

**ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње  
**Марине Д. Симовић-Павловић**, маг. инж. маш.,  
студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета бр.446/2 од 14.04.2022. године именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Марине Д. Симовић-Павловић под насловом

**Радиометарски детектор базиран на биолошким структурама-МЕМС/НЕМС**  
(Radiometric detector based on biological structures - MEMS / NEMS)

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

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Марина Симовић-Павловић, маг. инж. маш. је уписала докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2016/2017. године.

Захтев за одобравање теме докторске дисертације на Машинском факултету Универзитета у Београду под бројем 1197/1, кандидаткиња је поднела 26.06.2019. године. За менторе дисертације предложени су др Дејан Мицковић, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду и др Дарко Васиљевић, научни саветник, Универзитет у Београду - Институт за физику.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 1437/2 од 29.08.2019. године именовани су чланови Комисије за оцену подобности теме и кандидата Марине Симовић-Павловић за израду докторске дисертације и научне заснованости теме: “Радиометарски детектор базиран на биолошким структурама-МЕМС/НЕМС” у саставу: др Предраг Елек, редовни професор, др Вера Павловић, ванредни професор, др Ивана Тодић, доцент, др Милош Марковић, доцент и др Бранко Коларић, научни саветник, Институт за физику, Универзитет у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду бр. 1437/4 од 26.12.2019. године прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује се да кандидаткиња испуњава услове за израду предметне докторске дисертације.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Машинског факултета у Београду о прихватању теме докторске дисертације одлуком број 61206-159/2-20 од 23.01.2020. године.

На основу обавештења ментора докторске дисертације проф. др Дејана Мицковића и др Дарка Васиљевића, научног саветника, да је кандидаткиња Марина Симовић-Павловић завршила израду докторске дисертације под насловом “Радиометарски детектор базиран на биолошким структурама-МЕМС/НЕМС” и предлога Катедре за системе наоружања (бр. 446/1 од 16.03.2022. године), Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на

седници одржаној 14.04.2022. године донело Одлуку бр. 446/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:

- др Предраг Елек, редовни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет,
- др Вера Павловић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет,
- др Ивана Тодић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Машински факултет,
- др Милош Марковић, доцент, Универзитет у Београду – Машински факултет,
- др Бранко Коларић, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт за физику.

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада области техничких наука-машинство, ужа научна област Војно машинство-Системи наоружања за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду. Ментор дисертације, редовни професор др Дејан Мицковић, је компетентност за вођење дисертације из ове научне области стекао радом у Сектору за класично наоружање Војнотехничког института (1980-1994), као и радом на Катедри за Системе наоружања Машинског факултета у Београду (1994-2020). Као аутор или коаутор је објавио 15 радова на SCI листи из референтне области. Ментор др Дарко Васиљевић компетентност из ове научне области стиче радом на Војнотехничком институту (1985-2005), на Институту за физику (2005. и даље) као и током држања редовне наставе на Машинском факултету у Београду и на Војној академији. Као аутор или коаутор је објавио 37 радова на SCI листи из референтне области.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Марина Симовић-Павловић је рођена 09.01.1987. године у Београду. Основну школу “Стефан Немања” завршила је 2002. године, а затим завршава гимназију 2006. Исте године уписује Основне академске студије на Машинском факултету у Београду. У току основних студија опредељује се за смер системи наоружања. 2011. године уписује Мастер академске студије на модулу Системи наоружања, где дипломира уз завршни (мастер) рад под насловом: “Пројектовање дневне нишанске справе за војника пешадије” са оценом 10. Стиче звање Дипломирани инжењер машинства – Мастер. Након студија, у априлу 2013. године, почиње да ради у фабрици одбрамбене индустрије Телеоптик-Жироскопи. На радном месту водећег конструктора машинства сусреће се са различитим пројектима из области, као што су ракетни систем „Алас“, велики број оптичких направа, нишанских справа и других производних јединица. У фабрици заокружује знање пролазећи кроз све фазе производње, од конструкције до испитивања и контроле. Године 2016. уписује Докторске академске студије на Машинском факултету у Београду, на смеру Системи наоружања, са научно-истраживачком оријентацијом ка оптичким системима. Године 2017. као студент докторских студија, почиње да сарађује на пројекту ОИ171038 – Холографске методе генерисања специфичних таласних фронтова за ефикасну контролу квантних кохерентних ефеката у интеракцији атома и ласера, у оквиру Института за физику Универзитета у Београду, што је финансирано од стране МПНТР Републике Србије. У периоду од октобра 2019. године до октобра 2022. године, кандидаткиња је ангажована на међународном пројекту „*Biological and bioinspired structures for multispectral surveillance*“, финансираном од стране *NATO SPS (NATO Science for Peace and Security)*. Кандидаткиња Марина Симовић-Павловић се у току докторских студија и писања дисертације на свом радном месту у компанији „Телеоптик-Жироскопи“, бавила испитивањем различитих нишанских справа, посебно тестирањем и оптимизацијом термовизијских уређаја. У исто време, у оквиру НАТО пројекта, бавила се истраживањем на тему ИЦ детектора базираних на биолошким структурама.

Тренутно је члан истраживачког тима на пројекту „*Patterning by Casimir Forces: From Chaos to Complex Patterns of Life*“, одобреном за финансирање од стране „Office of Naval Research-US Navy“, који је планиран да траје у периоду од 2022. до 2025. године.

Радећи у фабрици, уз учествовање на пројектима на Институту за физику, кандидаткиња се додатно образује у смислу привредног окружења и користи прилику да примени знања и вештине стечене приликом слушања предмета ОМНИР (Организација и методе научноистраживачког рада).

На конференцији „The Seventh International School and Conference on Photonics“ представља се радом „Measuring temperature changes of butterfly wing through deformation: a holographic approach“, у ком презентује примену холографске методе на биофотонским структурама, која ће се показати као метода од великог значаја за различита испитивања. У раду "Bioinspired NEMS—Prospective of Collaboration with Nature", објављеном у часопису „Applied Sciences“, кандидаткиња је са осталим ауторима детаљно проучавала концепт наномеханичких система инспирисаних решењима из природе. Важност холографије и могућности примене ове методе описане су у раду „Uncovering hidden dynamics at the nanoscale: Holographic study“, у часопису „Journal of Visualized Experiments“ у ком је кандидаткиња такође први аутор.

Активно се служи енглеским и руским језиком, као и софтверским пакетима: MATLAB, AutoCad, SolidWorks, LaTeX, OriginLab, ImageJ.

Оснивач је хуманитарног удружења за помоћ у едукацији и образовању деце и младих из угрожених група.

Удата је и има троје деце.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација је написана на српском језику ћириличним писмом. Садржи укупно 107 страна А4 формата, 52 слике, 13 табела и 45 нумерисаних израза. Дисертација садржи осам поглавља:

1. Увод
2. Историјски контекст и стање у свету
3. Теоријски аспекти
4. Експеримент
5. Детектор – осврт из угла машинства: МЕМС/НЕМС
6. Примена у војној техници
7. Инжењерска примена
8. Закључак

Написан је и резиме на српском и енглеском језику. У прилогу дисертације се налази кратка биографија кандидата, Изјава о ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У оквиру **првог** поглавља дата су уводна објашњења и дефинисани су циљеви истраживања, као и методе научно-истраживачког рада.

У **другом** поглављу сажет је историјски контекст инфрацрвене детекције, од првих момената уочавања инфрацрвеног зрачења ка развоју савремених, ефикасних материјала за примену на овом пољу. Такође је дат преглед стања у свету у овој области и могућности данашње технологије.

У **трећем** поглављу представљен је теоријски аспект дисертације. Најпре је објашњен појам термофорезе, а затим и остали теоријски и експериментални принципи на којима је базирано истраживање описано у овој тези. У другом делу овог поглавља дефинисан је поступак холографије, методе која је кључни алат овог истраживања.

**Четврто** поглавље говори о конкретном експерименту. Представљена је коришћена технологија и шематски приказана лабораторијска поставка. Описан је ток рада у лабораторији прожиман идејама и начином размишљања извођача. Проблеми и недостаци на које је наилажено приказани су у ходу, у временском складу са напредовањем истраживања. Коришћена опрема је наведена и дефинисана, и описан је поступак управљања детаљно анализираним резултатима.

У **петом** поглављу су представљени микро/нано електромеханички системи и могућности за микромеханичку обраду оваквих деликатних елемената. У другом делу овог поглавља представљени су материјали погодни за израду оваквих уређаја и саме технологије израде, као што је процес тродимензионалног штампања као идеално решење за конкретан проблем. Такође је представљена идеја биоинспирисаних система на коју је стављен акценат.

**Шесто** поглавље се бави војном применом. У овом поглављу су представљени системи који имају улогу у војном смислу за потребе борбе у ноћним и условима смањене видљивости. Као кључни уређај издваја се термална камера чије су могућности и карактеристике описане до детаља.

У **седмом** поглављу су представљени преферирани правци експлоатације научних сазнања у правцу инжењерске примене. Дат је предлог конструктивне и технолошке документације.

У **осмом** поглављу су представљени закључци до којих се дошло на основу целокупног истраживања. У оквиру овог поглавља приказани су научни доприноси дисертације и дати су предлози за будуће усавршавање.

Након осмог поглавља дат је преглед литературе са списком свих извора коришћених у писању дисертације.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

На основу анализе резултата добијених у току рада на дисертацији, може се закључити да су добијени оригинални експериментални подаци о термофоретском ефекту. Такође, представљени су и експериментални подаци о праћењу различитих физичких параметара који утичу на механичка својства микро и нано електромеханичких система. Примењена је савремена метода холографске интерферометрије и приказана могућност посматрања и бележења комплетне информације о динамици нано система на основу анализе оптичког одговора система. Коришћен је математички модел за израчунавање фазе, која је пресудни фактор за бројне примене холографије у различитим испитивањима. Овакво бележење фазне информације је јединствено и отвара могућност за праћење динамике система на нано и макро нивоу, што је од суштинског значаја за разне примене у природним и техничким наукама.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Приликом израде докторске дисертације, коришћена је релевантна литература из различитих научних области чији је списак дат у последњем поглављу и поменута листа обухвата укупно 99 референци. Свеукупно гледано, цитирани извори припадају широком домену тема. Због сложености појава и процеса који се одигравају у проучаваној области, примењена су знања из области оптике, квантне физике, термодинамике, механике флуида, као и нумеричких метода. Приликом израде дисертације кандидаткиња је користила доступну литературу из области холографије, микро и нано механичких система, као и из сфере биомиметике. Литература која се односи на термофоретски ефекат је првенствено посвећена његовој примени, док сам ефекат и његове особине суштински нису довољно обрађиване. Анализом списка коришћене литературе може се закључити да је кандидаткиња располагала изворима који су релевантни и актуелни у оквиру обрађене проблематике и да је исту разумела и адекватно применила у току израде дисертације.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Истраживање се одвијало у два правца: теоретски и експериментално. Реализација постављених научних циљева захтевала је примену одговарајућих метода:

- Холографска мерења: коришћена је постојећа лабораторијска поставка у Лабораторији за биофотонику, Центра за фотонику, Института за физику Универзитета у Београду где су испитиване различите наноструктуре добијене са љуспица на крилима различитих врста лептира, као и други додатни узорци. Свака структура је испитивана коришћењем ласера различитих таласних дужина. Извршена експериментална испитивања су дала задовољавајуће резултате.
- Коришћена је брза камера за снимање динамике грејања и хлађења наноструктура на љуспицама крила лептира. Испитана је зависност померања наноструктуре љуспице од интензитета ласерског зрачења.
- Скенирајућа електронска микроскопија (СЕМ): коришћена је да се анализира морфологија наноструктура љуспица на крилу летира.
- Развијени су нови нумерички модели уз чију је помоћ анализа резултата знатно унапређена.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања који су спроведени унутар ове дисертације имају фундаментално научни значај, али и практични, имајући у виду да омогућавају развој нових ИЦ камера као и могућност праћења различитих динамике на нано нивоу коришћењем холографије. Конкретан научни допринос који говори о утицају јачине електромагнетног зрачења на јачину термофоретског ефекта је од великог значаја у смислу примене, јер су добијени примери модела инфрацрвеног детектора у габаритном и структурном смислу. Спроведена истраживања су основа за успешан наставак испитивања разних структура и материјала, као и праћења различитих динамичких процеса.

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

Током израде докторске дисертације кандидаткиња је показала да поседује адекватна знања из различитих научних области као што су оптика, термодинамика, механика флуида, механика, нумеричке методе и др., која су потребна за самостални научни рад. Такође, показала је способност за креирање експерименталних истраживања и њихове анализе и верификације применом одговарајућих аналитичких и нумеричких метода. Кандидаткиња је

показала темељност и стабилност у раду и жељу за даљим научним усавршавањем. Кандидаткиња је кроз ову докторску дисертацију у потпуности потврдила своју способност да се самостално бави научно-истраживачким радом.

## 4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос кандидаткиње је значајно унапређена холографска метода испитивања, која се може применити на различитим медијумима као што су биофотонске структуре, осцилаторне реакције и др. Научни допринос је приказан у поглављу 4 дисертације на странама 29-42 и описан детаљно у раду "Uncovering Hidden Dynamics of Natural Photonic Structures using Holographic Imaging" објављеном у часопису *Journal of Visualized Experiments*, међународном часопису категорије M23 са импакт фактором 1.355 за 2020. годину (реф. 47). Научни допринос се такође огледа и у томе што је први пут установљен главни параметар утицаја (структурна коругација) на јачину термофоретског ефекта поред температуре која утиче линеарно. Такође на основу претходних истраживања (реф. 45, 46) а посебно резултата добијених у овој тези (реф. 47) отворена је могућност за експлоатацију биофотонских структура у дизајну оптичких детектора, конкретно инфрацрвених детектора који су описани у овој тези у поглављу 7. Та веза отвара неслућене могућности за симбиозу војног машинства и биомиметике. У овом правцу постоји и практични допринос, јер управо термофоретски ефекат и биомиметика имају велики значај у конструкцији и производњи бројних МЕМС/НЕМС, па и конкретно самог радиометарског детектора. То је детаљно приказано у поглављу 5 дисертације на странама 43-54, као и у раду "Bioinspired NEMS - Prospective of collaboration with nature" објављеном у часопису *Applied Sciences*, истакнутом међународном часопису категорије M22 са импакт фактором 2.679 за 2020. годину (реф. 51).

Поред научног доприноса остварен је и стручни допринос у смислу примене холографске методе и развијања методе троструког снимања за праћење неравнотежних процеса, што је описано у горе наведеном раду "Uncovering Hidden Dynamics of Natural Photonic Structure using Holographic Imaging" (реф. 47).

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом релевантне литературе из области којом се кандидаткиња бавила у докторској дисертацији, Комисија констатује да су резултати истраживања изузетно значајни како са аспекта теоријских и експерименталних истраживања, тако и са становишта практичне примене. Такође је констатовано да су резултати и анализа научно утемељени. На основу прегледа постављених научних циљева и приказаних резултата истраживања, може се закључити да је кандидаткиња успела да реши задате проблеме.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Кандидаткиња је резултате свог рада на дисертацији верификовала у два рада који су објављени у међународним часописима, једном раду објављеном у изводу на међународној конференцији, једном раду објављеном у изводу на домаћој конференцији и једном раду објављеном у истакнутом националном часопису:

#### Категорија M20

1. **Simovic-Pavlovic, Marina**, Bojana Bokic, Darko Vasiljevic, and Branko Kolaric.: "Bioinspired NEMS—Prospective of Collaboration with Nature", *Applied Sciences* 12, no. 2: 905, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12020905>(M22, IF 2.679)
2. **Simovic-Pavlovic, M.**, Pagnacco, M. C., Grujic, D., Bokic, B., Vasiljevic, D., Mouchet, S., Verbiest, T., Kolaric, B.: Uncovering Hidden Dynamics of Natural Photonic Structures using Holographic Imaging, *Journal of Visualized Experiments*, e63676, 2022.doi: [10.3791/63676](https://doi.org/10.3791/63676) (M23, IF 1.355 )

#### Категорија M30

1. **Marina Simovic-Pavlovic**, Dusan Grujic, Petar Atanasijevic, Darko Vasiljevic, Branko Kolaric, Dejan Pantelic: Measuring temperature changes of butterfly wing through deformation: a holographic approach, The Seventh International School and Conference on Photonics, SASA, Belgrade, Serbia, 26 August-30 august 2019, p.127 (M34)

#### Категорија M50

1. Redjimi A., Knezevic D., Savic K., Jovanovic N., **Simovic M.**, Vasiljevic D.: Noise equivalent temperature difference model for thermal imagers, calculation and analysis, *Scientific Technical Review*, vol.64 (2014), 42-49 (M52)

#### Категорија M60

1. Darko Vasiljevic, Dusan Grujic, **Marina Simovic**, Dejan Pantelic: Mechanical effects of photophoresis on nanometer scale structures, Jedanaesta radionica fotonike, Kopaonik, Srbija, 11.-14.03.2018., p.20 (M64)

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом докторске дисертације, Комисија је установила да она представља оригинално научно дело у коме су дати значајни научни и практични доприноси. Унапређена је холографска метода описана у реф. 47 ("Uncovering Hidden Dynamics of Natural Photonic Structure using Holographic Imaging") примењена је за праћење нанодинамике повезане са термофоретким ефектом (предмет ове тезе) као и први пут за праћење динамике различитих физичкохемијских процеса на нано нивоу. Могућност разумевања динамике система на нано и микро нивоима, као и њена контрола, обезбеђује разне примене у цивилној и војној технологији. Резултати добијени експерименталним испитивањем су верификовани применом аналитичких и нумеричких метода. Резултати оваквог истраживања дају смернице при пројектовању нових детектора базираних на принципу термофоретског ефекта. Решавањем овако постављеног проблема, кандидаткиња је потврдила да је оспособљена за самостални научни и практични рад.

На основу изложеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом **“Радиометарски детектор базиран на биолошким структурама-МЕМС/НЕМС”**, кандидаткиње **Марине Симовић-Павловић**, маг. инж. маш. прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 26.04.2022.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
др Предраг Елек, редовни професор  
Универзитет у Београду  
Машински факултет

.....  
др Вера Павловић, редовни професор,  
Универзитет у Београду  
Машински факултет

.....  
др Ивана Тодић, ванредни професор  
Универзитет у Београду  
Машински факултет

.....  
др Милош Марковић, доцент  
Универзитет у Београду  
Машински факултет

.....  
др Бранко Коларић, научни саветник  
Универзитет у Београду  
Институт за физику