

Savremeni problemi prostiranja i interakcije kvantnih generatora sa materijalom

Milesa Srećković, Dušan Krčum, Biljana Simić
Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
esreckov@etf.rs, krchum@gmail.com,
biljanasimic56@gmail.com

Željka Tomić
IRITEL AD, TEHNIKUM TAURUNUM VIŠSS
Beograd, Srbija
zeljka@iritel.com

Slobodan Bojanić
Universidad Politécnica de Madrid
Madrid, Spain
slobodan@die.upm.es

Milovan Janićijević
Metalac A.D.
Gornji Milanovac, Srbija
janicije@sezampro.rs

Aleksandar Bugarinović
Telekom Srpske
Bijeljina, Republika Srpska
bugar@teol.net

Suzana Polić Radovanović
Centralni institut za konzervaciju
Beograd, Srbija
suzanapolicradovanovic@gmail.com

Saša Milić
Institut Nikola Tesla
Beograd, Srbija
s_milic@yahoo.com

Sadržaj — Savremena problematika vezana za kvantne generatore u optičkom i RF delu spektra traži kao eksperimentalnu podršku vrlo kompleksne i skupe sisteme i komponente. Zbog toga su računarske simulacije neizbežne u osnovi razvoja mnogih sistema. U radu se autori bave problematikom dizajna optičkih vlakana i drugih komponenta u svrhe modulacija i simulacija u makroskopskim komponentama optičkih sistema. U drugom delu rada se primenom softverskih aplikacija ocenjuju eksperimentalni rezultati interakcije sa kvantnim generatorima na odabranoj vrsti materijala.

Ključne riječi- Laser; optička vlakna; prostiranje; interakcije

I. UVOD

Prostiranje elektromagnetskog zračenja je u velikoj meri predmet klasične literature, ali se pojavom kvantnih generatora i pojačavača u optičkom vidljivom, UV i IC delu spektra, i problematikom rezonatora i talasovoda, aktuelizuje i sa drugim oblastima: maserima, hiperfrekvencijama, radiotehnikom, mikrotalasnom tehnikom. Pojava intenzivnih snopova je još jedna oblast u kojoj se problematike mešaju, zbog parametarskih procesa, viših harmonika, metroloških zadataka, gde se simulacionim programima ocenjuju brzi impulsi (uključujući fs i attos), itd. Oblast nelinearne optike i odziv materijala na intenzivne snopove, daju treću oblast, koja se proširuje do degradacije materijala i katastrofičnih promena [1], [2]. Optička vlakna, posebno su unela nove mogućnosti u

smislu eksperimenta, ali su tražila specifičan razvoj teorije u problematici talasovoda i vice versa. Razvoj talasovoda u mikrotalasnoj oblasti se koristio u području kvantnih generatora, masera. Ujedinjeni problemi vođenja elektromagnetskog zračenja su doneli mnogo novih zadataka: prognoze karakteristika materijala za pojedinu oblast, razvoj komponenta, i slično. Svi ti zadaci inicirali su razvoj brojnih numeričkih simulacija. U izboru savremene računarske podrške, u navedenim oblastima, izabrano je nekoliko praktičnih zadataka iz područja, koji mogu da budu od interesa i za ocene predmeta i objekata kulturne baštine izrađenih od keramike, metala, drveta, tekstila, stakla i drugih materijala [6]-[10].

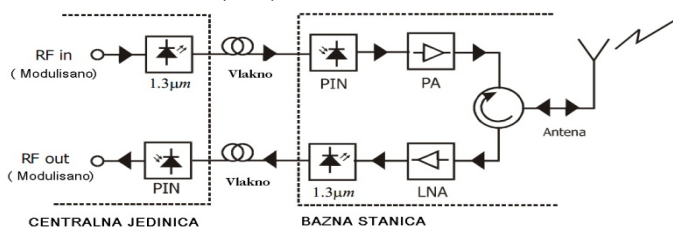
Prostiranje elektromagnetskih talasa, problemi rezonatora kvantnih generatora i pojačavača, zahtevaju i materijale posebnih osobina, u smislu transparentnosti za osnovne frekvencije, ali i za niz frekvencija, koje će se pojaviti u postupcima modulacije, razvijenih stimulisanih željenih i neželjenih procesa, stimulisanih rasejanja, tipa Ramana, Brillouina, koji se u pozitivnom smislu kreću ka fiber laserima i pojačavačima, a u negativnom smislu u smetnje pri prenosu. U tom kontekstu ista problematika se razvija u pogledu numerika, kao *pozitivna i negativna*.

Primene lasera u obradi materijala, metrologiji i meteorologiji moraju da imaju optičke sisteme sa makro

komponentama (klasična sočiva itd.) ali i rešenja na bazi fibera i stopljene optike. Fiber laseri se sve češće nalaze u sistemima zavarivanja, a primena lasera u mikroelektronici (trimovanje itd.) traži mogućnost pomeranja ili snopa ili podloge. Većina industrijskih sistema je automatizovana i moralo je da bude mnogo rada na razvijanju algoritama i softverske podrške za obradu i upravljanje. Kontrola detalja laserskih spotova i njihovog "korisnog- štetnog" dejstva traži razvijanje parametara i karakteristika lokalnog stanja radnog predmeta, pa je analiza slike uvek aktuelan problem. U našim ranijim radovima su često bili prikazani rezultati ispravnog rada nekog softverskog paketa, ovde smo hteli da ilustrujemo situacije u kojima za iste parametre na različitim računarima dolazi do gršaka u simulaciji.

II. NEKE SIMULACIJE U POLJU PRENOSA SIGNALA I KARAKTERISTIKA IZLAZA ZA ZADATI ULAZ

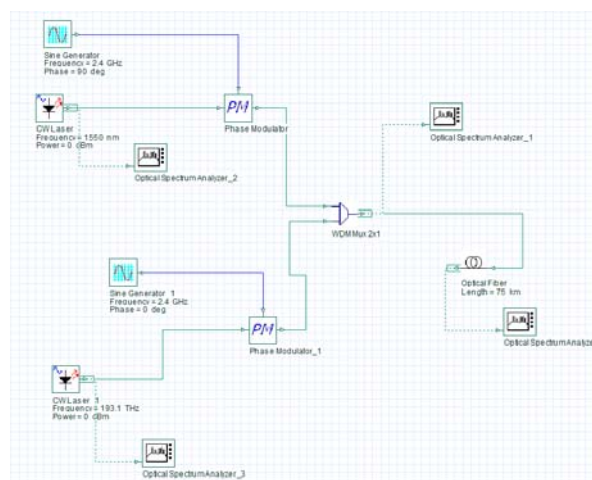
Korišćen je program OptiSystem [11], koji omogućava kvalitetne simulacije u polju oblasti radiofibera. Radio over Fiber (RoF) tehnologija podrazumeva upotrebu optičkih vlakana za distribuciju RF signala od korisnika do udaljenih antena. U uskopojasnim i WLAN sistemima, obrada RF signala je najčešće u okviru baznih stanica i direktno se vodi na antenu. RoF sistem omogućava da se obrada RF signala vrši na jednom mestu, čime se dozvoljava korišćenje zajedničkih hardverskih resursa, njihova dinamička raspodela, pojednostavljen način rada i olakšano održavanje. Optičke deonice unose malo slabljenje signala (0,2 dB/km za 1,55 μm). Udaljene bazne stanice u sistemima sa RoF su lišene obrade RF signala; potrebno je obezbediti optoelektronsku konverziju i eventualno pojačanje signala. Blok šema sistema je prikazana na Sl. 1. Izabrana je simulacija sistema u multiplexu dva signala, moduliranih radio signalima učestanosti 2,45 GHz. Signal nosilac je izlaz lasera na talasnoj dužini 1,55 μm , koji radi u kontinualnom režimu (CW).



Sl 1. Blok šema sistema RoF.

Na sl.2. je data blok šema sistema *Radio over Fiber* sa instrumentacijom i komponentama tipa optičkih analizatora, sinusnih generatora, faznih modulatora. Kao modularni elementi za analizu se postavljaju razni modulatori, tipa Mach Zehndera, polarizacioni, amplitudski, frekvencijski, itd. Simulacija je rađena za podatke od kojih je većina data u Tabeli 1. Na sl.2.a je prikazan spektar signala generisanog CW laserom. Na sl.3 i 4 su dati izlazi sa deonica dužine 75 km, odnosno ulaz i izlaz.

Rezultati dobijeni simulacijama su u skladu sa teorijskim i praktičnim slučajevima, koji se sreću u literaturi [12], [13]. Aspekti disperzije zaslužuju posebnu pažnju i mogućnosti, kako simulacije, tako i on line eksperimenata, koji prate evoluciju rada sistema u raznim fizičkim poljima [14].



Sl 2. RoF sistem modulacija RF signalom 2,45GHz, slabljenje unosi deonica sa fiberom dužine 75km

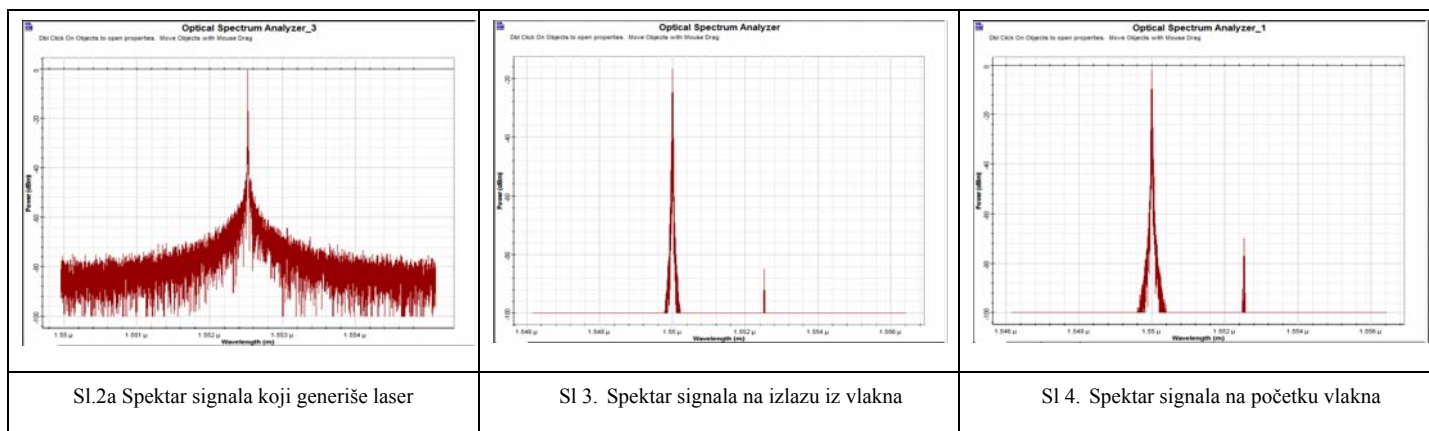


TABELA I. PARAMETRI SIMULACIJE

$n_2 = \text{const}$	m^2W
Profil indeksa prelamanja	
Odziv na Ramanovo rasejanje	
Ramanov pomak u t_1	14,2fs
Ramanov pomak u t_2	3fs
Ortogonalni Ramanov faktor	
Disperzija	16,75 ps
Disperzija viših redova	
Parametar frekvencijskog domena	
Nagib disperzije	
Referentna talasna dužina	
Dužina vlakna	75km
Slabljenje u zavisnosti od (λ)	0,2dB
Efektivna površina (λ)	80

III. ANALIZA INTERAKCIJE IMPULSNIH LASERSKIH SNOPOVA SA MATERIJALOM

Analiza mikrografa rezultata SEM ispitivanja keramičkih materijala izloženih impulsnim laserskim snopovima

Interakcija lasera sa materijalom je od interesa za teoretske prilaze, za procenu otpornosti materijala u uslovima eksploatacije, u praktične svrhe *atomizacije* materijala, itd. Postoje dve grupe istraživanja od kojih jedne sakupljaju izbačeni materijal i analiziraju ga, a druge samo prate izlaganu površinu. Korelacije između ove dve vrste istraživanja i dalje sadrže mnogo pitanja. U ovom radu su dati izlazi analiza dva laserska oštećenja materijala, koja su pravljena u laboratorijskim uslovima tipa spinela [9]. Ovaj tip materijala je sa jedne strane interesantan kao keramika, a sa druge kao materijal tipa spinela kakvi su i mnogi aktivni materijali.

Materijali za analizu interakcije U ovom radu su birani za analizu uzorci, čija se interakcija generalno sa izabranim tipom lasera može podvesti pod teoretski deo interakcija sa uzorcima keramičkog tipa. Toj grupi materijala pripadaju

spinel, feriti, cirkonati, materijali koji se primenjuju u mikroelektronici, PIM tehnologiji, senzorima [7]-[9].

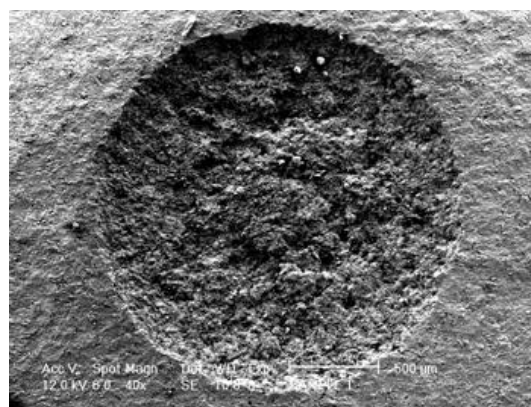
Uzorak $Y_3Al_2Fe_3O_{12}$. Pastila je zelenkasto smeđe boje, presovana, kompaktna, [6] sa četiri jasno kružne povrede. Analiza mikrografa dobijenih izlaganjem materijala, data na Sl. 5 i Sl. 6 se može komentarisati posle vizuelnog posmatranja rezultata sa sledećih nekoliko stavova. Topografija povreda je različito razvijena. Povreda sa $E=5J$ je najdublja povreda sa talasastom topografijom dna. U odnosu na povrede sa manjom energijom hrapavost dna je manja, a oreol oko povrede je za 1/3 veći od prečnika povrede. Termički efekat je jasno vidljiv. Pitanje je da li je oreol oksid i da li je došlo do promene koncentracije lakih metala (pomeranja materijala) u zoni oreola. Po površini uzorka i po dnu kratera primećuju se mlečno beli komadi materijala, bolje definisani na dnu kratera.

Uzorak $Y_3AlFe_4O_{12}$. Pastila je žute boje. Pokazuje blagu poroznost. Sve povrede su plitke. Povreda $E=4J$ ima razvijenu topografiju osnovnog materijala. Potpuno je pravilnog kružnog oblika. Kod svih povreda (sve energije) topografija dna je izražena. Dno je veoma neravno.

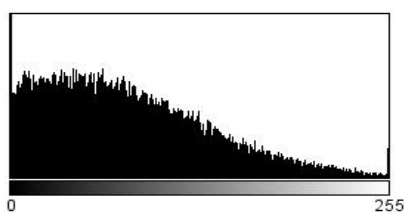
Analiza interakcije primenom programa ImageJ

Podaci o analiziranom mikrografu su:

1) $Nd^{3+}:YAG$, $\tau=2x2ms$, spot 2mm, $E=4J$, materijal $Y_3AlFe_4O_{12}$, 350x226px, 8-bit, 91K.

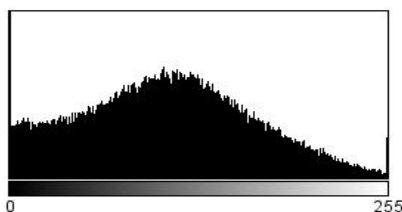


Sl 5. Mikrograf sa SEM analize, x40.



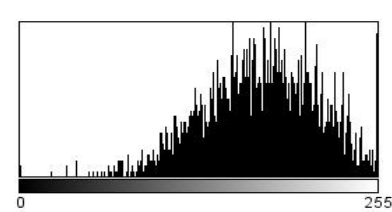
Count: 46286 Min: 0
Mean: 78.561 Max: 255
StdDev: 56.920 Mode: 0 (1712)

Sl 6. Histogram kratera Sl. 5.



Count: 93100 Min: 0
Mean: 105.151 Max: 255
StdDev: 59.096 Mode: 0 (2095)

Sl 7. Histogram celog mikrografa Sl.5.



Count: 2236 Min: 0
Mean: 171.678 Max: 255
StdDev: 41.489 Mode: 152 (28)

Sl 8. Histogram netretiranog materijala

Povlačenjem tri duži u različitim pravcima između ivica kratera-dužine su 237, 238, 236 px. Srednji prečnik je 237 px. Kako je širina jednog piksela 8,62 μ m, sledi da je prosečan prečnik kratera 2042,94 μ m ili 2,043 mm. Referentna duž, koja predstavlja 500 μ m na fotografiji je 58px. Proističe da je dimenzija jednog piksela 8,62x8,62 μ m, a površina 74,316 μ m².

Selektovan je deo slike 5, koji prikazuje krater nastao izlaganjem laserskom snopu. Površina selektovanog dela je 46286 piksela. Ako se uzme u obzir da je površina jednog piksela 74,316 μ m², proističe da je površina kratera 3439790,38 μ m² ili 3,44 mm². Da je krater idealno kružnog oblika prema srednjem prečniku 2,043mm njegova površina bi bila 3,28mm². Odnos stvarne površine (3,44mm²) i površine zamišljenog idealnog kruga (3,28mm²) je 1,049 i to predstavlja kvantitativnu meru odstupanja oblika kratera od kružnog oblika, što iznosi, u procentima, oko 4,9%.

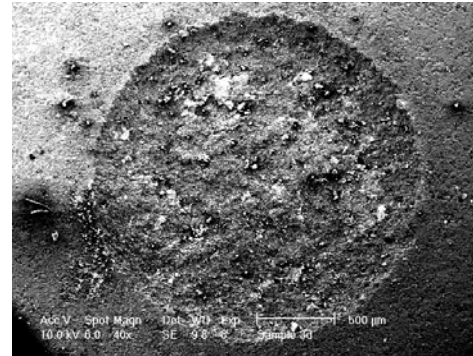
Histogram kratera (Sl. 6)pokazuje da je prosečna nijansa sive 78,561, dok je standardna devijacija 56,92. Za poređenje se može uzeti histogram kompletne slike, Sl 7.

Histogram cele slike ima prosečnu nijansu sive 105,15, dok je standardna devijacija 59,1. Značajna je razlika u nijansi sive na delu, koji je bio izložen laserskom snopu (krater) i znatno pomeren prema crnoj. Poređenje se može izvesti i sa delom slike, koji prikazuje neizloženi deo, Sl. 8. Na neizloženom delu prosečna nijansa sive je 171,68, mnogo bliža beloj, nego na izloženom delu. Odnos nijansi sive u neizloženom i izloženom delu je 2,18. Ovaj odnos može predstavljati meru interakcije lasera sa površinom uzorka, kada je došlo do uklonjanja materijala sa površine.

Image J se može koristiti i za prebrojavanje odgovarajućih oblika, koji su vezani za povrede materijala izazvanih izlaganjem laserskim snopovima. Ako kao parameter definišemo oblik blizak kružnom sa cirkularnošću u opsegu 0,5 do 1,0 bez ograničenja, po pitanju prečnika-program automatski prepoznaje 514 oblika, koji su vezani za površinu formiranog kratera. Na celoj slici, po istom kriterijumu se prepoznaje 818 oblika. Van spota ove nepravilnosti na površini potiču usled ranije prisutnih nehomogenosti, ali verovatno i

usled taloženja izbačenog materijala i termičkih napreznja. Van spota je, ukupno 304 ovakvih oblika, koji ukazuju na prethodne defekte, ali i na taloženje. U okviru kratera, koji čini 49,7% slike, nalazi se 514, odnosno 62,84% ovih oblika, što vodi do očekivanog rezultata da je uticaj laserskog snopa na morfologiju uzorka najveći na mestu spota.

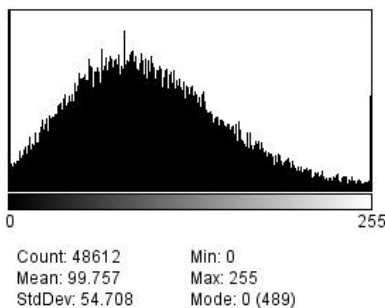
2) $Nd^{3+}:YAG$, $\tau=2x2ms$, spot 2mm, $E=5J$, materijal, $Y_3Al_2Fe_3O_{12}$ 350x266px, RGB,364K.



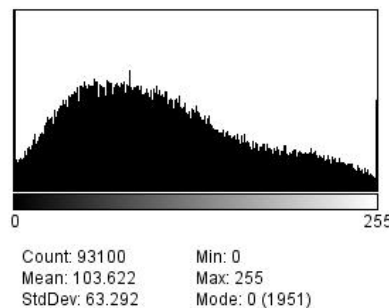
Sl 9. Mikrograf SEM analize i interakcije, x40.

Selektovan je deo slike, koji prikazuje krater nastao izlaganjem laserskom snopu. Površina selektovanog dela je 48612 piksela. Ako se uzme u obzir da je površina jednog piksela 74,32 μ m², proističe da je površina kratera 3612649,39 μ m² ili 3,61 mm². Da je krater idealnog kružnog oblika prema srednjem prečniku 2,086mm njegova površina bi bila 3,418mm². Odnos stvarne površine (3,61mm²) i površine zamišljenog idealnog kruga (3,42mm²) je 1,056 i to predstavlja kvantitativnu meru odstupanja oblika kratera od kružnog oblika, što iznosi, u procentima, oko 5,6%.

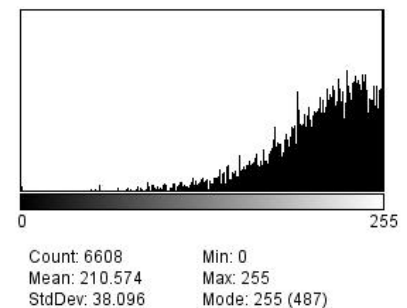
Histogram kratera, Sl. 10, pokazuje da je srednja vrednost nijansi sive 99,76, a standardna devijacija 54,71. Za poređenje se može uzeti histogram kompletne slike (Sl. 11):



Sl 10. Histogram kratera slike 9.



Sl 11. Histogram kompletne slike 9.



Sl 12. Histogram neizloženog dela površine.

Srednja vrednost nijansi sive je 103,62, a standardna devijacija 63,29. Ne postoji značajna razlika između dela slike, koji prikazuje krater i celu sliku. Može se za poređenje uzeti i deo slike (Sl. 12), koji pokazuje neizloženi deo površine (gornji levi deo slike).

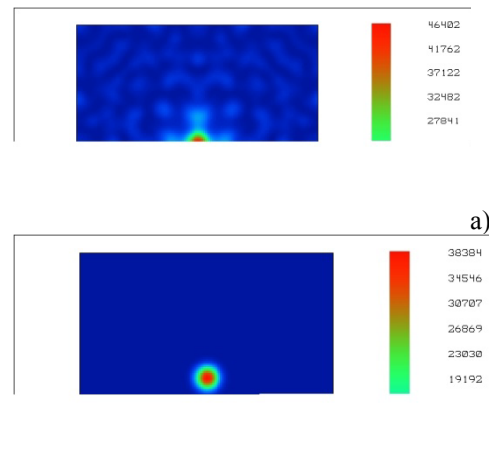
U neizloženom delu je srednja vrednost nijanse sive 210,57, a standardna devijacija 38,1. Odnos nijansi sive u neizloženom i izloženom delu je 2,11. Osetna razlika je i u standardnim devijacijama-odnos standardnih devijacija u izloženom i neizloženom delu je 1,44.

Program *Image J* na celoj slici prepoznaje ukupno 1215 oblika sličnih krugu sa cirkularnošću u opsegu 0,5 do 1. Srednja površina jednog je 2,73 piksela ili $203,11\mu\text{m}^2$. Na delu, koji prikazuje krater, prepoznaje se po istom krateru 799 oblika. Van spota ove nepravilnosti na površini potiču usled ranije prisutnih nehomogenosti, ali verovatno i usled taloženja izbačenog materijala i termičkih naprezanja. Van spota je, ukupno 416 ovakvih oblika, koji ukazuju na prethodne defekte, ali i na taloženje. U okviru kratera, koji čini 53,24% slike nalazi se 799, odnosno 65,76% ovih oblika.

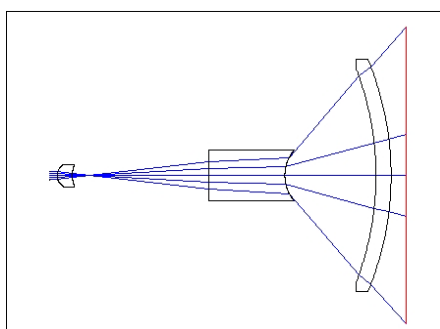
IV. SIMULACIJE MAKROSKOPSKIH KOMPONENATA

Nekoliko opaski, koje se tiču [5] pokazuju da nisu sve simulacije uspešne, čak i za relativno jednostavne zadatke, kao simulacije distribucije energije snopa po vlaknu, koje služi za IC oblast, gde se simulacija prekida već na oko 40 %, Sl. 13a,

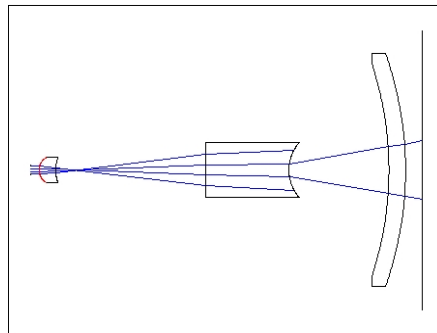
i sl13b. Za razliku od ovog slučaja, od zadatka, gde kroz sistem tri sočiva (kombinacije tankih i debelih) i varijacije materijala, gde se pokazuje prolaz karakterističnih zraka, Sl. 14- Sl.16, pojavljuju se slučajevi, gde se prekida propagacija zraka Sl. 17, 18. Na Sl. 19 je data raspodela totalne iradijance na površi 3.



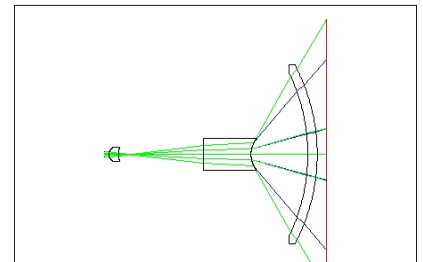
Sl 13. a) i b) Distribucija energije snopa po vlaknu, prekid simulacije na oko 40 %..



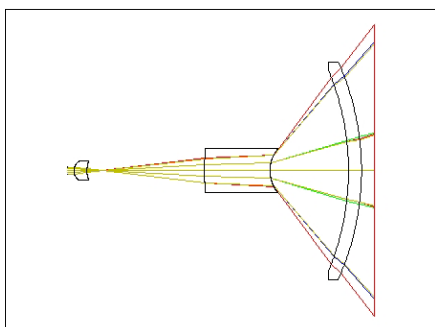
Sl 14.



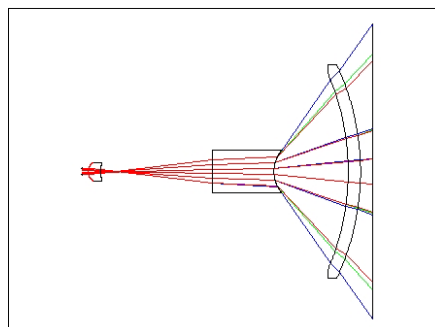
Sl 15.



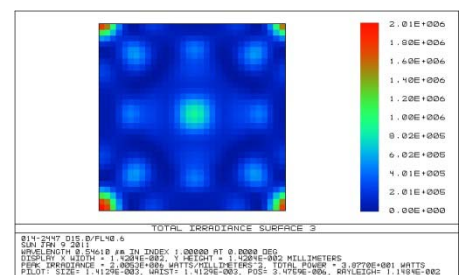
Sl 16.



Sl 17.



Sl 18.



Sl 19. Raspodela totalne iradijance

V. ZAKLJUČAK

U okviru istraživanja problematike prostiranja i interakcije laserskog snopa sa materijalom, izabrani su programi, koji se mogu koristiti za simulacije prostiranja optičkog zračenja na nestandardnim učestanostima i uključenje novih tipova materijala i generatora. Evidentno je da efekti prisutni pri propagaciji postoje uopšte pri interakciji sa materijalom. Drugi program *ImageJ*, iskorišćen za kvantitativne opise interakcije, daje mogućnost detaljnih istraživanja karakteristika materijala i odziv od refleksije do degradacije i kvantitativnih poređenja, homogenosti materijala. Primena lasera kao izvora u različitim spektroskopijama, podrazumeva i savremeni LIBS, primenu mikroskopije sa drugim harmonikom, itd. odnosno u oblastima spektroskopije, gde će se "mikro" uzorci za kvantitativnu analizu dalje vezivati *time of flight* spektrometre, itd. Korelacije EDX podataka sa LIBS podacima mogu da posluže za analizu u mnogim oblastima među kojima je i očuvanje kulturne baštine, ali i forenzika. Izgled kratera (bliskost pretpostavljenom geometrijskom obliku) predstavlja potvrdu da je i laserski sistem, odnosno izlaz lasera i fokusiranje, kao i ugao upada dobro podešen, da se radi o TEM₀₀ modu, ali i da je materijal dosta uniforman, jer krug nije izobličen. Korišćen je relativno nov program OptiSystem. On omogućava kvantitativne simulacije u oblasti radiofibera, što je prezentovano izabranom simulacijom sistema u multipleksu dva signala, moduliranih radiosignalima učestanosti 2,45 GHz, gde je noseći signal je iz kontinualnog lasera talasne dužine 1,55 μm.

Većina savremenih praćenja interakcije laserskog snopa sa materijalom prati ili materijal-metu (otisak, otvor, rez, zavar), ili izletele čestice i okolinu mesta interakcije spektroskopijama različitog tipa. Već neko vreme, javlja se potreba usaglašavanja ove dve grupe problema, jer se pokazalo da postoji neusaglašenost iskaza, fundamentalnije prirode od "neuračunavanja" svih vrsta gubitaka. Prolazak snopova različite gustine snage, dovodi do promena karakteristika materijala, pa smo želeli da za sada damo prikaz kvantitativnih pokazatelja za male gustine.

Korišćenjem različitih programa želeli smo da pokažemo praktično simulacije i kvantifikaciju određenog izbora parametara svetlosnog snopa.

ZAHVALNICA

Istraživanja u ovom radu su podržana od strane Ministarstva kulture, informacija i informacionog društva, Projekat br. 633-00-373 i Ministarstva obrazovanja i nauke Republike Srbije, projekti br. TR 34028 i III45007.

LITERATURA

- [1] G. P. Agrawal, "Applications of nonlinear fiber optics", Elsevier, Amsterdam, 2010.
- [2] N. Borna, S. Pantelić, M. Srećković, R. Aleksić, "Laser Interactions with Bundle Fiber Structures", Journ. of Intense Pulsed Lasers and Appl. in Advanced Physics, Vol.1, Iss.4, oct. No.3, pp.73-78, 2011.

- [3] S. Pantelić, N.Borna, M. Srećković, et al, "Influence of Nuclear Radiation and Laser Beams to Optical Fibers and Components", Nucl. Tech@ Rad. Prot., Vol. 26, No.1, pp.32-38. 2011.
- [4] M. Srećković, S.Ostojić, B. Đokić, et al. "Transmission in theory and practice ,the estimation of nonlinear and ultrafast phenomena", Atti de la fond. Ronchi, Vol LXV pp.543-557, 2010.
- [5] M. Srećković, Ž. Tomić, Z. Fidanovski, S. Polić Radovanović, A.Bugarinović, J. Marković Petrović, L. Lukić, D. Krčum, "Analitički i numerički prilaz optičkim sistemima za koherentno i nekoherentno zračenje", INFOTEH-JAHORINA Vol. 10, Ref. B-II-13, pp. 186-190, March 2011.
- [6] M. Srećković, Ž. Tomić, D. Družijanić, S. Pantelić, Z. Latinović, Lj. Vulićević, M. Živković, "Savremeni prilazi i formalizmi interakcije koherentnih snopova sa materijalom", INFOTEH-JAHORINA Vol. 8, Ref. E-I-14, pp. 411-415, March 2009.
- [7] Ž. Tomić, M. Srećković, S. Polić Radovanović et al, "Characteristics of the laser interaction with chosen ceramic materials", Book of abs, 1st Conference of the Serbian Ceramic Society, pp.38, Beograd 2011.
- [8] M. Srećković, Ž. Tomić, Z. Fidanovski, et al, "The correlation between the initial ceramic particles and final products", Book of abstracts, 1st Conference of the Serbian Ceramic Society, pp.25, Beograd 2011.
- [9] M.Srećković, B.Antić, V.Šijački, Žeravčić,D.Rodić, et al ,Influence of Laser Beam on the Structural Properties of Some Ordered and Disordered Lithium Spinnels, Albuquerque, Proc. of Lasers 2000, pp.728-735, Mc Lean, 2001.
- [10] R.Sekulić, M.Srećković, M.Živanov,et al "Some Dispersion Relations and Propagation Parameters", Proc. of 12 th Inter. Symp. on Power Electronics, Novi Sad 2002.
- [11] M. Slankamenac, M. Jugović, N. Stojanović, M. Živanov, M. Jelić "Modelovanje i simulacija pasivne optičke mreže", INFOTEH-JAHORINA Vol. 10, Ref. B-II-11, pp. 177-180, March 2011.
- [12] H. Yang, J. Sun, Q.Du, " All-optical frequency down-conversion based on cross-phase modulation in high nonlinearity dispersion-shifted fiber for WDM radio over fiber application", Opt. Appl., Vol 39. No.1, pp. 51-62. 2009.
- [13] Ng'oma,"RoF Technology for Broadband Wireless Communication Systems", PhD thesis, Technische Universiteit Eindhoven, 2005.
- [14] R.Sekulić, N.Slavković, and M.Srećković et al., "The Influence of Gamma Radiation on Chromatic Dispersion of various types of optical fibers", to be published.

ABSTRACT

Contemporary issues related to the quantum generators in the optical and RF spectral ranges required as part of the experimental support very complex and expensive systems and components. Therefore, the simulation is basically inevitable development of many systems. The authors deal with the problem of design of optical fiber and other components for the purpose of modulation and simulation of optical components in macroscopic systems in this paper. In the second part of it the application of other software types applications evaluated experimental results of interaction for selected type of material with the quantum generators.

CONTEMPORARY PROBLEMS OF TRANSMISSION AND INTERACTION OF QUANTUM GENERATORS WITH MATERIAL

Milesa Srećković, Željka Tomić, Slobodan Bojanić, Dušan Krčum, Milovan Janičijević, Aleksandar Bugarinović, Suzana Polić Radovanović, Saša Milić, Biljana Simić