

ВЕЋЕ ЗА СТУДИЈЕ ПРИ УНИВЕРЗИТЕТУ

**Предмет:** Реферат о урађеној дисертацији кандидаткиње Миње Белић

Одлуком већа при Универзитету именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње **Миње Белић** под насловом:

„Примена алгоритама вештачке интелигенције за обраду кинематичких сигнала у дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсоназама”

Након прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија подноси Већу за студије при Универзитету у Београду следећи

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Миња Белић је школске 2014-2015. године уписала академске студије при Универзитету, модул Биомедицинско инжењерство и технологије. Током студија положила је све испите и испунила све обавезе у вези са студијским истраживачким радом предвиђене планом и програмом.

Кандидаткиња је пријавила тему докторске дисертације под насловом: „Примена алгоритама вештачке интелигенције за обраду кинематичких сигнала у дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсоназама”, а Веће за студије при Универзитету је на седници одржаној 20.5.2021. године донело одлуку о именовању чланова комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

1. др Милица Ђурић-Јовичић, виши научни сарадник, Електротехнички факултет
2. проф. др Наташа Драгашевић-Мишковић, ванредни професор, Медицински факултет
3. проф. др Дејан Поповић, академик, САНУ

На седници Већа за студије при Универзитету одржаној 8.11.2021. године одобрена је молба за замену члана комисије услед несрећних околности, те је на место проф. Др Дејана Поповића стављена проф. др Милица Јанковић, ванредни професор Електротехничког факултета.

На седници Већа за студије при Универзитету одржаној 7.2.2022. године усвојен је извештај комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације под насловом „Примена алгоритама вештачке интелигенције за обраду кинематичких сигнала у дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама”, а за менторе ове докторске дисертације именовани су проф. др Захарије Радивојевић и н.сав. др Саша Радовановић.

Веће за студије при Универзитету на седници одржаној 23.12.2022. године донело је одлуку о именовању Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Миње Белић под насловом „Примена алгоритама вештачке интелигенције за обраду кинематичких сигнала у дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама” у следећем саставу:

1. Проф. др Захарије Радивојевић, ванредни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду (ментор)
2. Др Саша Радовановић, научни саветник, Институт за медицинска истраживања, Универзитет у Београду (ментор)
3. Др Милица Ђурић Јовичић, виши научни сарадник, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду
4. Проф. др Наташа Драгашевић Мишковић, ванредни професор, Медицински факултет, Универзитет у Београду
5. Проф. др Милица Јанковић, ванредни професор, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада ужој научној области Биомедицинско инжењерство, тема има мултидисциплинарни карактер, при чему укључује техничке науке (развој и примена алгоритама, машинско учење) као и област неурологије. Ментори докторске дисертације су проф. др Захарије Радивојевић, ванредни професор Електротехничког факултета, Универзитета у Београду (област софтверско инжењерство и архитектура рачунара), и др Саша Радовановић, научни саветник на Институту за медицинска истраживања, Универзитет у Београду (област неурологије, неуродегенеративна обољења). Наведени ментори су аутори релевантних радова у истакнутим међународним часописима, од којих су најзначајнији наведени приликом пријаве тезе. Ментори испуњавају све формалне и законске услове за менторство ове дисертације.

## 1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Миња Белић (Перовић) рођена је 16.5.1986. у Ваљеву, где је завршила основну школу „Андре Савчић” и Специјализовано математичко одељење Ваљевске Гимназије. Дипломирала је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2012. године на одсеку за Физичку електронику, смер Биомедицински и еколошки инжењеринг, са завршним радом из области обраде слике „Метод препознавање дужице” под менторством проф. др Ирине Рељин. На

истој установи и смеру 2013. године добила је и диплому мастер инжењера електротехнике и рачунарства, са тезом из неуралног инжењерства „Електрична стимулација аферентних влакана подлактице површинским електродама за сензорну супституцију” под менторством проф. др Дејана Поповића. Студент је докторских студија Биомедицинског инжењерства и технологија на Универзитету у Београду, где се бави применом вештачке интелигенције у дијагностици Паркинсонове болести, са менторима др Саша Радовановић, научни саветник, и проф. др Захарије Радивојевић. Аутор је девет научних радова у међународним часописима, једног рада у домаћем часопису и шест конференцијских радова. Од 2020. одобрено јој је научно звање Истраживач приправник. Миња Белић је од 2022. запослена у фирми *Daon*, где се бави анализом података и развојем алгоритама за биометријско препознавање лица. Пре тога од 2019. била је запослена у компанији *Novelic* као алгоритама дизајн инжењер и технички менаџер пројекта, где се бавила обрадом радарских сигнала за детекцију људи и њихових виталних знакова. Од 2013. до 2019. радила је на применама електричне стимулације у рехабилитацији, као и аквизицији и обради електрофизиолошких сигнала у фирми *Tecnalia Serbia*. Од 2012. до 2013, као и у другој половини 2018. године бавила се обрадом дигиталних сигнала и обрадом података у биомедицинској лабораторији Иновационог Центра Електротехничког Факултета.

#### ***Радови објављени у међународним часописима***

1. **Belić, M.,** Radivojević, Z., Bobić, V., Kostić, V., & Đurić-Jovičić, M. (2023). *Quick computer aided differential diagnostics based on repetitive finger tapping in Parkinson's disease and atypical parkinsonisms. Heliyon* 9(4), **IF2023 = 3.776**, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14824>. (M22)
2. Malešević, N., Petrović, V., **Belić, M.,** Antfolk, C., Mihajlović, V., & Janković, M. (2020). *Contactless Real-Time Heartbeat Detection via 24 GHz Continuous-Wave Doppler Radar Using Artificial Neural Networks. Sensors*, 20(8), 2351. **IF2018 = 3.031**, doi: <https://doi.org/10.3390/s20082351> (M21)
3. **Belić, M.,** Bobić, V., Badža, M., Šolaja, N., Đurić-Jovičić, M., & Kostić, V. S. (2019). *Artificial intelligence for assisting diagnostics and assessment of Parkinson's disease—A review. Clinical neurology and neurosurgery*, 184, 105442. **IF2018 = 1.672** doi: [10.1016/j.clineuro.2019.105442](https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.105442) (M23)
4. Djurić-Jovičić, M., **Belić, M.,** Stanković, I., Radovanović, S., & Kostić, V. S. (2017). *Selection of gait parameters for differential diagnostics of patients with de novo Parkinson's disease. Neurological research*, 39(10), 853-861. **IF2019 = 2.401** doi: <https://doi.org/10.1080/01616412.2017.1348690> (M22)
5. Štrbac, M., Isaković, M., **Belić, M.,** Popović, I., Simanić, I., Farina, D., Keller, T & Došen, S. (2017). *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*, 25(11), 2133-2145. **F2016 = 4.191**, doi: [10.1109/TNSRE.2017.2712287](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2017.2712287) (M21a)

6. Djurić-Jovičić, M., Petrović, I., Ječmenica-Lukić, M., Radovanović, S., Dragašević-Mišković, N., **Belić, M.**, Miler-Jerković, V., Popović, M.B. & Kostić, V. S. (2016). *Finger tapping analysis in patients with Parkinson's disease and atypical parkinsonism*. *Journal of Clinical Neuroscience*, 30, 49-55. **IF2019 = 1.760**, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2015.10.053> (M23)
7. Štrbac, M., **Belić, M.**, Isaković, M., Kojić, V., Bijelić, G., Popović, I., Radotić, M., Došen, S., Marković, M., Farina, D. & Keller, T. (2016). *Integrated and flexible multichannel interface for electrotactile stimulation*. *Journal of neural engineering*, 13(4), 046014. **IF2019 = 4.141** doi: [10.1088/1741-2560/13/4/046014](https://doi.org/10.1088/1741-2560/13/4/046014) (M21)
8. Došen, S., Marković, M., Štrbac, M., **Belić, M.**, Kojić, V., Bijelić, G., Keller, T & Farina, D. (2016). *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. **IF2016 = 4.191**, doi: [10.1109/TNSRE.2016.2550864](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2550864). (M21a)
9. Đurić-Jovičić, M., Jovičić, N., Radovanović, S., Ječmenica-Lukić, M., **Belić, M.**, Popović, M., & Kostić, V. (2018). *Finger and foot tapping sensor system for objective motor assessment*. *Vojnosanitetski pregled*, 75(1), 68-77. **IF2018 = 0.272**, doi: <https://doi.org/10.2298/VSP150502323D> (M23)

#### **Радови објављени у домаћим часописима**

1. **Perović, M.**, Stevanović, M., Jevtić, T., Štrbac, M., Bijelić, G., Vučetić, Č., Popović Maneski L & 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. doi:<https://doi.org/10.2298/JAC1301013P>

#### **Саопштења са скупова**

1. **Belić M**, Savić A.M., Đorđević O., Kojić V., Konstantinović LJ, Keller T. (2018). *Towards optimization of electrical stimulation parameters using ultrasonic imaging: assessment of paravertebral muscles during voluntary and electrically induced contractions*, *Program Book, IFESS, 2018 Aug 29-31, Nottwil, Switzerland, pp 161*. (M34)
2. Malešević J, **Belić M**, Štrbac M, Kojić V, Bijelić G, Keller T (2018), *Practical effects of using electrodes with different hydrogels and grid patterns in surface electrical stimulation*, *Program Book, IFESS, 2018 Aug 29-31, Nottwil, Switzerland, pp 144*. (M34)
3. **Belić M**, Djurić-Jovičić M, Ječmenica Lukić M, Petrović I, Radovanović S, Popović M, Kostić V, (2016), *Implementation of discrete wavelet transformation in repetitive finger tapping analysis for patients with Parkinson's disease*, *22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) IEEE, 2016 Nov 25, Zlatibor, Serbia, pp 48, ISBN 978-86-7466-618-0* (M34)
4. Isaković M, **Belić M**, Štrbac M, Popović I, Došen S, Farina D, and Keller T, (2016) *Electrotactile feedback improves performance and facilitates learning in the routine grasping task*,

*IFESS, 2016 Jun 8-10; La Grande Motte, France; printed in European journal of translational myology. 2016 Sep 13;26(3). doi: 10.4081/ejtm.2016.6069 (M34)*

5. Miler-Jerković, V., Djurić-Jovičić, **M.**, Perović- **Belić**, M., Ječmenica-Lukić, M., Petrović, I. N., Radovanović, S. M., Popović, M. B.(2014) Multiple regression analysis of repetitive finger tapping parameters, *TELFOR, IEEE, 2014 Nov 25 (pp. 537-540), doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034465.* (M34)

6. Isaković, M. S., Štrbac, M., **Belić**, M., Keller, T., & Došen, S.(2017) *Proprioceptive feedback via dynamic stimulation patterns in closed-loop control of multi-DOF virtual prosthesis, IcETAN, 2017 Jun 12, Kladovo, Serbia, ISBN 978-86-7466-692-0 (M34)*

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација под називом „Примена алгоритама вештачке интелигенције за обраду кинематичких сигнала у дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама” написана је на енглеском језику на 119 страна куцаног текста и садржи 15 табела, 39 слика и 210 референци на штампане радове из области. Текст дисертације организован је у следеће веће целине:

1. Увод
2. Дијагностика Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама
3. Циљеви и хипотезе
4. Анализа репетитивног тапкања прстима
5. Анализа хода код Паркинсонове болести у парадигми двоструког задатка
6. Закључак
7. Додаци и референце

На почетку дисертације дата је насловна страна на енглеском и српском језику, подаци о менторима и члановима комисије, захвалница и сажетак дисертације, такође на енглеском и српском језику. На крају дисертације налазе се списак скраћеница, табела и слика, биографија кандидата, као и изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

### 2.1. Кратак приказ појединачних поглавља

Уводно поглавље пружа преглед Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама, укључујући њихове симптоме, хистопатолошке и клиничке биомаркере, сличности и разлике у клиничким сликама те изазове у диференцијалној дијагностици. Наглашава се важност

развоја нових објективних маркера за *in vivo* дијагностику ових обољења, будући да су стопе погрешне класификације за клиничке дијагнозе и даље високе.

У другом поглављу описују се тестови који се користе у клиничкој пракси за дијагностику Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама и представљају се неки од приступа дијагностици у савременој литератури који укључују употребу технологије, сензора и алгоритама, са посебним освртом на алгоритме вештачке интелигенције.

У поглављу 3. постављене су хипотезе докторског рада које ће се тестирати у поглављима 4. и 5. Основни циљ докторске тезе јесте да утврди да ли се на основу прикупљених кинематских података могу разликовати групе пацијената оболелих од Паркинсонове болести, атипичних паркинсонизама и неуролошки здраве групе. Прва радна хипотеза је да се из кинематичких података прикупљених у току теста репетитивног тапкања прстима могу уочити статистички значајне разлике између контролне групе и група пацијената оболелих од Паркинсонове болести (*PD*), мултипле системске атрофије (*MSA*) и прогресивне супрануклеарне парализе (*PSP*), као и разлике између појединачних обољења. Друга радна хипотеза је да се помоћу алгоритама вештачке интелигенције примењених на кинематичке податке могу на индивидуалном нивоу разлучити пацијенти са *PD* од особа без неуролошких обољења. Трећа радна хипотеза је да се помоћу алгоритама вештачке интелигенције могу на индивидуалном нивоу разлучити Паркинсонова болест и подврсте тестираних атипичних паркинсонизама. Четврта радна хипотеза је да се програмски могу одабрати скупови релевантних обележја кинематичких сигнала који повећавају успешност класификације посматраних обољења.

Поглавље 4. покушава да одговори на постављене хипотезе кроз употребу минијатурних инерцијалних сензора коришћених за квантификацију репетитивног тапкања прстима. Приказан је сензорски систем који се састоји од две инерцијалне јединице постављене на кажипрст и палац, и бежичне везе са компјутером на коме се чувају снимци. Дати су критеријуми искључења студије, као и демографски приказ и релевантне клиничке мере учесника у истраживању, што укључује особе са *PD*, *MSA*, *PSP*, и особе без неуролошких обољења.

У поглављу 4.4. статистичким поређењем параметара индивидуалних циклуса тапкања уочене су разлике међу тестираним групама чиме је потврђена прва хипотеза. Најзначајнији налаз је декремент амплитуде и брзине који је најизраженији међу пацијентима који болују од *MSA*, а није присутан код особа са *PSP* и здравих особа. Амплитуда тапкања значајно се разликовала између здравих особа и особа са неуролошким обољењима, али не и међу групама обољења.

Поглавље 4.5. одговара на другу хипотезу налазећи да се употребом машинског учења (*support vector machine*) за класификацију сигнала препроцесираних дискретном анализом таласићима могу разликовати здраве особе од особа са *PD* са специфичношћу од 100% и сензитивношћу од 82,5%. Наглашава се позитиван допринос изведених обележја која се ослањају на темпоралну прогресију тапкања.

Поглавље 4.6. покушава да одговори на трећу и четврту хипотезу, помоћу метода дубоког учења као и методама традиционалног машинског учења. Методе дубоког учења

(конволуционе мреже) нису се показале адекватним за ову сврху, јер нису успеле да разликују појединачне групе обољења, чак ни уз помоћ додатног тренирања конволуционим аутоенкодером нити уз аугментацију података помоћу генеративних мрежа (*GAN*). Ово је протумачено као последица недовољне количине прикупљених података за овај вид вештачке интелигенције. Проблему се затим приступило помоћу традиционалних метода машинског учења (*k nearest neighbors*) и аутоматским одабиром подскупа најкориснијих обележја из скупа већег броја екстрахованих обележја из прикупљених сигнала који су претходно процесирани на неколико описаних начина. Овај приступ потврдио је хипотезу 3. и 4, будући да су аутоматски одабрана обележја и алгоритам вештачке интелигенције успели да разликују четири тестиране групе учесника са укупном тачношћу 85,18%. Одабрано је шест обележја, од којих 4 са сензора на кажипрсту и 2 са сензора на палцу.

У поглављу 5. приступа се тестирању хипотеза 2. и 4. помоћу кинематичке анализе хода код *PD* пацијената и здравих испитаника. Друге две хипотезе нису тестиране на примеру хода јер подразумевају снимке пацијената са атипичним паркинсонизмима који нису овом приликом прибављени. За кинематску анализу коришћена је сензорска стаза по којој су испитаници ходали у три сценарија: базично ходање, ходање са моторним задатком (ношење чаше са водом) и ходање са менталним задатком (одузимање од 100 по 7). Иницијални скуп обележја добијен је од самог система са сензорском стазом, а програмски одабир је извршен помоћу *afinity propagation* кластеризације и рангирања алгоритмом *random forest*. Показано је да овако добијен скуп обележја даје бољу тачност класификације (85%) него скуп који се стандардно налази у литератури (80%). Нађено је да су обележја изведена из ходања са дуалним задатком значајније доприносила класификацији здравих и оболелих од ходања у базичном задатку.

Поглавље 6. закључује тезу и предлаже даље кораке у раду, посебно прикупљање кинематских података о ходу пацијената са атипичним паркинсонизмима, регрутацију више пацијената у раним стадијумима болести, ублажавање ефекта шума у дијагнозама и претварање описаних алгоритама у апликацију за клиничку употребу.

Додатно поглавље 7. приказује псеудо код алгорита за програмски одабир обележја коришћен у поглављу 4, као и кратак преглед структуре коришћеног кода.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. 3.1. Савременост и оригиналност

У докторској дисертацији разматра се актуелан проблем диференцијалне дијагностике Паркинсонове болести као једног од најчешћих неуродегенеративних обољења при чему број оболелих расте са порастом процента старијих особа у развијеном свету. Клиничка дијагностика паркинсонове болести посебно је тешка у раним стадијумима због сличности клиничке слике са атипичним паркинсонизмима и нови објективни маркери болести су добродошла помоћ у савременој дијагностици. Рад нуди решење у виду јефтних минијатурних сензора за квантификацију тапкања прстима уз помоћ вештачке интелигенције

која се у свету све више користи као помоћ у разним областима. Предлаже се и примена вештачке интелигенције у анализи хода. Из датог прегледа релевантне литературе види се да је примена сензора и вештачке интелигенције у дијагностици Паркинсонове болести актуелна тема, али је конкретан приступ изложен у овој тези нов и оригиналан.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидаткиња је опсежним прегледом литературе показала да је проучила радове у области дијагностике Паркинсонове болести, укључујући стандардне клиничке тестове и скале, као и примену технологије и вештачке интелигенције у дијагностици и праћењу овог обољења, наводећи примере медицинског сликања, анализе хода и покрета горњих екстремитета, уз кратак осврт на друге модалитете попут ЕЕГ студија и анализе покрета лица. Показано је разумевање проблематике диференцијалне дијагностике кроз описе сличности и разлика са атипичним паркинсонизмима и нивоа поклапања клиничких дијагноза са хистопатолошким анализама.

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

Теза је написана јасним језиком и описани су битни кораци који омогућавају понављање и проверу резултата. Примењене методе истраживања су поштовале све норме рада засноване на доказима, а сва клиничка испитивања су спроведена уз одговарајуће дозволе етичког одбора. Приказ испитивања и дискусија резултата дати су на начин који омогућава заинтересованим клиничарима и истраживачима у области биомедицине да наставе и унапређују методе за класификацију особа оболелих од Паркинсонове болести, мултипле системске атрофије, и прогресивне супрануклеарне анализе, и особа без неуролошких оштећења.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

У тези је изложена примена вештачке интелигенције у анализи кинематичких сигнала као помоћног алата у диференцијалној дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама. Овакав систем могао би се инкорпорирати у експертски дијагностички систем за брзу помоћ у дијагностици у клиничкој пракси, а може се и користити за стандардизацију мерења и прикупљања података за даље унапређење тачности класификације и испитивања карактеристика и специфичности неуродегенеративних обољења.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан рад

Миња Белић је показала да је у стању да се самостално бави научним радом у области биомедицинског инжењерства, као и да сарађује са мултидисциплинарним тимом сачињеним од стручњака неурологије и инжењера електротехнике, комбинујући истраживачки рад са практичним увидима у клиничку праксу. Кандидаткиња је и сама имала прилике да



присуствује клиничком раду у току прикупљања података и рада са испитаницима и схвата важност колаборације са крајњим корисницима система који се развија. Кандидаткиња способност за научни рад доказује и чињеницом да је коаутор 6 радова из области докторске дисертације, од којих је пет у интернационалним часописима, а један конференцијски.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### **4.1. Приказ остварених научних доприноса**

Научни допринос докторске дисертације је у развоју и примени метода за рачунарски потпомогнуту дијагностику Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама. Добијени резултати ове дисертације показују делотворност примене вештачке интелигенције за обраду кинематичких сигнала за брзу помоћ у раној дијагностици Паркинсонове болести, као и при разликовању тешко разлучивих врста атипичних паркинсонизама. Алгоритми за одабир обележја за класификацију указују на значај одређених параметара покрета који су у складу са познатим механизмима испитиваних патологија. Предложени системи и алгоритми могли би да допринесу унапређењу процеса клиничке дијагностике кроз увођење протокола за тестирање тапкања прстима помоћу инерцијалних сензора, издвајање различитих типова обележја од значаја и аутоматски предлог дијагнозе на коју спроведени тест указује. На сличан начин примењени алгоритми могли би помоћи у дијагностици путем анализе хода сензорском стазом.

### **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

Резултати приказани у тези потичу од добро изведеног прегледа постојеће литературе, познавања проблематике клиничке дијагностике и адекватног одабира система за прикупљање кинематичких података, као и познавања актуелних и применљивих алгоритама из области вештачке интелигенције. Рад указује на значај мултидисциплинарног приступа у дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама, с обзиром на изазове у раној и диференцијалној дијагностици испитиваних обољења. Медицинско знање специјалиста неурологије и неуронаука, уз исцрпан низ тестова спроведених над испитаницима с једне стране, минијатурни инерцијални сензори и сензоризоване стазе као достигнуће технологије и напредак на пољу вештачке интелигенције с друге стране искоришћени су за израду алгоритамских решења која би могла да помогну лекарима на клиници.

### **4.3. Верификација научних доприноса**

Научни доприноси докторске дисертације верификовани су следећим научним радовима:

1. **Belić, M.**, Radivojević, Z., Bobić, V., Kostić, V., & Đurić-Jovičić, M. (2023). *Quick computer aided differential diagnostics based on repetitive finger tapping in Parkinson's disease and atypical parkinsonisms*. *Heliyon* 9(4), **IF2023 = 3.776**, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14824>. (M22)
2. **Belić, M.**, Bobić, V., Badža, M., Šolaja, N., Đurić-Jovičić, M., & Kostić, V. S. (2019). *Artificial intelligence for assisting diagnostics and assessment of Parkinson's disease—A review*. *Clinical neurology and neurosurgery*, 184, 105442. **IF2018 = 1.672** doi: [10.1016/j.clineuro.2019.105442](https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.105442) (M23)
3. **Belić M.**, Djurić-Jovičić M, Ječmenica Lukić M, Petrović I, Radovanović S, Popović M, Kostić V, (2016), Implementation of discrete wavelet transformation in repetitive finger tapping analysis for patients with Parkinson's disease, *22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR) IEEE, 2016 Nov 25, Zlatibor, Serbia, pp 48, ISBN 978-86-7466-618-0* (M34)
4. Djurić-Jovičić, M., **Belić, M.**, Stanković, I., Radovanović, S., & Kostić, V. S. (2017). *Selection of gait parameters for differential diagnostics of patients with de novo Parkinson's disease*. *Neurological research*, 39(10), 853-861. **IF2019 = 2.401** doi: <https://doi.org/10.1080/01616412.2017.1348690> (M22)
5. Đurić-Jovičić, M., Jovičić, N., Radovanović, S., Ječmenica-Lukić, M., **Belić, M.**, Popović, M., & Kostić, V. (2018). *Finger and foot tapping sensor system for objective motor assessment*. *Vojnosanitetski pregljed*, 75(1), 68-77. **IF2018 = 0.272**, doi: <https://doi.org/10.2298/VSP150502323D> (M23)
6. Djurić-Jovičić, M., Petrović, I., Ječmenica-Lukić, M., Radovanović, S., Dragašević-Mišković, N., **Belić, M.**, Miler-Jerković, V., Popović, M.B. & Kostić, V. S. (2016). *Finger tapping analysis in patients with Parkinson's disease and atypical parkinsonism*. *Journal of Clinical Neuroscience*, 30, 49-55. **IF2019 = 1.760**, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2015.10.053> (M23)

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

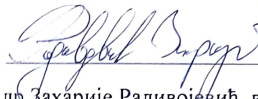
Докторска дисертација коју смо прегледали показује научну зрелост кандидаткиње Миње Белић. У тези су прецизно, јасно и концизно приказани резултати вишегодишњег истраживања. Резултати указују на корисност алгоритама вештачке интелигенције за анализу кинематичких сигнала у клиничкој дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама који би се могли користити за дијагностичку помоћ на неуролошким клиникама. Показана је способност алгоритама вештачке интелигенције да класификује кинематичке сигнале прикупљене са доњих и горњих екстремитета особа оболелих од Паркинсонове болести и особа без неуролошких обољења са високом тачношћу. Анализа тапкања прстију помоћу инерцијалних сензора показала је потенцијал машинског учења да међусобно разликује тестиране атипичне паркинсонизме, тешко разлучива неуродегенеративна обољења. Рад такође демонстрира могућност програмског одабира обележја која највише доприносе разликовању ових обољења на индивидуалном нивоу.

Део добијених резултата, као и исцрпан преглед литературе из области примене вештачке интелигенције у дијагностици и праћењу Паркинсонове болести штампан је у међународним

часописима од значаја, у којима постоји анонимна рецензија бар два експерта. Теза је према правилима која важе на Универзитету у Београду контролисана и софтверски проверена чиме је установљена оригиналност текста. Комисија сматра да је теза оригиналан научни допринос који би према правилима која важе на препознатим светским универзитетима задовољно критеријуме да буде прихваћен као докторска дисертација. Кандидаткиња је положила све потребне испите и задовољава све услове за стицање доктората на Универзитету у Београду.

На основу свих претходних чињеница, доле потписана Комисија са великим задовољством предлаже већу Универзитета у Београду да се докторска дисертација под насловом „Примена алгоритама вештачке интелигенције за обраду кинематичких сигнала у дијагностици Паркинсонове болести и атипичних паркинсонизама” кандидаткиње Миње Белић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање надлежним органима.

Чланови комисије:



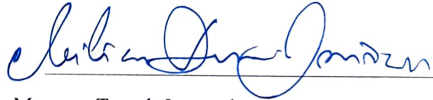
Проф. др Захарије Радивојевић, ванредни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет (ментор)



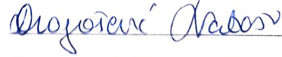
Др Саша Радовановић, научни саветник

Универзитет у Београду – Институт за медицинска истраживања (ментор)



Др Милица Ђурић Јовчић, виши научни сарадник

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



Проф. др Наташа Драгашевић Мишковић, ванредни професор

Универзитет у Београду – Медицински факултет



Проф. др Милица Јанковић, ванредни професор

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет