

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Милоша Петровића

Одлуком бр. 948/3 од 29.3.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед и оцену докторске дисертације кандидата мр Милоша Петровића под насловом

**"Испитивање композитних материјала помоћу уграђених фиброоптичких сензора приликом удара контролисаном енергијом".**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### РЕФЕРАТ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Милош Петровић магистрирао је 2006. године на смеру за телекомуникационе и рачунарске мреже - комутација и протоколи, са просечном оценом 10. Магистарску тезу под називом „Дизајн и имплементација контролера пакетског комутатора високог капацитета“, чији је ментор била проф. др. Александра Смиљанић, одбранио је са оценом 10. За своју магистарску тезу добио је награду Привредне коморе Београда за најбољу магистарску тезу у 2006. години. Више радова у вези са темом магистарске тезе објављени су на конференцијама ТЕЛФОР, ЕТРАН, IEEE HPSR 2006, IEEE ICCAS 2006, као и у часопису IEEE Communications Letters 2007. године.

24.3.2015. године пријавио је тему за израду докторске дисертације.

31.3.2015. године Комисија за студије трећег степена разматрала је предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије о оцени подобности теме и кандидата упутила Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће именовало је Комисију за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 948/1 од 29.4.2015.).

23.6.2015. године Наставно-научно веће усвојило је Извештај Комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (Одлука бр. 948/2).

Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број одлуке 61206-3024/2-15 од 6.7.2015. године).

10.3.2016. године кандидат је предао докторску дисертацију на преглед и оцену.

15.3.2016. године Комисија за студије трећег степена потврдила је испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације. Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (број одлуке 948/3 од 29.3.2016. године).

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација мр Милоша Петровића припада научној области „Електротехника“ и ужој научној области „Физичка електроника – Фиброоптички сензори“ за које је Електротехнички факултет у Београду матичан. Ментор је др Пеђа Михаиловић, ванредни професор Електротехничког факултета у Београду. Дисертација презентује унутрашњи фиброоптички сензор за контролу композитних материјала. Ментор дисертације се бави управо фиброоптичким сензорима и у тој области је објавио више од 20 радова од чега 10 радова у часописима са SCI листе.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

мр Милош Петровић, дипл.инж. рођен је 23.1.1980. године у Београду. Основну школу завршио је у Београду, као и Математичку гимназију. Студије на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду започео је 1998. године, а дипломирао је на смеру за телекомуникације 2003. године са просечном оценом 9,21. Дипломски рад под називом „Препорука V.42“ одбранио је са оценом 10 код проф. др. Душана Драјића. Током основних студија био је стипендиста Републичке фондације за развој научног и уметничког подмлатка, као и стипендиста Владе Републике Србије.

Магистарске студије уписао је на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду 2003. године, а магистрирао је 2006. године на смеру за телекомуникационе и рачунарске мреже - комуникација и протоколи, са просечном оценом 10. Магистарску тезу под називом „Дизајн и имплементација контролера пакетског комутатора високог капацитета“, чији је ментор била проф. др. Александра Смиљанић, одбранио је са оценом 10. За своју магистарску тезу добио је награду Привредне коморе Београда за најбољу магистарску тезу у 2006. години. Више радова у вези са темом магистарске тезе објављени су на конференцијама ТЕЛФОР, ЕТРАН, IEEE HPSR 2006, IEEE ICCAS 2006, као и у часопису IEEE Communications Letters 2007. године.

Од 2004. године до 2005. године радио је као инжењер у развоју у Пупин Телеком ДКТС. Од 2005. године до 2007. године радио је као стручни сарадник на Електротехничком факултету у Београду, а потом као истраживач приправник у Иновационом центру Електротехничког факултета у Београду. Од 2008. године запослен је на Технолошко-металуршком факултету као стручни сарадник у оквиру Лабораторије за електротехнику – Катедре за опште техничке науке. Ангажован је на рачунским и лабораторијским вежбама на предмету друге године „Електротехника са електроником“, као и на лабораторијским вежбама на предметима прве године „Техничка физика 1“ и „Техничка физика 2“.

Радио је на више пројеката технолошког развоја које је финансирало Министарство за науку и технолошки развој, укључујући пројекте „Имплементација контролера IP рутера“ (2005-2007), „Ethernet over SDH“ (2005-2007), „Системска интеграција Интернет рутера“ (2008-2010), „Развој технологије и полуиндустријских постројења за добијање стаклених, полимерних и хибридних композитних светловодних каблова“ (2008-2010), „Развој сервиса и

безбедности интернет рутера високог капацитета“ (2010-2011), „Развој опреме и процеса добијања полимерних композитних материјала са унапред дефинисаним функционалним својствима“ (2010-данас), као и на међународним пројектима „Development, validation, and modeling of a novel bioreactor system for cartilage tissue engineering“ (Swiss National Science Foundation (SNSF) grant IB73B0-111016/1, 2005-2008) и „Biomimetic bioreactor system for biomedical application“ (Biomimetika, E!6749, 2011-2014). Учествовао је у организацији Конференције о ФП7 (оквирном програму ЕУ за финансирање научних истраживања и технолошког развоја), као део тима Министарства за телекомуникације и информатичко друштво Републике Србије.

мр Милош Петровић је био рецензент за међународне часописе IEEE Communication Letters и OSA Journal of Optical Networking, као и за међународне конференције IEEE Workshop on High Performance Switching and Routing (HPSR) и IEEE International Conference on Information Technology: Research and Education (ITRE).

Аутор је универзитетског уџбеника „Програмирање Алтериних FPGA чипова“ (Академска мисао, 2008), више издања практикума за лабораторијске вежбе, укључујући и „Електротехника са електроником“ (Технолошко-металуршки факултет, 2014). Коаутор је више радова у којима су анализирана својства материјала приликом удара на конференцијама YUCOMAT и International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry & Materials у 2014. години и у часопису Polymer Engineering and Science у 2016. години. Аутор је и коаутор пет радова у међународним часописима, 11 радова на међународним конференцијама, три рада на домаћим конференцијама и више техничких и развојних решења.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Рад је написан на 118 страна у којима се налази 70 слика, 14 табела и 131 референца. Састоји из насловне стране и кратког резимеа на српском и енглеском језику, садржаја, списка илустрација, списка табела и текста дисертације подељеног на осам целина:

1. Увод,
2. Композитни материјали,
3. Оптичка влакна,
4. Фиброоптички сензори,
5. Поставка експерименталног рада,
6. Резултати и дискусија,
7. Закључак,
8. Литература.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У другом поглављу приказани су основни појмови у вези са композитним материјалима и њихова подела по типу ојачања и матрице. Представљени су влакнима ојачани композити са терморективном и термопластичном матрицом, типови оштећења у композитним материјалима, методе тестирања ударом и размотрено питање рециклабилности и биоразградљивости композитних материјала.

У трећем поглављу приказане су структуре оптичких влакана, објашњен начин простирања светлости кроз оптичко влакно и представљене различите поделе оптичких влакана. Такође је представљена и намена појединих оптичких влакана.

У четвртом поглављу су приказани различити типови фиброоптичких сензора, са освртом на оне врсте подела које су битне за сензоре коришћене у експерименталном раду. Затим су представљени принципи рада различитих фиброоптичких сензора, посебно интензитетних и сензора на бази Брагове, односно решетке са дугом периодом. Посебно је анализирана примена фиброоптичких сензора у композитним материјалима. Коначно, у оквиру овог поглавља су размотрени утицај уграђеног оптичког влакна на композитни материјал и на који начин је оптичко влакно потребно припремити за уградњу.

Поставка експерименталног рада представљена је у петом поглављу. У оквиру њега су дате полазне хипотезе за експериментални рад, описан начин припреме узорака и уградња оптичких влакана у ове узорке и описана инструментација која се користи за испитивање сензора и тестирање узорака ударом.

Резултати експеримената приказани су у шестом поглављу. Најпре је посматран временски одзив интензитетног сензора уграђеног у различите врсте композитних материјала на различитим температурама. Потом је извршено одређивање преносне функције интензитетног сензора у зависности од ударне силе и растојања сензора од места удара за један тип посматраног материјала. Проверени су услови под којима је могуће извршити калибрацију интензитетног сензора и одређивање преносне функције. Предложена је мрежа уграђених оптичких влакана за праћење стања структуре у реалном времену, начин њене калибрације и начин употребе за детекцију критичних оштећења. Додатно су приказани резултати испитивања спектра оптичког сигнала у композитним материјалима са уграђеним оптичким влакнима са решетком са дугом периодом, као и резултати испитивања интензитетног сензора на другим таласним дужинама у пластичном оптичком влакну.

У седмом поглављу су приказани закључци, након чега је дат списак употребљених референци.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Дисертација мр Милоша Петровића проучава унутрашњи интензитетски фиброоптички сензор за карактеризацију композитних материјала. Претходна истраживања на композитним материјалима са уграђеним фиброоптичким сензорима показала су да постоји веза између интензитета светлости у фиброоптичком влакну и оптерећења у материјалу. Међутим до ове дисертације никада није утврђена квантитативна веза између примењене силе и дубине модулације светлости. Уређај за динамичко тестирање ударима високе брзине (*High-Speed Impact Tester*) коришћен је као калибрациони уређај за одређивање преносне функције. Преносна функција која је у раду приказана поред силе моделује и растојање оптичког влакна од места удара. На основу формираног модела предложена је сензорска мрежа, чији су параметри дефинисани. Такође је развијена калибрациона процедура. Одређене су и границе употребљивости предложеног сензора.

Паметне структуре се у данашње време интензивно проучавају због безбедносних, еколошких и економских разлога. Праћење оваквих структура је кључни фактор у њиховом развоју и примени. Сензор предложен у овој дисертацији је корак ка практичној примени паметних структура и композитних материјала.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидат је у раду навео 131 референцу. Референце [1]-[25] односе се на композитне материјале и типове тестирања ударом, [26]-[39] на оптичка влакна, [40]-[50] на типове фиброоптичких сензора, [51]-[73] на принцип рада фиброоптичких сензора, [74]-[111] на употребу фиброоптичких сензора у композитним материјалима, [112]-[121] на уградњу и утицај уграђеног оптичког влакна на композитни материјал и [122]-[131] на инструментацију за испитивање сензора и тестирање узорака ударом.

Списак литературе који је кандидат навео показује да је кандидат извршио детаљну анализу постојеће литературе, коректно цитирао радове, укључујући и оне из реномираних часописа релевантних за проблематику истражену у дисертацији.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методологија истраживања у оквиру приложене дисертације обухватала је:

- Проучавање постојеће литературе везане за оптичка влакна уграђена у материјале.
- Одабир композитних материјала и оптичких влакана за уградњу као и одабир геометрије и начина уградње на основу теоретске анализе постојеће литературе.
- Експериментална мерења.
- Нумеричку обраду резултата и формирање преносне функције сензора.
- Упоредну анализу три тестирана решења.
- Формирање калибрационе процедуре за предложену сензорску мрежу, као и прорачун параметара мреже помоћу преносне функције.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Допринос оптичких технологија савременом човечанству обележен је 2015. године Међународном годином светлости и светлосних технологија. Ипак фиброоптички сензори представљају мали удео у тржишту сензора пре свега због високе цене. Дисертација мр Милоша Петровића представља управо сензор ниске цене, релативно јефтине уградње и оптичког испитивања које је могуће реализовати ван лабораторије. Како је предложени сензор могуће комбиновати са композитним материјалима и за праћење паметних структура, применљивост Милошевих резултата је неспорна а прве примене очекују се у индустрији моторних возила, бродова и авиона.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат мр Милош Петровић је током израде дисертације успешно обавио претрагу стручне литературе, поставио експеримент и успешно руковао опремом, извршио моделовање и нумеричку обраду резултата, предложио процедуру за калибрацију сензорске мреже и на крају објавио рад у часопису категорије M22 као први аутор. мр Милош Петровић је способан за самостални научни рад.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У овој докторској тези остварени су следећи доприноси и унапређења постојећих знања у области фиброоптичких сензора:

- По први пут је извршена квантитативна карактеризација везе између силе приликом удара и дубине модулације светлости код интензитетског фиброоптичког сензора.
- Моделована је преносна функција сензора као функција силе и растојања оптичког влакна од места удара.
- Предложена је ефикасна калибрациона процедура уколико се као калибрациони уређај користи уређај за динамичко тестирање ударима високе брзине (*High-Speed Impact Tester*), заснована на пригушеним осцилацијама.
- На основу преносне функције осмишљена је сензорска мрежа, израчунато је растојање оптичких влакана у мрежи и оптимизован алгоритам за калибрацију мреже. Оваква мрежа обезбеђује податке о месту и времену удара пројектила у структуру, сили удара у функцији времена као и промени импулса пројектила.
- Дефинисани су услови исправности оптичког канала.
- На основу експеримената и теоретских разматрања објашњено је који материјали нису погодни за уградњу оптичких влакана са дугом периодом решетке.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Фиброоптички сензори имају неколико техничких предности у односу на друге типове сензора. Ипак до данас фиброоптички сензори нису заузели значајно место на тржишту, преваходно због високе цене квалитетних оптичких компоненти. Дисертација мр Милоша Петровића проучава фиброоптички сензор за контролу композитног материјала, при чему је услов једноставност и ниска цена сензора. Захваљујући *High-Speed Impact Tester* уређају који је коришћен за калибрацију и великом броју експеримената ова теза је практично дефинисала услове коришћења и лимите интензитетског фиброоптичког сензора за контролу целовитости композитног материјала. Први пут је моделована и квантификована преносна функција оваквог сензора у функцији силе и растојања места удара од оптичког влакна. Показано је да је неопходна калибрација сваког сегмента влакна али је предложена ефикасна калибрациона процедура. Предложен је и начин примене сензора и процедура за калибрацију сензорске мреже. Препоручујемо сваком инжењеру који се бави карактеризацијом композитних материјала да прочита ову тезу.

### 4.3. Верификација научних доприноса

#### Категорија M22:

I. M. Petrović, P. Mihailović, Lj. Brajović, S. J. Petričević, I. Živković, A. Kojović, V. Radojević, "Intensity Fiber-Optic Sensor for Structural Health Monitoring Calibrated by Impact Tester", *IEEE Sensors Journal*, (IF=1.762) (ISSN: 1530-437X) (DOI: 10.1109/JSEN.2016.2524045)

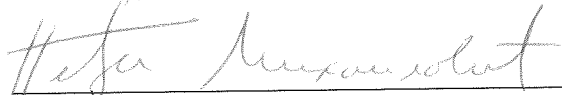
## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Дисертација Милоша Петровића магистра електротехничких наука проучава интензитетски фиброоптички сензор за контролу композитних материјала. И iscrпан експериментални рад, под строго контролисаним условима довео је до нових сазнања о уградњи, начину испитивања и калибрацији оптичких влакана уграђених у композитне материјале. Као најважнији допринос тезе треба издвојити моделовање и квантификовање преносне функције овог сензора у функцији силе и растојања места удара од оптичког влакна. Ово је по нашем сазнању прва квантификована преносна функција оваквог фиброоптичког сензора. Након експеримената са влакнима са дугом периодом и пластичним влакнима ПММА типа одабрана је најбоља конфигурација и предложена процедура за брзу калибрацију. На основу преносне функције предложена је и сензорска мрежа и осмишљена је процедура за калибрацију мреже. Предложена сензорска мрежа обезбеђује податке о месту и времену удара пројектила у структуру, сили удара у функцији времена као и промени импулса пројектила. Оваква сензорска мрежа може наћи примену код возила било ког типа или код било какве структуре која је подложна ударима. Приликом експерименталног рада кандидат је успешно савладао све техничке проблеме а потом је успешно извршио анализу резултата и моделовање. Тиме је показао способност да успешно примењује методологију научно-истраживачког рада. Комисија констатује да мр Милош Петровић испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Универзитета у Београду - Електротехничког факултета.

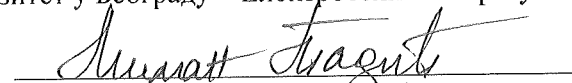
На основу свега изложеног Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом "Испитивање композитних материјала помоћу уграђених фиброоптичких сензора приликом удара контролисаном енергијом" кандидата мр Милоша Петровића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд 4.4.2016. године

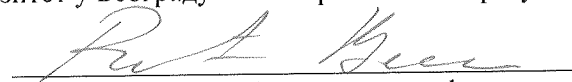
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Пеђа Михаиловић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Милан Тадић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Весна Радојевић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Технолошко-металуршки факултет



др Слободан Петричевић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Јован Елазар, ванредни професор  
Државни универзитет у Новом Пазару

