

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

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)

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију 28.06.2018. решењем бр. 012-199/29-2017, Наставно-научно веће Факултета техничких наука</p> <p>2. Састав комисије са назнаком 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> <p>1. др Јован Бајић, доцент, уно Електроника, изабран у звање 01.10.2016, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p> <p>2. др Роман Шорђан, ванредни професор, уно Наноелектроника, изабран у звање 16.10.2014, Politecnico di Milano, Милано, Италија</p> <p>3. др Далибор Секулић, доцент, уно Електроника, изабран у звање 26.01.2017, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p> <p>4. др Владимир Срдић, редовни професор, уно Неорганске технологије и материјали, изабран у звање 19.10.2006, Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду</p> <p>5. др Горан Стојановић, редовни професор, уно Електроника, изабран у звање 21.10.2015, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду</p>
II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: Драгана, Зоран, Васиљевић</p> <p>2. Датум рођења, општина, држава: 21.01.1987. године, Добој, Република Српска, БиХ</p> <p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив: Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Енергетика, електроника и телекомуникације, Мастер инжењер електротехнике и рачунарства</p> <p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија: 2011. година, Енергетика, електроника и телекомуникације</p> <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>
III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:
<p>Design, fabrication and characterisation of humidity and force sensors based on carbon nanomaterials</p> <p>(Пројектовање, фабрикација и карактеризација сензора влаге и силе на бази угљеничних наноматеријала)</p>

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са знаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.

Докторска дисертација је написана на енглеском језику на 91 страни. Садржи 6 поглавља, 5 табела, 69 слика и 131 навода из литературе. Кључна документација је написана на српском и енглеском језику.

Дисертација садржи следећа поглавља:

Проширени апстракт на 15 страна на српском језику

1. Увод
 2. Стање у области
 3. Дизајн и фабрикација сензора
 4. Тестирање и карактеризација реализованих сензора влаге и сензора силе
 5. Резултати и дискусија
 6. Закључак
- Литература

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Научна расправа која је изложена у дисертацији бави се дизајном, фабрикацијом и карактеризацијом сензора влаге и силе, израђених од угљеничних наноматеријала (графен оксида у случају сензора влаге и угљеничног мастила у случају сензора силе).

Комисија сматра да је наслов дисертације јасно формулисан и да јасно указује на предмет истраживања и садржај рада у оквиру дисертације.

Прво поглавље

Ово поглавље представља увод у којем је кандидат указао на значај и потребу коришћења сензора влаге у области праћења параметара животне средине, производњи хране, медицине, и многим другим областима, као и потребу за коришћењем сензора силе у многим областима попут роботике, рехабилитационе медицине, стоматологије, итд. Дефинисани су предмет и циљ истраживања, са нагласком на очекиване резултате и приказана је структура докторске дисертације.

Комисија сматра да су проблем, предмет и циљ истраживања у дисертацији постављени концизно и јасно и да су успешно водили кандидата кроз рад на изабраној теми.

Друго поглавље

У другом поглављу дисертације кандидат је дао преглед литературе и теоријску анализу о важности праћења концентрације влаге и прецизног мерења силе. Приказане су најзначајније карактеристике сензора. Представљени су најчешће коришћени материјали за израду сензора влаге и силе, као и репрезентативни примери до сада реализованих сензора из литературе. Затим је приказан преглед технологија и подлога за израду сензора, са нагласком на инк-џет технологију и флексибилне субстрате који су коришћени за израду сензора у оквиру дисертације. Приказана је употреба угљеничних материјала у изради сензора, са посебним акцентом на графен оксид као све популарнијег материјала за израду многих електронских компоненти, нарочито сензора.

Комисија сматра да изнети теоријски материјал омогућава да се у потпуности сагледају и разумеју изазови и важност детекције влаге и мерења силе у многим областима примене. Комисија је мишљења да је хипотеза истраживања јасно формулисана у односу на постављене циљеве истраживања, те да је предложено решење у складу са изнетом хипотезом. Такође, комисија сматра да је од посебног значаја спроведена теоријска анализа актуелних сензора за мерење влаге и силе.

Треће поглавље

У трећем поглављу описан је поступак израде оба типа сензора, сензора влаге и силе. Описани су уређаји коришћени у процесу израде, *Dimatix* штампач и *RK Proofer*, као и параметри неопходни за успешно фабриковање датим уређајима, резолуција штампе, као и температура синтеровања структура. Приказани су различити дизајни обе врсте сензора, са предложеним димензијама, као и димензије и изглед структура након фабрикације. Такође су описани кораци неопходни за добијање

коначне структуре сензора, након фабрикације појединачних слојева сензора.

Комисија сматра да је јасно изложено и да је тиме омогућено разумевање поступака фабрикације предложених сензора. Дефинисани захтеви за пројектовање сензора, као и параметри неопходни за успешну реализацију, су у складу са применом у областима од интереса.

Четврто поглавље

У четвртом поглављу описане су лабораторијски развијене мерне поставке за карактеризацију сензора влаге и силе. Детаљно су описани поступци електричне карактеризације сензора влаге и силе. Тестирање сензора влаге подразумевало је излагање сензора различитим концентрацијама влаге на собној температури, као и утицај различитих геометрија електрода сензора на његов одзив. У случају сензора силе тестиран је одзив сензора при промени примењене силе на сензор, као и при промени температуре окружења. Поред електричне карактеризације, описане су и приказане и структурна и механичка карактеризација оба типа сензора, које су подразумевале мерења дебљина слојева сензора, као и њихову чврстоћу и Јангов модуо еластичности.

Комисија је мишљења да су мерне поставке и поступци тестирања реализованих сензора јасно и детаљно објашњене.

Пето поглавље

У петом поглављу приказани су резултати добијени електричном карактеризацијом сензора влаге и силе. За сензоре влаге су приказани капацитивност и отпорност за сва три предложена дизајна сензора, мерени као функција времена и различите концентрације влаге. Прво су приказани резултати утицаја промене фреквенције на којој су вршена мерења и одабира одговарајуће фреквенције за даља тестирања. При тестирању сензора прво је урађено тестирање електрода сензора, без слоја графен оксида, да би се могла видети промена у одзиву након наношења слоја графен оксида. Утврђено је да сензори без графен оксида врло мало, или скоро уопште не реагују на промену влаге, док након наношења графен оксида долази до веома значајне промене у одзиву сензора и повећању његове капацитивности за 4 реда величине. Такође је установљено да променом геометрије сензора долази до промене у одзиву, што је последица утицаја укупне површине сензора на његов одзив. Затим су измерене хистерезисне криве свих предложених дизајна сензора влаге, као и поновљивост одзива током наизменичне промене концентрације влаге. Сензори влаге су такође тестирани и 21 месец након израде, и утврђено је да су промене у одзиву сензора занемарљиве у односу на протекло време од фабрикације. С обзиром на то да је једна од главних предности реализованих сензора њихова савитљивост, тестиран је и утицај савитљивости субстрата сензора око цилиндра. Резултати су показали да савијањем сензора не долази до промене у његовом одзиву што омогућава примену сензора на тешко приступачним местима и неравним површинама без бојазни да ће резултати мерења бити промењени. У случају сензора силе тестирана је промена отпорности сензора при промени примењене силе на површину сензора и утврђено је да отпорност сензора опада при повећању силе којом се на њих делује. Тестиране су 4 различите геометрије сензора. Сензори су потом укључени у коло напонског разделника и тестирана је промена излазног напона у односу на примењену силу на сензор у колу разделника. Додатно је извршено тестирање сензора силе при промени температуре окружења и приказани су резултати. На крају поглавља приказани су и резултати механичке карактеризације материјала коришћених за израду сензора влаге и силе.

Комисија сматра да је анализа добијених резултата спроведених тестирања свеобухватна и јасна. Тестирање је показало да при повећању концентрације влаге долази и до повећања капацитивности сензора влаге, односно до смањења његове отпорности, што је у складу са наведеним примерима из литературе. Такође установљено је да протекло време након фабрикације сензора, као и њихово савијање не утичу значајно на одзив сензора, што реализоване сензоре чини веома погодним за мерење влаге на неприступачним местима и структурама различитог геометријског облика. Тестирање сензора силе је такође показало јасне резултате у складу са предложеним моделима већ постојећих сензора силе. Резултати су јасно показали да повећањем силе на активну површину сензора силе долази до смањења његове отпорности. На основу теоријске анализе и тестирања, спроведена је свеобухватна дискусија пројектованих сензора и добијених резултата. Наведене су предности решења у односу на слична из литературе.

Шесто поглавље

У шестом поглављу су изнети закључци о оствареним резултатима истраживања.

Комисија сматра да су закључци донети на бази изложених резултата и да потврђују значај развијених сензора влаге и силе у областима попут метеорологије, медицине, производње хране, роботике, стоматологије, и многих других.

Седмо поглавље

Седмо поглавље садржи списак коришћене литературе.

Комисија је мишљења да обим и квалитет анализираних референци представља добру основу за истраживачки рад у предметној области.

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. **D. Vasiljevic**, A. Mansouri, L. Anzi, R. Sordan, G. Stojanovic, "Performance Analysis of Flexible Ink-Jet Printed Humidity Sensors Based on Graphene Oxide", IEEE Sensors Journal (IF 2.617), vol. 18, no. 11, pp. 4378 - 4383, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2823696.

Рад у међународном часопису (M23)

1. **D. Vasiljevic**, D. Brajkovic, D. Krkljes, B. Obrenovic, G. Stojanovic, "Testing and Characterization of Multilayer Force Sensing Resistors Fabricated on Flexible Substrate", Informacije MIDEM - Journal of microelectronics, electronic components and materials (IF 0.476), vol. 47, no. 1, pp. 40-48, 2017 (ISSN 0352-9045).

Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком (M24)

1. **Vasiljević D.**, Žlebić Č., Stojanović G., Simić M., Manjakkal L., Stamenković Z.: Cost-effective sensors and sensor nodes for monitoring environmental parameters, Facta universitatis - series: Electronics and Energetics, vol. 31, no. 1, pp. 11-23, 2018 (ISSN 0353-3670).

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

1. **D. Vasiljevic**, A. Menicanin, Lj. Zivanov: „Mechanical Characterization of Ink-Jet Printed Ag Samples on Different Substrates“, 4th IFIP WG 5.5/SOCOLNET Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems - DoCEIS, Lisbon, April 14-18 2013, pp. 131-141 (ISSN 1868-4238).

VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

У склопу докторске дисертације извршено је истраживање сензора влаге и силе. Главни резултат истраживања представљених у овој дисертацији је могућност реализације савитљивих сензора влаге и силе на бази угљеничних наноматеријала високих перформанси, једноставне и ниске цене израде, велике робусности и добрих механичких карактеристика.

Услед специфичне примене у областима животне средине, роботике и стоматологије извршена је анализа која је допринела квалитетном избору материјала и технологија за израду предложених сензора.

Минијатурни дизајн, једноставност израде као и савитљивост, су главне предности пројектованих сензора, нарочито у поређењу са сличним решењима. Велика уштеда у простору је постигнута наменским дизајном, који се темељи на употреби технологија за израду сензора високе резолуције и прецизног наношења материјала за израду.

Дефинисан је и описан поступак израде предложених сензора, као и предности коришћених технологија и материјала. Додатно, урађена је структурна карактеризација и тестиране су механичке карактеристике коришћених материјала и подлога за израду сензора.

Спроведена тестирања су показала да сензори влаге на бази графен оксида имају веома велику осетљивост при промену концентрације влаге, тј. да се њихова капацитивност мења за 4 реда величине. Утицај геометрије сензора на њихов одзив дао је значајне резултате, који су показали да је променом геометрије електрода могуће постићи жељену већу или мању осетљивост сензора. Такође је доказано да савијањем сензора и њиховим старењем не долази до промене у њиховом одзиву, што је веома важна одлика реализованих сензора. Тестирања сензора силе су показала да повећањем силе којом се делује на површину сензора долази до значајног смањења његове отпорности.

Резултати сваке од постављених хипотеза ове дисертације могу се независно посматрати и као такви бити примењивани у пракси у области електронике и шире.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

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

Прегледом докторске дисертације Комисија закључује да је приказ дисертације јасно структуриран, прегледан, систематичан и у складу са темом дисертације. Тумачење резултата је аргументовано, а изведени закључци проистичу из добијених резултата истраживања.

Дисертација је проверена у софтверу за детекцију плагијаризма (*iThenticate*). Извештај о подударности је показао је да преклапање текста у дозвољеним границама.

У складу са наведеним Комисија ПОЗИТИВНО оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ 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 написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Да. Докторска дисертација својим насловом, садржајем, резултатима истраживања и начином тумачења тих резултата садржи све битне елементе који се захтевају у радовима овакве врсте.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Анализирајући доступну литературу из области, кандидат је систематично и јасно приказао постојеће могућности сензора влаге и силе на бази угљеничних наноматеријала. Извршио је свеобухватну теоријску анализу која би допринела да се смање цена и димензије, повећа осетљивост, осигура мултифункционалност и смањи утицај субстрата и процеса фабрикације на

одзив сензора.

Кандидат је пројектовао јефтине и једноставне сензоре влаге и силе са истим или много бољим перформансама од постојећих. Додатно, значајно су мањих димензија у односу на слична решења приказана у научној литератури. Кандидат је показао да комбинација различитих технологија израде значајно смањује комплексност израде сензора, као и њихову цену.

Уколико се пројектовано решење упореди са сличним примерима из научне литературе и комерцијалним решењима, генерални закључак је да предложени сензори имају значајно већу осетљивост, мању цену и димензије, као и да су савитљиви, што је пре свега постигнуто наменским пројектовањем и оптималним избором материјала и технологија израде.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања
Дисертација нема недостатке који би значајније утицали на резултате истраживања.

X ПРЕДЛОГ:

На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:

да се докторска дисертација кандидата Драгане Васиљевић под насловом „Design, fabrication and characterisation of humidity and force sensors based on carbon nanomaterials” прихвати, а кандидату одобри одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

У Новом Саду, 03. 07. 2018.

Др Јован Бајић, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад, председник комисије

Др Роман Шорђан, ванредни професор,
Politecnico di Milano, Милано, члан

Др Далибор Секулић, доцент,
Факултет техничких наука, Нови Сад, члан

Др Владимир Срдић, редовни професор,
Технолошки факултет, Нови Сад, члан

Др Горан Стојановић, 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.