai, W. W. Wang, Study on the effect of micro-geometric structure on heat conduction in porous media subjected to pulse laser, Chem. Eng. Sci., Vol. 61, pp.5717-5725, 2006.
23. Z. Ondogan, O. Pamuk, E. N. Ondogan, A. Ozguney, Improving the appearance of all textile products from clothing to home textile using lasertechnology, Optics & Laser Technology, Vol.37 (8), pp.631-637, 2005.
24. J. Dostanić, M. Dimitrijević, R. Jančić-Heinemann, T. Volkov-Husović, Primena analiza slike u karakterizaciji materijala, Savez inženjera metalurgije Srbije, Beograd, 2009.
25. R. C. Gonzales, R. E. Woods, Digital Image Processing, Second Edition, Prentice-Hall, New Jersey, 2002.
26. M.Janićijević, M.Srećković, B.Kaluđerović, S.Bojanić, D.Družijanić, M.Dinulović and A.Kovačević, Characterization of laser beam interaction with carbon materials, Laser Phys., Vol. 23 056002 (12pp), 2013.
27. M. Srećković, B. Kaluđerović, N. Ivanović, A. Kovačević, D. Družijanić, M. Janićijević, Modeling and experiment in area of interaction of carbon cloth material with various laser types, 3rd Serbian Congress for Microscopy (3SCM-2007), Book of Abstracts, 2007, pp. 147-148.
28. M. Janićijević, M. Srećković, B. Kaluđerović, Predviđanje vremenskog odziva ugljeničnog materijala ozračenog Nd^{3+} :YAG laserom, Tehnika - Novi materijali, Vol. 19, br. 4, pp. 1-4, 2010.
29. M.Srećković, Z.Tomić, S.Bojanić, D.Krcum, M.Janićijević, B.Simić, S.Milić and S.Polić Radovanović, Modern problems of propagation and interaction of quantum generators with material, Scientific–Professional Symp.INFOTEH-JAHORINA, 2012, pp. 458–63.
30. M.Janićijević, M.Srećković, B.Kaluđerović, Predviđanje vremenskog odziva ugljeničnog materijala ozračenog Nd^{3+} :YAG laserom, Osmo konferencija mladih istraživača, Nauka i inženjerstvo novih materijala, 21-23 dec. SANU, Beograd, 2009, pp.XVII-8.
31. M. Janićijević, M. Srećković, B. Kaluđerović, A. G. Kovačević, Analiza mogućih modela opisa interakcije procesa u ugljeničnom materijalu izloženog dejstvu laserskih snopova, Četvrta Radionica Fotonike, Kopaonik, 2-6.mart, Knjiga apstrakata, 2011, p.25.

3.3. Opis i adekvatnost primenjenih naučnih metoda

Metode korišćene u ovom radu su u najvećoj meri eksperimentalne i numeričke. Numeričke metode su izvedene iz teorijskih modela, koji opisuju procese apsorpcije laserske energije i njen dalji transport u materijalu u vidu toplotne energije. Na bazi ovako razvijenih numeričkih metoda bilo je moguće izvesti računarsku simulaciju za interakciju laserskih snopova i ugljeničnog nanoporoznog materijala kod koje su ulazne veličine parametri laserskog snopa i optičkog sistema i karakteristike izloženog materijala. Dobijene rezultate simulacija moguće je porediti sa eksperimentalnim rezultatima. Analiza slika dobijenih skeniranjem elektronskim snopovima, pre i posle interakcije, izvodi se korišćenjem softverskih alata i programa za analizu slike tako da se dobijaju kvantifikovane ocene promena.

Navedeni postupci u osnovi pripadaju eksperimentalnim i teorijskim istraživanjima i u potpunosti odgovaraju problemu i postavljenom cilju disertacije.

3.4. Primenjivost ostvarenih rezultata

Pokazalo se da su analizirani snimci dobijeni SEM mikroskopom prikladni za određivanje oblika i dimenzija nastalih povreda i promena na površini uzorka, odnosno kratera i formacija formiranih tokovima rastopa i taloženjem materijala. Snimak optičkog mikroskopa ima veći kontrast između karakterističnih oblasti i prikladan je za analizu sa stanovišta određivanja histograma, srednjih nijansi sive i standardnih devijacija nijansi sive, kao i njihovog međusobnog poređenja.

Kompjuterska simulacija zasnovana na termalnom modelu i usvojenim aproksimacijama dala je rezultate, koji se mogu posmatrati, kao početni odgovori. Određena je toplotna distribucija u okolini laserskog spota, za energije ispod praga oštećenja, tj. faznih prelaza. Takođe, predloženi model može pokazati koliko je, za date uslove (energija i trajanje impulsa), materijal blizu faznom prelazu.

3.5. Ocena dostignutih sposobnosti kandidata za samostalni naučni rad

Kandidat je tokom izrade ove doktorske disertacije pokazao da je u stanju da samostalno rešava probleme i da uspešno vlada savremenim naučnim saznanjima i metodama. Takođe, kandidat je ispoljio zahtevanu naučnu zrelost i osposobljen je za dalji uspešan naučno-istraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

Ostvareni su doprinosi:

- na polju interakcije laserskog zračenja (Nd^{3+} :YAG laser, aleksandritski, Ti:safirni, CO i CO_2 laseri) sa izabranim ugljeničnim materijalima (staklasti karboni, karbonska vlakna, aktivni karbonski vlaknasti materijali i kompoziti sa ugljeničnim materijalima);
- razvijanje modela za opis izabranih materijala i lasera na bazi termalnog modela i potrebnih aproksimacija sa uzimanjem u obzir mikrogeometrijske strukture materijala na bazi teorije fraktala ili zanemarivanjem mikrogeometrijske strukture;
- razvijanje posebnih softverskih rešenja uz dostupne postojeće softverske alate i programe (Image J, Matlab, COMSOL Multiphysics);
- u oceni termičke strane procesa (maksimalne temperature, određivanju zone termalnog uticaja, prepoznavanje dominantnih mehanizama apsorpcije i transporta toplotne energije u materijalu);
- određivanje neophodnih parametara za kompletan kvantitativni opis interakcije (promena boje i nijanse uzorka, srednje nijanse sive, standardna devijacija nijanse sive, prepoznavanje karakterističnih oblika i njihovo prebrojavanje, površina i oblik povrede, odstupanje oblika kratera od kružne i eliptične forme, dimenzije kratera, i sl.).

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Sagledavanjem ciljeva istraživanja, postavljenih hipoteza i dobijenih rezultata, konstatujemo da je kandidat uspešno odgovorio na sva bitna pitanja i dileme, koje suštinski proizilaze iz obrađivane problematike. Razvijene metode modelovanja interakcije i analize snimaka optičke i SEM mikrografije daju rezultate, koji imaju značajan naučni, a posebno stručni doprinos u oblasti interakcije lasera sa materijalom i laserske obrade materijala. Uvidom u priloženu literaturu, kao i publikovani rad u časopisu *Laser Physics*, konstatujemo da se istraživanjima u ovoj disertaciji došlo do novih rezultata koji do sada, nisu bili publikovani. Rezultati su i eksperimentalno verifikovani sa komercijalno dostupnim laserom i uzorcima ugljeničnih materijala.

4.3. Verifikacija naučnih doprinosa

Kandidat mr Milovan Janićijević je do sada objavio sledeće radove koji neposredno pripadaju užoj oblasti disertacije:

Kategorija M21:

1. M.Janićijević, M.Srećković, B.Kaluđerović, S.Bojanić, D.Družijanić, M.Dinulović and A.Kovačević, Characterization of laser beam interaction with carbon materials, Laser Phys., Vol. 23 056002 (12pp), 2013 (IF=3.605) (ISSN print: 1054-660X, ISSN electronic: 1555-6611).

Kategorija M34:

1. M. Srećković, B. Kaluđerović, N. Ivanović, A. Kovačević, D. Družijanić, M. Janićijević, Modeling and experiment in area of interaction of carbon cloth material with various laser types, 3rd Serbian Congress for Microscopy (3SCM-2007), Book of Abstracts, 2007, pp. 147-148.

2. M Janićijević, B.Kaluđerović, M.Srećković, A.Kovačević, Družijanić D., Modeling and experiments in the interaction of laser beam with carbon nanoporous materials 10.Yukomat, Herceg Novi, 2009, 2009, p.103.

3. M. Srećković, B.Kaluđerović, A. Kovačević, V.Rajković, S. Pantelić, Z. Latinović, D. Družijanić and M.Janićijević, Some problems in modeling of laser interaction with transparent and absorptive material , 2nd International conference on physics of optical materials and devices (Icom 2009) , Herceg Novi, 27 august- 30 august, 2009, Book of Abstracts, p. 205.

4. M. Janićijević, B. Kaludjerović, M. Srećković, A. Kovačević, D. Družijanić, Approach to modeling interaction of carbon fiber materials and laser beam with experiment, 11.Yukomat, Herceg Novi, 2010, pp. XXXV.

5. Ž.Tomić, M.Srećković, S. Polić Radovanović, L.Lukić, A.Kovačević, M.Dinulović⁵, M.Janićijević, Characteristics of the Laser Interaction with Chosen Ceramic Materials, 1st Conference of the Serbian Ceramic Society (1CSCS-2011), Belgrade, March 17-18th, Book of Abstract, 2011, p.38.

Kategorija M52:

1.M.Srećković, M.Kutin, S.Ristić, S.Milić, B.Kaluđerović, M. Janićijević, Nekonvencionalne tehnike za ocenu zaostalih napona sa akcentom na IC i mikroramanovoj spektroskopiji u ispitivanju materijala, Tehnička dijagnostika, god.V., br.2, pp. 20-26, 2006 (ISSN 1451-1975).

2. M.Janićijević, M.Srećković, B.Kaluđerović, Predviđanje vremenskog odziva ugljeničnog materijala ozračenog Nd³⁺:YAG laserom, Tehnika - Novi materijali, vol. 19, br. 4, pp. 1-4, 2010 (ISSN 0354-2300).

3. M.Srećković, M.Dinulović, M.Janićijević, V.Rajković, V.Popov, Contemporary Problems, Experiments, Theory, Phase Transitions Provoked by Laser Beams in Condensed Matter, ANNALS OF FACULTY ENGINEERING HUNEDOARA – International Journal Of Engineering, Tome X,. Fascicule 3, pp. 467-474, 2012 (ISSN: 1584-2665).

Kategorija M63:

1. M.Srećković, Z.Tomić, S.Bojanić, D.Krcum, M.Janićijević, B.Simić, S.Milić and S.Polić Radovanović, Modern problems of propagation and interaction of quantum generators with material Scientific–Professional Symp.Infotech-Jahorina, 2012, pp. 458–63.

Kategorija M64:

1. M.Janićijević, M.Srećković, B.Kaluđerović, Predviđanje vremenskog odziva ugljeničnog materijala ozračenog Nd^{3+} :YAG laserom , Osmo konferencija mladih istraživača, Nauka i inženjerstvo novih materijala, 21-23 dec. SANU, 2009, pp.XVII-8.

2. M.Janićijević, M.Srećković, D.Družijanić, Prilaz modelovanju interakcije ugljeničnog materijala i laserskih snopova i eksperiment, Fotonika 2010, 21-23.apr. Institut za fiziku, Beograd, 2010, pp.14.

3. M. Janićijević, M. Srećković, B. Kaluđerović, A. G. Kovačević, Analiza mogućih modela opisa interakcije procesa u ugljeničnom materijalu izloženog dejstvu laserskih snopova, Četvrta Radionica Fotonike, Kopaonik, 2-6.mart, Knjiga apstrakata, 2011, p.25, 2011.

4. M.Srećković, Z.Latinović, A.Janićijević, A.Bugarinović, M.Janićijević, Z.Fidanovski, S.Polić Radovanović, S. Jevtić, Defining the Critical Parameters of Materials using lasers, Savremeni materijali, Banja Luka, 2012, p.87.

5. ZAKLJUČAK I PREDLOG

Doktorska disertacija kandidata mr Milovana Janićijevića pod naslovom “Modelovanje interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom” je u celini napisana u skladu sa obrazloženjem navedenim u prijavi teme i sadrži sve bitne elemente, koji se zahtevaju Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu. U disertaciji se razmatra problem interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom i njeno modelovanje. Generalno, problem pripada naučnoj oblasti laserske tehnike a praktično je u domenu interakcije lasera sa materijom. Disertacija daje originalan naučni doprinos u pogledu analize i modelovanja interakcije laserskih snopova sa ugljeničnim nanoporoznim materijalom kombinovanjem fundamentalnog i fenomenološkog pristupa problematici i korišćenjem eksperimentalnih rezultata. Ocenjujući doktorsku disertaciju, kao i činjenicu da je analizirana problematika veoma aktuelna i savremena sa aspekta naučnog i

stručnog doprinosa, verifikovana objavljivanjem u relevantnom časopisu sa SCI liste, a i podatak da su najvažniji rezultati dobijeni samostalnim radom, Komisija konstatuje da je kandidat mr Milovan Janićijević ispunio sve uslove predviđene Zakonom o visokom obrazovanju, Statutom i Pravilnikom o doktorskim studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu, te sa zadovoljstvom, predlaže Nastavno-naučnom veću Elektrotehničkog fakulteta da ovaj Izveštaj prihvati i u skladu sa zakonskom procedurom, uputi Veću naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu na konačno usvajanje i davanje odobrenja kandidatu da pristupi usmenoj odbrani.

U Beogradu, 14 maja 2013 godine.

ČLANOVI KOMISIJE

dr Vitomir Milanović, redovni profesor u penziji
Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet

dr Branka Kaluderović, viši naučni saradnik
Univerzitet u Beogradu – Institut za nuklearne nauke Vinča

dr Jelena Radovanović, vanredni profesor
Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet

dr Peđa Mihailović, docent
Univerzitet u Beogradu-Elektrotehnički fakultet