

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Наталије Катић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 997/15 од 4.07.2023. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Наталије Катић под насловом

„Декодирање неуралних механизма помоћу „in silico“ модела и експеримената на животињама са циљем обнављања соматосензорног осећаја применом неуропротеза“

„Decoding neural mechanisms using in silico and animal models for restoring somatosensory feedback with neuroprostheses“

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

Наталија Катић је школске 2018/2019. године уписала докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, модул „Управљање системима и обрада сигнала“. Током студија је положила све испите са просечном оценом 10,00 и испунила све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом.

Кандидаткиња је 10.12.2021. поднела пријаву теме за израду докторске дисертације под насловом „Декодирање неуралних механизма помоћу „in silico“ модела и експеримената на животињама са циљем обнављања соматосензорног осећаја применом неуропротеза“ (енг. „Decoding neural mechanisms using in silico and animal models for restoring somatosensory feedback with neuroprostheses“). Комисија за студије трећег степена је на својој седници 14.02.2022. године разматрала предлог теме за израду докторске дисертације и предлог Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације упутила Наставно-научном већу на усвајање.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета у Београду је на својој седници бр. 870 одржаној 22.02.2022. године именовало Комисију за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (одлука број 5020/18-1 од 04.03.2022. године) у следећем саставу:

1. др Лазар Сарановац, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Владимир Илић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Факултет спорта и физичког васпитања
3. др Станиша Распоповић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт „Михајло Пупин“.

За менторе докторске дисертацију су предложени др Жељко Ђуровић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет и др Милица Јанковић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

Јавна усмена одбрана теме докторске дисертације кандидаткиње је одржана на Електротехничком факултету у Београду дана 23.03.2022. године пред комисијом у саставу др Лазар Сарановац, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, др Владимир Илић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Факултет спорта и физичког васпитања и др Станиша Распоповић, виши научни сарадник, Универзитет у Београду – Институт „Михајло Пупин“. Комисија је једногласно закључила да је кандидаткиња Наталија Катић на јавној усменој одбрани предложене теме добила оцену „задовољила“. Заједно са предложеним менторима докторске дисертације, др Жељком Ђуровићем, редовним професором Електротехничког факултета Универзитета у Београду и др Милицом Јанковић, ванредним професором Електротехничког факултета Универзитета у Београду, комисија је поднела Извештај за оцену научне заснованости теме докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду је на својој седници бр.873 одржаној 17.05.2022. године усвојило Извештај за оцену научне заснованости теме докторске дисертације (одлука број 5020/18-2 од 17.05.2022.). Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је дало сагласност на одлуку Наставно-научног већа Електротехничког факултета о прихватању докторске дисертације Наталије Катић под називом „Декодирање неуралних механизма помоћу „in silico“ модела и експеримената на животињама са циљем обнављања соматосензорног осећаја применом неуропротеза“ (енг. „Decoding neural mechanisms using in silico and animal models for restoring somatosensory feedback with neuroprostheses“) и одређивању др Жељка Ђуровића, редовног професора, Универзитета у Београду - Електротехничког факултета и др Милице Јанковић, ванредног професора, Универзитета у Београду - Електротехничког факултета за менторе докторске дисертације (одлука број 61206-2/2-22 од 6.06.2022.).

Кандидаткиња је 19.06.2023. године предала урађену докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена је на својој седници 27.06.2023. године потврдила испуњеност потребних услова за подношење предлога Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду за формирање Комисије за преглед и оцену докторске дисертације.

Наставно-научно веће Електротехничког факултета је на својој седници бр. 888 одржаној 4.07.2023. године именовало Комисију за преглед и оцену докторске дисертације (одлука број 997/15 од 4.07.2023.) у следећем саставу:

1. др Лазар Сарановац, редовни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
2. др Горан Квашчев, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет
3. др Станиша Распоповић, доцент, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

Провера оригиналности докторске дисертације је извршена на основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација (у даљем тексту „Правилника“) које се бране на Универзитету у Београду и на основу извештаја из програма iThenticate је констатовано подударане текста од 56 %. Овај степен подударности је у највећој мери

последича претходно публикованих резултата докторандових истраживања (23 %) и резултата који су у фази рецензије објављени на препринт репозиторијуму (22 %) на енглеском језику на коме је написана и докторска дисертација, а који су директно проистекли из рада на докторској дисертацији, што је у складу са чланом 9. Правилника. Остале уочене подударности су последица цитата, личних имена, наставних и истраживачких звања, библиографских података о коришћеној литератури и сличних општих места (свака од подударности износи појединачно $\leq 1\%$), што је у складу са чланом 9. Правилника. Узимајући у обзир све наведено, став Комисије је да докторска дисертација представља оригинални научни рад кандидаткиње Наталије Катић.

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научној области Техничке науке – Електротехника и рачунарство за коју је матичан Електротехнички факултет Универзитета у Београду. У ужем смислу, дисертација припада научној области биомедицинско инжењерство. За менторе докторске дисертације именовани су др Жељко Ђуровић, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду и др Милица Јанковић, ванредни професор за ужу научну област биомедицинска техника на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Ментори поседују вишегодишње истраживачко и наставно искуство везано за тематику којом се бави докторска дисертација кандидаткиње.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Наталија Катић рођена је 03.03.1995. године у Београду. Завршила је основну школу Филип Вишњић у Београду као носилац Вукове дипломе и ђак генерације, те потом и Прву београдску гимназију као вуковац. Електротехнички факултет у Београду уписала је 2013 године. Дипломирала је на одсеку Сигнали и системи са просечном оценом 9,51. Дипломски рад одбранила је у јуну 2017. године са оценом 10. Дипломски рад на тему „Класификација кортикалних активности са циљем препознавања покрета“ проглашен је од стране Математичког института САНУ за најбољи рад у категорији дипломских и мастер радова 2018. године. Мастер академске студије уписала је 2017. године на одсеку Сигнали и системи. Одбранила је мастер рад на тему „Биомеханичка анализа података добијених применом неуралне протезе“ јула 2018. године са оценом 10 и тиме завршила мастер студије са просечном оценом 10. Докторске студије уписала је 2018. године на изборном подручју Управљање системима и обрада сигнала. Положила је све испите на докторским студијама са просечном оценом 10.

Од 2018. године је запослена у Институту Михајло Пупин као истраживач приправник и уједно је и екстерни члан Лабораторије за неуроинжењеринг на ЕТХ у Цириху. Ради на европском „ERC“ пројекту „Feel Again“ под менторством руководиоца проф. др Станише Распоповића. Тренутно је и члан тима на пројектима под називом „AI-based nerve stimulation in patients with diabetic polyneuropathy (SmartStim)“ финансираном од стране Фонда за Иновациону делатност Републике Србије као и на пројекту „*Neuroprosthetic Device for Relief of the Pathological Issues caused by Diabetic Polyneuropathy*“ финансираном из позива ИДЕЈЕ Фонда за науку.

„In silico“ моделе нерава и одговарајућих нервних влакана кандидаткиња развија ради побољшања перформанси бионичке протезе доњих екстремитета. Решења за изазове и проблеме са којима се сусрећу приликом покушаја враћања сензорних осећаја пацијентима, кандидаткиња проналази бавећи се базичном неуронауком - анализирањем података из кичмене мождине, сензитивних ганглиона кичмених нерава и можданог кортекса са циљем разумевања механизма процесирања информација.

У току докторских студија остварила је сарадњу са Универзитетом у Питсбургу, Универзитетом у Санкт Петербургу и Универзитетом у Шефилду, кроз низ истраживачких

пројеката. Добитница је стипендије Швајцарског националног центра за истраживања у домену роботике („NCCR Robotics“), у категорији доктораната и постдоктораната. Објавила је рад у часопису „Nature Medicine“, радове у часописима „iScience“ и „Journal of Neural Engineering“, један рад је послат на ревизију у часопис „Cell Reports“ и објављен је тренутно на платформи „BioRxiv“. Објавила је поглавље под називом „Modern approaches of signal processing for bidirectional neural interfaces“ у књизи „Somatosensory Feedback for Neuroprosthetics“ издавачке куће „Academic Press Books - Elsevier“, и поглавље „Modeling of the peripheral nerve to investigate advanced neural stimulation (sensory neural prosthesis)“ у књизи „Handbook of engineering“ издавачке куће „Springer Nature Singapore“. Три године учествовала је на међународној конференцији „Society for Neuroscience“, где је излагала свој досадашњи рад. Позвана је била да буде један од 60 чланова скупа „Frontiers of Engineering symposium“. Била је једини стипендиста ван Сједињених Америчких Држава, од укупно 10 награђених од стране организатора скупа „NSF DARE Conference: Transformative Opportunities for Modeling in Neurorehabilitation“ у Лос Анђелесу ове године“, где је држала предавање о свом научном раду. Била је учесник и излагач у оквиру летње школе „The International Neuroengineering School 2022“ у Ђенови.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Декодирање неуралних механизма помоћу „in silico“ модела и експеримената на животињама са циљем обнављања соматосензорног осећаја применом неуропротеза“ (енгл. „Decoding neural mechanisms using in silico and animal models for restoring somatosensory feedback with neuroprostheses“) написана је на енглеском језику на 116 страница и садржи 43 слике, 3 табеле и 248 референци наведених по абecedном редоследу. Дисертација садржи 5 поглавља: 1) општи увод у тематику докторске дисертације, 2) три поглавља од којих свако садржи уводна разматрања, опис методологије и добијених резултата са дискусијом, 3) поглавље закључка које садржи сумиране доприносе докторске дисертације и критички осврт. На почетку дисертације су насловна страна на енглеском и српском језику, подаци о менторима и члановима комисије, захвалница на енглеском језику, сажетак на енглеском и српском језику, садржај, списак слика и списак табела. На крају тезе се налазе биографија кандидата, изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу (енг. “General introduction”) је описана мотивација за истраживање у области сензорне ресторације електричном стимулацијом. Описано је на који начин се сензорна информација природно преноси од периферије до соматосензорног кортекса, и дат је осврт на предности и недостатке постојећих приступа за враћање сензорног осећаја. У овом поглављу су дефинисани циљ истраживања и полазне хипотезе, наведени су научни доприноси и преглед научних публикација које их верификују, и дата је структура докторске дисертације.

У другом поглављу (енг. „In silico modeling of foot afferents“) представљен је „in silico“ модел аферената у стопалу, конструисан у оквиру докторске дисертације. Модел симулира нервни одговор на произвољан механички стимулус на стопалу. Модел омогућава декодирање активације аферената у природним динамичким ситуацијама, и тиме превазилази лимитације постојећих метода за снимање електрофизиолошких сигнала. Такође, може се користити као база за дефинисање нових, биомиметичких парадигми за електричну стимулацију.

Треће поглавље (енг. „Animal models can reveal novel insights about artificial somatosensory feedback“) кроз експерименте на приматима доказује да ли постоје ограничавајуће последице кодирања информација кроз нервни систем уз помоћ инвазивних електрода. Резултати студије показују разлоге лимитација тренутних неуропротеза.

Четврто поглавље (енг. „From in silico modeling towards sophisticated application in humans“) представља нови, транслативни „framework“ за дефинисање и тестирање биомиметичких парадигми стимулације. Кроз експерименте на животињама се показује на који начин се ове парадигме простиру кроз нервни систем и да ли је овакав тип електричног стимулуса сличнији природном додиру. Биомиметичка стимулација је имплементирана као део неуромодулативне протезе, и тестирани су доприноси оваквих парадигми у области развоја бионичких протеза. Показано је да приступ који почиње моделирањем, те пролази кроз тестирања на животињама и људима, може имати бенефите и са научног и са неуротехнолошког аспекта.

Пето поглавље (енг. „Conclusion“) представља критички осврт на резултате студије, истиче ограничења и даје препоруке за будућа истраживања и напредак у овој области.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Ампутација екстремитета значајно утиче на здравље и квалитет живота пацијента. Сваке године, само у Европској унији обави се око 87 хиљада ампутација доњих и око 6 хиљада ампутација горњих екстремитета. Најчешће коришћене комерцијалне протезе не преносе пацијенту информацију о покрету или интеракцији са подлогом по којој се особе крећу, или предметом који додирују. Соматосензорни осећај са периферије је од кључне важности за моторну контролу протезе и координацију пацијента. Пацијенти са ампутираним доњим екстремитетом, услед недостатка природног осећаја из стопала, склони су падовима, губе поверење у протезу, брзина хода се смањује, често се јавља несиметричан ход, а ментални и физички замор се последично повећава, што често доводи до још већих проблема, нпр. кардиоваскуларних. Такође, 50-80 % ампутираца осећа изузетно јак фактомски бол, који се јавља услед изостављене информације коју соматосензорни кортекс очекује са периферије. Услед недостатка сензорног осећаја протеза се доживљава као страног тело, што је један од главних разлога за одбијање коришћења протезе. Због наведеног, развој неуропротетичких система који би омогућили пацијентима да осећају одговарајуће сензације са периферије, а које су изостале из различитих медицинских разлога, је од изузетне важности.

Предмет ове докторске дисертације представља развој неопходних компоненти за дефинисање нових, комплексних начина стимулације очуваних периферних нерава помоћу неуропротетичких система, као и анализа начина процесирања вештачки изазваних информација са периферије и разумевање могућих неуралних механизма у кичменој мождини и другим сегментима соматосензорног система. У оквиру истраживања је развијен „in silico“ модел који опонаша рад природних сензора на стопалу – механорецептора. На основу развијеног модела омогућено је и дефинисање нових, биомиметичких начина стимулације. Коришћењем развијеног модела је могуће симулирати и начин активације механорецептора у динамичким условима као што је приликом хода, чиме се превазилазе тренутне лимитације снимања активације нервних влакана које су могуће само у мировању. Такође, допринос овог истраживања огледа се и у бољем разумевању соматосензорног система. Кроз експерименте на животињама објашњене су досадашње лимитације неуропротетичких система и њихови разлози, и анализирани су могући механизми процесирања и пропагирања различитих типова сензације у кичменој мождини и другим структурама соматосензорног система. Коначно, у оквиру докторске дисертације, приступ

ресторације сензације уз помоћ биомиметичких парадигми електричне стимулације интегрисан је као део бионичке протезе и тестиран први пут на пацијентима са ампутираним доњим екстремитетом. Крајњи исход докторске студије је нови концепт (енг. „framework“) за креирање биомиметичких типова стимулације: нове парадигме треба базирати на предикцији модела, примарно тестирати приступ на животињама и коначно потврдити перформансе у клиничким студијама на људима. Представљени резултати истичу важност биомимикрије и омогућавају превазилажење недостатака и напредак у развоју неуропротетичких система.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији је наведено 248 релевантних библиографских референци. Кандидаткиња је детаљно проучила литературу из области сензорне ресторације, електричне стимулације, и неуронауке. Кандидаткиња је показала ширину у сагледавању проблема који је предмет дисертације, цитирајући базичне, али и актуелне радове објављене у престижним научним часописима. Списак литературе укључује и радове које је кандидаткиња публиковала као аутор или коаутор, верификујући научне доприносе ове дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У оквиру истраживања су коришћене адекватне инжењерске и научне методе (засноване на релевантној литератури):

- Конструкција модела механорецептора стопала која обухвата дефинисање механичког дела која симулира пренос стимулуса кроз кожу на различитим деловима стопала и неуро дела који обухвата начин активације нервних влакана.
- Фитовање параметара модела на основу микронеурографских података снимљених на људима и процена тачности модела у некој од динамичких ситуација, нпр. активација механорецептора приком циклуса хода.
- Експерименти изведени на животињама, као и тестирање у оквиру клиничке студије на људима.
- Анализа сигнала из кичмене мождине, соматосензорног кортекса и других сегмената соматосензорног система применом стандардних техника познатих у области неуронауке, као и дефинисање нових метода анализе које до сада нису примењене на сличном типу података
- Упоредна анализа интерпретираних резултата експерименталне студије са механизмима описаним у литератури.

Истраживања на животињама и људима су рађена у складу са етичким кодексима и одобрена су од стране етичких одбора различитих држава. Кандидаткиња је на потпуно професионалан начин применила методе научних истраживања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Развијени „*in silico*“ модел је јавно доступан и отворен за слободно коришћење. Уз помоћ модела дефинисане су биомиметичке парадигме стимулације, тестиране су на животињама и интегрисане су у бионичку протезу која је тестирана у оквиру клиничке студије на пацијентима са ампутираним доњим екстремитетом у сарадњи са медицинским експертима Клиничког центра Србије.

Боље разумевање простирања и процесирања вештачки генерисане информације уз помоћ електричне стимулације од периферног до централног нервног система даје смернице за дефинисање нових приступа као и за превазилажење постојећих лимитација у области неуропротетике. Такође, уз помоћ новопредложеног концепта („framework“-а) ће бити олакшано дефинисање одговарајућег језика за комуникацију са нервним системом како би се повратио осећај што ближи природном. Описани приступ се може применити не само на

стимулацију периферних нерава, већ на било који облик неуромодулације који за циљ има ресторацију одређене сензације или функције.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током својих докторских студија, кандидаткиња је обавила опсежан преглед релевантне литературе из области сензорне ресторације, електричне стимулације, и неуронауке. Показала је способност да сагледа предности и недостатке постојећих решења, да самостално дефинише хипотезе истраживања и да их на систематичан начин тестира и валидира. Кандидаткиња је савладала вештине неопходне за успешно публикување резултата својих истраживања. У току трајања докторских студија, кандидаткиња је била екстерни члан Лабораторије за неуроинжењеринг на ЕТХ Цирих, где је и провела шест месеци захваљујући стипендији Швајцарског националног центра за истраживања у домену роботике („NCCR Robotics“). Такође, сва истраживања извела је у мултидисциплинарним тимовима, кроз колаборације са Универзитетима у Питсбургу, Санкт Петербургу и Шефилду.

На основу наведеног, Комисија констатује да је кандидаткиња достигла ниво самосталности неопходан за даљи научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Конкретни научни доприноси који прате израду докторске дисертације могу се сумирати кроз следеће:

- Конструисање реалистичног модела механорецептора на стопалу који би адекватно опонашао природну активацију нервних влакана зависно од механичког стимулуса примењеног на површини стопала.
- Дефинисање комплексних, биомиметичких типова стимулације на основу модела чијом применом би било могуће обнављање осећаја са периферије који је близак природном осећају.
- Допринос разумевању функционисања периферног нервног система. Конкретно, предвиђањем начина активације нервних влакана током динамичких момената (нпр. током циклуса хода) се доприноси превазилажењу једне од основних лимитација микронеурографског експерименталног приступа који је ограничен на статичке моменте.
- Дефинисање разлога лимитација при обнављању осећаја проприоцепције на основу анализе резултата експеримената на животињама.
- Дефинисање механизма процесирања осећаја додира и проприоцепције на основу анализе сигнала из кичмене мождине животиња и других структура соматосензорног система и извођење студије која испитује да ли је процесирање информације у кичменој мождини и другим структурама сензорног система изазване стимулацијом нерва неким од биомиметичких типова стимулације сличније процесирању информације изазване природним додиром.
- Дефинисање новог концепта („framework“-а) за развој нових, биомиметичких начина стимулације, полазећи од приступа моделирања, преко тестирања на животињама, до финалне валидације успешности у клиничким студијама коришћења бионичких протеза.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу увида у полазне хипотезе, циљ истраживања и остварене резултате, констатујемо да је кандидаткиња Наталија Катић успешно одговорила на сва релевантна истраживачка

питања докторске disertacije, a opisana doktorска disertacija predstavlja primer начина истраживања и напредовања у домену неуронаука и развоја неуропротеза.

Уз помоћ конструкције предложеног „*in silico*“ модела се може смањити број погрешних покушаја, омогућити прецизно и брзо дефинисање комплексних начина стимулације који могу бити основ за обнављање природне сензације са периферије, као и разумевање активације нервних влакана у ситуацијама у којима експерименте није могуће извести. Овај модел публикован је у међународном часопису *iScience* (M21), а његова примена приказана је кроз други рад који се тиче површинске електричне стимулације, такође објављен у међународном часопису *Journal of Neural Engineering* (M22).

Експерименталним приступом се долази до суштинског разумевања механизма и начина процесирања информације у соматосензорном систему. На тај начин јасније се дефинишу лимитације неуралних протеза и потенцијални разлози за то, а олакшава се и дефинисање могућих решења. Један део експерименталних истраживања на приматима објављен је на „BioRxiv“-у и тренутно је у ревизији у међународном часопису (*Katić Šecerović, Natalija, Josep-Maria Balaguer, Oleg Gorskii, Natalia Pavlova, Lucy Liang, Jonathan Ho, Erinn Grigsby, et al. 2021. "Neural Population Dynamics Reveals Disruption of Spinal Sensorimotor Computations during Electrical Stimulation of Sensory Afferents." Preprint. Neuroscience. <https://doi.org/10.1101/2021.11.19.469209>*). Такође, део резултате клиничке студије у којој се евалуирају бенефити бионичких протеза је објављен у међународном часопису *Nature Medicine* (M21a).

4.3. Верификација научних доприноса

Главни резултати истраживања кандидаткиње који су у току њених докторских студија објављени, излистани су у наставку:

а) Поглавља у истакнутој монографији међународног значаја:

1. Cimolato, Andrea, **Natalija Katić**, Staniša Raspopović. 2021. "Modern Approaches of Signal Processing for Bidirectional Neural Interfaces." In *Somatosensory Feedback for Neuroprosthetics*, 631–59. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822828-9.00016-2>
2. **Natalija Katić**, Giacomo Valle, Staniša Raspopović. 2022. "Modeling of the Peripheral Nerve to Investigate Advanced Neural Stimulation (Sensory Neural Prosthesis)." In *Handbook of Neuroengineering*, edited by Nitish V. Thakor, 1–30. Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2848-4_100-1

б) Радови објављени у научним часописима међународног значаја

1. Francesco Petrini, Marko Bumbaširević, Giacomo Valle, Vladimir Ilić, Pavle Mijović, Paul Čvančara, Federica Barberi, **Natalija Katić**, Dario Bortolotti, David Andreu, Knut Lecher, Aleksandar Lesić, Sanja Mazić, Bogdan Mijović, David Guiraud, Thomas Stieglitz, Asgeir Alexandersson, Silvestro Micera and Staniša Raspopović, „Sensory feedback restoration in leg amputees improves walking speed, metabolic cost and phantom pain”. *Nature Medicine* 25, 1356–1363, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0567-3> (IF₂₀₁₉= 36.130) (ISSN 1078-8956) (M21a)
2. **Natalija Katić**, Rodrigo Kazu Siqueira, Luke Cleland, Nicholas Strzalkowski, Leah Bent, Staniša Raspopović, Hannes Saal, "Modeling Foot Sole Cutaneous Afferents: FootSim." *iScience* 26 (1): 105874, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105874>. (IF₂₀₂₁ = 6.107) (ISSN 2589-0042) (M21)
3. Bucciarelli, Vittoria, Noemi Gozzi, **Natalija Katić**, Giovanna Aiello, Margherita Razzoli, Giacomo Valle, Staniša Raspopović, "Multiparametric Non-Linear TENS Modulation to Integrate Intuitive Sensory Feedback". *Journal of Neural Engineering* 20 (3): 036026, 2023. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/acd4e8>. (IF₂₀₂₁= 5.043) (ISSN 17412560) (M22)

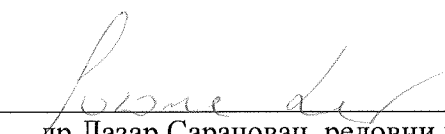
5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација Наталије Катић под насловом „Декодирање неуралних механизма помоћу „in silico“ модела и експеримената на животињама са циљем обнављања соматосензорног осећаја применом неуропротеза“ (енгл. „Decoding neural mechanisms using in silico and animal models for restoring somatosensory feedback with neuroprostheses“) испуњава све суштинске и формалне услове предвиђене Законом о високом образовању, као и прописима Универзитета у Београду и Електротехничког факултета. Значајан део истраживања у оквиру докторске дисертације је реализован захваљујући сарадњи са Лабораторијом за неуроинжењеринг на ЕТХ у Цириху. У докторској дисертацији је кандидаткиња потврдила постављене хипотезе. Дефинисала је комплексне, биомиметичке начине стимулације као основ за обнављање сензорног осећаја блиског природном. Показала је да је могуће симулирати простирање механичког стимулуса и процес активације нервних влакана а на основу микронеурографских снимања.


Узимајући у обзир све наведено, Комисија сматра да докторска дисертација Наталије Катић садржи оригиналне научне доприносе у области биомедицинског инжењерства, као и да је током рада на докторској дисертацији кандидаткиња Наталија Катић показала самосталност и зрелост у научно-истраживачким активностима. Комисија са задовољством предлаже да се докторска дисертација под називом „Декодирање неуралних механизма помоћу „in silico“ модела и експеримената на животињама са циљем обнављања соматосензорног осећаја применом неуропротеза“ (енгл. „Decoding neural mechanisms using in silico and animal models for restoring somatosensory feedback with neuroprostheses“) кандидаткиње Наталије Катић, 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, 11.07.2023.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Лазар Сарановац, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Горан Квашчев, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Станиша Распоповић, доцент
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich