

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Подобност теме и кандидата **Милице Исаковић**, студента докторских студија за израду докторске дисертације

---

Одлуком 5012/2015-1 од 19. јула 2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Милице Исаковић**, мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **“Генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом електричне стимулације”**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата и записника са усмене одбране предложене тезе доле потписна Комисија подноси следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Подаци о кандидату

##### 1.1. Биографски подаци

Милица Исаковић је рођена 9. маја 1992. године у Београду. Основне академске студије уписала је 2010. године на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду, на смеру Електротехника и рачунарство. У другој години студија се определила за модул „Сигнали и системи“. Дипломирала је 2014. године са просечном оценом 9.48 са радом: „Анализа главних компоненти електромиографских сигнала за класификацију покрета шаке“, под менторством проф. Мирјане Поповић са оценом 10. Одмах након основних студија уписала је мастер академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу „Сигнали и системи“. Положила је све испите са просечном оценом 10 и одбранила мастер рад септембра 2015. године са радом: „Утицај померања низа мерних електрода на избор обележја и класификацију покрета шаке на бази површинских електромиографских сигнала“ код Проф. Мирјане Поповић. Исте године је уписала докторске академске студије на истом факултету, на модулу „Управљање системима и обрада сигнала“.

Милица Исаковић је ангажована на пројекту основних истраживања ОИ 175016 „Ефекти асистивних система у неурорехабилитацији: опоравак сензорно-моторних функција“ којим руководи редовни професор у пензији Мирјана Поповић, а финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Србије у оквиру Електротехничког факултета Универзитета у Београду. Милица Исаковић је ангажована од стране *Tecnalia Serbia*, малог предузећа у Београду, које је део шпанске фондације *Tecnalia Research & Innovation*, Сан Себастијан. Посао у предузећу је директно везан за њен истраживачки рад и део је Европских истраживања са партнерима у Шпанији, Немачкој, Данској и другима. Један део истраживања везаног за тему докторске дисертације је презентовала на међународној конференцији IFESS 2018 одржаној у августу 2018. године у Нотвилу, Швајцарска, и освојила награду *Vodovnik Award* (3. место) за најбоље студентске радове.

##### 1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Положила је све испите и тренутно завршава докторску дисертацију. Као основну област рада у оквиру истраживања изабрала је под руководством Проф. Мирјане Поповић анализу могућности примене електричне стимулације за повратну спрегу особама које после

ампутације користе активну протезу шаке којом вољно управљају користећи као интерфејс електрмиографске сигнале. Прецизније, њен истраживачки рад се базира на развоју нових сазнања и технологија за активацију сензорног система руке особе после ампутације користећи више-електродне системе и нови тип електронског стимулатора. Основни циљ истраживања је да се развије систем који ће да унапреди примену нових технологија које треба да побољшају квалитет живота особа са моторним хендикепом. Положила је све испите предвиђене планом студија са одличним оценама, а списак предмета је у табели:

| Шифра                         | Назив предмета                                 | Оцена | ЕСПБ       | Датум      |
|-------------------------------|------------------------------------------------|-------|------------|------------|
| 13Д031ЛИН                     | Линеарне и нелинеарне методе анализе сигнала   | 10    | 9          | 14.09.2017 |
| 13Д051НП                      | Неуралне протезе                               | 10    | 9          | 01.09.2017 |
| 13Д051МКР                     | Моторна контрола и рехабилитација              | 10    | 9          | 23.06.2017 |
| 13Д051ТОП                     | Технике обраде и препознавања говорног сигнала | 10    | 9          | 23.06.2017 |
| 13Д091УНР                     | Увод у научни рад                              | 10    | 9          | 15.06.2017 |
| 13Д051КЕС                     | Класификација и естимација сигнала             | 10    | 9          | 23.09.2016 |
| 13Д051МИЕ                     | Методе и инструментација за електрофизиологију | 10    | 9          | 21.09.2016 |
| 13Д051НМ                      | Неуралне мреже                                 | 10    | 6          | 15.09.2016 |
| 13Д051ОМО                     | Одабране методе обраде физиолошких сигнала     | 10    | 9          | 12.09.2016 |
| 13Д051ОПД                     | Одабране примене дигиталне обраде слике        | 10    | 9          | 23.09.2016 |
| Научно стручни рад            |                                                |       | 3          |            |
| Студијски истраживачки рад I  |                                                |       | 15         |            |
| Студијски истраживачки рад II |                                                |       | 15         |            |
| <b>УКУПНО</b>                 |                                                |       | <b>120</b> |            |

Кандидаткиња је успешно овладавала техникама неопходним за рад на докторској дисертацији коју је пријавила. Кандидаткиња је са предузећем *Tecnia Serbia* обезбедила потребни хардвер за сва истраживања која је планирала. Милица је проучила и проучава стручну и научну литературу која је директно повезана са темом њеног истраживања, али и много шире да би своја истраживања на прави начин дисеминирала стручној јавности у свету.

Резултате досадашњег рада Милица Исаковић је публиковала у радовима у часописима са СЦИ листе и на конференцијама:

Радови објављени у научним часописима међународног значаја (M20):

1. **M. Isaković**, A. Savić, Lj. Konstantinović, M. Popović, „Validation of computerized square-drawing based evaluation of motor function in patients with stroke“ *Medical Engineering & Physics* vol. 71, pp. 114-120, 2019. DOI: 10.1016/j.medengphy.2019.06.001 (M23)
2. **M. Isaković**, J. Malešević, T. Keller, M. Kostić, M. Štrbac, „Optimization of semi-automated calibration algorithm of multichannel electrotactile feedback for myoelectric hand prosthesis“ *Applied Bionics and Biomechanics* vol. 2019, Article ID 9298758, 9 pages, 2019. ISSN: 1176-2322, DOI: 10.1155/2019/9298758 (M23)
3. M. Štrbac, **M. Isaković**, M. Belić, I. Popović, I. Simanić, D. Farina, T. Keller, S. Došen, „Short- and Long-Term Learning of Feedforward Control of a Myoelectric Prosthesis with Sensory Feedback by Amputees“ *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* vol. 25, no. 11, pp. 2133-2145, 2017. ISSN: 1534-4320, DOI: 10.1109/TNSRE.2017.2712287 (M21a)

4. J. Malešević, M. Štrbac, **M. Isaković**, V. Kojić, Lj. Konstantinović, A. Vidaković, S. Dedijer, M. Kostić, T. Keller, „Temporal and Spatial Variability of Surface Motor Activation Zones in Hemiplegic Patients During Functional Electrical Stimulation Therapy Sessions“ *Artificial organs* vol. 41, no. 11, pp. E166-E177, 2017. ISSN: 0160-564X, DOI: 10.1111/aor.13057 (M22)
5. T. Dimkić Tomić, A. Savić, A. Vidaković, S. Rodić, **M. Isaković**, C. Rodriguez-de-Pablo, T. Keller, Lj. Konstantinović, „ArmAssist Robotic System versus Matched Conventional Therapy for Poststroke Upper Limb Rehabilitation: A Randomized Clinical Trial“ *BioMed Research International* vol. 2017, Article ID 7659893, 7 pages, 2017. ISSN: 2314-6133, DOI: 10.1155/2017/7659893 (M22)
6. M. Štrbac, M. Belić, **M. Isaković**, V. Kojić, G. Bijelić, I. Popović, M. Radotić, S. Došen, M. Marković, D. Farina, T. Keller, „Integrated and flexible multichannel interface for electrotactile stimulation“, *Journal of Neural Engineering*, IOP Publishing, vol. 046014, no. 13, pp. 1-16, 2016. ISSN: 1741-2560, DOI: 10.1088/1741-2560/13/4/046014 (M21)

Радови објављени у зборницима међународних научних скупова (M30):

1. **M. Isaković**, M. Štrbac, J. Malešević, T. Keller, (2018, August). „Closed-loop Proprioception Training System Based on Wireless Hand Kinematics Sensor and Electrotactile Stimulation“ *Proc. of 22nd Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society (IFESS)*, pp. 140-143, Nottwil, Switzerland, August 28-31, 2018. (M33)
2. **M. Isaković**, A. Savić, Lj. Konstantinović, M. Popović, „The Drawing Test as a Tool for Evaluation of Motor Impairment: Correlation with the Wolf Motor Function Test“ *Proc. of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017*, pp. BTI1.1.1-BTI1.1.5, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017. ISBN:978-86-7466-692-0 (M33)
3. **M. Isaković**, M. Štrbac, M. Belić, T. Keller, S. Došen, „Proprioceptive feedback via dynamic stimulation patterns in closed-loop control of multi-DOF virtual prosthesis“ *Proc. of 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017*, pp. BTI2.2.1-BTI2.2.5, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017. ISBN:978-86-7466-692-0 (M33)
4. **M. Isaković**, M. Štrbac, M. Belić, G. Bijelić, I. Popović, M. Radotić, S. Došen, D. Farina, T. Keller, „Dynamic Stimulation Patterns for Conveying Proprioceptive Information from Multi-DOF Prosthesis“, *In book: Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation II*, Springer, Cham, pp. 601 - 605, 2017. (Proc. of 3rd International Conference on NeuroRehabilitation, Segovia, Spain, Oct 18-21 2016.) DOI: 10.1007/978-3-319-46669-9\_99, ISBN: 978-3-319-46668-2 (M33)
5. **M. Isaković**, M. Belić, M. Štrbac, I. Popović, S. Došen, D. Farina, T. Keller, „Electrotactile feedback improves performance and facilitates learning in the routine grasping task“, *European Journal of Translational Myology* vol. 26, no 3, pp. 197-202, 2016. ISSN: 2037-7452, DOI: 10.4081/ejtm.2016.6069 (M33)
6. J. Malešević, M. Štrbac, **M. Isaković**, V. Kojić, Lj. Konstantinović, A. Vidaković, S. Dedijer, M. Kostić, T. Keller, „Evolution of surface motor activation zones in hemiplegic patients during 20 sessions of FES therapy with multi-pad electrodes“, *European Journal of Translational Myology* vol. 26, no 2, pp. 175-180, 2016. ISSN: 2037-7452, DOI: 10.4081/ejtm.2016.6059 (M33)
7. **M. Isaković**, V. Kojić, M. Janković, A. Savić, „Is the N170 event-related component sensitive to red eye color change in face stimuli?“, *Proc. of 3rd International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN*, pp. MEI2.4.1-MEI2.4.5, 13-16. June, 2016., 2016. (M33)
8. **M. Isaković**, N. Miljković, M. Štrbac, M. Popović, „Effects of electrode array shift on sEMG-based grasp classification“, *Proc. of 2nd International Conference on Electrical, Electronic, and Computing Engineering IcETRAN*, pp. MEI1.1.1-MEI1.1.4, Srebrno jezero, Serbia, 8-11 Jun, 2015. ISBN: 978-86-7466-618-0 (M33)

Радови у објављени у часописима националног значаја (M50):

1. I. Popović, **M. Isaković**, I. Simanić, M. Štrbac, B. Grujić, „Površinska električna stimulacija kao povratna informacija sa podlaktne mioelektrične proteze za pospešivanje kontrole snage hvata“, *Balneoclimatologia*, vol. 40, no. 2, pp. 195-199, 2016. ISSN: 0350/5952 (M53)
2. I. Popović, **M. Isaković**, V. Živković, M. Štrbac, M. Radotić, G. Bijelić, „Senzorna supstitucija funkcionalnom električnom stimulacijom kod pacijenata sa transradijalnom amputacijom“, *Balneoclimatologia*, vol. 39, no. 2, pp. 376-380, 2015. ISSN: 0350/5952 (M53)
3. **M. Isaković**, N. Miljković, M. Popović, „Classifying sEMG-based Hand Movements by Means of Principal Component Analysis“ *Telfor Journal* vol. 7, no. 1, pp. 26-30, 2015. ISSN: 1821-3251, DOI: 10.5937/telfor1501026I (M53)

Радови објављени у зборницима научних скупова националног значаја (M60):

1. **M. Isaković**, N. Miljković, M. Štrbac, M. Popović, „Classification of sEMG-based hand movements is affected by electrode array positioning“, *Proc of the 2nd Conference on Human-Machine Interface from Student-to-Student Interface*, Academic Mind, University of Belgrade - School of Electrical Engineering, ISBN: 978-86-7466-542-8, Belgrade, Serbia, 20 Mar, 2015. (M64)

Милица Исаковић је положила докторски испит 2. септембра 2019. године пред комисијом коју је одредило Научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду у саставу: Жељко Ђуровић, редовни професор Електротехничког факултета БУ, Љубица Константиновић, редовни професор Медицинског факултета БУ, Марко Барјактаревић, доцент на Електротехничком факултету БУ и Милица Јанковић, доцент на Електротехничком факултету БУ.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Милица је положила све испите са одличним оценама и усмено одбранила предложену тему пред доле потписаном Комисијом.

Милица има шест радова у часописима (на два рада је први аутор) и осам радова (на седам радова је први аутор) на међународним конференцијама. Ове публикације је потпуно квалификују за финализацију и каснију одбрану тезе.

Милица је савладала у пуној мери начин припреме и пројектовања експеримената. Она постепено формира нове методе у којима се истиче њена оригиналност у научном раду заснована на одличном познавању литературе и одличном комуникацијом са експертима у њеном окружењу.

Милица Исаковић испуњава све услове за рад на докторској дисертацији коју је предложила.

## **2. Предмет и циљ истраживања**

Принцип рада миоелектричних протеза шаке је заснован на снимању електричне активности преосталих мишића на подлактици (флексори и екстензори ручног зглоба) и њихове конверзије у контролни сигнал за протезу [1]. Иако је на овај начин могуће у одређеној мери надокнадити функције изгубљене након ампутације шаке, један од главних недостатака комерцијално доступних протеза идентификован од стране корисника је изостанак повратних информација са протезе [2]. Повратне информације, које укључују проприоцепцију и сензорске информације које се не могу утврдити визуелном инспекцијом, као што је нпр. примењена сила хвата, би значајно олакшале контролу и у одређеној мери омогућиле кориснику да осећа овај механички систем као део свога тела [3]. Један од могућих приступа овом проблему је сензорска

супституција, односно прикупљање релевантних информација са протезе и преношење истих до корисника активирањем преосталих сензорских структура [4]. У ту сврху се може користити неинвазивна површинска електрична стимулација, где се осећај додира изазива струјним импулсима мале амплитуде [5-9]. Упркос јасно израженим потребама корисника и бројним истраживањима која указују на потенцијални значај пружања повратних информација са протезе [10-14], још увек не постоје комерцијално доступни системи који то омогућују, што ову тему чини изузетно актуелном и релевантном. *Предмет истраживања* у оквиру рада на докторској дисертацији ће управо бити примена електротактилне стимулације за пренос повратних информација у систему за управљање миоелектричном протезом шаке у затвореној спреси.

*Циљ истраживања* је развој система и метода обраде сигнала које би омогућиле пренос повратних информација високе резолуције са протезе до корисника у реалном времену. Пренос информација високе резолуције захтева развој и тестирање система за вишеканалну електричну стимулацију, испитивање могућности разумевања и препознавања информација кодираних модулацијом више параметара стимулације, дизајн стимулационих шема које би одговарале степенима слободе напредних миоелектричних протеза, као и валидацију целокупног система на здравим испитаницима и особама са трансрадијалном ампултацијом који се могу сматрати крајњим корисником ове технологије.

*Значај истраживања* се састоји у развоју нове технологије која би побољшала конвенционалне миоелектричне протезе шаке. Унапређење се односи на пружање вештачких соматосензорних повратних информација, што може побољшати квалитет миоелектричне контроле, смањити фантомски бол и помоћи корисницима да у већој мери прихвате протезу као део свог тела.

## 2.1 Списак референци

- [1] Oskoei, M. A., & Hu, H. (2007). Myoelectric control systems—A survey. *Biomedical signal processing and control*, 2(4), 275-294.
- [2] Peerdeman, B., Boere, D., Witteveen, H., Hermens, H., Stramigioli, S., Rietman, H., ... & Misra, S. (2011). Myoelectric forearm prostheses: state of the art from a user-centered perspective. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 48(6).
- [3] Antfolk, C., D'Alonzo, M., Rosén, B., Lundborg, G., Sebelius, F., & Cipriani, C. (2013). Sensory feedback in upper limb prosthetics. *Expert review of medical devices*, 10(1), 45-54.
- [4] Bach-y-Rita, P., & Kercel, S. W. (2003). Sensory substitution and the human-machine interface. *Trends in cognitive sciences*, 7(12), 541-546.
- [5] Szeto, A. Y., & Saunders, F. A. (1982). Electrocutaneous stimulation for sensory communication in rehabilitation engineering. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, (4), 300-308.
- [6] Kaczmarek, K. A., Webster, J. G., Bach-y-Rita, P., & Tompkins, W. J. (1991). Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38(1), 1-16.
- [7] Geng, B., & Jensen, W. (2014). Human ability in identification of location and pulse number for electrocutaneous stimulation applied on the forearm. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11(1), 97.
- [8] Jorgovanovic, N., Dosen, S., Djozic, D. J., Krajoski, G., & Farina, D. (2014). Virtual grasping: closed-loop force control using electrotactile feedback. *Computational and mathematical methods in medicine*, 2014.
- [9] Perović, M., Stevanović, M., Jevtić, T., Štrbac, M., Bijelić, G., Vučetić, Č., ... & Popović, D. B. (2013). Electrical stimulation of the forearm: a method for transmitting sensory signals from the artificial hand to the brain. *Journal of Automatic Control*, 21(1), 13-18.
- [10] Schweisfurth, M. A., Markovic, M., Dosen, S., Teich, F., Graimann, B., & Farina, D. (2016). Electrotactile EMG feedback improves the control of prosthesis grasping force. *Journal of neural engineering*, 13(5), 056010.
- [11] Witteveen, H. J., Droog, E. A., Rietman, J. S., & Veltink, P. H. (2012). Vibro-and electrotactile user feedback on hand opening for myoelectric forearm prostheses. *IEEE transactions on biomedical engineering*, 59(8), 2219-2226.

- [12] Dosen, S., Markovic, M., Strbac, M., Belić, M., Kojić, V., Bijelić, G., ... & Farina, D. (2017). Multichannel electrotactile feedback with spatial and mixed coding for closed-loop control of grasping force in hand prostheses. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(3), 183-195.
- [13] Stepp, C. E., An, Q., & Matsuoka, Y. (2012). Repeated training with augmentative vibrotactile feedback increases object manipulation performance. *PloS one*, 7(2), e32743.
- [14] Clemente, F., D'Alonzo, M., Controzzi, M., Edin, B. B., & Cipriani, C. (2016). Non-invasive, temporally discrete feedback of object contact and release improves grasp control of closed-loop myoelectric transradial prostheses. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 24(12), 1314-1322.

### 3. Полазне хипотезе

Дефинисане су следеће полазне хипотезе и пратећа питања на које ово истраживање планира да понуди одговоре:

- Повратне информације је могуће пренети до субјекта модулацијом више од једног параметра површинске електричне стимулације.

Питања на које ће се тражити одговори су: Промену којих параметара вишеканалне електричне стимулације (нпр. локација, амплитуда, фреквенција импулса) су субјекти у стању да препознају? Која је ефективна резолуција препознавања, односно број нивоа модулираног параметра које су субјекти у стању да успешно идентификују? Да ли се резолуција може повећати кроз тренинг?

- Примена електротактилне стимулације за пренос повратних информација омогућава значајно бољу контролу миоелектричне протезе при задатку рутинског хватања, као и краткорочно и дугорочно учење “*feedforward*” контроле.

Питања која ће се анализирати су: Да ли и на који начин примена електротактилне стимулације за пренос повратне информације утиче на контролу силе хвата миоелектричне протезе? Како се током лонгитудиналне студије контрола у отвореној спреси мења непосредно након вежбања контроле са повратном информацијом, а како из дана у дан? Које су разлике у перформансама и ефектима учења између здравих испитаника и пацијената са трансрадијалном ампултацијом? Како на перформансе управљања (успешност извршавања задатка) утиче избор сигнала који се путем електричне стимулације преноси испитанику?

- Субјекти су у стању да разликују интуитивне динамичке стимулационе шеме, кодиране модулацијом различитих параметара стимулације, и да их повежу са одговарајућим стањем протезе шаке (нпр. отварање/затварање шаке, ротација шаке, флексија/екстензија пучног зглоба, повећање/смањење силе хвата).

Питања која су постављена су: Модулацијом којих параметара стимулације и са којим вредностима се могу дизајнирати интуитивне динамичке стимулационе шеме који одговарају степенима слободе комерцијалних миоелектричних протеза? Са којим успехом су здрави испитаници и пацијенти са трансрадијалном стимулацијом у стању да разликују ове стимулационе шеме и повежу их са одговарајућим стањем протезе? Колико времена је потребно уложити у обучавање да би успешност препознавања стимулационих шема била на задовољавајућем нивоу?

### 4. Методе истраживања

Истраживања ће се обавити сложеним системом чије су компоненте:

1. Прототип система за пренос повратних информацију путем електричне стимулације са 16 канала *MAXSENS* (*Tecnalia Serbia*, Belgrade, RS; *Tecnalia R&I*, San Sebastian, ES);

2. Комерцијална миоелектрична протеза шаке *Michelangelo Hand* (Otto Bock Healthcare GmbH, Вијена, АТ) са активним ЕМГ електродама;
3. Програмска подршка за аквизицију и обраду ЕМГ сигнала, реализацију управљачке петље и слање команде протези, слање повратних информација са протезе и њихово мапирање у одговарајуће параметаре електричне стимулације, и управљање електричном стимулацијом путем *Bluetooth* протокола;
4. Програмска подршка за каснију обраду сигнала и анализу добијених резултата мерења и ефикасности система.

Рад на истраживању захтева тестирање компоненте 1, развој компоненти 3 и 4, и интеграцију свих компоненти у систем са једноставним корисничким интерфејсом, као и формулисање одговарајућих експерименталних протокола за испитивање и проверу полазних хипотеза. Обрада снимљених сигнала и добијених резултата мерења ће бити реализована у софтверском пакету *MATLAB* (The MathWorks, Natick, MA), док ће за имплементацију управљања миоелектричном протезом у реалном времену бити коришћено програмско окружење *Simulink* и *Real-Time Windows Target*. Развијени систем и методе обраде сигнала ће бити валидирани на здравим испитаницима, као и кроз клиничке студије на пацијентима са трансрадијалном ампутацијом.

## 5. Очекивани научни допринос

Предвиђени резултат истраживања је нови систем за слање повратних информација са миоелектричне протезе шаке, који омогућава пренос информација о тренутном стању протезе до корисника применом електричне стимулације подлактице. Очекивани научни доприноси се односе на следеће аспекте истраживања:

- Боље разумевање утицаја електротактилне стимулације на контролу миоелектричне протезе шаке у отвореној и затвореној спрези;
- Избор релевантних повратних информација односно одговарајућих сигнала који се путем електричне стимулације преносе кориснику протезе (нпр. остварена сила хвата или контролни сигнал протезе);
- Дизајн и имплементација интуитивних стимулационих шема за преношење повратних информација са миоелектричне протезе са више степени слободе;

## 6. План истраживања

- Преглед постојећих комерцијално доступних миоелектричних протеза шаке и метода за управљање протезом, са нагласком на обради површинских ЕМГ сигнала;
- Преглед постојећих техника за преношење повратних информација са протезе до корисника, са нагласком на приступ сензорске супституције и примену површинске електричне стимулације;
- Дизајн и тестирање система за електротактилну стимулацију подлактице и евалуација резолуције електроде применом просторног и фреквенцијског кодирања повратних информација на здравим испитаницима;
- Повезивање система за електротактилну стимулацију и система за управљање миоелектричном протезом и развој софтвера за управљање протезом у реалном времену;
- Испитивање краткорочних и дугорочних ефеката управљања миоелектричном протезом у затвореној спрези;
- Дизајн динамичких порука за интуитиван пренос информација о одређеном стању протезе путем површинске електричне стимулације, као и испитивање способности здравих испитаника и испитаника са ампутацијом шаке да их препознају и интерпретирају;
- Развој алгорита за калибрацију стимулационих амплитуда;
- Тестирање развијеног система;
- Писање научних публикација заснованих на резултатима тестирања развијених метода.

## 7. Закључак и предлог

Из достављене документације која укључује биографију и библиографију кандидата Милице Исаковића закључили смо се да се ради о веома успешној, амбициозној и мотивисаној младој особи. Подаци из биографије и библиографије указују да је кандидаткиња успешно интегрисана у рад у овој области са инжењерима и клиничарима. На основу изложеног, Комисија сматра да кандидаткиња испуњава све суштинске и формалне услове за рад на докторској дисертацији, као и да је предложена тема актуелна у свету у области биомедицинског и рехабилитационог инжењерства и области модула на који је уписана „Сигнали и системи“. Досадашњи резултати кандидаткиње припадају категорији која се очекује од успешних студената на Универзитету у Београду.

Предлог истраживања сугерише да ће резултат бити практични систем који отвара могућност даљег истраживања, али свакако и иновацијама које могу да постану од комерцијалног значаја. Предложена истраживања и наведене методе показују зрелост кандидаткиње, као и познавање проблема примене система у клиничким условима.

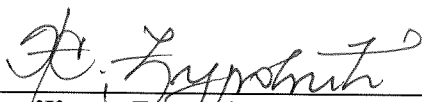
На основу свих наведених релевантних чињеница наш закључак је да мастер инжењер Милица Исаковић испуњава све услове за израду докторске дисертације и потврђујемо научну заснованост предложене теме „Генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом електричне стимулације“.

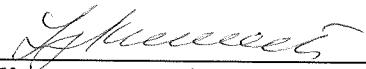
Сходно томе Комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета, Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације **„Генерисање екстероцепције при коришћењу миоелектричне протезе шаке применом електричне стимулације“** и да кандидаткињи **Милице Исаковић** омогући да приступи њеној изради.

Тема докторске тезе је у оквиру области истраживања у домену Биомедицинске технике на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду, и предлажемо ментора академика др Дејана Б. Поповића, професора Електротехничког факултета Универзитета у Београду у пензији.

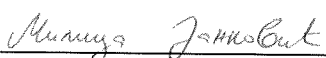
**ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ**

  
др Дејан Б. Поповић, академик, редовни професор у пензији  
Српска академија наука и уметности, Београд

  
др Жељко Вуровић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Љубица Константиновић, ванредни професор  
Универзитет у Београду – Медицински факултет

  
др Марко Барјактаревић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет

  
др Милица Јанковић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет