

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Миодрага Маловића

Одлуком бр. 932/3 од 16.07.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Миодрага Маловића под насловом

### **Развој и анализа сензорског система за мерење вибрација грађевинских објеката**

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

Кандидат Миодраг Маловић стекао је звање магистра 10.07.2003. године одбранивши магистарску тезу под насловом „Одређивање динамичких параметара претварача неелектричних величина са применама“ на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Тему докторске дисертације под насловом „Развој и анализа сензорског система за мерење вибрација грађевинских објеката“ кандидат је пријавио 06.05.2013. године на Електротехничком факултету у Београду и за ментора предложио проф. др Томислава Шекару.

На седници Комисије за студије трећег степена Електротехничког факултета, одржаној 09.05.2013. године, дата је сагласност на предлог теме за израду докторске дисертације и Наставно-научном већу предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме у саставу: др Томислав Шекара (ванредни професор Електротехничког факултета у Београду), др Љиљана Брајовић (ванредни професор Грађевинског факултета у Београду) и др Слободан Петричевић (ванредни професор Електротехничког факултета у Београду). За ментора дисертације предложен је др Томислав Шекара.

На 762. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, одржаној 14.05.2013. године, потврђена је предложена Комисија за оцену услова и прихватање теме, као и предложени ментор.

На основу извештаја Комисије за оцену услова и прихватање теме и пратеће документације, предложена тема прихваћена је на 771. седници Наставно-научног већа Електротехничког факултета, која је одржана 25.02.2014. године.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на тему докторске дисертације на седници одржаној 31.03.2014. године (број одлуке 61206-1446/2-14 од 31.3.2014. године).

Кандидат је урађену дисертацију поднео на преглед и оцену 29.06.2015. године.

На седници Комисије за студије трећег степена, одржаној 06.07.2015. године, констатовано је да је кандидат предао урађену дисертацију те је, на основу увида у дисертацију и пратећих докумената, Комисија за студије трећег степена потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета за формирање Комисије за преглед и оцену дисертације у саставу: др Томислав Шекара (ванредни професор Електротехничког факултета у Београду), др Вујо Дрндаревић (редовни професор Електротехничког факултета у Београду), др Љиљана Брајовић (ванредни професор Грађевинског факултета у Београду), др Слободан Петричевић (ванредни професор Електротехничког факултета у Београду) и др Марко Барјактаровић (доцент Електротехничког факултета у Београду).

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на 788. седници, одржаној 10.07.2015. године именovalo Комисију за преглед и оцену докторске дисертације у саставу: др Томислав Шекара, ванредни проф, др Вујо Дрндаревић, редовни професор, др Љиљана Брајовић, ванредни професор Грађевинског факултета у Београду, др Слободан Петричевић, ванредни професор, и др Марко Барјактаровић, доцент (број одлуке 932/3 од 16.07.2015. године).

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под називом „Развој и анализа сензорског система за мерење вибрација грађевинских објеката“ у ширем смислу припада научној области Техничких наука – електротехнике, а у ужем смислу области Сензорски системи и мерења, за коју је матичан Електротехнички факултет.

За ментора докторске дисертације одређен је проф. др Томислав Шекара, ванредни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду, због својих научних доприноса у области мерних система и аутоматике. Др Томислав Шекара аутор је више радова у истакнутим међународним часописима. Релевантни научни радови ментора наведени су при пријави теме докторске дисертације кандидата.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Миодраг Маловић рођен је 05.09.1967. године у Београду. Завршио је средњу школу у Београду 1986. године. Исте године уписао се на Електротехнички факултет у Београду, Одсек за физичку електронику, по петогодишњем програму. Дипломирао је у јуну 1995. године. Студије је завршио са просечном оценом 8,09 и оценом 10 на

дипломском испиту. 1996. године уписао се на последипломске студије на Електротехничком факултету у Београду. Магистарску тезу под насловом „Одређивање динамичких параметара претварача неелектричних величина са применама“ одбранио је 10.07.2003. године са оценом 10.

Од 1995. до 2014. био је запослен на Грађевинском факултету у Београду, као инжењер сарадник - млади таленат (1995-1999), асистент приправник (1999-2003), асистент (2003-2013), односно инжењер сарадник (2013-2014) на групи предмета из техничке физике, грађевинске физике и физичке електронике, на катедри за математику, физику и нацртну геометрију. Ангажовао се на настави из предмета Техничка физика (грађевински одсек), Техничка физика 1 и 2 (геодетски одсек), Грађевинска физика, и Електроника у геодезији.

Од 1994. до данас радио је, углавном хонорарно, у области индустријског софтвера (управљање процесом путем електронских вага, програмабилних контролера - *PLC*, и других компјутеризованих сензорских уређаја). Његови програми су уграђени у стотине фабрика и других индустријских објеката (технички прегледи возила, силоси, пруге, рудници, и др) широм Србије и земаља у окружењу.

Учествовао је на научно-истраживачким пројектима које је финансирало Министарство науке и технолошког развоја: TR-16023 („Истраживање краткотрајног и дуготрајног мониторинга конструкција“) у периоду од 2006. до 2009, TR-36048 („Истраживање стања и метода унапређења грађевинских конструкција са аспекта употребљивости, носивости, економичности и одржавања“) у периоду од 2009. до 2014. и III-44002 („Астроинформатика: примена ИТ у астрономији и сродним дисциплинама“) од 2009. до данас.

Коаутор је три рада у међународним часописима, од којих се два налазе на SCI листи, пет радова у домаћим часописима, пет радова на међународним конференцијама (штампаних у целини), дванаест радова на домаћим конференцијама (од чега једно предавање по позиву, десет радова штампаних у целини, и један рад штампан у изводу), и два техничка решења (прототипова). Коаутор је више приручника за лабораторијске вежбе из групе предмета из техничке физике, грађевинске физике и физичке електронике на Грађевинском факултету, као и Збирке решених задатака са испитних рокова из Техничке физике, штампане на Грађевинском факултету у Београду 2004. године (ISBN 86-7518-044-6).

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Дисертација је написана на 166 страна куцаног текста латиничним писмом и садржи 72 слике, 8 табела и 117 библиографских референци. Садржи насловну страну, податке о ментору и члановима комисије, кратак садржај дисертације на српском и енглеском језику, списак скраћеница, садржај, листе слика и табела, предговор, десет тематских глава, листу референци и два прилога. Називи глава докторске дисертације су: 1. Увод; 2. Основе модалне анализе; 3. Дизајн развијеног сензорског система; 4. Компресија података; 5. Испитивање карактеристика система; 6. Симултаност података у бежичној мрежи; 7. Експериментално одређивање симултаности података; 8. Примена система у железници; 9. Провера оправданости *TDE-DPCM* препроцесирања у реалним

мерењима; 10. Закључак. Називи прилога су: Прилог 1 – Електричне шеме; Прилог 2 – Изводи из програма.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Предговор садржи опис примењене методологије, организације рада, и списак објављених научних радова из уже области доктората.

У првој глави дата су уводна разматрања. Она садрже преглед области мониторинга стања објеката (*structural health monitoring* односно *SHM*), опис електронских компоненти и постојећих бежичних сензорских система који се користе у ове сврхе, опис софтвера (*embedded real-time* оперативних система) и основних топологија мрежа. Поглавље је сумирано полазним претпоставкама и циљевима истраживања.

У другој глави дат је опис основа теорије модалне анализе вибрација грађевинских објеката. Описане су методе којима се обично користе при моделирању осциловања комплекснијих система. Објашњене су теоријске и експерименталне технике модалне анализе, и као пример дати су поступци извођења модова осциловања неких једноставнијих структура.

У оквиру треће главе описан је дизајн развијеног сензорског система. Дати су подаци о најважнијим хардверским компонентама система (процесор, акцелерометар, радио модем, дисплеј, батерије и соларни панел за допуњавање енергијом, кућиште и антена) и блок шеме неких делова и целог уређаја. Описан је алгоритам рада како сензорских уређаја тако и целог система (групе сензорских уређаја који чине бежичну мрежу, са *PC* рачунаром као централном станицом која служи за пријем и обраду података). Приказани су детаљи развоја оперативног система велике сложености и углавном писаног у асемблеру ради постизања велике брзине и уштеде меморије. Приказан је и програм за централну станицу, који представља софтвер високог нивоа, развијен за *MS Windows* оперативни систем на *PC* рачунару.

Четврта глава даје приказ употребљених техника компресије података. Компресија је важна у бежичној сензорској мрежи јер је слање података процес са највећим енергетским утрошком. За разлику од рачунара вишег нивоа, на сензорском уређају се не могу имплементирати комплексни алгоритми који захтевају пуно процесорског времена и меморије, већ се ствари морају решити ефикасно са врло ограниченим ресурсима. После кратког приказа основних постојећих техника за компресију без губитака, која је пожељна јер се процесирање везано за модалну анализу мора вршити на централној станици поређењем сигнала из различитих тачака (са различитих сензора), дат је опис развијених софтверских метода. Суштина ових техника је детекција периодичности сигнала, *DPCM* кодирање предикционим алгоритмом који се ослања на периодичност, и Хафманово ентропијско кодирање уз употребу редуковане таблице кодова и преклапање (*overlay*) варијабли ради уштеде меморије, изведено комплетно у асемблеру ради максималне брзине рада.

У петој глави приказано је испитивање основних карактеристика система. Проучаван је домет радио комуникације, односно колика је шанса преноса пакета података у зависности од удаљености између уређаја и других параметара. Времена рада уређаја са и без соларног панела за енергетско допуњавање су испитивана, јер је у свакој бежичној мрежи битно да уређаји могу да аутономно раде што дуже. Такође,

развијена је варијанта тилт теста за испитивање унакрсне (попречне) осне осетљивости акцелерометра без употребе било какве додатне опреме. Примењени MEMS акцелерометри су погодни због мале енергетске потрошње, али имају лошу особину да им је унакрсна осна осетљивост за ред величине већа него код класичних модела, па је било потребно развити практичан начин да се ова компензује.

Шеста глава даје прво теоријску анализу симултаности у мрежама, с посебним освртом на бежичне сензорске мреже, а затим и предвиђене методе за побољшање симултаности у реализованој бежичној мрежи. Симултаност је битна за мерења у грађевинској струци јер је један од основних метода мониторинга стања капиталних објеката (као што су мостови, бране, торњеви и сл) проучавање веза између амплитуда и фаза одређених хармоника сигнала у различитим тачкама. Гарантована симултаност треба да буде једнака занемарљивом делу периоде највишег хармоника од интереса.

Седма глава описује експерименте којима је испитивана симултаност у развијеној бежичној мрежи сензора. На ову симултаност углавном утичу нестабилности фреквенција системских тајмера који су базирани на кварцним осцилаторима и неодређености везане за пропагацију сигнала кроз мрежу. Ова два ефекта су одвојено и детаљно анализирана и развијене су методе оптималне за корекцију ових ефеката у мрежама сличног типа. Нагласак је стављен на проблематику грађевинске струке да се сензори користе у условима температура које могу значајно варирати, како између сензорских уређаја, тако и у времену, као последица различите осунчаности.

У оквиру осме главе дат је приказ примене система на железници. Иако је првенствена намена система мерење вибрација капиталних грађевинских објеката, није произведен довољан број сензорских уређаја да би се урадила комплетна модална анализа неког значајнијег објекта. Постојећи уређаји су искоришћени за мерење вибрација пружних прагова на прузи којом се превози угаљ у ТЕ Никола Тесла у Обреновцу. На основу снимљених података може се прецизно прорачунати брзина возова и дати оријентациона процена динамичког угиба прагова (амплитуда њихових осцилација). Ови подаци могу се такође употребити за процену стања прагова (пре свега квалитета подбијања). Проблем који је специфичан за железницу је нажалост огроман број елемената које је потребно испитати и њихова дистрибуција на великом простору.

Девета глава описује и мерења осцилација вршена на трамвајском мосту у Београду и на мосту Газела у Београду. Ови подаци, са подацима са пруге и онима добијенима приликом тестирања симултаности података на вибрационој платформи у Војно-техничком институту, су искоришћени да се процени добитак предложеном методом компресије података у односу на сличну класичну методу. Иако је у већини случајева добитак несумњив, потребно је даље истраживање да се одреде оптимални услови за процену када треба употребити предложено *TDE-DPCM* препроцесирање уместо класичног *DPCM*.

Десета глава представља закључак рада.

У Прилогу 1 дате су електричне шеме сензорског уређаја и дисплеја (који је опциони део система). У Прилогу 2 дат је комплетан *embedded RTOS* дисплеја и изводи из програма везани за компресију (на сензорском уређају) и декомпресију (на *PC* рачунару) података.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Унапређење одржавања, експлоатације и сигурности капиталних грађевинских објеката (високе спратности, великих распона и значајне инфраструктурне важности, као што су мостови, бране, торњеви и тунели) захтева стално или повремено осматрање њиховог стања и понашања. Развој инфраструктуре и захтеви за рационалним одржавањем са повећањем поузданости оваквих објеката, намећу неизбежну потребу за применом разноврсних сензорских система за мониторинг. Применом метода мониторинга у фази грађења долази до значајне уштеде и повећавања могућности извођења компликованих технолошких операција, уз смањење ризика од несрећа и разних експесних појава.

Може се констатовати да се осим класичних мерних система све више користе бежичне сензорске мреже, поготово у грађевинској струци. Разлози су све смелија решења која захтевају праћење и за време градње и током експлоатације, иновације у области технологије грађења, повећани захтеви за градњом капиталних објеката по што нижој цени, нови прописи у вези са сигурношћу и одржавањем грађевинских објеката, употреба нових материјала о чијем понашању у току дужег временског периода нема довољно података, старење инфраструктурних објеката за чију замену нема средстава, као и објеката од историјског значаја, захтеви за изградњу на неповољним и слабо приступачним теренима, тектонска померања која угрожавају капиталне објекте, итд.

Развијени сензорски систем је оригиналан. Оперативни систем (*embedded RTOS*) и пратећи софтвер високог нивоа је у потпуности оригиналан. За развој сензорских уређаја, оригиналног дизајна, коришћене су основне електронске компоненте као што су чипови (микроконтролер, *MEMS* сензор, итд), диоде, операциони појачавачи, отпорници, и сл. Употребљен је радио модем домаће производње. Такође је развијен и дисплеј, који је оригиналан уређај са посебним микроконтролером, и соларни панел за енергетско допуњавање батерија.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде дисертације кандидат је детаљно истражио постојећу релевантну литературу и навео укупно 117 библиографских референци. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидат имао добар увид у досадашње доприносе у ужој научној области. Литература је пажљиво одабрана и садржи најважније радове објављене у реномираним међународним часописима, као и на најзначајнијим међународним конференцијама, који покривају посматрану научну област. Велики број радова је новијег датума, што указује на актуелност одабране проблематике.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Примењене научне методе у оквиру истраживања дисертације су:

- Анализа постојећих решења за мониторинг стања објеката, са посебним освртом на проблеме грађевинске струке, и мониторинг стања капиталних објеката, као што су бране, мостови, торњеви, и сл.

- Развој оригиналног хардвера сензорског уређаја, ниске потрошње, чија је примарна сврха мерење вибрација, али модуларне структуре, са могућношћу додавања других типова сензора, како дигиталних, тако и аналогних

- Развој помоћних уређаја: *LCD* дисплеја, који је служио за дебагинг у периоду развоја система, односно за дијагностику стања уређаја и извођење неких врста калибрације у нормалном режиму рада; и соларног панела за енергетско допуњавање

- Развој оригиналног софтвера за сензорски уређај (*embedded real-time operating system*), развој оригиналног софтвера за централну станицу (програмски пакет за оперативни систем *MS Windows*), и развој софтвера за дисплеј (који представља уређај са сопственим микроконтролером)

- Експериментално испитивање карактеристика сензорског система, као што су симултаност података, домет радио комуникације, калибрација сензора убрзања (са посебним освртом на проблем попречне осне осетљивости) и испитивање циклуса пуњења и пражњења батерија (за пуњење се користи развијени соларни панел)

- Мерења на капиталним објектима као што су мостови и пруге; добијени резултати су искоришћени, између осталог, за анализу оправданости примене предложених метода компресије података

Истраживање у оквиру докторске дисертације спроведено је у више фаза. У првој фази извршено је проучавање постојећих сензорских система који се користе за мерења у области мониторинга стања конструкција. У оквиру друге фазе извршен је дизајн хардвера сензорског уређаја и дефинисани приоритети приликом развоја софтвера бежичне мреже. У трећој, најобимнијој фази, су написани програми како за сензорски уређај и дисплеј (који се опционо прикључује), тако и за централну станицу бежичног система коју представља *PC* рачунар (најчешће лаптоп). У четвртој фази су испитиване карактеристике овог система и вршене мање дораде дизајна, углавном софтвера. У петој фази су вршена мерења на реалним објектима, као што су мостови и пруге.

На основу изложеног, Комисија констатује да примењене научне методе у потпуности одговарају проблему који је решаван и циљевима дефинисаним на почетку израде докторске дисертације.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

У дисертацији су, у више поглавља, описани резултати који су већ практично остварени применом описаног сензорског система. Нема сумње да би примена могла бити много шира када би се произвео већи број описаних сензорских уређаја, који би се могли искористити за модалну анализу вибрација капиталних грађевинских објеката.

Развијени алгоритми за компресију података без губитака, испитивање и побољшање симултаности података скупљених у различитим мерним тачкама, калибрацију сензора убрзања путем тилт теста у 24 позиције, повећање домета

комуникације путем кодирања података, и други, се без великих модификација могу применити у сличним мерним системима.

Закључак је да су остварени резултати високо применљиви у свакодневној инжењерској пракси.

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

На основу прегледане дисертације Комисија процењује да је кандидат мр Миодраг Маловић показао способност за самостални научни рад, почевши од систематизације и критичког осврта на постојеће проблеме из области којом се бави докторска дисертација, па до развоја оригиналних решења у овој области. Изучавајући наведену област и радећи на својој дисертацији, кандидат је показао систематичност, упорност, креативност, самосталност, и дошао је до врло практичних резултата. Остварени научни доприноси су оригинални и потврђују способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад. У прилог наведеном је и чињеница да је кандидат објавио више научних радова који су проистекли из дисертације, а у којима се појављује као први аутор.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Остварени научни доприноси ове докторске дисертације могу се систематизовати на следећи начин:

- Прегледом релевантне литературе извршена је систематична и детаљна анализа постојећих решења у мониторингу стања објеката, са посебним освртом на мониторинг капиталних грађевинских објеката, као што су мостови, бране, торњеви и сл. Указано је на постојеће недостатке и проблеме у практичној примени ових система. Сачињен преглед представља квалитетан и детаљан увод у посматрану област.
- Реализовано је оригинално хардверско решење за сензорски уређај за мерење вибрација, делимично модуларног дизајна, уз могућност инсталације различитих врста сензора. Такође је реализован дисплеј, чије је повезивање на постојећи сензорски уређај опционо у току регуларног рада (ради дијагностике и калибрације), а незаменљиво у неким фазама развоја ради отклањања грешака (дебагинга). Коначно, реализован је и соларни панел у сврху енергетског допуњавања батерија сензорског уређаја.
- Написан је обиман софтвер за сензорски уређај и дисплеј, као и софтвер за централну станицу бежичног система, коју представља *PC* рачунар. *Embedded RTOS* уређаја је написан углавном у асемблеру, ради постизања максималне брзине рада, и оптималног утрошка меморије. Омогућено је варирање великог броја параметара од којих зависи рад система, и написане су бројне верзије програма коришћене приликом различитих експеримената у циљу евалуације система,
- Развијене су методе за испитивање симултаности података скупљених са различитих сензорских уређаја и дата оригинална решења за побољшање исте,



погодна за примену у грађевинској струци. Приликом извођења модалне анализе вибрација грађевинских објеката (једног од основних метода *SHM*-а), од великог је значаја обезбедити добру симултаност мерних података добијених у различитим тачкама. Постоји велики број синхронизационих техника које се примењују у компјутерским и сензорским мрежама. Проблем са већином истих је што су оптимизоване за канцеларијско окружење, захтевају специјализован хардвер, или су оптимизоване за уштеду енергије. Уштеда енергије је, природно, важан фактор при пројектовању бежичних мрежа, јер се бежични сензори напајају батеријски, па се батерије морају периодично мењати и/или им се обезбедити систем за допуну енергије (*energy harvesting*). Предложени су методи за побољшање временске синхронизације погодни за бежичне мреже у грађевинској струци, које су изложене великим варијацијама температуре у кратким временским периодима, услед различите осунчаности, а погодни за случајеве када је симултаност приоритет у односу на уштеду енергије.

- Развијена је оригинална компресиона шема погодна за компресију вибрационог сигнала без губитака на уређају ниског нивоа. Док већина компресионих алгоритама (поготово у случају мултимедијалних фајлова на системима високог нивоа) користи чињеницу да су неке компоненте сигнала мање битне од других па их изобличује до прихватљивог нивоа, у случају модалне анализе која се врши подацима скупљеним са удаљених сензорских уређаја ниског нивоа, тешко је локално предвидети шта је небитна компонента сигнала и извршити компресију са губицима на самим уређајима. Зато се врши тзв. *lossless* компресија, односно компресија без губитака, а модална анализа се изводи на централној станици упоређивањем сигнала који се трансмитују у целости. Развијени су оригинални алгоритми за компресију вибрационих података коришћењем аутокорељационе функције за испитивање периодичности, предикционог алгоритма на бази облика сигнала од пре једне периоде, и Хафмановог кодирања употребом редуковане таблице кодова. Ови алгоритми су практично реализовани максималном брзином (кодирање у асемблеру) и уз максималну уштеду меморијских ресурса (коришћење *overlay* техника).
- Предложено је решење за калибрацију попречне осетљивости акцелерометара методом која не захтева никакву опрему. Модерни *MEMS* сензори имају много карактеристика које их чине погодним за употребу у бежичним сензорским системима, али њихова мана је висока попречна осетљивост (зависност излаза од побуде по попречним осама). Ова се може делимично софтверски компензовати, ако се претходно изврши испитивање (калибрација). Многи методи испитивања користе софистицирану опрему која није широко доступна. Предложена је једноставна метода тилт-теста у 24 позиције и експериментално је показано да она може да ублажи ефекте попречне осетљивости са уобичајених 3-5% на испод 1%.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених хипотеза, циљева истраживања и остварених резултата, констатујемо да је кандидат успешно одговорио на релевантна питања у решавању проблема дефинисаног предметом истраживања. Систематичан и детаљан приказ имплементације система и тестирања предложених оригиналних решења представљају значајан научни допринос у области сензора и мерних система. Ово је

потврђено објављивањем остварених резултата у референтним међународним и националним часописима, као и на конференцијама од међународног и националног значаја.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат мр Миодраг Маловић је коаутор три рада публикована у часописима међународног значаја, пет радова публикованих у часописима националног значаја, као и више радова саопштених на међународним и домаћим конференцијама. Поред тога, коаутор је два техничка решења реализована у оквиру пројекта финансираног од стране Министарства науке и технолошког развоја. У оквиру истраживачког рада, у ужој области теме докторске дисертације, кандидат је објавио следеће радове и техничка решења.

##### Категорија M23:

1. **Malović M.**, Brajović, Lj., Mišković, Z., Šekara, T.: Simultaneity analysis in a wireless sensor network, *Metrology & Measurement Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 275-288, 2015 (IF<sub>2014</sub>=0.925) (ISSN 0860-8229) (DOI: 10.1515/mms-2015-0022).

##### Категорија M24:

1. Brajović Lj., **Malović M.**, Popović Z., Lazarević L.: Wireless system for sleeper vibrations measurement, *Communications - Scientific Letters of the University of Žilina*, vol. 16, no. 4, pp. 21-26, 2014 (ISSN 1335-4205)

##### Категорија M33:

1. **Malović M.**, Brajović Lj., Padić. V., Lazarević, L., Popović, Z.: Merenje vibracija pružnih pragova i određivanje njihovog dinamičkog ugiba i brzine vozova, *Zbornik radova XIII međunarodnog naučno-stručnog simpozijuma Infoteh*, Jahorina, Bosna i Hercegovina, mart 2014, pp. 13-17 (ISBN 978-99955-763-3-2)

##### Категорија M51:

1. **Malović M.**, Brajović Lj., Mišković Z., Todorović, G.: Vibration measurements using a wireless sensors network, *Technics - Our Civil Engineering*, vol. 68, special edition, pp. 19-26, 2013 (ISSN 0040-2176) (UDC:624.042.3:693.547.7)
2. **Маловић М.**, Брајовић Љ., Мишковић З., Тодоровић Г.: Мерење вибрација мрежом бежичних сензора, *Техника - Наше Грађевинарство*, vol. 66, no 6, pp. 883-889, 2012. (ISSN 0040-2176)

##### Категорија M53:

1. **Маловић М.**, Брајовић Љ., Мишковић З.: Примена бежичних сензорских мрежа у мониторингу грађевинских конструкција, *Грађевински календар*, vol. 42, pp. 201-232, 2010. (ISSN 0352-2733)

Категорија М63:

1. **Маловић М.**, Брајовић Љ., Мишковић З.: Мрежа бежичних сензора за мерење вибрација на грађевинским објектима, *Зборник радова Конгреса Метролога 2011*, Кладово, октобар 2011, pp. 39-46 (ISBN 978-86-7518-139-2)
2. **Маловић М.**, Брајовић Љ., Мишковић З., Тодоровић Г., Цветковић Ј., Бановић Н., Анализа временске синхронизованости бежичних сензорских уређаја за мерење вибрација у грађевинарству, *Зборник радова Конгреса Метролога 2013*, Бор, октобар 2013, секција 1, рад 5 (ISBN 978-86-7287-040-4)

Категорија М85:

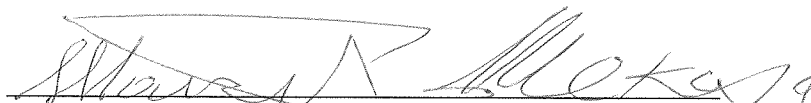
1. Мишковић З., **Маловић М.**, Брајовић Љ., WI-Асс - Систем за конструкцијски мониторинг убрзања применом бежичних комуникација (Wireless Acceleration Structural Monitoring System), Грађевински факултет Универзитета у Београду, Ново експериментално постројење, 2010.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу свега изложеног, Комисија сматра да дисертација испуњава све законске, формалне и суштинске услове, као и све критеријуме који се уобичајено примењују при вредновању и оцени докторске дисертације. Узимајући у обзир све наведене научне резултате и доприносе и предложена нова техничка решења и оригиналне алгоритме у области аутономних бежичних сензорских уређаја за мерења у грађевинарству, показану зрелост кандидата и његову способност за самостални научно-истраживачи рад, Комисија сматра да докторска дисертација кандидата мр Миодрага Маловића садржи оригиналне научне доприносе који имају практичну применљивост у области сензора и мерних система. Стога Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Развој и анализа сензорског система за мерење вибрација грађевинских објеката“ кандидата мр Миодрага Маловића, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду,  
31.08.2015. године

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Томислав Шекара, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



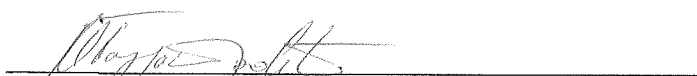
др Вујо Дрндаревић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Љиљана Брајовић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Грађевински факултет



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



др Марко Барјактаровић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет