

ПРИМЉЕНО: 04-03-2021			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	386		

Универзитет у Београду  
Електротехнички факултет

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Ненада Б. Поповића

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду, бр. 5026/16-3 од 3. фебруара 2021. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације писане на енглеском језику кандидата **Ненада Б. Поповића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, под насловом:

### МЕТОДЕ ЗА ОЦЕНУ ЕЛЕКТРИЧНЕ АКТИВНОСТИ ГЛАТКИХ МИШИЋА<sup>1</sup>

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала, као и комуникације са докторандом која је резултовала минорним техничким корекцијама текста докторске дисертације, Комисија је сачинила следећи

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Ненад Б. Поповић је уписао докторске академске студије школске 2016/2017. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул Управљање системима и обрада сигнала. Положио је све испите са просечном оценом 10,00 и испунио све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом.

Научно истраживачки рад је започео у области неинвазивног снимања и анализе електричне активности глатких мишића желуца (електрогастрографија - ЕГГ), са фокусом на развоју нових и унапређењу постојећих метода за аквизицију и процесирање ЕГГ сигнала. Кандидат је истраживао примену метода за мерење и анализу ЕГГ сигнала са циљем реализације алата за евалуацију психофизиолошких промена код испитаника током коришћења производа виртуелне реалности и симулатора вожње. Научно-истраживачким радом кандидата руководила је ванредна професорка Надица Миљковић.

Кандидат је пријавио тему докторске дисертације под насловом „Методe за оцену електричне активности глатких мишића“, која је писана на енглеском језику (енг. „Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles“). На 841. седници одржаној 11. јуна 2019. године, Научно-наставно веће је донело одлуку бр. 5026/16-1 од 21. јуна 2019. године о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у следећем саставу:

1. Др Дејан Поповић, члан САНУ, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет;
2. Др Јака Содник, редовни професор, Univerza v Ljubljani - Fakultet za Elektrotehniko;
3. Др Ненад Јовичић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет;
4. Др Предраг Пејовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет;
5. Др Захарије Радивојевић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

<sup>1</sup>Наслов докторске дисертације на енглеском језику: **Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles**

За ментора је одређена др Надица Миљковић, ванредна професорка запослена на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Наставно-научно веће је на 843. седници Електротехничког факултета Универзитета у Београду одржаној 17. септембра 2019. године у тачки 22.2 усвојило Извештај комисије за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације (одлука бр. 5026/16-2 од 17. септембра 2019. године) према којем је Ненад Б. Поповић одбранио свој предлог теме и тиме је задовољена процедура пријаве докторске дисертације.

На седници бр. 857 одржаној 19. јануара 2021. године Наставно-научно веће је донело одлуку о именовању Комисије за преглед и оцену докторске дисертације (одлука бр. 5026/16-3, 3. фебруар 2021. године), кандидата Ненада Б. Поповића под називом „Методе за оцену електричне активности глатких мишића“ у следећем саставу:

1. Др Дејан Поповић, члан САНУ, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет;
2. Др Јака Содник, редовни професор, Univerza v Ljubljani - Fakultet za Elektrotehniko;
3. Др Ненад Јовичић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет;
4. Др Предраг Пејовић, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет;
5. Др Захарије Радивојевић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Поднета верзија тезе је проверена у складу са правилима плагијаризма и у извештају добијеном од Универзитетске библиотеке „Светозар Марковић“ наведен је резултат од 8% сличности. Нађене подударности потичу од цитата, библиографских података о коришћеној литератури, приказа претходно публикованих резултата истраживања докторанда објављених под СС лиценцом или у отвореном приступу, назива инструмената, метода и параметара, као и дела текста који је на одговарајући начин цитиран и наведен под знацима навода. У складу са тим Комисија је заузела став да теза представља оригинални научни рад кандидата Ненада Б. Поповића.

## 1.2. Научна област дисертације

Истраживање приказано у докторској дисертацији припада области Техничке науке – Електротехника, и то научној области Биомедицинско инжењерство. Специфично, докторска дисертација приказује развој технике неинвазивног мерења електрофизиолошких сигнала који потичу од глатких мишића желуца (дела гастричног система) у организму човека, и анализу и примену процесираних сигнала за дијагностику. Нагласак у применама нове технике су повезивање са симптомима мучнине испитаника у периодима у којима је испитаник био изложен проширеној и допуњеној реалности (испитаник који је део виртуелне реалности и симулација вожње).

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Ненад Б. Поповић рођен је 3. септембра 1992. године у Ивањици. У Ивањици је похађао основну школу „Кирило Савић“ и гимназију, и у обе школе је био носилац дипломе „Вук Караџић“ и ученик генерације. Освајач је великог броја награда, како на националним, тако и на међународним такмичењима из математике и физике током школовања у основној и средњој школи.

Школске 2011/2012. године уписао је основне студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Након завршетка прве године определио се за модул „Физичка електроника“, смер „Биомедицински и еколошки инжењеринг“. Дипломирао је као најбољи студент на изабраном смеру (просек 9,74) у јулу 2015. године са темом „Пројектовање уређаја за мерење и фреквенцијску анализу електрогастрографских сигнала“ под руководством др Мирјане Поповић, редовне професорке и др Надице Миљковић, тада доценткиње

Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Ненад Б. Поповић је добио другу награду на ЕТФ БАФА такмичењу за најбољи дипломски рад.

Мастер академске студије уписао је школске 2015/2016. године на смеру Биомедицински и еколошки инжењеринг на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Положио је све испите са просечном оценом 10,00 и одбранио мастер рад на тему „Развој метода анализе сигнала и корисничке апликације за вишеканални електрогастрограф“ у септембру 2016. године под менторством др Надице Миљковић, тада доценткиње Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

На истом факултету, на смеру Управљање системима и обрада сигнала уписао је докторске академске студије у школској 2016/2017. години. Положио је све испите са просечном оценом 10,00 и испунио све остале обавезе прописане планом и програмом.

Основна област научног интересовања Ненада Б. Поповића је методологија снимања, обраде и интерпретације електрофизиолошких сигнала. Током докторских академских студија, у договору са др Надицом Миљковић, ванредном професорком се фокусирао у научно-истраживачком раду на потенцијал примене електрогастрографских (ЕГГ) сигнала. Примена ЕГГ сигнала за дијагностику је област у повоју која потенцијално може да допринесе бољем квалитету живота великог броја људи. Ненад је изучавао методе за мерење и процесирање ЕГГ сигнала, као и потенцијал примене процесираних сигнала. Резултати рада су значајан допринос примени ЕГГ сигнала у истраживањима али и клиничком раду. Ненад је користио ЕГГ као технику за евалуацију физиолошког стања испитаника у условима у којима је испитаник у простору виртуелне реалности и у условима у којима је симулирана вожња. Део истраживања је кандидат реализовао у сарадњи са истраживачким тимом чији је руководиоца др Јака Содник, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Љубљани.

Од јануара 2016. до маја 2018. године био је запослен у фирми *Biotronik* као технички консултант при имплантацији и контролама пејсмејкера и имплантибилних кардиовертер дефибрилатора. Од маја 2018. до данас ради у фирми *Abbott*, на истој позицији. У досадашњој каријери пружио је подршку на преко 750 имплантација, и био ангажован као консултант у клиникама у земљи и региону. Редовни је учесник кардиолошких конгреса. У јуну 2019. године одржао је презентацију на састанку Радне групе за пејсинг Републике Србије. Активно се бави едукацијом лекара и медицинског особља, а у току 2020. радио је као едукатор новозапослених инжењера на територији Европе, Блиског истока и Африке. У фебруару 2021. године добио је награду за најбољег клиничког инжењера компаније *Abbott* у току 2020. године на територији Источне Европе, Блиског истока и Африке.

Аутор је четири рада у међународним часописима са *SCI* листе (два као први аутор), као и 11 радова (7 као први аутор) који су представљени на међународним и националним конференцијама.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Методе за оцену електричне активности глатких мишића“ написана је на енглеском језику на 113 страна и садржи 62 слике, 8 табела и 222 референце наведене по редоследу цитирања. Структура дисертације обухвата следеће целине:

1. Увод
2. Инструментација за ЕГГ снимање
3. Протокол мерења
4. Анализа и интерпретација ЕГГ сигнала
5. Оцена гастричне миоелектричне активности у динамичком окружењу
6. Закључак

Прилог А – Анатомија и физиологија гастроинтестиналног система

Прилог Б – Методе за оцену гастроинтестиналног система.

Текст дисертације садржи и: 1) насловне стране на српском и енглеском језику, 2) податке о ментору и члановима комисије, 3) захвалницу, 4) резиме на српском и енглеском језику, 5) садржај, 6) предговор, 7) списак слика, табела и скраћеница, 8) списак референци, 9) биографију кандидата, 10) изјаву о ауторству, 11) изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и 12) изјаву о коришћењу.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Увод – У овом поглављу дефинисана је и описана електрогастрографија (ЕГГ) као неинвазивна техника за снимање електричне активности глатких мишића желуца. Дат је историјски преглед развоја ове технике као и осврт на тренутни статус ове технике у домену мерења, протокола, процесирања, интерпретације и примене. Додатно, наведени су очекивани правци даљег развоја у овој области.

Инструментација за ЕГГ снимање – Први део овог поглавља укључује разматрање основних предуслова који морају бити испуњени да би се реализовала одговарајућа инструментација. Други део даје осврт на могућност снимања ЕГГ сигнала уређајима који су примарно конструисани за мерење других електрофизиолошких сигнала, као и преглед комерцијално доступних уређаја за електрогастрографију. Трећи део описује мотивацију и реализацију уређаја у оквиру истраживачког рада кандидата, као и карактеристике реализованог система за мерење ЕГГ сигнала. На крају овог поглавља, дате су смернице за даљи развој постојеће инструментације.

Протокол мерења – Ово поглавље бави се постојећим протоколима за снимање ЕГГ сигнала, као и изазовима са којима се суочавају истраживачи у овој области. Јасно су описани доприноси кандидата на пољу дефинисања препорука за оптимизацију мерног протокола у домену његовог трајања, позиције испитаника, поставке електрода, као и тест obroка.

Анализа и интерпретација ЕГГ сигнала – Како евалуација ЕГГ сигнала и анализа истог остају до данас један од највећих изазива у области електрофизиологије, ово поглавље детаљно описује текуће проблеме и решења која су понуђена као резултат истраживања ове дисертације. Приказане су методе за мануелну и аутоматску екстракцију шума. Нове методе за аутоматску елиминацију шума базиране су на анализи видео сигнала и фракционом диференцијалном рачуну. Такође, дат је осврт на стандардне параметре који се користе за квантификацију ЕГГ сигнала, на који се надовезује предлог нових параметара (средње квадратне вредности, медијане фреквенције и крест фактора) који могу бити од значаја за евалуацију електричне активности глатких мишића желуца, пре свега оних снимљених у динамичком окружењу.

Оцена гастричне миоелектричне активности у динамичком окружењу – Након уводних делова који описују примену и значај мерења у динамичком окружењу, као и препоручене модификације протокола, следи део који се тиче снимања ЕГГ сигнала у условима виртуелне реалности и током симулације вожње. Приказани су резултати добијени коришћењем прилагођеног протокола уз примену како стандардних, тако и нових параметара. Тиме је показано да ЕГГ као метода може дати значајан допринос унапређењу комфора корисника виртуелног окружења и симулатора вожње.

Закључак – У овом поглављу дат је свеобухватни закључак дисертације.

Прилог А: Анатомија и физиологија гастроинтестиналног система – Преглед анатомских и физиолошких карактеристика гастроинтестиналног система са фокусом на желуцу је приказан у овом прилогу. Медицинска знања која је кандидат сумирао у овом прилогу, стечена током његовог научно-истраживачког рада, могу бити корисна за адекватно разумевање овог истраживања са медицинског аспекта.

Прилог Б: Методе за оцену гастроинтестиналног система – У овом прилогу представљене су дијагностичке методе за евалуацију гастроинтестиналног тракта, а које се стандардно користе у клиничкој пракси.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

У времену у којем се све чешће користе видео игре са тродимензионалном (3Д) репрезентацијом, симулатори вожње и летења, уређаји који испитанику показују виртуелну и проширену стварност, је примећено да се јављају мучнина, и друге непријатности. Осећај мучнине је посебно изражен боравком у виртуелној реалности у релативно дугим временским интервалима или током захтевних ситуација, што онемогућава примену и даљи развој ових система. Ефикасна и поуздана процена мучнине је од суштинског значаја за примену система виртуелне и допуњене реалности у дужим временским интервалима, а то има есенцијалну вредност у развоју безбедоносних система на основу проучавања понашања возача. Захваљујући својој неинвазивности и ефикасности у детектовању електричне активности глатких мишића желуца, ЕГГ се појављује као погодна метода за објективизацију активности организма које су повезане са мучнином. Мерењем и анализом ЕГГ сигнала при коришћењу симулатора вожње и виртуелне реалности могуће је боље објективно пратити феномен мучнине и омогућити развој нових протокола који ће смањити осећај мучнине.

ЕГГ метода није стандардизована и не постоји концензус о протоколу мерења (нпр. место поставка површинских електрода, положај испитаника током мерења, препоручено трајање мерења). Не постоји ни стандардизован протокол о методама које су сврсисходне за анализу сигнала, минимизацију шума и екстракцију обележја сигнала од интереса. Кандидат је у својој докторској дисертацији предложио нове протоколе за мерење, поједностављену инструментацију, као и параметре који се могу применити за процену мучнине у условима виртуелне реалности и приликом коришћења симулатора вожње.

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

Током израде докторске дисертације, кандидат је истражио постојећу релевантну литературу која укључује 222 референце. Литература обухвата радове који приказују тренутно стање у области, али и део фундаменталних истраживања која су послужила као полазна тачка за мерење и анализу електрофизиолошких сигнала, а пре свега ЕГГ.

Листа референци укључује радове на теме које су у вези са докторском дисертацијом и то у области биомедицинског инжењерства, медицине, метода анализе биосигнала односно метода за елиминацију шума и екстракцију обележја из биосигнала, феномена мучнине у појачаној и виртуелној реалности, рачунарских метода за обраду сигнала и на тему система за мерење биосигнала. Комисија је закључила да је кандидат темељно проучио развој, тренутно стање у области и проблеме на које је у тези дао одговоре.

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

Методологија истраживања укључила је следеће активности:

- Формирање полазних хипотеза и формулација могућих решења
- Развој инструментације за мерење ЕГГ сигнала
- Развој упрошћеног протокола за мерење ЕГГ сигнала и испитивање утицаја унутрашњих (нпр. телесна тежина) и спољашњих (нпр. трајање снимања) фактора на ЕГГ сигнал
- Развој нових метода за елиминацију шума и екстракцију обележја из ЕГГ сигнала са циљем детекције и процене мучнине
- Евалуација предложеног протокола и метода за аквизицију и процесирање ЕГГ сигнала на испитаницима у условима статичких и динамичких мерења
- Документовање добијених резултата и критички осврт на успешност предложених метода, као и на могућности даљег развоја и примене

Методологија коју је кандидат применио у потпуности одговара стандардима научно-истраживачког рада и у сагласности је са постављеним циљевима докторске дисертације.

Кандидат је део истраживања обавио у матичној кући (Електротехнички факултет Универзитета у Београду), а део у сарадњи са тимом који се бави применом електрофизиолошких мерења на Електротехничком факултету Универзитета у Љубљани.

#### 3.4. Применљивост остварених резултата

Истраживања и развој нове инструментације, протокола и метода за анализу сигнала су директно евалуирани за примену у условима виртуелне реалности и приликом коришћења симулатора вожње.

Поред потенцијалне примене у условима виртуелне реалности и симулаторима вожње, примена упрошћене технике за мерење ЕГГ сигнала уз одговарајуће методе за екстракцију биомаркера, може се након даљих испитивања имплементирати и у клиничком окружењу.

Такође, у дисертацији је показано да поред оцене мучнине ЕГГ сигнали могу да се користе и за процену психосоматских стања у психологији за оцену тзв. *gut feeling* и у неким другим областима.

#### 3.5. Оцена постигнутих способности кандидата за самостални рад

На основу прегледа докторске дисертације, Комисија је проценила да је кандидат Ненад Б. Поповић показао способност за самостални научно-истраживачки рад који укључује критички осврт на доступну литературу, разумевање теоријских принципа и могућност примене практичних елемената истраживања, развој нових метода за решавање постављеног проблема, као и анализу добијених резултата.

Начин на који је дисертација написана и доприноси који су представљени у дисертацији, а истовремено и публиковани у часописима са импакт фактором и у радовима на националним и међународним конференцијама указују на способност и зрелост кандидата за самосталан научно-истраживачки рад.

### **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

#### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси који су остварени у оквиру докторске дисертације су следећи:

- Развој и реализација инструментације која омогућава мерење електричних сигнала са глатких мишића желуца;
- Развој и евалуација протокола који је прилагођен истраживањима и потенцијалној клиничкој употреби са одговарајућим препорукама за позиционирање електрода, трајање снимања и услове тестирања (нрп. дефинисање тест оброка, позиције испитаника током мерења);
- Развој нових метода за елиминацију шума из ЕГГ сигнала;
- Квантификована оцена мучнине применом ЕГГ биомаркера, као и поређење са квалитативним мерама;
- Квантификована процена симптома мучнине код испитаника у току симулације вожње и у условима виртуелне / допуњене реалности применом одговарајућих протокола;
- Разматрање и тестирање нових метода процесирања ЕГГ сигнала у аутомобилској и у индустрији видео игара

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Комисија констатује да је кандидат успешно одговорио на сва битна питања везана за постављене циљеве истраживања, полазне претпоставке и остварене резултате.

Развијен је и реализован систем за мерење ЕГГ сигнала. Дефинисани су нови поједностављени протоколи. Предложене су нове и оригиналне методе за екстракцију шума из ЕГГ сигнала, као и за прорачун одговарајућих биомаркера. Реализована је студија за оцену мучнине током коришћења симулатора вожње, али и мања студија за оцену мучнине током коришћења *Oculus Rift* уређаја. Добијени резултати су поређени са квалитативним мерама оцене мучнине и разматрана је примена новог начина оцене електричне активност у дијагностичке сврхе

(стандардан протокол који дефинише мерење пре и после јела) тестиран на здравим испитаницима и протокол за мерење у динамичким условима.

Комисија констатује да су научни доприноси ове дисертације публиковани у међународним часописима са импакт фактором категорије M21 и M23, али и представљени на националним и међународним конференцијама.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Основни резултати истраживања приказаног у овој дисертацији публиковани су у следећим радовима:

##### а) Радови објављени у научним часописима од међународног значаја:

1. **Popović N.B.**, Miljković N., Stojmenova K., Jakus G., Prodanov M., Sodnik J.: Lessons learned: Gastric motility assessment during driving simulation, *Sensors (Basel)*, vol. 19, no. 14, 2019. ISSN: 1424-8220, DOI: 10.3390/s19143175 (**M21, IF2019: 3.275**)
2. **Popović N.B.**, Miljković N., Popović M.B.: Simple gastric motility assessment method with a single-channel electrogastragram, *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik*, vol. 64, no 2, pp. 177-185, 2019 (online 2018), ISSN: 0013-5585, DOI: 10.1515/bmt-2017-0218 (**M23, IF2018: 1.007**)

##### б) Радови приказани на међународним научним скуповима:

1. **Popović N.B.**, Miljković N., Šekara T.: Electrogastragram and electrocardiogram interference: Application of fractional order calculus and Savitzky-Golay filter for biosignals segregation, 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), March 17-19, 2020, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1 - 5 (**M33**)
2. Miljković N., **Popović N.B.**, Prodanov M., Sodnik J.: Assessment of sickness in virtual environments, Proceedings of the 9th International Conference on Information Society and Technology ICIST, March 10-13, 2019, Kopaonik, Serbia, Vol. 1, pp. 76-81 (**M33**)
3. Gruden T., **Popović N.B.**, Stojmenova K., Jakus G., Miljković N., Sodnik J.: Electrogastrography as a tool for sickness detection in autonomous vehicles, Proceedings of the 1st International Congress on Motion Sickness and the collaborative 15th European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders Meeting, July 7-10, 2019, Akureyri, Iceland pp. in - print (**M34**)
4. **Popović N.B.**, Miljković N., Papić V.: Video-based extraction of movement artifacts in electrogastrography signal, Book of Abstracts, Belgrade Bioinformatics Conference (BelBi), June 22, 2018, Belgrade, Serbia, Vol. 40, No. 1, pp. 126, ISSN: 2334-6590, DOI: 10.13140/RG.2.2.19753.29280. (**M34**)

Након завршетка писања докторске дисертације кандидат је објавио још један рад у научном часопису од међународног значаја, који представља наставак рада на теми која је обрађена у докторској дисертацији, а који је настао као резултат сарадње између истраживача са Електротехничког факултета Универзитета у Љубљани и са Електротехничког факултета Универзитета у Београду:

1. Gruden T., **Popović N.B.**, Stojmenova K., Jakus G., Miljković N., Tomažič S., Sodnik J.: Electrogastrography in Autonomous Vehicles - An Objective Method for Assessment of Motion Sickness in Simulated Driving Environments, *Sensors (Basel)*, vol. 21, no. 2, 2021. ISSN: 1424-8220, DOI: 10.3390/s21020550 (**M21, IF2019: 3.275**)

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

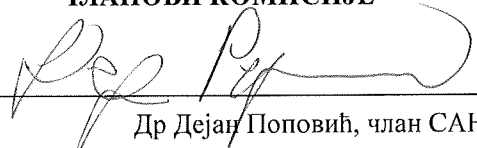
Докторска дисертација под насловом „Методe за оцену електричне активности глатких мишића“ резултат је вишегодишњег истраживања на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, а делови истраживања реализовани су на Електротехничком факултету Универзитета у Љубљани. Кандидат Ненад Б. Поповић је у дисертацији показао свеобухватно знање из области мерења и анализе електрофизиолошких сигнала, са фокусом на електрогастрографији – методи за мерење електричне активности глатких мишића желуца.

Такође, показао је и способност за самостални научноистраживачки рад. У тези је приказан оригинални допринос у развоју нових и унапређењу постојећих метода за аквизицију и анализу електрогастрографских сигнала. Истраживања проистекла из ове докторске дисертације су указала на потенцијал предложене методе за унапређење постојећих система за проширену/допуњену реалност. Радом на истраживању у докторској дисертацији, кандидат је показао да је у могућности да самостално дефинише протоколе, прикаже резултате, реализује одговарајуће научно закључивање и критичко разматрање. Додатно, кандидат је показао способност да научне методе на одговарајући начин повеже са применама у развоју биомедицинске технике и информационо комуникационих технологија, ИКТ.

На основу свега наведеног, са задовољством предлажемо Наставно-научном већу да се докторска дисертација писана на енглеском језику под називом „**Методе за оцену електричне активности глатких мишића**“ (енг. „**Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles**“) кандидата **Ненада Б. Поповића**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 2. марта 2021. године

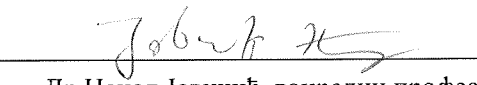
**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

  
Др Дејан Поповић, члан САНУ

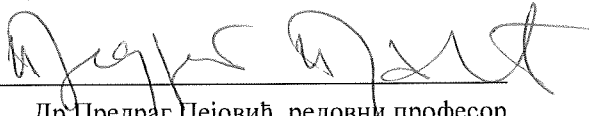
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
Др Јака Содник, редовни професор

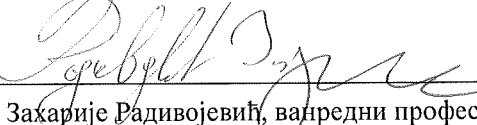
Univerza v Ljubljani - Fakultet za Elektrotehniko

  
Др Ненад Јовчић, ванредни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
Др Предраг Пејовић, редовни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
Др Захарије Радивојевић, ванредни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
БЕОГРАД

ПРИМЉЕНО:		04-03-2021	
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	386		

UNIVERSITY OF BELGRADE  
SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING

## TO THE TEACHING-SCIENTIFIC COUNCIL

**Subject:** Report on the submitted Doctoral dissertation by Nenad B. Popović

By the decision of the Teaching-scientific Council of the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, no. 5026 / 16-3 from February 3, 2021, we have been appointed as members of the Committee for the Review, Evaluation, and Defense of the Doctoral dissertation written in English by the doctoral candidate **Nenad B. Popović**, Master of Science in Electrical and Computer Engineering, entitled:

### **METHODS FOR ASSESSMENT OF ELECTRICAL ACTIVITY OF SMOOTH MUSCLES<sup>1</sup>**

After reviewing the submitted Dissertation and other supporting materials, as well as communication with the doctoral student, which resulted in minor technical corrections of the text of the Dissertation, the Committee prepared the following

## REPORT

### 1. INTRODUCTION

#### 1.1. Chronology of Dissertation Approval and Preparation

Doctoral candidate Nenad B. Popović was enrolled in doctoral academic studies in the school year 2016/2017 at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, module Systems Management and Signal Processing. He passed all exams with a GPA of 10.00 and fulfilled all related study research work defined by the study plan and program.

Scientific research work began in non-invasive recording and analysis of the electrical activity of gastric smooth muscle (electrogastrography - EGG), focusing on the development of new and improvement of existing methods for acquisition processing of EGG signals. The candidate researched the application of methods for measuring and analyzing EGG signals intending to implement tools for evaluating psychophysiological changes in respondents during virtual reality and driving simulation. Associate Professor Nadica Miljković supervised the scientific research work of the candidates.

The candidate submitted the topic of his Doctoral dissertation entitled "Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles," which was written in English ("Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles"). At the 841<sup>st</sup> session held on June 11, 2019, the Teaching-scientific Council passed decision no. 5026 / 16-1 of June 21, 2019, on the appointment of the Committee for the evaluation of the scientific value of the topic of the Doctoral dissertation:

1. Dejan Popović, PhD, SASA member, University of Belgrade - School of Electrical Engineering;
2. Jaka Sodnik, PhD, Full Professor, University of Ljubljana – Faculty of Electrical Engineering;
3. Nenad Jovičić, PhD, Associate Professor, University of Belgrade - School of Electrical Engineering;
4. Predrag Pejović, PhD, Full Professor, University of Belgrade - School of Electrical Engineering;
5. Zaharije Radivojević, PhD, Associate Professor, University of Belgrade - School of Electrical Engineering.

---

<sup>1</sup> title in Serbian: **Методе за оцену електричне активности глатких мишића**

Associate Professor Nadica Miljković, PhD, employed at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, has been appointed as a mentor.

At the 843<sup>rd</sup> session of the Teaching-scientific council of the School of Electrical Engineering, University of Belgrade held on September 17, 2019, item 22.2, the Teaching-scientific Council adopted the Report of the Committee for the Evaluation of Conditions and Acceptance of the Doctoral dissertation (Decision No. 5026 / 16-2 of September 17, 2019) according to which Nenad B. Popović defended his proposal of the topic and thus the procedure of applying for the Doctoral dissertation was satisfied.

At 857<sup>th</sup> session held on January 19, 2021, the Teaching-Scientific Council made a decision on the appointment of the Committee for the Review and Evaluation of the Doctoral dissertation (decision no. 5026 / 16-3, February 3, 2021) submitted by doctoral student Nenad B. Popović entitled "Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles". The Committee members are:

1. Dejan Popović, PhD, SASA member, University of Belgrade - School of Electrical Engineering;
2. Jaka Sodnik, PhD, Full Professor, University of Ljubljana - Faculty of Electrical Engineering;
3. Nenad Jovičić, PhD, Associate Professor, University of Belgrade - School of Electrical Engineering;
4. Predrag Pejović, PhD, Full Professor, University of Belgrade - School of Electrical Engineering;
5. Zaharije Radivojević, PhD, Associate Professor, University of Belgrade - School of Electrical Engineering.

The submitted version of the Dissertation was checked following the plagiarism rules, and the report from the University Library "Svetozar Marković" stated the 8% similarity with the material found on the Internet. The found similarities are the result of citations, bibliographic data on the used literature, and presentation of the research results of the candidate published under CC license or in an open access, names of the instruments, methods, and parameters, as well as the parts of the text that is appropriately cited and given under citation marks. By that, the Committee has concluded that the Doctoral dissertation represents the candidate Nenad B. Popović's original scientific work.

### 1.2. Scientific Field of the Dissertation

The research presented in the Doctoral dissertation belongs to the field of Technical Science - Electrical Engineering, namely the scientific field of Biomedical Engineering. Specifically, the Doctoral dissertation presents the development of a technique for non-invasive measurement of electrophysiological signals originating from the smooth muscles of the stomach (part of the gastric system) in the human body and the analysis and application of processed signals for diagnosis. The emphasis in applying the new technique is to connect it with the symptoms of nausea of the examinee in the periods in which the examinee was exposed to augmented and virtual reality (the examinee being a subject in a virtual reality and driving simulation protocols).

### 1.3. Biographical Information About the Candidate

Nenad B. Popović was born on September 3, 1992 in Ivanjica, Serbia. In Ivanjica, he attended the elementary school "Kirilo Savić" and the grammar school. In both schools, he received the diploma "Vuk Karadžić" and the best student award. He has won many awards at national and international competitions in mathematics and physics during primary and high school education.

In the 2011/2012 school year, he enrolled in undergraduate studies at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade. After the end of the first year, he selected the Module of Physical Electronics, Sub-module Biomedical and Eco Engineering. He graduated as the best student in the chosen sub-module (GPA 9.74) in July 2015 with the topic titled "Design of a Device for Measurement and Frequency Analysis of Electrogastrography Signals" under the guidance of Full Professor Mirjana Popović, PhD and Nadica Miljković, PhD, then an Assistant Professor at the School of Electrical

Engineering University of Belgrade. Nenad B. Popović received the second prize at the ETF BAFA competition for the best graduate thesis.

He enrolled in 2015/2016 school year into the Master's program in Biomedical and Eco Engineering at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade. He passed all exams with a GPA of 10.00. He defended his master thesis, "Design of Methods for Signal Analysis and User Interface for Multi-channel Electrogastrogram" in September 2016, supervised by Nadica Miljković, PhD, then an Assistant Professor at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade.

At the same School, he enrolled in the PhD program of Systems Management and Signal Processing in the 2016/2017 school year. He passed all exams with a GPA of 10.00 and fulfilled all mandatory obligations defined by the study curriculum.

The primary area of Nenad B. Popović's scientific interest is the methodology for recording, processing, and interpretation of electrophysiological signals. In agreement with Associate Professor, Nadica Miljković, his doctoral academic studies focused on scientific research on the potential of electrogastrographic (EGG) signals. The application of EGG signals for diagnostics is an area in its infancy that can potentially contribute to a better quality of life for many people. Nenad studied methods for measuring and processing EGG signals and the potential application of processed signals. The work results are a significant contribution to the application of EGG signals in research and clinical work. Nenad used EGG as a technique for evaluating the examinee's physiological state in the conditions in which the examinee is in the space of virtual reality and in the conditions in which driving is simulated. The candidate conducted part of the research in cooperation with the research team led by Full Professor Jaka Sodnik, PhD, at the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.

From January 2016 to May 2018, he was employed by the company *Biotronik* as a technical consultant for the implantation and follow-up of pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators. From May 2018 until today, he has been working for *Abbott* at the same position. In his career so far, he has provided support for over 750 implants and he acted as a consultant in clinics in the country and the region. He is a regular participant in cardiology congresses. In June 2019, he held a presentation at the meeting of the Working Committee for Pacing of the Republic of Serbia. He is actively involved in the education of doctors and medical staff, and during 2020 he worked as an educator of newly hired engineers in Europe, Middle East, and Africa. In February 2021 he was awarded as the best clinical engineer at *Abbott* for 2020 year in the Eastern Europe, Middle East, and Africa.

He is the author of four papers in international journals from the SCI list (two as the first author) and 11 papers (7 as the first author) that were presented at international and national conferences.

## **2. DESCRIPTION OF THE DOCTORAL DISSERTATION**

### 2.1. Dissertation Content

The Doctoral dissertation titled "Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles" was written in English on 113 pages and contains 62 figures, 8 tables, and 222 references listed in the citation order. The structure of the Dissertation includes the following chapters:

1. Introduction
2. Instrumentation for EGG Recording
3. Recording Protocol
4. Analysis and Interpretation of EGG Signal
5. Assessment of Gastric Myoelectric Activity in Dynamic Environment
6. Conclusion

Appendix A - Anatomy and Physiology of Gastrointestinal System

## Appendix B - Methods for the Assessment of Gastrointestinal System.

The Dissertation also contains: 1) title pages in Serbian and English, 2) information about the mentor and members of the Committee, 3) acknowledgment, 4) summary in Serbian and English, 5) table of contents, 6) preface, 7) list of pictures, tables, and abbreviations, 8) list of references, 9) biography of the candidate, 10) statement of authorship, 11) statement of the identity of the printed and electronic version of the Doctoral dissertation, and 12) agreement for uploading Doctoral dissertation in PhD repository of University of Belgrade and Copyright statement with selected Creative Commons license.

### 2.2. A Brief Overview of the Individual Chapters

*Introduction* - In this chapter, electrogastrography (EGG) is defined and described as a non-invasive technique for recording gastric smooth muscle's electrical activity. A historical overview of this technique development is given, and a review of the current status of this technique in the domain of measurement, protocol, processing, interpretation, and application is provided. Also, the expected directions for further development in this area are listed.

*Instrumentation for EGG Recording* - The first part of this chapter includes considerations of the essential prerequisites that must be met to develop the appropriate instrumentation. The second part gives an overview of the possibility of recording EGG signals with devices that are primarily designed for measuring other electrophysiological signals and an overview of commercially available devices for electrogastrography. The third part describes the motivation and development of the device within the candidate's research work, as well as the characteristics of the designed system for the measurement of EGG signals. At the end of this chapter, guidelines are given for further development of the existing instrumentation.

*Recording Protocol* - This chapter deals with existing protocols for recording EGG signals, as well as the challenges faced by researchers in this field. Candidates' contributions in defining recommendations for optimization of the measurement protocol in the domain of its duration, the position of the examinee, electrode setting, and test meal are clearly described.

*Analysis and Interpretation of EGG Signal* - As the evaluation of EGG signals and their analysis remain one of the most significant challenges in the field of electrophysiology; this chapter describes the current problems and solutions offered as a result of research in this Dissertation. Methods for manual and automatic noise extraction are presented. New methods for automatic noise elimination are based on video signal analysis and fractional order calculus. Also, a review of standard parameters used for quantification of EGG signals is given, followed by the proposal of new parameters (Root Mean Square, Median Frequency, and Crest Factor) that could be important for evaluating the electrical activity of the gastric smooth muscle, especially those recorded in a dynamic environment.

*Assessment of Gastric Myoelectric Activity in Dynamic Environment* - After the introductory part, which describes the application and importance of measurements in a dynamic environment and the recommended modifications of the protocol, the part concerning recording EGG signals in virtual reality and driving simulation is presented. The results obtained using the novel, utilized, and adapted protocol with the application of both standard and new parameters are presented. They showed that EGG as a method can make a significant contribution to the improvement of the user comfort during virtual environment experience and driving simulation.

*Conclusion* - This chapter provides a comprehensive conclusion of the Dissertation.

*Appendix A: Anatomy and Physiology of Gastrointestinal System* - An overview of the gastrointestinal system anatomical and physiological characteristics with a focus on the stomach is presented in this appendix. The medical knowledge that the candidate summarized in this paper, acquired during his scientific research work, can be useful for understanding this research from a medical aspect.

*Appendix B: Methods for the Assessment of Gastrointestinal System* - This appendix presents diagnostic methods for evaluating the gastrointestinal tract, typically used in clinical practice.

### **3. EVALUATION OF THE DISSERTATION**

#### 3.1. Novelty and Originality

When video games with three-dimensional (3D) representation, driving and flying simulators, devices that show the examiner virtual and augmented reality are increasingly used, nausea and other inconveniences have been noticed. The feeling of nausea is especially intensified when virtual reality experience is relatively longer in time or it includes some challenging tasks, which restricts the application and further development of these systems. Efficient and reliable assessment of nausea is essential for applying virtual and augmented reality systems in longer time intervals. It has a critical value for the development of safety systems based on the study of driver behavior, thanks to its non-invasiveness and efficiency in detecting the gastric smooth muscles electrical activity, EGG appears as a suitable method for detect the activities of the body that are associated with nausea. By measuring and analyzing the EGG signal using a driving simulator and virtual reality, it is possible to suitably monitor the phenomenon of nausea and enable the development of new protocols that will reduce the feeling of nausea. The EGG method is not standardized, and there is no consensus on the measurement protocol (e.g., location of surface electrodes, the position of subjects during measurement, recommended duration of measurement). There is also no standardized protocol on methods useful for signal analysis, noise elimination, and extraction of signal characteristics of interest. In his Doctoral dissertation, the candidate proposed new measurement protocols, simplified instrumentation, and parameters that can be applied to assess nausea in virtual reality conditions and when using a driving simulator.

#### 3.2. Evaluation of References and the Used Literature

During the Doctoral dissertation preparation, the candidate researched the existing relevant literature, which includes 222 references. The literature comprises works that present the current situation in the field and part of the fundamental research that served as a starting point for measuring and analyzing electrophysiological signals, primarily EGG. The list of references includes papers on topics related to the Doctoral dissertation in the field of biomedical engineering, medicine, methods for biosignal analysis i.e., methods for noise elimination and extraction of features from biosignals, the phenomenon of motion sickness in augmented and virtual reality, computer methods for signal processing and on the topic of biosignal measurement systems. The Committee concluded that the candidate thoroughly studied the development, the current situation in the field, and the problems he presented in the Dissertation.

#### 3.3. Description and Adequacy of Applied Scientific Methods

The research methodology included the following activities:

- Forming initial hypotheses and formulation of possible solutions;
- Development of instrumentation for EGG signal measurement;
- Development of a simplified protocol for measuring EGG signals and examining the influence of internal (e.g., body weight) and external (e.g., recording duration) factors on EGG signal;
- Development of new methods for noise elimination and extraction of features from EGG signals to detect and assess sickness symptoms;
- Evaluation of the proposed protocol and procedures for acquisition and processing of EGG signals on subjects in terms of static and dynamic measurements;

Documenting the obtained results and critically reviewing the success of the proposed methods and the possibilities of further development and application. The methodology applied by the candidate fully corresponds to the standards of scientific research work and is following the set goals of the Doctoral

dissertation. The candidate performed part of the research at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade and part in cooperation with the team involved in the research and application of electrophysiological measurements at the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana.

#### 3.4. Applicability of Achieved Results

Research and development of new instrumentation, protocols, and signal analysis methods have been directly evaluated for application in virtual reality conditions and when using driving simulators. In addition to the potential application in virtual reality conditions and driving simulators, applying a simplified technique for measuring EGG signals with appropriate biomarker extraction methods can be implemented in the clinical environment after further testing. Also, in the Dissertation it is shown that in addition to the assessment of nausea, EGG signals can also be used to assess psychosomatic conditions in psychology to evaluate the so-called “gut feeling” in some other areas as well.

#### 3.5. Assessment of the Achieved Capabilities of the Candidate for Independent Work

Based on the review of the Doctoral dissertation, the Committee assessed that the candidate Nenad B. Popović showed his capacity for independent scientific research, which includes a critical review of the available literature, understanding of theoretical principles, and the possibility of applying practical elements of research, development of new methods for solving the problem, as well as analysis of the results. The Dissertation quality, the publications in journals in the WoS database, and papers published in the conferences with peer-review acceptance policy prove capability and maturity of the candidate for independent scientific research.

### **4. ACHIEVED SCIENTIFIC CONTRIBUTION**

#### 4.1. Summary of Achieved Scientific Contributions

The essential scientific contributions that have been achieved within the Doctoral dissertation are the following:

- Development and implementation of instrumentation that allows the measurement of electrical signals from the smooth muscles of the stomach;
- Development and evaluation of a protocol suitable for research and potential clinical use with appropriate recommendations for electrode positioning, recording duration, and test conditions (e.g., defining test meals, subject positions during measurements);
- Development of new methods for noise elimination from EGG signals;
- Quantified assessment of nausea using EGG biomarkers, as well as comparison with qualitative measures;
- Assessment of nausea symptoms in subjects during the driving simulation and virtual/augmented reality conditions using appropriate protocols;
- Consideration and testing of new EGG signal processing methods in the automotive and video game industries

#### 4.2. Critical Analysis of Research Results

The Committee concludes that the candidate has successfully answered all crucial questions related to the set research goals, initial assumptions, and achieved results. A system for measuring EGG signals has been developed and implemented. New simplified protocols have been defined. Unique and original methods for noise extraction from EGG signals and the calculation of appropriate biomarkers have been proposed. The study for the assessment of nausea during the use of driving simulators was conducted, as well as the study for the evaluation of nausea during the use of the Oculus Rift device. The obtained results were compared with qualitative measures for assessing nausea. The application of a new method

of evaluating electrical activity for diagnostic purposes (the standard protocol that defines measurement before and after meals) tested on healthy subjects and protocol for measurement in dynamic conditions was considered.

The Committee notes that the scientific contributions of this Dissertation have been published in international journals with an impact factor of categories M21 and M23 and presented at national and international conferences.

#### 4.3. Verification of Scientific Contributions

The results of the research presented in this Dissertation have been published in the following papers:

##### a) Papers published in scientific journals listed in the WoS database:

1. **Popović N.B.**, Miljković N., Stojmenova K., Jakus G., Prodanov M., Sodnik J.: Lessons learned: Gastric motility assessment during driving simulation, *Sensors (Basel)*, vol. 19, no. 14, 2019. ISSN: 1424-8220, DOI: 10.3390/s19143175 (**M21, IF2019: 3.275**)
2. **Popović N.B.**, Miljković N., Popović M.B.: Simple gastric motility assessment method with a single-channel electrogastrogram, *Biomedical Engineering / Biomedizinische Technik*, vol. 64, no 2, pp. 177-185, 2019 (online 2018), ISSN: 0013-5585, DOI: 10.1515/bmt-2017-0218 (**M23, IF2018: 1.007**)

##### b) Papers presented and published in full in the proceedings of international scientific conferences:

1. **Popović N.B.**, Miljković N., Šekara T.: Electrogastrogram and electrocardiogram interference: Application of fractional order calculus and Savitzky-Golay filter for biosignals segregation, 2020 19th International Symposium INFOTEH-JAHORINA (INFOTEH), March 17-19, 2020, East Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, pp. 1 - 5 (**M33**)
2. Miljković N., **Popović N.B.**, Prodanov M., Sodnik J.: Assessment of sickness in virtual environments, Proceedings of the 9th International Conference on Information Society and Technology ICIST, March 10-13, 2019, Kopaonik, Serbia, Vol. 1, pp. 76-81 (**M33**)
3. Gruden T., **Popović N.B.**, Stojmenova K., Jakus G., Miljković N., Sodnik J.: Electrogastrography as a tool for sickness detection in autonomous vehicles, Proceedings of the 1st International Congress on Motion Sickness and the collaborative 15th European Society for Clinical Evaluation of Balance Disorders Meeting, July 7-10, 2019, Akureyri, Iceland pp. in - print (**M34**)
4. **Popović N.B.**, Miljković N., Papić V.: Video-based extraction of movement artifacts in electrogastrography signal, Book of Abstracts, Belgrade Bioinformatics Conference (BelBi), June 22, 2018, Belgrade, Serbia, Vol. 40, No. 1, pp. 126, ISSN: 2334-6590, DOI: 10.13140/RG.2.2.19753.29280. (**M34**)

After completing the Doctoral dissertation, the candidate published another paper in a scientific journal of international importance, which is a continuation of the work on the topic covered in the Doctoral dissertation, which was created as a result of cooperation between researchers from the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana and the School of Electrical Engineering, University of Belgrade:

1. Gruden T., **Popović N.B.**, Stojmenova K., Jakus G., Miljković N., Tomažič S., Sodnik J.: Electrogastrography in Autonomous Vehicles - An Objective Method for Assessment of Motion Sickness in Simulated Driving Environments, *Sensors (Basel)*, vol. 21, no. 2, 2021. ISSN: 1424-8220, DOI: 10.3390/s21020550 (**M21, IF2019: 3.275**)

## **5. CONCLUSION AND PROPOSAL**

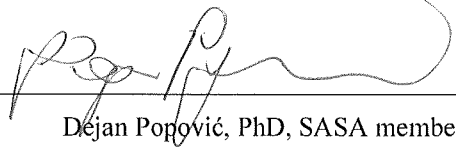
The Doctoral dissertation entitled "Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles" is the result from many years of research at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade, and

parts of the study were conducted at the Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana. In his Dissertation, Nenad B. Popović demonstrated comprehensive knowledge in the field of measurement and analysis of electrophysiological signals, focusing on electrogastrography - a method for measuring the electrical activity of gastric smooth muscles. He also showed his ability for independent scientific research work. The Dissertation presents the original contribution to the development of new and improved methods for the acquisition and analysis of electrogastrographic signals. The research resulting from this Doctoral dissertation indicated the potential of the proposed method for improving the existing virtual/augmented reality systems. The doctoral candidate has shown that he can independently define protocols, present results, communicate appropriate scientific conclusions and critical considerations. Also, the candidate has demonstrated the ability to appropriately link scientific methods to applications in the development of biomedical engineering and informational and communicational technologies (ICT).

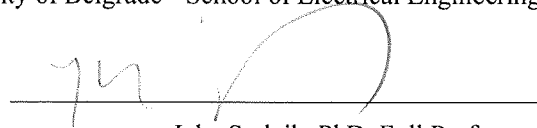
Based on all the above, we are pleased to suggest to the Teaching-Scientific Council that the Doctoral dissertation is written in English entitled “**Methods for assessment of electrical activity of smooth muscles**” submitted by the doctoral student **Nenad B. Popović**, Master of Science in Electrical and Computer Engineering, is accepted, presented to the public and sent for final adoption to the Council of Scientific Areas of Technical Sciences of the University of Belgrade.

In Belgrade, March 2, 2021


**MEMBERS OF THE COMMITTEE**



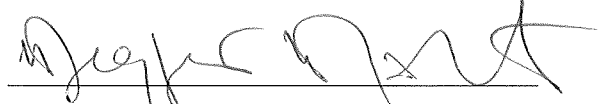
Dejan Popović, PhD, SASA member,  
University of Belgrade - School of Electrical Engineering



Jaka Sodnik, PhD, Full Professor,  
University of Ljubljana - Faculty of Electrical Engineering



Nenad Jovičić, PhD, Associate Professor,  
University of Belgrade - School of Electrical Engineering



Predrag Pejović, PhD, Full Professor,  
University of Belgrade - School of Electrical Engineering



Zaharije Radivojević, PhD, Associate Professor,  
University of Belgrade - School of Electrical Engineering