

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Тање Вуковић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства.

Одлуком Научно-наставног већа Електротехничког факултета у Београду бр. 1800/39 од 14.10.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње Тање Вуковић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **”Високорезолуциони електротактилни интерфејс за пренос просторних информација са додатних роботских удова”** (енгл. *High-resolution electrotactile interface for conveying spatial information from supernumerary robotic limbs*).

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидаткиње, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидаткињи

1.1. Биографски подаци

Тања Вуковић (рођ. Бољанић) је рођена 07.10.1995. године у Новом Саду. Основну школу „Раде Драинац“ и природно-математички смер Пете београдске гимназије завршила је у Београду са одличним успехом. Електротехнички факултет уписала је 2014. године. Дипломирала је на одсеку за Физичку електронику, модул Биомедицинско и еколошко инжењерство са просечном оценом 8.74. Дипломски рад одбранила је у јулу 2019. године са оценом 10. Дипломске академске – мастер студије на Електротехничком факултету у Београду, на Модулу за биомедицинско и еколошко инжењерство, уписала је у октобру 2019. године. Положила је све испите са просечном оценом 9.8 и у децембру 2020. године одбранила мастер рад са оценом 10. У октобру 2021. године уписује докторске академске студије на Електротехничком факултету у Београду, на модулу за Управљање системима и обраду сигнала, где је положила све предмете предвиђене студијским програмом са просечном оценом 10.

Аутор је три рада у часописима са SCI листе и девет радова са међународних конференција. Године 2022. освојила је награду „Дејан Поповић“ за најбољи рад младог истраживача представљеног у склопу секције Биомедицинског инжењерства на конференцији IcETTRAN под називом „Comparison of Time Domain Methods for Alignment of RR Signals Acquired by Different Sensor Systems“.

Од децембра 2020. године запослена је као млађи истраживач у фирми Tescalia Serbia, где је имала прилике да буде члан пројектног тима на три H2020 пројекта.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Докторске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду кандидаткиња Тања Вуковић је уписала школске 2021/2022. године на модулу Управљање системима и обрада сигнала. Током докторских студија је положила наставним планом и програмом предвиђене испите и испунила све обавезе, и то:

р.бр.	Назив испита	Оцена	ЕСПБ
1	Одабране методе обраде физиолошких сигнала (19Д051ОМО)	10	9
2	Неуралне мреже (19Д051НМ)	10	9
3	Методе и инструментација за електрофизиологију (19Д051МИЕ)	10	9
4	Неуровизуелизационе методе (19Д051НВМ)	10	9
5	Савремене технике обраде сигнала (19Д051СОС)	10	9
6	Одабране примене дигиталне обраде слике (19Д051ОПДОС)	10	9
7	Технике оптимизације у системима управљања и одлучивања (19Д051ТОС)	10	9
	Назив обавезе		
1	Студијски истраживачки рад I		24
2	Студијски истраживачки рад II		24

Током докторских студија, научноистраживачке активности Тање Вуковић су биле усмерене на аквизицију и обраду биомедицинских сигнала, са фокусом на дизајн, валидацију и унапређење носивих електрокардиографских система у реалним условима. Паралелно је истраживала и развијала електротактилну стимулацију као метод повратне спреге за пренос просторних информација са додатног роботског уда.

Кандидаткиња је до сада објавила 3 рада у часописима са SCI листе (један категорије M21, један M22 и један M23), и 9 радова на међународним конференцијама (8 категорије M33 и један категорије M34).

Списак публикација кандидаткиње Тање Вуковић (рођ. Бољанић):

Категорија M20 – Радови објављени у научним часописима од међународног значаја

1. **Boljanić, T.**, Baljić, M., Kostić, M., Barralon, P., Došen, S., Štrbac, M. Psychometric evaluation of high-resolution electrotactile interface for conveying 3D spatial information. *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, p. 19969, 2024, DOI: 10.1038/s41598-024-70990-7. ISSN 2045-2322 (online), IF₂₀₂₄=3.9 (**M21**)
2. **Boljanić, T.**, Isaković, M., Malešević, J., Formica, D., Di Pino, G., Keller, T., Štrbac, M. Design of multi-pad electrotactile system envisioned as a feedback channel for supernumerary robotic limbs, *Artificial Organs*, vol. 46, no. 10, pp. 2034-2043, 2022, DOI: 10.1111/aor.14339. ISSN 1525-1594 (online), IF₂₀₂₂=2.4 (**M22**)
3. **Boljanić, T.**, Miljković, N., Lazarević, Lj., Knežević, G., Milašinović, G. Relationship between electrocardiogram-based features and personality traits: Machine learning

Категорија M30 – Радови објављени у зборницима конференција од међународног значаја

1. **Boljanić, T.**, Štrbac, M., Malešević, J., Kojić, V., Topalović, N., Bijelić, G., Kostić, M. Design of the Heart Rate Measurement Module in a Telemonitoring Device for First Responders Deployed in Extreme Environments. In 13th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE), Cognitive Computing and Internet of Things, vol 43, pp. 50-57, 24-28 July, New York, 2022, DOI: 10.54941/ahfe1001838. (M33)
2. **Boljanić, T.**, Malešević, J., Kvašček, G. Deep Neural Network Approach for Artifact Detection in Raw ECG. IcETRAN, pp. 1-4, June 6-9, Novi Pazar, Serbia, 2022. (M33)
3. Malešević, J., **Boljanić, T.**, Budimir, F., Došen, S., Bijelić, G., Kostić, M., Štrbac, M. A pilot trial of a custom designed 8-pad electrode and a set of 16 dynamic patterns for providing tactile feedback to first responders. XXV Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society (IFESS), pp. 1-4, July 25-29, Rotterdam, The Netherlands, 2022. (M33)
4. **Boljanić, T.**, Malešević, Vujnović, S., Janković, M.M. Comparison of Time Domain Methods for Alignment of RR Signals Acquired by Different Sensor Systems. In 10th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), IEEE, pp. 1-4, 5-8 June, East Sarajevo, 2023, DOI: 10.1109/IcETRAN59631.2023.10192223. (M33)
5. **Boljanić, T.**, Malešević, J., Kostić, M., Štrbac, M. Overview of the Methods and Applications of Electrodermal Activity Assessment and Its Relation with Electrotactile Feedback and Potential Use in Automated Calibration. In 11th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering (IcETRAN), 3-6 June, Niš, Serbia, pp. 1-6, 2024, DOI: 10.1109/IcETRAN62308.2024.10645183 (M33)
6. **Boljanić, T.**, Baljić, M., Došen, S., Štrbac, M. The Role of Training Duration in Frequency Discrimination of Electrotactile Feedback. *Human Factors and Systems Interaction*. AHFE International Conference. AHFE Open Access, vol 154, pp. 114-122, 24-27 July, Nice, 2024, DOI: 10.54941/ahfe1005359 (M33)
7. Noccara, A., **Boljanić, T.**, Štrbac, M., Di Pino, G., Formica, D. Closed-loop Platform for Human Movement Augmentation with Electrotactile Feedback. In 10th International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob), pp. 1-6, September 1-4, Heidelberg, Germany, 2024, DOI: 10.1109/BioRob60516.2024.10719916. (M33)
8. Deiana, D., Pinardi, M., **Boljanić, T.**, Štrbac, M., Di Pino, G., Formica, D., Noccara, A. Characterization of Electrotactile Stimulation Intensity to Exploit the Funnelling Illusion. In 47th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), pp. 1-6, July 14-17, Copenhagen, Denmark, 2025. (M33)
9. **Vuković T.**, Malešević, J., Štrbac, M. Feature-Based Machine Learning and Deep Neural Networks for Real-Time Stress Classification from GSR and HR Signals. In 4th Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICAAI), May 29-30, Zlatibor, Serbia, 2025. (M34)

Током досадашњег научноистраживачког рада, учествовала је у следећим истраживачким и комерцијалним пројектима:

1. European Union's Horizon 2020 research and innovation programme – “SIXTHSENSE”, координатор пројекта Tecnalia Research & Innovation, 2020 – 2023
2. European Union's Horizon 2020 research and innovation programme – “NIMA”, координатор пројекта Tecnalia Research & Innovation, 2020 – 2024
3. European Union's Horizon 2020 research and innovation programme – “SUSFE”, координатор пројекта MEDTRONIC IBERICA SA, 2023 – 2026

Усмена одбрана теме докторске дисертације Тање Вуковић је одржана 30.10.2025. у просторијама Електротехничког факултета пред Комисијом у саставу др Коста Јовановић, ванредни професор, Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, др Војин Илић, редовни професор, Универзитет у Новом Саду – Факултет Техничких наука и др Лазар Сарановац, редовни професор Универзитет у Београду – Електротехнички факултет.

Комисија је закључила да кандидаткиња Тања Вуковић испуњава услове за рад на предложеној теми докторске дисертације и оценила испит оценом задовољила.

1.3. Оцена подобности кандидаткиње за рад на предложеној теми

Кандидаткиња је успешно завршила све обавезе предвиђене наставним програмом докторских студија: положила је све испите са одличним оценама, извештаји о студијским истраживачким радовима су усвојени, а на усменој одбрани теме докторске дисертације је дала детаљна образложења кључних аспеката истраживања као и одговоре на сва постављена питања. Досадашње научноистраживачке активности кандидаткиње су верификоване низом публикација у међународним часописима са SCI листе, часописима од националног значаја, публикацијама у зборницима међународних конференција, као и кроз практичну имплементацију на истраживачким и комерцијалним пројектима.

На основу претходног приказа резултата досадашњег рада и оствареног искуства, може се констатовати да кандидаткиња Тања Вуковић поседује истраживачко искуство које је квалификује за израду предложене теме докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања предложене докторске дисертације је развој и психофизиолошка евалуација високорезолуционог електротактилног интерфејса за пренос просторних информација са додатних роботских удова (eng. *Supernumerary Robotic Limbs – SRL*). *SRL* представља носиви роботски уређај који се ставља на тело корисника ради проширења његових моторичких способности [1]. Повратна спрега у реалном времену има кључну улогу у контроли *SRL*-а, јер може допринети побољшању регулације силе, прецизности покрета и брзини извршавања задатка, као и осећају инкорпорације роботског уда у телесну шему корисника (енг. *embodiment*) [2]. Међутим, повратна спрега у контексту *SRL*-а још увек није довољно истражена – већина постојећих студија фокусира се на примену код шестог прста, користећи углавном вибротактилне [3], [4], [5] и, у мањој мери, електротактилне приступе [6], [7].

Електротактилна стимулација представља неинвазивну технику за пренос сензорних информација путем електричних сигнала директно на кожу [8], што узрокује деполаризацију аферентних нервних влакана и генерисање осећаја [9]. Оваква стимулација изазива различите тактилне сензације у зависности од интензитета и фреквенције импулса [10]. У поређењу са другим типовима хаптичке повратне спреге који се ослањају на механичке елементе, електротактилни системи нуде вишеструке предности: ниску потрошњу енергије, приступачност, малу масу, нечујност при раду и кратко време одзива [11]. У оквиру модерних електротактилних система различите врсте сензорних повратних информација могу се преносити модулацијом параметара стимулације као што су трајање, ширина, фреквенција и амплитуда електричних импулса, као и локацијом стимулације и бројем активних поља [7], [12]. Захваљујући овим особинама, електротактилни системи се сматрају погодним за реализацију повратне спреге у преносивим уређајима као што је *SRL*. У циљу пружања повратне информације са *SRL*-а, доњи екстремитети представљају погодну локацију, јер се на тај начин минимизира мешање са природном проприоцепцијом горњих екстремитета који се користе за извођење циљног задатка и/или за контролу *SRL*-а [13], [14].

Истраживања доступна у литератури о електротактилној повратној спрези за доње екстремитете углавном се односе на једноканалне системе [15], [16]. Мањи број укључује вишеканалне системе, где је психометријска евалуација у досадашњим студијама била ограничена на максималан број од осам канала [17], [18]. Истраживања просторне резолуције електротактилне стимулације феморалног региона су ограничена и показују неуједначене резултате: праг дискриминације две тачке (eng. *two-point discrimination threshold - TPDT*) варира од 9.88 mm [19] до чак 57.85 mm [17]. Тачности просторне дискриминације при коришћењу осмоканалног електротактилног стимулатора варирају од 64.55% [17] до 98% [18].

Фокус овог истраживања је на развоју новог, високорезолуционог електротактилног интерфејса базираног на површинским матричним електродама са великим бројем проводних поља (32 са могућношћу проширења на 60 поља), постављеним на феморални регион корисника. Овакав број проводних поља (стимулационих канала) представља значајно унапређење у односу на досадашње системе описане у литератури, омогућавајући природнију повратну спрегу. Повратна спрега ће бити дизајнирана тако да кориснику пружи информације о положају *SRL*-а у тродимензионалном простору, где ће две димензије (координате) бити кодиране путем локације стимулације, а трећа путем фреквенције стимулације. Планирани психометријски тестови ће процењивати способност корисника да разуме принципе кодирања локације и фреквенције стимулације, појединачно и у комбинацији, у реалном времену. Биће разматрани сценарији статичког препознавања информација (препознавање задате локације/фреквенције стимулације), као и сценарији динамичког кодирања (задаци достизања циља у затвореној спрези).

Циљ овог истраживања је да се развије и експериментално евалуира високорезолуциони електротактилни систем за пружање интуитивне повратне спреге која омогућава кориснику да у реалном времену добија информације о положају и покретима додатног роботског уда. Остваривање повратне спреге високе резолуције захтева развој и тестирање система за вишеканалну електротактилну стимулацију, испитивање могућности разумевања и препознавања информација кодираних модулацијом више параметара стимулације, тестирање концепта целокупног система на здравим испитаницима, као и процену прихватљивости и когнитивног оптерећења током употребе интерфејса.

Значај истраживања огледа се у унапређењу постојећих хаптичких технологија кроз развој електротактилног интерфејса са већом просторном резолуцијом и пружање интуитивних соматосензорних повратних информација кориснику. Оваква повратна спрега са додатним роботским ударом има потенцијалне примене у индустрији и медицини (задаци манипулације са три руке, нпр. подршка током хируршких интервенција за истовремену манипулацију са три инструмента). Истраживање такође пружа важне психофизиолошке

увиде, посебно у погледу утицаја електротактилне стимулације на когнитивно оптерећење, хабицуацију и стрес, што је од кључног значаја за дизајн ефикасних и интуитивних хаптичких интерфејса у будућности.

- [1] D. Prattichizzo, M. Pozzi, T.L. Baldi, M. Malvezzi, I. Hussain, S. Rossi, and G. Salvietti, 'Human augmentation by wearable supernumerary robotic limbs: review and perspectives', *Prog. Biomed. Eng.*, vol. 3, no. 4, p. 042005, Oct. 2021, doi: 10.1088/2516-1091/ac2294.
- [2] M. Pinardi, M. R. Longo, D. Formica, M. Strbac, C. Mehring, E. Burdet, and G. Di Pino, 'Impact of supplementary sensory feedback on the control and embodiment in human movement augmentation', *Commun Eng*, vol. 2, no. 1, p. 64, Sep. 2023, doi: 10.1038/s44172-023-00111-1.
- [3] I. Hussain, L. Meli, C. Pacchierotti, G. Salvietti, and D. Prattichizzo, 'Vibrotactile haptic feedback for intuitive control of robotic extra fingers', in *2015 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, Evanston, IL: IEEE, Jun. 2015, pp. 394–399. doi: 10.1109/WHC.2015.7177744.
- [4] I. Hussain, G. Salvietti, L. Meli, C. Pacchierotti, D. Cioncoloni, and S. Rossi, 'Using the robotic sixth finger and vibrotactile feedback for grasp compensation in chronic stroke patients', in *2015 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)*, Singapore, Singapore: IEEE, Aug. 2015, pp. 67–72. doi: 10.1109/ICORR.2015.7281177.
- [5] T. Aoyama, H. Shikida, R. Schatz, and Y. Hasegawa, 'Operational learning with sensory feedback for controlling a robotic thumb using the posterior auricular muscle', *Advanced Robotics*, vol. 33, no. 5, pp. 243–253, Mar. 2019, doi: 10.1080/01691864.2019.1566090.
- [6] N. S. Meraz, H. Shikida, and Y. Hasegawa, 'Auricularis muscles based control interface for robotic extra thumb', in *2017 International Symposium on Micro-NanoMechatronics and Human Science (MHS)*, Nagoya: IEEE, Dec. 2017, pp. 1–3. doi: 10.1109/MHS.2017.8305192.
- [7] W. Wang *et al.*, 'Building multi-modal sensory feedback pathways for SRL with the aim of sensory enhancement via BCI', in *2019 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, Dali, China: IEEE, Dec. 2019, pp. 2439–2444. doi: 10.1109/ROBIO49542.2019.8961383.
- [8] A. Y. J. Szeto and F. A. Saunders, 'Electrocutaneous Stimulation for Sensory Communication in Rehabilitation Engineering', *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. BME-29, no. 4, pp. 300–308, Apr. 1982, doi: 10.1109/TBME.1982.324948.
- [9] M. A. Trout, A. T. Harrison, M. R. Brinton, and J. A. George, 'A portable, programmable, multichannel stimulator with high compliance voltage for noninvasive neural stimulation of motor and sensory nerves in humans', *Sci Rep*, vol. 13, no. 1, p. 3469, Mar. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-30545-8.
- [10] M. D'Alonzo, S. Dosen, C. Cipriani, and D. Farina, 'HyVE: Hybrid Vibro-Electrotactile Stimulation for Sensory Feedback and Substitution in Rehabilitation', *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 22, no. 2, pp. 290–301, Mar. 2014, doi: 10.1109/TNSRE.2013.2266482.
- [11] V. G. Chouvardas, A. N. Miliou, and M. K. Hatalis, 'Tactile displays: Overview and recent advances', *Displays*, vol. 29, no. 3, pp. 185–194, Jul. 2008, doi: 10.1016/j.displa.2007.07.003.

- [12] S. Dosen *et al.*, 'Multichannel Electrotactile Feedback With Spatial and Mixed Coding for Closed-Loop Control of Grasping Force in Hand Prostheses', *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.*, vol. 25, no. 3, pp. 183–195, Mar. 2017, doi: 10.1109/TNSRE.2016.2550864.
- [13] T. Boljanić *et al.*, 'Design of multi-pad electrotactile system envisioned as a feedback channel for supernumerary robotic limbs', *Artificial Organs*, vol. 46, no. 10, pp. 2034–2043, Oct. 2022, doi: 10.1111/aor.14339.
- [14] M. Pinardi, A. Noccero, L. Raiano, D. Formica, and G. Di Pino, 'Comparing end-effector position and joint angle feedback for online robotic limb tracking', *PLoS ONE*, vol. 18, no. 6, p. e0286566, Jun. 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0286566.
- [15] I.-H. Khoo, P. Marayong, V. Krishnan, M. Balagtas, O. Rojas, and K. Leyba, 'Real-time biofeedback device for gait rehabilitation of post-stroke patients', *Biomed. Eng. Lett.*, vol. 7, no. 4, pp. 287–298, Nov. 2017, doi: 10.1007/s13534-017-0036-1.
- [16] E. C. Wentink, E. J. Talsma-Kerkdijk, H. S. Rietman, and P. Veltink, 'Feasibility of error-based electrotactile and auditive feedback in prosthetic walking', *Prosthetics & Orthotics International*, vol. 39, no. 3, pp. 255–259, Jun. 2015, doi: 10.1177/0309364613520319.
- [17] R. Valette, J. Gonzalez-Vargas, and S. Dosen, 'The impact of walking on the perception of multichannel electrotactile stimulation in individuals with lower-limb amputation and able-bodied participants', *J NeuroEngineering Rehabil*, vol. 20, no. 1, p. 108, Aug. 2023, doi: 10.1186/s12984-023-01234-4.
- [18] G. D. Webb, D. J. Ewins, and S. Ghoussayni, 'Electro-tactile sensation thresholds for an amputee gait-retraining system', presented at the 3rd Annual Conference of the International Functional Electrical Stimulation Society, 2012. [Online]. Available: <https://openresearch.surrey.ac.uk/esploro/outputs/conferencePresentation/Electro-tactile-sensation-thresholds-for-an-amputee/99511987702346#file-0> [Accessed: Sep. 10, 2025].
- [19] M. Solomonow, J. Lyman, and A. Freedy, 'Electrotactile two-point discrimination as a function of frequency, body site, laterality, and stimulation codes', *Ann Biomed Eng*, vol. 5, no. 1, pp. 47–60, Mar. 1977, doi: 10.1007/BF02409338.

3. Полазне хипотезе

Предложено истраживање полази од следећих хипотеза:

1. Електротактилни систем са 32 канала и модулацијом параметара електричне стимулације (локације и фреквенције стимулације) обезбеђује велики пропусни опсег комуникационог канала, који омогућава кориснику да на интуитиван и прецизан начин перципира положај додатног роботског уда у тродимензионалном простору.
2. Динамичко кодирање током остваривања задатка навигације у затвореној спрези омогућава бољу перцепцију локације стимулуса у односу на статичко препознавање.
3. Динамичко кодирање са просторном модулацијом се може комбиновати са фреквенцијском модулацијом при чему се не умањује способност просторне дискриминације.
4. Репетитивна електротактилна стимулација доводи до хабитуације у смислу смањења физиолошких индикатора когнитивног оптерећења и стреса.

4. Научне методе истраживања

У оквиру дизајна електроде за електротактилну стимулацију, спровешће се серија пилот тестова који ће послужити као основа за дефинисање коначног изгледа и конфигурације електроде. Иако ће резултати ових тестова пружити смернице у избору дизајна, кључни параметри биће утемељени на антропометријским подацима о обиму бутине и психометријским налазима из релевантне литературе. Испитивања ће обухватити различите облике и величине поља на електроди, у циљу идентификације конфигурација које обезбеђују јасно локализован осећај испод активне електроде. Такође ће бити тестирани различити размаци између суседних поља електроде, ради одређивања минималне удаљености потребне за дискриминацију стимулуса. Поред тога, биће испитане различите конфигурације аноде, са циљем избора оне која пружа најбољу локализацију и квалитет перципираног осећаја.

За свако поље на електроди биће одређени прагови осећаја (праг сензације, локализације и дискомфорта). Анализа ће укључити статистичке методе за процену варијабилности прагова осећаја и дефинисање оптималног опсега стимулације за сваког испитаника.

Ефикасност развијеног електротактилног интерфејса биће процењена кроз серију психометријских тестова, који обухватају просторну и/или фреквенцијску дискриминацију у статичким и динамичким условима. Примарна излазна мера биће тачност препознавања: у статичким тестовима то ће бити проценат правилно препознатих стимулуса, док ће у динамичким тестовима представљати проценат успешно извршених покушаја постизања задатог циља навигацијом уз помоћ стимулуса.

У другом делу дисертације, фокус ће бити на анализи физиолошких сигнала као што су електродермална активност (енг. *electrodermal activity*, *EDA*) и варијабилност срчаног ритма (енг. *heart rate variability*, *HRV*), са циљем процене когнитивног оптерећења и потенцијалног стреса током коришћења електротактилне повратне спреге. Биће спроведен експеримент који испитује утицај различитих интензитета електротактилне стимулације на физиолошки одговор са фокусом на амплитуду одговора на стимулус у оквиру фазичне компоненте *EDA* сигнала (енг. *Skin Conductance Response*, *SCR*). У наставку, биће примењен задатак који ће укључивати просторну навигацију уз примену две врсте повратних спрега: (1) визуелне и (2) електротактилне. Биће анализирана обележја која се односе на тонијну (енг. *Skin Conductance Level*, *SCL*) и фазичну активност *EDA* сигнала, као и временска и фреквенцијска обележја *HRV* сигнала. Биће испитан и ефекат хабитуације, односно смањења физиолошког одговора током времена.

Целокупна анализа података биће спроведена у програмском окружењу *MATLAB* (*Mathworks*, САД). За потребе психометријске евалуације дизајниране електроде, у свакој фази биће развијена посебна апликација користећи *MATLAB App Designer*.

5. Очекивани научни допринос

У оквиру ове докторске дисертације се очекују следећи научни доприноси:

1. Развој високорезолуционог тридесетдвоканалног и шездесетоканалног електротактилног система за феморални регион са полуаутоматским процесом персонализованог подешавања оптималних интензитета стимулације,

2. Анализа утицаја трајања обучавања корисника и броја употребљених стимулационих канала (једноканална vs вишеканална стимулација) на разликовање фреквенција електротактилне повратне спреге,
3. Развој интуитивне електротактилне повратне спреге опонашањем покрета додатног роботског уда кроз модулацију параметара електричне стимулације (локације и фреквенције стимулације) ради представљања његовог тродимензионалног положаја у реалном времену,
4. Евалуација реализованог високорезолуционог електротактилног система у реалном сценарију са додатним роботским удом у затвореној повратној спреси,
5. Процена ефеката електротактилне стимулације на когнитивно оптерећење и стрес.

6. План истраживања и структура рада

Истраживање у оквиру докторске дисертације биће реализовано кроз неколико фаза:

1. Преглед литературе – преглед научно-стручне литературе у области електротактилних система са повратном спрегом и метода процене ефеката когнитивног оптерећења ради формирања протокола експеримената
2. Развој електроде за вишеканалну електричну стимулацију намењене сензорној повратној спреси за додатне роботске удове.
3. Развој апликације за контролу стимулатора и приказ визуелних информација при евалуацији дизајниране електроде у следећим сценаријима:
 - i. Испитивање оптималне анодне конфигурације
 - ii. Калибрација интензитета стимулације ради обезбеђивања конзистентне и пријатне електротактилне повратне спреге
 - iii. Испитивање просторне резолуције у статичким и динамичким условима, односно могућности препознавања активног стимулационог поља електроде
 - iv. Процена фреквенцијске резолуције електротактилног система
 - v. Испитивање комбиноване модулације параметара електричне стимулације (локације и фреквенције стимулације) у циљу побољшања информативности повратне спреге
4. Имплементација сензорно-моторне повратне спреге, тј. интеграција електротактилног система у управљачки циклус додатног роботског уда
5. Екстракција *EDA* и *HRV* обележја ради анализе когнитивног оптерећења и стреса током коришћења електротактилног система.
6. Дисиминација и верификација добијених резултата кроз објављивање у међународним научним часописима и презентовање на релевантним конференцијама.

7. Закључак и предлог

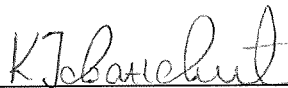
На основу достављене документације и увида у досадашњи рад кандидаткиње Тање Вуковић, Комисија оцењује да кандидаткиња поседује потребна знања и вештине који су неопходни за самостални научноистраживачки рад као и за реализацију предложене теме **„Високорезолуциони електротактилни интерфејс за пренос просторних информација са додатних роботских удова“**, тј. да испуњава све формалне и суштинске услове да приступи изради докторске дисертације.

Имајући у виду оригиналност и актуелност предложене теме, Комисија је сагласна да предложено истраживање задовољава све услове подобности за докторску дисертацију. Комисија констатује да је предложена тема докторске дисертације у оквиру уже научне области Биомедицинска техника за коју је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан, те за ментора израде докторске дисертације предлаже др Милицу Јанковић, редовног професора Универзитета у Београду-Електротехничког факултета. Уз извештај се прилаже и списак радова др Милице Јанковић, редовног професора, који је квалификују за ментора.

На основу претходно изложеног, Комисија сматра да су кандидаткиња и предложена тема подобни, и предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидаткињи Тањи Вуковић, мастер инжењеру електротехнике и рачунарства одобри израду докторске дисертације под насловом **„Високорезолуциони електротактилни интерфејс за пренос просторних информација са додатних роботских удова“**.

У Београду, 03.11.2025.

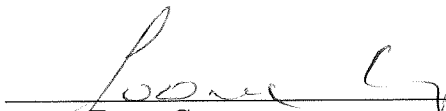
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



др Коста Јовановић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Војин Илић, редовни професор
Универзитет у Новом Саду – Факултет Техничких Наука



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