

**ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ****-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена**

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију Решењем бр. 012-199/49-2013 од 02.10.2015. год. на основу Одлуке Наставно Научног већа факултета, а у складу са Статутом Факултета техничких наука, Декан Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду именовео је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације.</p> <p>2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Др Ласло Нађ, редовни професор, ужа област Електроника, изабран у звање 14.11.2013. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</li> <li>2. Др Милан Ковачевић, ванредни професор, ужа област Атомска, молекулска и оптичка физика, изабран у звање 23.01.2014. године, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу,</li> <li>3. Др Миљко Сатарић, редовни професор, ужа област Физика, изабран у звање 12.06.1995. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</li> <li>4. Др Зоран Митровић, ванредни професор, ужа област Електрична мерења и метрологија, изабран у звање 11.06.2014. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</li> <li>5. Др Љиљана Живанов, редовни професор, ужа област Електроника, изабрана у звање 01.10.2000. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду,</li> <li>6. Др Милош Живанов, редовни професор, ужа област Електроника, изабран у звање 12.07.2004. године, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду.</li> </ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: Драган Здравко Ступар</li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: 10.11.1986. године, Бачка Паланка, Република Србија</li> <li>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив Факултет техничких наука, Енергетика, електроника и телекомуникације, мастер инжењер електротехнике и рачунарства</li> <li>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија 2010. Енергетика, електроника и телекомуникације</li> </ol>

<p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: Нема</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Нема</p>
<p><b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Електронски систем за мерење деформација при савијању помоћу полимерног оптичког влакна са осетљивом зоном</p>
<p><b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b> Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.</p>
<p>Докторска дисертација под насловом „Електронски систем за мерење деформација при савијању помоћу полимерног оптичког влакна са осетљивом зоном“ састоји се из осам поглавља:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Увод</li> <li>2. Стање у области истраживања</li> <li>3. Фибер-оптички сензор закривљености заснован на савијању оптичког влакна са осетљивом зоном</li> <li>4. Електронски систем за кондиционирање и обраду сигнала са фибер-оптичког сензора закривљености</li> <li>5. Експериментални резултати</li> <li>6. Дискусија</li> <li>7. Закључак и даљи правци истраживања</li> <li>8. Литература</li> </ol> <p>Дисертација је написана на 111 страна и садржи 72 слике, 3 табеле и 137 навода литературе. Кључна документација написана је на српском и на енглеском језику. Након насловне стране стоји захвалница, иза које следе садржај, списак коришћених скраћеница, списак слика, списак табела, резиме докторске дисертације на српском и енглеском језику и поменутих осам поглавља у којима су изложени резултати докторске дисертације.</p>
<p><b>V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p>
<p>Циљеви истраживања су да се покаже да фибер-оптички сензори са полимерним оптичким влакнима могу да замене конвенционалне сензоре, као и да се развије једноставан електронски сензорски систем за мерење деформација при савијању, применљив у конкретним индустријским апликацијама и конкурентан тренутним актуелним решењима. Фибер-оптички сензор закривљености са осетљивом зоном има недостатке који су последица грешака услед савијања делова влакна које воде до и од сензорског дела, стога део истраживања која су презентована у овом докторском раду решава проблем утицаја грешака које су суштинске код фибер-оптичких сензора заснованих на промени интензитета светлости. Главни циљ истраживања је развој електронског система који ће бити применљив за истраживања и практичну примену сензора закривљености заснованог на промени интензитета светлости у оптичком влакну.</p> <p>У првом поглављу су дата уводна разматрања, дефинисани предмет, проблем и циљ истраживања, као и хипотеза, концепција и методологија истраживања.</p> <p>У другом поглављу је кроз савремену литературу дат преглед актуелног стања у области истраживања. Јасно је изложена проблематика истраживања кроз детаљан преглед актуелног стања у области.</p> <p>У трећем поглављу дати су увод и основни принципи мерења који се користе код фибер-оптичких сензора; дата су актуелна решења и њихове предности и мане у односу конвенционално коришћене мерне методе. Описана су полимерна оптичка влакна са кратким освртом на преношење светлости кроз оптичко влакно и ефекте који утичу на губитке у оптичком влакну. Описан је принцип рада сензора закривљености са полимерним оптичким влакном са осетљивом зоном и дата су два математичка модела која описују релативно</p>

слабљење у зависности од параметара осетљиве зоне. У овом поглављу су такође дати резултати симулације као и карактеристике израђених сензора добијене карактеризацијом разних узорака сензора. Описана је метода елиминације грешака које су последице савијања делова влакна који воде до и од осетљиве зоне оптичког влакна (сензорског дела).

У четвртом поглављу је дат концепт електронског система за мерење деформација при савијању помоћу полимерног оптичког влакна са осетљивом зоном. Описана су два једноставна електронска система за мерења са фибер-оптичким сензорима заснованим на промени интензитета светлости. Показано је да се са једноставним електронским системом, и јефтиним сензорским елементом могу добити добре перформансе сензора, који може бити конкурентан актуелним конвенционалним решењима.

У петом поглављу је изложена могућност примене сензора закривљености са осетљивом зоном у области грађевинарства и медицине. У области грађевинарства дат је предлог праћења стања структура, омогућавајући детекцију савијања и лома структуре у реалном времену. У области медицине, дат је предлог примене оваквог сензорског система за мерење угла савијања људског колена са резолуцијом сензора која је боља од  $1^\circ$ , линеарном карактеристиком и осетљивошћу од  $20 \text{ mV}/^\circ$ .

У шестом поглављу је дискусија истраживања које је спроведено у оквиру докторске дисертације. Дискутовани су главни резултати дисертације који су представљени у поглављима три, четири и пет.

У седмом поглављу су дати закључак и даљи правци истраживања. У овом поглављу је истакнут научни допринос докторске дисертације.

Осмо поглавље је преглед коришћене литературе. Коришћена литература је савремена и правилно одабрана према захтевима теме која се разматра.

Највећу вредност докторске дисертације свакако представља оригинални научни допринос истраживања спроведеног у оквиру исте, који је представљен у поглављима три, четири и пет.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01. јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

1. Dragan Z. Stupar, Jovan S. Bajić, Lazo M. Manojlović, Miloš P. Slankamenac, Ana Joža, Miloš B. Živanov, „Wearable Low-Cost System for Human Joint Movements Monitoring Based on Fiber-Optic Curvature Sensor”, IEEE Sensors Journal, 2012, Vol. 12, pp 3424 - 3431, ISSN 1530-437X.

Рад у међународном часопису (M23):

1. Dragan Z Stupar, Jovan S Bajić, Bojan M Dakić, Miloš P Slankamenac, Miloš B. Živanov, „The possibility of using a plastic optical fibre as sensing element in civil structural health monitoring”, Physica Scripta, Vol. 2013, Issue T149, pp. 1-4, ISSN: 0031-8949

Прототип, нова метода, софтвер стандардизован или атестиран инструмент (M85)

1. Dragan Stupar, Jovan Bajić, Bojan Dakić, Miloš Slankamenac, Miloš Živanov, „Intenzimetrijski fiber-optički senzorski interogatorski sistem - IFOSIS”, Fakultet tehničkih nauka, 2013.
2. Jovan Bajić, Dragan Stupar, Bojan Dakić, Miloš Slankamenac, Miloš Živanov, „Bežični intenzimetrijski fiber-optički senzorski interogatorski sistem - Wireless IFOSIS”, Fakultet tehničkih nauka, Republika Srbija, 2013.

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

Мотивација за истраживања на ову тему настала је из чињенице да се полимерна оптичка влакна све више користе као основа сензора и сензорских система у практично свим

областима примене. Развој фибер-оптичких сензора је дошао до стадијума када је утицај фибер-оптичке сензорске технологије евидентан, а примена ове врсте сензора је постала распрострањена у практично свим областима науке и индустрије. Нарочито интересантна примена фибер-оптичких сензора је за мерење деформација при савијању, што сведочи велики број научних радова на ту тему. Развој једноставног сензорског система ниске цене, са широким мерним опсегом и високом тачношћу је веома битан фактор у циљу испуњавања потреба тржишта. Детекција савијања и лома грађевинских структура је од великог значаја и данас њихово праћење представља један од најчешћих захтева савременог грађевинарства. Фибер-оптички сензори нуде велики број предности у односу на конвенционалне сензоре, као што су: већа осетљивост у односу на постојеће технике, могућност мултиплексирања што им даје могућност примене у дистрибуираним сензорским мрежама, имуност на електромагнетне сметње, итд. Додатна предност оптичких влакна је што су малих димензија и што могу да се уграде у структуру приликом њене изградње омогућавајући дугорочно и континуално праћење параметара структуре. Конвенционалне мерне методе у случају удаљеног праћења стања структуре имају и додатну ману, потребу за дугачким електричним кабловима који се користе за повезивање сензора/сензорског система са удаљеном станицом. Поред мерења деформација у области грађевинарства, мерење деформација приликом савијања има веома важну улогу у области медицине и спорта. Пример је мерење угла савијања људског колена је веома важно у области медицине и спорта.

Детаљним прегледом литературе може се уочити да за мерење деформација приликом савијања постоји велики број предложених решења, како конвенционалних тако и фибер-оптичких. Постојећа решења која поседују високу резолуцију мерења често захтевају комплексне мерне/експерименталне поставке, што значајно утиче на цену комплетног сензорског система. С друге стране, решења која имају ниску цену уједно имају и ниску и/или ограничену резолуцију и/или тачност.

Основни резултат истраживања представљених у овој дисертацији је доказ хипотезе која се темељи на идеји да је могуће реализовати оптоелектронски сензорски систем за мерење деформација при савијању, који је заснован на фибер-оптичком сензору закривљености са осетљивом зоном. Почетна хипотеза се заснива на чињеници да увођењем осетљиве зоне на оптичком влакну значајно повећавамо осетљивост оптичког влакана за мерење закривљености у односу на оптичко влакно које нема осетљиву зону. Развојем електронског сензорског система који као сензорски елемент користи фибер-оптички сензор закривљености са осетљивом зоном омогућена су мерења у реалним апликацијама, што уједно представља доказ полазне хипотезе.

У дисертацији је развијен електронски систем за мерење деформација при савијању помоћу полимерног оптичког влакна са осетљивом зоном. У раду је описана метода израде фибер-оптичког сензорског елемента, дата је његова симулација и карактеризација. Детаљно су описане експерименталне поставке које су коришћене приликом карактеризације сензора.

Реализовани електронски систем се може применити мерења са фибер-оптичким сензорима заснованим на промени интензитета светлости у оптичком влакну. Електронски систем је карактерисан користећи полимерно оптичко влакно пречника 1 mm са 55 зареза, дубином зареза 300  $\mu\text{m}$  и размаком између зареза од 500  $\mu\text{m}$ . Добијена је веома добра поновљивост мерења и стабилност приликом мерења која је карактерисана са стандардном девијацијом мерене закривљености од  $25,42 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ .

У дисертацији је дата могућност примене имплементираног оптоелектронског сензорског система за праћење стања структура, тј. за детекцију савијања и лома грађевинских структура. Сензорски систем за праћење стања структура карактерише линеаран одзив, као и могућност уградње сензора приликом изградње структуре уз веома добре карактеристике и ниску цену комплетног сензорског система. Помоћу истог типа сензора је реализован фибер-оптички гониометар за мерење угла савијања људског колена. Диелектрична конструкција фибер-оптичког сензора омогућава неинванзивно и потпуно безбедно мерење угла савијања људског колена. Резолуција сензора за мерење угла савијања људског колена је боља од  $1^\circ$ . Сензор има линеаран одзив у опсегу од  $-45^\circ$  до  $25^\circ$ , при чему је у том опсегу постигнута осетљивост од  $20 \text{ mV}/^\circ$ . Реализовани електронски систем се састоји и од комуникационог

електронског уређаја који врши бежичну комуникацију са рачунаром помоћу ZigBee модула. Имплементирани су клијентска и серверска апликација које врше дистрибуцију података добијених мерењем, те је предложени мерни систем погодан за удаљена мерења. Предложени фибер-оптички сензорски систем у поређењу са постојећим фибер-оптичким решењима за праћење покрета људских зглобова карактерише већа осетљивост и веома једноставан и јефтин дизајн, као и могућност разликовање позитивног савијања од негативног савијања.

У тези је такође дата метода елиминације грешака које могу настати услед савијања делова оптичког влакна који воде до и од осетљиве зоне. Поред елиминације грешака које настају услед савијања делова влакна који воде до и од осетљиве зоне, и могућности да се направи компензација шума (јер се исти шум јавља у оба оптичка влакна), ова метода омогућава и повећање осетљивости комплетног сензорског система.

Развијени електронски сензорски систем у поређењу са конвенционалним методама карактерише веома јефтин и једноставан дизајн. Такође, електронски сензорски систем који је развијен у овој дисертацији се карактерише могућношћу подешавања осетљивости и резолуције комплетног сензорског система подешавањем параметара осетљиве зоне. Подешавањем параметара осетљиве зоне могу добити жељене карактеристике сензорског система, који може бити применљив у разним областима примене.

### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати истраживања су приказани на јасан и разумљив начин. Тумачење добијених резултата је јасно и прегледно. Формирани закључци у раду су поткрепљени одговарајућим теоријским анализама и резултатима мерења, добијеним из сопствених експерименталних истраживања.

### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме  
Да, дисертација је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
Да. Дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Оригинални научни допринос докторске дисертације чини доказ хипотезе на основу експерименталног и теоријског истраживања. Оригинални научни допринос је у дисертацији изложен кроз следеће резултате:

- Развијен је електронски сензорски систем за мерење деформација при савијању, заснован на фибер-оптичком сензору закривљености са осетљивом зоном. Електронски систем који је развијен у овој дисертацији се може применити за мерења фибер-оптичким сензорима заснованим на промени интензитета светлости у оптичком влакну.
- Дата је могућност примене развијеног електронског сензорског система за детекцију савијања и лома грађевинских објеката користећи фибер-оптички сензор закривљености са осетљивом зоном.
- Реализован је фибер-оптички гониометар за мерење угла савијања људског колена који је има следеће карактеристике: резолуција мерења угла боља од  $1^\circ$ , линеаран одзив сензора у опсегу од  $-45^\circ$  до  $25^\circ$ , осетљивост од  $20 \text{ mV}/^\circ$  и могућност бежичног и удаљеног мерења у реалном времену.
- Дата је метода за елиминацију грешака које могу настати услед савијања делова оптичког влакна који воде до и од осетљиве зоне. Поред елиминације грешака које настају услед савијања делова влакна који воде до и од осетљиве зоне, и могућности да се направи компензација шума (јер се исти шум јавља у оба оптичка влакна), ова метода омогућава и повећање осетљивости комплетног сензорског система.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

У дисертацији нису уочени значајни недостаци који би утицали на резултат истраживања.

<b>X ПРЕДЛОГ:</b>
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:
<b>Да се докторска дисертација прихвати, а кандидату одобри одбрана</b> <b>Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Електронски систем за мерење деформација при савијању помоћу полимерног оптичког влакна са осетљивом зоном” и предлаже да се Извештај о оцени докторске дисертације прихвати, а кандидату одобри одбрана.</b>

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

1. \_\_\_\_\_  
Др Ласло Нађ, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник
2. \_\_\_\_\_  
Др Милан Ковачевић, ванредни професор,  
Природно-математички факултет, Крагујевац, члан
3. \_\_\_\_\_  
Др Миљко Сатарић, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан
4. \_\_\_\_\_  
Др Зоран Митровић, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан
5. \_\_\_\_\_  
Др Љиљана Живанов, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан
6. \_\_\_\_\_  
Др Милош Живанов, редовни професор  
Факултет техничких наука, Нови Сад, ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.