

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме "Испитивање композитних материјала помоћу уграђених фиброоптичких сензора приликом удара контролисаном енергијом" и кандидата мр Милоша Петровића за израду докторске дисертације.

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду бр. 948/1 од 29.4.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата мр Милоша Петровића за израду докторске дисертације и научне заснованости теме "Испитивање композитних материјала помоћу уграђених фиброоптичких сензора приликом удара контролисаном енергијом".

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милош Петровић 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.

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“, одбранио је са оценом 10. За своју магистарску тезу добио је награду Привредне коморе Београда за најбољу магистарску тезу у 2006. години.

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 финансирао 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). Такође је аутор и коаутор три рада у међународним часописима, 11 радова на међународним конференцијама, три рада на домаћим конференцијама и више техничких и развојних решења.

Говори енглески и шпански језик.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Магистарске студије уписао је на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду 2003. године, а магистрирао је 7.7.2006. 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. Одбрану теме докторске дисертације Милош Петровић је изнео 30.4.2015. пред Комисијом у саставу др Слободан Петричевић, ванредни професор, Електротехнички факултет, др Драган Митраковић, редовни професор, Технолошко-металуршки факултет, др Иван Поповић, доцент, Електротехнички факултет и Комисија је дала оцену задовољно.

1. Радови објављени у часописима међународног значаја - M20

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1.1. **M. Petrović**, A. Smiljanić, M. Blagojević, “Design of the Switching Controller for the High-Capacity Non-Blocking Internet Router”, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, vol. 17(8), pp. 1157-1161, ISSN: 1063-8210, August 2009. (IF=1.373)

1.2. **M. Petrović**, A. Smiljanić, “Optimization of the Scheduler for the Non-Blocking High-Capacity Router”, *IEEE Communications Letters*, vol. 11(6), pp. 534-536, ISSN: 1089-7798, July 2007. (IF=1.232)

Рад у међународном часопису (M23)

1.3. **M. Petrović**, D. Mitraković, B. Bugarski, D. Vonwil, I. Martin, B. Obradović, "A novel bioreactor with mechanical stimulation for skeletal tissue engineering", *CI&CEQ*, vol. 15(1), pp. 41-44, ISSN: 1451-9372, 2009.

2. Зборници међународних научних скупова - M30

Предавање по позиву са међународног скупа штампано у целини (M31)

2.1. A. Smiljanić, **M. Petrović**, "High-Capacity Non-Blocking Packet Switch", *International Workshop on High Performance and Highly Survivable Routers and Networks*, Sendai, Japan, March 2006.

Саопштења са међународног скупа, штампана у целини (M33)

2.2. M. Blagojević, A. Smiljanić, **M. Petrović**, "Design of the Multicast Controller for the High-Capacity Internet Router", *Proc. of the IEEE 2007 Workshop on High Performance Switching and Routing*, June 2007, pp. 1-6.

2.3. **M. Petrović**, M. Blagojević, A. Smiljanić, V. Joković, "Design, Implementation and Testing of the Controller for the Terabit Packet Switch", *Proc. of the IEEE International Conference on Communications, Circuits and Systems*, Gulin, China, June 2006, pp. 1701 - 1705.

2.4. **M. Petrović**, A. Smiljanić, "Design of the Scheduler for the High-Capacity Non-Blocking Packet Switch", *Proc. of the IEEE 2006 Workshop on High Performance Switching and Routing*, Poznan, Poland, June 2006, pp. 397 - 402.

2.5. M. Borenović, M. Simić, A. Nešković, **M. Petrović**, "Enhanced Cell-ID + TA GSM Positioning Technique", *Proc. of the EUROCON 2005*, Belgrade, Serbia, November 2005, pp. 1176 - 1179.

2.6. A. Smiljanić, **M. Petrović**, "Speedup of Clos Packet Switches That Provide Delay Guarantees", *Proc. of the IEEE 2005 Workshop on High Performance Switching and Routing*, Hong Kong, China, May 2005, pp. 259-263.

Саопштење на скупу међународног значаја штампано у изводу (M34)

2.7. I. Radović, O. Yerro, V. Radojević, P. Uskoković, D. Stojanović, **M. Petrović**, R. Aleksić, Thermosetting polymer composite with self-healing ability, *The Book of Abstracts of the Sixteenth Annual Conference YUCOMAT*, Herceg Novi, (2014), pp 94.

2.8. V. Obradović, D. Stojanović, **M. Petrović**, I. Živković, V. Radojević, P. Uskoković, R. Aleksić, Impact testing of hybrid thermoplastic aramid fabrics with different kinds of reinforcement, *The Book of Abstracts of the Sixteenth Annual Conference YUCOMAT*, Herceg Novi, (2014), pp 102.

2.9. S. Perišić, V. Radojević, **M. Petrović**, M. Zrilić, D. Trifunović, D. Stojanović, R. Aleksić, Tensile and impact properties of hybrid wood composites, *The Book of Abstracts of the Sixteenth Annual Conference YUCOMAT*, Herceg Novi, (2014), pp. 107.

2.10. Vera Obradović, Dušica Stojanović, **Miloš Petrović**, Irena Živković, Vesna Radojević, Petar Uskoković, Radoslav Aleksić, Impact testing of kolon p-aramid fabrics with various types of reinforcement, *The Book of Abstracts of the Thirteenth Young Researchers' Conference Materials Science and Engineering*, Belgrade, (2014), pp. 31.

2.11. O. Yerro, V. Radojevic, I. Radovic, M. Antonov, **M. Petrovic**, D. Stojanovic, R. Aleksic, Dental restorative material with self healing characteristics, *The Book of Abstracts of the 2nd International Conference on Bioinspired and Biobased Chemistry & Materials*, Nice, (2014), pp. 499

3. Зборници скупова националног значаја - M60

Саопштења са скупа националног значаја штампана у целини (M63)

3.1. **M. Petrović**, M. Blagojević, A. Smiljanić, "Dizajn kontrolera neblokirajućeg IP rutera visokog kapaciteta", *13-ti Telekomunikacioni forum TELFOR 2005*, Novembar 2005.

3.2. M. Blagojević, **M. Petrović**, A. Smiljanić, D. Dramićanin, M. Pavlović, J. Popović, „Hardversko testiranje kontrolera Internet rutera implementiranog u Altera FPGA“, *ETRAN 2006*, Jun 2006.

3.3. I. Živković, D. Stojanović, A. Kojović, **M. Petrović**, V. Radojević, P. Uskoković, R. Aleksić, "Dinamičko-mehanička svojstva ručno izrađenog papira", II naučno-stručni skup Politehnika-2013, Decembar 2013, Beograd, str. 84-94

4. Магистарске и докторске тезе – M70

Одбрањен магистарски рад (M72)

4.1. **M. Petrović**, "Dizajn i implementacija kontrolera neblokirajućeg paketskog komutatora visokog kapaciteta", Jul 2006.

5. Техничка и развојна решења - M80

Индустријски прототип (M82)

5.1. Z. Čiča, R. Đenić, A. Smiljanić, N. Radivojević, M. Antić, N. Maksić, P. Knežević, P. Mićović, V. Kostić, L. Milinković, **M. Petrović**, "Prototip Internet rutera"

Нови материјал (M82)

5.2. R. Aleksić, V. Obradović, D. Stojanović, I. Živković, P. Uskoković, V. Radojević, D. Mitraković, D. Trifunović, **M. Petrović**, „Balistički hibridni termoplastični kompoziti ojačani ugljeničnim nanocevima“, 2013, Korisnik Ultrateks, Šabac, Oblast na koju se tehničko i razvojno rešenje odnosi: materijali i hemijske tehnologije.

Прототип, нова метода, софтвер (M85)

5.3. M. Petrović, A. Smiljanić, M. Blagojević, "Prototip kontrolera Internet rutera" (2005)

5.4. M. Blagojević, A. Smiljanić, M. Petrović, "Prototip unapređenog kontrolera Internet rutera" (2006)

5.5. M. Blagojević, A. Smiljanić, M. Petrović, "Prototip multikast kontrolera Internet rutera" (2006)

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Милош Петровић је током читаве академске каријере постигао изванредне резултате. Завршио је основне студије у року са просечном оценом 9,21 док је за магистарски рад добио награду Привредне коморе Београда за најбољу магистарску тезу у 2006. години. Објавио је 3 рада у међународним часописима и више радова на конференцијама. Иако мења област истраживања Милош Петровић је истраживач са искуством и већ 7 година ради на Технолошко-металуршком факултету где је и почео да се бави проблематиком испитивања композита. На свом радном месту Милош има опрему неопходну за експериментални рад. Имајући све ово у виду, као и повољну оцену са јавне усмене одбране теме докторске дисертације мислимо да је Милош Петровић способан и подобан за рад на теми "Испитивање композитних материјала помоћу уграђених фиброоптичких сензора приликом удара контролисаним енергијом".

2. Предмет и циљ истраживања

Композитни материјали се развијају и производе у циљу добијања нових материјала, који су оптимално прилагођених намени и имају контролисана својства. Детекција оштећења у оваквим материјалима, са полимерном матрицом, рађена је уз помоћ класичних метода, као што су ултразвук, X-зраци, акустична емисија. Ниједна од ових метода није погодна за праћење стања композита у реалном времену. Из тог разлога, у последње време, као сензори за праћење понашања композитних материјала у току њихове израде и у условима експлоатације, користе се фиброоптички сензори. Помоћу ових сензора, могуће је прецизно проценити стање структуре композита. Због своје компатибилности са влакнима ојачаним композитним материјалима, сензори на бази фиброоптичких влакана су веома погодни за директну уградњу, јер не ремете значајно структуру материјала, а поред карактеризације трајних оштећења омогућавају детекцију оштећења током удара у реалном времену.

Сензори на бази оптичких влакана, у односу на уобичајене сензоре, имају бројне предности, попут имунитета на електромагнетско окружење, флексибилности, мале тежине, отпорности на корозију и замор. За мерења се користе различите конфигурације фиброоптичких сензора, које зависе од врсте употребљених оптичких влакана, као и од светлосног интензитета који се мења током мерења. Светлост се води оптичким влакном од светлосног извора, према мерном месту и коначно до фотодетектора. Принцип рада интензитетних фиброоптичких сензора се заснива на промени интензитета светлости у зависности од промене мерене величине. Промена интензитета светлости настаје или услед неког ефекта у самом влакну као што је: напрезање, оштећење, савијање, микросавијање, промена индекса преламања омотача, или услед апсорпције, рефлексије, преламања светлости и слично, ван оптичког влакна.

Циљ тезе је испитати и утврдити корелацију између модулације светлости, типа композитног материјала и оштећења до којих долази у композитном материјалу услед динамичког оптерећења проузрокованог ударом контролисане енергије. Поред тога циљ је одабрати оптимално оптичко влакно, таласну дужину светлости и технику модулације.

Значај истраживања огледа се у побољшању дијагностике удара у композитне материјале. Праћење инфраструктурних промена у реалном времену и за различите типове композитних материјала, укључујући и самоизлечиве композитне материјале ће омогућити дизајнерима ових материјала да поправе њихове карактеристике и прилагоде их предвиђеној намени.

Праћењу целовитости структура помоћу фиброоптичких сензора посвећена је велика пажња у свету и код нас, што се огледа у следећим референцама:

1. K.Y.Leung, et al. „Review: optical fiber sensors for civil engineering applications“, *Materials and Structures* (2015), Vol 48, pp.871–906,
2. S. Lu, M. Jiang, Q. Sui, Y. Sai, L. Jia „Damage identification system of CFRP using fiber Bragg grating sensors“, *Composite Structures* (2015), Vol 125, pp.400–406,
3. D. Kinet, P. Mégret, K. W. Goossen, L. Qiu, D. Heider and C. Caucheteur, „Fiber Bragg Grating Sensors toward Structural Health Monitoring in Composite Materials: Challenges and Solutions“, *Sensors* (2014), Vol 14, pp. 7394-7419
4. J. Gomez, I. Jorge, G. Durana, J. Arrue, J. Zubia, G. Aranguren, A. Montero and I. López, „Proof of Concept of Impact Detection in Composites Using Fiber Bragg Grating Arrays“, *Sensors* (2013), Vol 13, pp.11998-12011
5. J. Frieden, „Characterisation of Low Impact Energy Induced Damage in Composite Plates with Embedded Optical Sensors“, PhD thesis no. 5046, EPFL, Lausanne (2011)

6. J.M.A. Silva, T.C. Devezas, A.P. Silva, J.A.M. Ferreira "Mechanical Characterization of Composites with Embedded Optical Fibers", Journal of Composite Materials (2005), Vol 39, pp. 1261-1281
7. K.S.C. Kuang, W.J. Cantwell "Use of conventional optical fibers and fiber Bragg gratings for damage detection in advanced composite structures: A review", Appl. Mech. Rev. (2003), Vol 56(5), pp. 493-513
8. M.O.W. Richardson, M.J. Wisheart "Review of low-velocity impact properties of composite materials", Composites Part A (1996), Vol 27A, pp. 1123-1131
9. P.O. Sjoblom, J.T. Hartness, T.M. Cordell "On low-velocity impact testing of composite materials", Journal of Composite Materials (1988), Vol 22, pp. 30-52
10. „Карактеризација механичких својстава једноосних хибридних композитних материјала применом оптичких влакана“, Петар Ускоковић, ТМФ, Београд, 1999
11. „Детекција оштећења услед замора једноосних композитних материјала применом оптичких влакана“, Љиљана Брајовић, ТМФ, Београд, 2004
12. „Анализа оштећења вишеслојних композитних материјала применом оптичких влакана“, Ирена Живковић, ТМФ, Београд, 2004
13. „Анализа сигнала у оптичким влакнима уграђеним у термопластични композитни материјал при механичким напрезањима“, Александар Којовић, ЕТФ, 2005

3. Полазне хипотезе

Претходна истраживања и статичка и динамичка мерења на композитним материјалима са уграђеним фиброоптичким сензорима, у условима који нису били строго контролисани, показала су да постоји корелација између интезитета светлости у фиброоптичком влакну и оптерећења у материјалу. Уочено је да до слабљења интезитета светлости током делујућег динамичког напрезања на уграђена оптичка влакна долази услед микросавијања и промене индекса преламања језгра и омотача фиброоптичког влакна због еласто-оптичког ефекта. Истраживања су показала и да се фиброоптичка влакна могу користити као интезитетски сензори за праћење инфраструктурних промена у реалном времену.

Полазне хипотезе при изради тезе су:

- Промена ирадијансе оптичког сигнала је у корелацији са енергијом удара и положајем оптичких влакана у односу на место удара.
- Временски облик оптичког сигнала је у корелацији са временом трајања удара, енергијом апсорбованом од материјала, отпорном силом и позицијом удараца.
- Уграђено оптичко влакно због малих димензија и мале масе не пертурбује значајно особине материјала. Другим речима особине материјала са уграђеним влакном могу бити само незнатно слабије у односу на полазни материјал.

4. Научне методе истраживања

Тестирање физичких и механичких својстава композитних материјала могуће је уређајем за динамичко тестирање ударима високе брзине (*High-Speed Impact Tester*). Овај уређај омогућава контролисање брзине удара, односно контролисање енергије удара. Уређај је у стању да врши удар узорка величине од 60x60 до 140x140 mm, брзинама од 0.1 mm/s до 20 m/s (72 km/h), уз максималну отпорну силу од 10 kN. Приликом мерења, уређај прикупља

податке о отпорној сили, времену трајања удара, позицији ударача, односно последично деформацији материјала у правцу удара, као и температури. Мерни систем је опремљен и термостатичном комором, која је у стању да одржава температуру којој је изложен узорак у опсегу од -40°C to 150°C . Уређај обезбеђује и прикупљање података са других извора, коришћењем екстерног тригер сигнала, односно последично синхронизацију података о интезитету светлости са фотодетектора у оквиру мерног система са фиброоптичким влакнима и сопствених података које је уређај прикупио у процесу удара.

Основна метода ове тезе ће бити експериментални рад. Поред експеримената биће неопходно повезати добијене податке са карактеристикама испитиваних материјала. Пошто је могуће користити стаклена или пластична оптичка влакна, различите таласне дужине светлости и интензитетску или модулацију спектра светлости у тези ће бити извршена упоредна анализа техника модулације и коришћења различитих типова оптичких влакана. Биће анализирана и могућност коришћења влакана са уграђеним Браговим решеткама.

5. Очекивани научни допринос

5.1. Експериментални резултати при тестирању композитних материјала ударима високе брзине (*High-Speed Impact Tester*). Мере се енергија удара, апсорбована енергија, сила, деформација, дубина продирања.

5.2. Повезивање карактеристика композитних материјала приликом удара са модулацијом светлости у уграђеном оптичком влакну.

5.3. Прорачун промене Јунговог модула композита.

5.4. Упоредна анализа фиброоптичких сензора који користе телекомуникациона оптичка влакна и сензора који користе влакна са уграђеним Браговим решеткама као сензорски елемент.

5.5. Оптимизација уграђеног фиброоптичког сензора у смислу одабира оптичког влакна, позиционирања оптичког влакна, одабира извора светлости и пријемних оптоелектронских компонената.

6. План истраживања и структура рада

У првој фази приступиће се поставци експеримента који је најлакше реализовати. За испитивања ће бити коришћени различити композитни материјали са уграђеним фиброоптичким стакленим мултимодним влакнима $62.5/125\ \mu\text{m}$. Ова оптичка влакна биће уграђивана на различитим растојањима у односу на тачку удара, као и у различитим слојевима композитног материјала, како би се утврдила осетљивост фибер оптичких сензора. Удари ће бити вршени различитим енергијама, односно различитим брзинама.

Симултано са експериментом приступиће се прегледу релевантне литературе из области фиброоптичких сензора са уграђеним Браговим решеткама.

Друга фаза подразумева анализу добијених резултата и могућа побољшања сензорског система. У поступку испитивања биће коришћене и различите таласне дужине светлости у влакну у опсегу инфрацрвене и видљиве светлости. Оштећења до којих долази у самом фиброоптичком сензору биће испитана употребом оптичког рефлектометра (*optical time-domain reflectometer*) који омогућава карактеризацију оптичког влакна, пре и после удара.

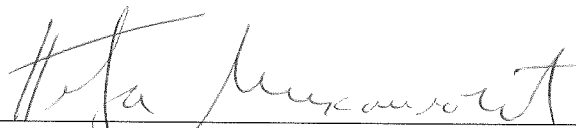
У трећој фази биће одабран оптималан фиброоптички сензор. За одабрани сензор извршиће се калибрација за неколико композитних материјала.

7. Закључак и предлог

Магистар Милош Петровић бави се истраживањима током читаве каријере. Након што је завршио студије у року са просечном оценом 9,21 одмах је наставио са магистарским студијама. За три године је магистрирао са оценом 10. За своју магистарску тезу добио је награду Привредне коморе Београда за најбољу магистарску тезу у 2006. години. 2008. године прелази на Технолошко-металуршки факултет као стручни сарадник у оквиру Лабораторије за електротехнику – Катедре за опште техничке науке. На Технолошко-металуршком факултету укључује се у групу која се бави тестирањем материјала помоћу фиброоптичких сензора. Како је у досадашњим истраживањима, посебно у области телекомуникација, био веома успешан са 3 рада у међународним часописима и 14 радова на конференцијама за очекивати је да исто тако буде успешан и у областима фиброоптичких сензора и испитивања материјала. Тема Милошевог истраживања је атрактивна управо у овим научним областима. Фиброоптички сензори се деценијама користе за мониторинг структура али потенцијали ових сензора нису исцрпљени. Композитни материјали ће се у будућности свакако користити више него данас. Ужа научна област теме је Физичка електроника. За ментора предлажемо др Пеђу Михаиловића, ванредног професора.

На основу изложеног предлажемо Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати тему "Испитивање композитних материјала помоћу уграђених фиброоптичких сензора приликом удара контролисаном енергијом" мр Милоша Петровића као тему докторске дисертације.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



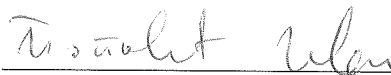
др Пеђа Михаиловић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



др Драган Митраковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Технолошко-металуршки факултет



др Иван Поповић, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

Београд, 4.5.2015.