

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ-ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКОГ ФАКУЛТЕТА У БЕОГРАДУ

На седници бр. 729 Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду одржане 08.03.2011. год. смо именовани у Комисију за преглед и оцену докторске дисертације под насловом **”Упоредна анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана”**, мр Слађане Пантелић, дипл. инг. електротехнике. После прегледа приложеног материјала подносимо Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Београду следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Наслов и обим дисертације:

Докторска дисертација под насловом **”Упоредна анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана”** је изложена на 233 стране, ћирилицом, са 155 слика и цитираних 260 референци. Од тога је већина слика (графика и микрофотографија) резултат рада кандидата.

Хронологија одобравања и израде дисертације:

Мр Слађана Пантелић дипл. инг. електротехнике је пријавила докторску дисертацију под наведеним насловом 2004. године. На седници одржаној 6.7.2004. године Наставно-научно веће Електротехничког факултета је прихватило позитиван извештај претходно одређене Комисије за прихватање предложене теме. Универзитетско стручно веће је на седници одржаној 15.10.2004. године дало сагласност и одобрило израду докторске дисертације мр Слађане Пантелић дипл. инг. електротехнике под насловом **”Упоредна анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана”**. Урађена докторска дисертација је предата у септембру 2009. године, а Наставно-научно веће је на седници од 08.03.2011. год. именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу др Пеђа Михаиловић, доц., др Радослав Алексић ред. проф. (Технолошко металуршки факултет у Београду), др Јован Радуновић ред. проф., др Предраг Осмокровић, ред. проф.

Место дисертације у одговарајућој научној области:

Докторска дисертација мр Слађане Пантелић дипл. инг. електротехнике, припада проблематици оптичких влакана и њихових спојева, који имају велику примену у научним областима оптичких телекомуникација, сензора, електротехничких материјала, нуклеарне физике, ласерске технике, мерења у електротехници и технологије материјала.

Биографски подаци о кандидату:

Слађана (Никола) Пантелић, је рођена 14. априла 1963. год. у Београду. Основну школу је завршила 1978. године у Београду, а гимназију, 1982. године. Дипломирала је на Електротехничком факултету у Београду маја 1989.год. на Одсеку за Техничку физику. Исте године уписала је последипломске студије на смеру "Мерења у електротехници". Магистарску тезу под насловом "Анализа простирања ласерског зрачења и оптичких појава на оптичким влакнима и спојевима влакана", под руководством Др Милесе Срећковић, ред. проф. Електротехничког факултета у Београду, успешно је одбранила 12-ог јула 2003.год. Од 1989. године је запослена у Институту безбедности (сада Безбедносно информативна агенција - БИА) и ради као водећи истраживач у области фибер оптике, оптоелектронике и пројектовања система техничке заштите. Објавила је као аутор или коаутор преко 53 рада из области докторске тезе: од тога 5 радова у међународним часописима, 14 радова штампаних у целини на међународним конференцијама, 1 рад штампан у домаћем часопису, 13 радова штампаних у изводу на међународним конференцијама, 18 радова са домаћих конференција штампаних у целини, 2 рада са домаћих конференција штампаних у изводу. Радила је на више радних задатака и пројеката из наведених области. Учествовала је у раду *Центра за таленте Београд 2*, као ментор и члан жирија на градским и републичким смотрима. На основу наведених података је јасно да је кандидат дипломирао и магистрирао на Електротехничком факултету па нису постоје сметње да приступи изради тезе и даље приступи одбрани докторске дисертације из области електротехнике.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Структура и садржај дисертације:

Докторска дисертација мр Слађана Пантелић дипл. инг. електротехнике под називом **"Упоредна анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана"** је изложена у три тематске целине, уз посебне уводне делове, дискусију, закључак и литературу.

Кратак приказ појединачних поглавља:

Докторска дисертација представља наставак магистарске тезе, која је дала велики експериментални допринос у области оптичких влакана и њихових спојева. У

уводу су укратко дефинисани: проблеми, који се разматрају у дисертацији, циљ дисертације и методологија, која се примењује у постизању тог циља.

После увода, дата је прва тематска целина под називом "Основна својства оптичких влакана", која је подељена на два поглавља. Прво поглавље, "Карактеристике оптичког влакна", се односи на оптичка влакна уопште, на простирање ласерских снопова кроз оптичко влакно, материјале и технологије израде оптичких влакана, и изворе и детекторе оптичког зрачења у системима са оптичким влакнима. У другом поглављу, Теорија и основне технике спајања оптичких влакана, дат је преглед основних мерења на оптичким влакнима: мерење слабљења ласерских снопова, који се простиру кроз оптичка влакна, механичка и температурска мерења на оптичким влакнима. Спојеви на оптичким влакнима, трајни или растављиви, представљају најзначајнију компоненту слабљења дуж оптичких влакана. Један лоше реализован оптички спој може унети много веће слабљење, него само оптичко влакно на једном километру дужине. Зато су изложене мерне методе за одређивање слабљења на оптичким конекторима, као пример растављивих спојева, и методе мерења на фузионим спојевима оптичких влакана, као пример трајних спојева. На крају другог поглавља, описан је утицај температуре, магнетног поља и нуклеарног зрачења на све компоненте оптичког система, посебно на само оптичко влакно и на наведене, различите врсте оптичких спојева.

У другој по реду тематској целини под називом Пројектовање и математичко моделовање, разматрана су три поглавља: Пројектовање и математичко моделовање спојева различитих врста оптичких влакана, Резултати математичког моделовања и Закључак о добијеним резултатима, који се односе на спојеве различитих врста и карактеристика оптичких влакана. Како предложена техника пројектовања овог специфичног споја, може бити економична и погодна за масовну производњу, у првом поглављу је описан принцип израде проширеног-експандираног мономодног оптичког влакна методом убацивања одређене дужине мултимодног (вишемодног) оптичког влакна са степенастим индексом преламања, као и теоријске основе, које објашњавају карактеристике оптичког преноса проширеног мономодног оптичког влакна. У другом поглављу, које се односи на експериментални део, представљени су процес израде оптичких спојева овако проширених (експандираних) оптичких влакана и резултати, који се том приликом добијају. Разматране су и карактеристике конектора са проширеним (експандираним) оптичким влакном. Једна од метода, која највише пружа могућности за примену проширеног мономодног оптичког влакна, је могућност да се смањи слабљење и сложеност система са великим бројем употребљених конектора, и она је део закључка, као трећег поглавља друге тематске целине.

Трећа тематска целина је експериментални део, који је дат у три поглавља: Мерења на оптичким влакнима и оптичким компонентама, Интеракција $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ ласера са оптичким влакнима и оптичким спојним компонентама и Мерења на сноповима оптичких влакана (бандловима). Прво поглавље, Мерења на оптичким влакнима и оптичким компонентама, се односи на: реализацију различитих врста спојева оптичких влакана (мономодно-мономодних, мултимодно-мултимодних и

мономодно-мултимодних) и карактеристика (трајних спојева, више врста демонтажних спојева, спојева насталих заваривањем ласерским снопом), и мерења везаних за карактеристике тако добијених спојева оптичких влакана, на утицај нуклеарног зрачења на квалитет трајних спојева на оптичким влакнима, као и на утицај рендгенског зрачења, гама зрачења и електрона велике енергије на преносне карактеристике оптичких влакана и оптичких компоненти. Коришћена су различита мономодна и мултимодна оптичка влакна, са циљем да се њихов одзив на одређену спољашњу побуду искористи као могућност примене ових влакана у изради одговарајућих фиброоптичких сензора. Због разноврсности експеримената и мерења у различитим условима амбијента, може се констатовати да су мерења реализована у више лабораторија и институција. У другом поглављу, Интеракција Nd^{3+} :YAG ласера са оптичким влакнима и оптичким спојним компонентама, дате су теоријске и практичне основе утицаја Nd^{3+} :YAG ласерског снопа на различите материјале, а посебно на материјале од којих су направљена оптичка влакна, оптички конектори и друге компоненте оптичких система. Разматран је утицај ефекта пукотина, пора и примеса на праг ласерски индукованих оштећења на оптичким влакнима, спојевима оптичких влакана, и др. Више врста и начина третирања оптичких материјала ласерским снопом, дали су значајне резултате за могућност њихових примена у конкретним специфичним условима. Треће поглавље, Мерења на сноповима оптичких влакана (бандловима), се односи на различита мерења на сноповима оптичких влакана, који имају веома широку примену у различитим областима. Једна од важнијих категорија примене су сензори на бази снопова оптичких влакана. Израда и спајања оптичких влакана у сноп, без обзира на предвиђену примену, представља веома сложен технолошки процес.

У дискусији рада анализирани су добијени експериментални резултати, са становишта утицаја специфичног амбијента на простирање ласерског зрачења кроз оптичко влакно и спојеве оптичких влакана. Извршена је упоредна анализа са одговарајућим мерењима у доступној литератури и до сада објављеним домаћим и страним радовима из те области. Резултати, добијени при мерењу утицаја спољашњег амбијента (температуре, магнетног поља и нуклеарног зрачења) на простирање ласерских снопова у системима са оптичким влакнима, такође су упоређени са доступним литературним подацима. У Закључку рада наведени су доприноси на развоју и примени технологије и тестирања оптичких влакана и њихових спојева. На основу тога, извршена је и пројекција даљег истраживачког рада на карактеризацији и примени оптичких влакана, са посебним освртом на домаће могућности, потребе, као и светски тренд.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Савременост, оригиналност и значај:

Предмет истраживања докторске дисертације мр Слађане Пантелић дипл. инг. електротехнике под насловом **”Упоредна анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана”**, је упоредна

анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана, утицај интеракције ласерских снопова на преносне карактеристике оптичких влакана и оптичких спојних компоненти, мерења на сноповима оптичких влакана (бандловима), као и пројектовање и математичко моделовање спојева различитих врста оптичких влакана.

Фиброоптичка испитивања спојева оптичких влакана представљају кључни елемент у области телекомуникација и оптичких сензора. Комплексност наведених области захтева коришћење високо перформансних оптичких система и оптичких компоненти. Како се као преносни медијум светлости (модулисане или немодулисане), оптичке снаге, слике, итд. користи оптичко влакно мањег или већег пречника, неопходно је редовно тестирање његових карактеристика. То се односи првенствено на могућа слабљења дуж оптичког влакна и контролу његових чеоних површина, јер укупно слабљење увек мора да буде мање од укупне расположиве оптичке снаге. Томе у прилог иде чињеница да је слабљење оптичке снаге на једном квалитетном споју оптичких влакана, приближно исто, као и слабљење на километру дужине оптичког влакна. Неквалитетан спој оптичких влакана, доводи до великих слабљења или потпуног онемогућавања пролаза оптичког сигнала, а на тај начин угрожава могућност коришћења читавог телекомуникационог или сензорског система. Провера и тестирање карактеристика и спојева оптичких влакана врши се у свим фазама рада, по стандардној мерној процедури, која је описана у документима EIA/TIA.

У зависности од примене, савремене оптичке компоненте и оптичка влакна се праве од различитих материјала, углавном различитих врста стакала, пластике и керамике. Сваки од наведених материјала има различите улоге у оптичкој компоненти, чији је део, укључујући заштиту, повезивање, лакшу и бржу комуникацију, конекцију, практичну примену и нижу цену. Разматрање интеракције ласерског зрачења са материјалима, има много практичних примена. Најчешће су: процеси модификације материјала, као сечење, заваривање, бушење и гравирање (укључујући примене у уметности и културној баштини), процеси записа информација, као оптичко снимање, фазне трансформације, примена холографије, томографије, термални записи на пластичним материјалима, фотоелектрични ефекти и слично, детекција ласерских снопова и њихов опис, ласерска кохеренција, итд. Интеракција импулсних ласера са узорцима оптичких компоненти и оптичких влакана од различитих материјала, указује на могућности њихове примене у сензорској технологији, одређивања отпорности материјала, као и другим врстама примене. Реализовани и представљени експериментални део, може да послужи као основа за решавање проблема у области ласерског синтеровања.

Осим оптичких влакана, и снопови оптичких влакана имају веома широку примену у различитим областима и апликацијама, па је извршена анализа утицаја ласерских снопова, као и ефеката и оштећења, која су том приликом настала, на карактеристике израђених снопова оптичких влакана од великог значаја. Повреде ласерским сноповима и састав материјала је тематика, која

полази од улоге разматрања отпорности оптичког влакна или снопа оптичких влакана, као компоненте, као део сензорског система, медицинске опреме (хируршке или дијагностичке опреме) и сл.

Да би се олакшало, смањило и усавршило подешавање толеранције приликом спајања оптичких влакана, а посебно мономодних због малог пречника језгра, један од могућих начина је анализа и пројектовање самих површина оптичких влакана, која се спајају. Приказана техника моделовања се састоји од спајања оптичких влакана различитих пречника, дужина и карактеристика. Величина спојне површине и својства спреге су анализирани нумерички у односу на ефекат сепарације, латералне и угловне неусклађености између чеоних крајева оптичких влакана. На тај начин се постигло мало слабљење на споју оптичких влакана и већа толеранција раздешености оптичких влакана приликом спајања. Модел је потврђен упоређивањем нумеричких резултата са експерименталним. Слагање експерименталних резултата са резултатима приказаног модела, указују да проширена мономодна оптичка влакна могу наћи одговарајућу примену у сензорима и оптичким преносним путевима.

У случају свих наведених примена у овој тези, постигнути су научни доприноси у области познавања, реализовања и анализирања свих механизма и начина спајања различитих врста и карактеристика оптичких влакана, као и у области утицаја различитих врста зрачења на карактеристике самих оптичких влакана, снопова оптичких влакана и њихових реализованих трајних и демонтажних спојева. Добијени резултати имају и практични значај, пошто указују на могуће правце даљег развоја метода спајања, избора и примена оптичких влакана у специфичним амбијенталним срединама.

На основу претходног, Комисија закључује да је у докторској дисертацији постигнут висок ниво научног достигнућа и да се добијени резултати могу применити у фундаменталним истраживањима, као и практичним применама у оптичким телекомуникацијама, рачунарским мрежама, фиброоптичким сензорима и преносу снаге путем оптичког влакна.

Осврт на референтну и коришћену литературу:

Током писања докторске дисертације мр Слађана Пантелић, како се види из садржаја дисертације, је користила све доступне, актуелне референце из области оптичких телекомуникација, ласерске технике, нуклеарне физике, технологије материјала и математичке статистике повезане са темом саме дисертације.

Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање:

У току реализације циља рада, примењено је теоријско и експериментално разматрање феномена од интереса, као и пројектовање и математичко моделовање спајања оптичких влакана различитих пречника, дужина и карактеристика. У оквиру експерименталног поступка, под добро контролисаним лабораторијским

условима, коришћени су различити узорци комерцијалних и специјалних оптичких влакана и оптичких спојних компоненти, као и различите технологије за реализацију спојева. Тако дефинисана примењена истраживања подразумевала су праћење промена простирања ласерских снопова на оптичким влакнима, њиховим спојевима и сноповима оптичких влакана, у зависности од испитивања у специфичним условима амбијента и испитивања механичких оштећења, услед интеракције ласера. Избор режима рада ласера одређује модел интеракције и формализам прилаза проблему у раду са специфичним оптичким влакнима и оптичким компонентама. Добијени експериментални резултати су детаљно обрађени и анализирани на основу модела и стандарда посматраних процеса из области оптичких телекомуникација, сензорских система и карактеристика материјала.

Оцена применљивости и верификације остварених резултата:

У оквиру докторске дисертације под називом **”Упоредна анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана”** кандидат је постигао научни допринос у разумевању и објашњавању феномена везаних за процес добијања различитих врста спојева оптичких влакана и анализе њихових карактеристика, а остварени резултати указују и на могућности проширивања области њихове примене. Добијени резултати указују и на оправдање даљег истраживања у погледу побољшања поузданости оптичких влакана и њихових спојева, за примене у телекомуникацијама, сензорским системима, саобраћају, војној техници, медицини и многим другим областима.

Оцена способности кандидата за самосталан научни рад:

У свом досадашњем, како теоретском, тако и у експерименталном раду мр Слађана Пантелић дипл. инг. електротехнике је показала изузетну способност за самосталан и успешан научни и стручни рад. При томе је демонстрирала висок ниво способности и знања у техници и технологији самосталне израде свих врста експериментално испитиваних растављивих и нерастављивих спојева оптичких влакана, оптичких снопова са сензорском применом, као и процедурама и мерним методама, које прате испитивање њихових оптичких карактеристика. На основу формираних физичких модела спојева проширених (експандираних) оптичких влакана различитих карактеристика, формирала је и математички модел проширеног мономодног оптичког влакна и упоредила га са резултатима његових оптичких карактеристика приликом конектовања и спајања.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

Приказ остварених научних доприноса:

У приложеној докторској дисертацији под називом **”Упоредна анализа оптичких ефеката на растављивим и нерастављивим спојевима оптичких влакана”** мр Слађана Пантелић дипл. инг. електротехнике је развила нов приступ анализе

растављивих и нерастављивих спојева на оптичким влакнима и решавању проблема оптичког преноса и пратећих ефеката на њима, који указују на нове максималне комерцијалне и професионалне домете у тој области. Испитане карактеристике оптичких влакана, оптичких компоненти, снопова оптичких влакана и коришћених материјала, представљају допринос у области: теорије и технологије добијања оптичких влакана, технике мерења и детекције, елемената сензора на бази оптичких влакана, детекције магнетних поља екстремно ниских вредности (оптичка влакна са магнетним превлакама) и пропагације кохерентне и некохерентне светлости у телекомуникационе и друге сврхе.

Критичка анализа резултата истраживања:

Добијене резултате мр Слађана Пантелић дипл. инг. електротехнике је експериментално проверавала под добро организованим лабораторијским условима. Добијене експерименталне резултате је такође успешно упоредила са одговарајућим теоријским предвиђањима.

Очекивана примена резултата у пракси:

Може се очекивати да ће резултати презентовани у докторској дисертацији мр Слађане Пантелић дипл. инг. електротехнике бити применљиви у инжењерској пракси и свим областима технике које користе оптичка влакна, првенствено оптичким комуникацијама и фиброоптичким сензорима. Поред смањења губитака, очекује се и развој нових и специфичних примена оптичких влакана на основу изложених резултата о спојевима оптичких влакана.

Верификација научних доприноса:

Основни резултати приказани у докторској дисертацији мр Слађане Пантелић дипл. инг. електротехнике верификовани су, између осталог научним радовима:

1. P. Uskoković, A. Orlović, S. Putić, R. Aleksić, M. Srećković, **S. Pantelić**, "Composite rods with embedded optical fibre – modeling and evaluation", *Materials Science Forum*, Vols.282-283 (1998), pp. 263-270. (IF 0.981)
2. M.Srećković, J. Ilić, A.Kovačević, **S. Pantelić**, Z. Latinović, N. Borna, V. Ćosović, "Models of Interactions of Laser beams with materials of interest for optical components and provoked damages", *Acta Physica Polonica, A*, Vol.112, br.5. (2007.) str. 935-940. (IF 0.34)
3. **S. Pantelić**, N. Borna, M. Srećković, A. Kovačević, Z. Karastojković, R. Perić, T. Volkov-Husovic, Z. Janjušević, "Interaction of Nd³⁺: YAG laser with glasses, ceramics and plastic materials", *Accepted for publication in Journal of the Serbian Chemical Society* (IF 0.744)

4. **S. Pantelić**, N. Borna, M. Srećković, A. Kovačević, A. Bugarinović, M. Kovačević, Đ. Lazarević, "Influence of nuclear radiation and laser beams on optical fibers and components", *Accepted for publication in Nuclear Technology & Radiation Protection: Year 2011., Vol XXVI, No 1. (IF 0.5)*

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Кратак осврт на дисертацију у целини:

У својој докторској дисертацији мр Слађана Пантелић дипл. инг. електротехнике је дала оригинални научни допринос у експерименталном разрешавању типичних и атипичних случајева спајања оптичких влакана, и откривању граница применљивости тих резултата у пракси, где се ови случајеви могу јавити као једино решење за ефикасно спајање два система, преко два различита оптичка влакна по карактеристикама, материјалу, конструкцији, начину преноса, моду рада, као и њиховој примени у специфичним амбијенталним срединама. Експериментално добијене резултате мр Слађана Пантелић дипл. инг. електротехнике објаснила је теоретски и верификовала објављивањем у водећем међународном часопису који се налази на SCI листи и има високу вредност IF. Текст саме докторске дисертације је добро организован, а референце на које се позива су репрезентативне и веома добро одабране. Кандидат је претходно завршила основне и постдипломске студије на Електротехничком факултету у Београду. На основу свега, доносимо следећи:

Предлог Комисије наставно-научном већу Електротехничког факултета:

Предлажемо да се приложена докторска дисертација **"УПОРЕДНА АНАЛИЗА ОПТИЧКИХ ЕФЕКТА НА РАСТАВЉИВИМ И НЕРАСТАВЉИВИМ СПОЈЕВИМА ОПТИЧКИХ ВЛАКАНА"** мр Слађане Пантелић дипл. инг. електротехнике прихвати као докторска дисертација и одобри њена усмена одбрана.

Комисија:

Др Пеђа Михаиловић доц.

Др Радослав Алексић ред. проф.

Др Јован Радуновић ред. проф.

Др Предраг Осмокровић ред. проф.