

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Подобност теме и кандидаткиње **Марије Гавриловић**, мастер инжењер електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације са насловом „Објективизација људског хода применом методе главних компоненти добијених са сигнала динамике стопала”.

Одлуком на 860. седници Научно-наставног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду одржаној 7. априла 2021. године заведеној под бројем 5014-14-1, 16. априла 2021. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидаткиње Марије Гавриловић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Објективизација људског хода применом методе главних компоненти добијених са сигнала динамике стопала”

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидаткиње и усмене одбране теме докторске дисертације одржане 29. априла 2021. године Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидаткињи

1.1. Биографски подаци

Марија Гавриловић (раније Петровић) рођена је у Београду 1990. године. Дванаесту београдску гимназију је завршила је 2009. године, а дипломирала је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2013. године на смеру Биомедицински и еколошки инжењеринг, са просеком 9.09. Наслов дипломског рада је био „Карактеризација људског хода на основу података добијених са инерцијалних сензора; примена анализе главних компоненти”, под руководством проф. др Дејана Поповића. Марија је проглашена најбољим студентом у генерацији на смеру. Мастер студије је завршила 2014. године, такође под руководством проф. др Дејана Поповића, са просеком 9.83. Наслов мастер тезе је био „Хеуристичка процена углова у зглобовима током хода на основу података добијених са инерцијалних сензора”. У новембру 2015. године, Марија се запослила у Клиничком центру Србије, у Националном центру “Гама нож”, на Неурохирургији. У јулу 2018. године, била је на летњој пракси у фирми *Telesign* на позицији *data scientist*. У августу 2019. године, Марија се запослила у *Etihad Airways*, на позицији *data scientist*, у којој и данас ради. У јулу 2020. године добила је награду од *Etihad Airways* *Star of the month*, за самостално развијен пројекат за детекције сумњивих случајева и развој апликације која подржава ту аутоматизацију.

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

Докторске студије је уписала у новембру 2014. г. на смеру Управљање системима и обрада сигнала. Све испите, који су у Табели, је кандидаткиња положила са просечном оценом 9.9.

Шифра предмета	Назив предмета	Оцена	Број ЕЦСБ	Наставник
13Д051МКР	Моторна контрола и рехабилитација	10	9	Поповић Мирјана
13Д051КЕС	Класификација и естимација сигнала	10	9	Ђуровић Жељко
13Д061ДЗЗО	Дозиметрија, заштита од зрачења и нуклеарни отпад	10	9	Станковић Ковиљка
13Д081СФ	Специјалне функције	10	9	Цакић Ненад
13Д091УНР	Увод у научни рад	10	6	Поповић Зоран
13Д051ТОП	Технике обраде и препознавања говорног сигнала	9	9	Ђуровић Жељко
13Д061БСП	Биомедицински сензори и претварачи	10	9	Михаиловић Пеђа
13Д081СИМБ	Одабрана поглавља из симболичке алгебре	10	9	Малешевић Бранко
13Д051МИЕ	Методе и инструментација за електрофизиологију	10	9	Поповић Дејан
13Д051НП	Неуралне протезе	10	9	Поповић Дејан
	Научно стручни рад		3	
	Студијски истраживачки рад I		15	
	Студијски истраживачки рад II		15	

Марија Гавриловић је самостално или у сарадњи са другим ауторима објавила 7 радова на међународним конференцијама, а један рад је у другом кругу рецензије у научном часопису са импакт фактором (M23).

Списак радова у зборницима са међународних научних скупова (M30):

1. Gavrilović, M.M., Popović, D.B., *Cyclograms Based on Principal Components for Assessing the Gait*. Proc. of 7th IcETAN, Academic Mind, Belgrade, Serbia, 2020, pp. 236-239, ISBN 978-7466-852-8 (M33)
2. Milovanović, J., Gavrilović, M.M., Topalović, I., Popović, D.B., *Influence of two weeks balance practice with feedback on the gait in hemiplegic patients*. Proc. of 5th IcETAN, Palić, Serbia, 2018, pp. 695-698, ISBN 978-86-7466-752-1, доступно на <https://www.etrn.rs/common/Zbornik%20ETAN%20IC%20ETAN-18-final.pdf>, (M33)
3. Kundaica, S., Gavrilović, M.M., Topalović, I. and Popović, D.B., *Effects of Wii-fit balance board exercise on the posture of stroke patients*. Proc. of 5th IcETAN, Palić, Serbia, 2018, pp. 703-706, ISBN 978-86-7466-752-1, доступно на <https://www.etrn.rs/common/Zbornik%20ETAN%20IC%20ETAN-18-final.pdf>, (M33)
4. Gavrilović, M.M., *Gyroscope based method for evaluation of gait symmetry*. Proc. of 5th IcETAN, Palić, Serbia, 2018, pp. 699-702, ISBN 978-86-7466-752-1, доступно на <https://www.etrn.rs/common/Zbornik%20ETAN%20IC%20ETAN-18-final.pdf>, (M33)
5. Gavrilović, M.M., *The application of principal component analysis in evaluation of rehabilitation of post-stroke patients*. 15th Young Researchers' Conference – Materials Science and Engineering, Belgrade, Serbia, 2016, pp.21 (M34).
6. Petrović, M.M., Čobeljić, R., Popović, D.B., *The Use of Inertial Measurements Units for the Evaluation of Spasticity: Pendulum Test*. Proceedings of 3rd IcETAN, Zlatibor, Serbia, June 13 – 16, 2016, pp. MEI1.5.1-4, ISBN 978-86-7466-618-0 (M33)
7. Petrović, M.M., Popović, D.B., *Heuristic estimation of joint angles during gait from data acquired by body-worn inertial sensors*. Proc. of 1st IcETAN, Vrnjačka Banja, Serbia, June 2 – 5, 2014, pp. MEI1.2.1-4, ISBN 978-86-80509-70-9 (M33)

У припреми је један рад у ком ће бити приказани резултати из клиничких истраживања.

На усменој одбрани за оцену услова и прихватање теме докторске дисертације су били присутни сви чланови Комисије На почетку усмене одбране, председник Комисије, др Милица Јанковић је констатовала да је предата документација комплетна и да су формални услови за одржавање усмене одбране теме докторске дисертације задовољени. Комисија се сагласила са том констатацијом. Комисија је закључила да је кандидаткиња Марија Гавриловић на јавној усменој одбрани предлажену тему докторске дисертације и добила оцену „задовољава“. Овај, једногласно потписан закључак је део Извештаја са усменог испита поднетог Студентском одсеку Електротехничког факултета Универзитета у Београду 29. априла 2021. године.

1.3. Оцена подобности кандидаткиње за рад на предложеној теми

Кандидаткиња је положила све испите и обавила све остале обавезе програма докторских студија. Кандидаткиња је објавила неколико радова и послала један рад за публикавање у часопису. Марија је стекла знања за самостални рад у анализи покрета и учествовала у клиничким истраживањима у Клиници за рехабилитацију „Др Мирослав Зотовић“ у Београду. Марија је показала да веома лако успоставља контакте и користан је члан истраживачког тима. Марија је успешно одбранила предлог теме истраживања на усменом испиту пред Комисијом у саставу: др Милица Јанковић, ванредни професор, др Ненад Јовичић, ванредни професор, др Надица Миљковић, ванредни професор, сви са Универзитета у Београду – Електротехнички факултет, и др Милица Ђурић Јовичић, виши научни сарадник, као члан Комисије који није са Електротехничког факултета Универзитета у Београду, именовани од стране Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду на седници бр. 860 одржаној 07.04.2021. године. Одбрани је присуствовао и проф. Дејан Поповић, академик у својству предложеног ментора дисертације.

Кандидаткиња је од августа 2014. године до фебруара 2015. године била на стручној пракси у Јапану, у лабораторији Тохоку Универзитета у граду Сендаи у Јапану.

На основу ових чињеница смо закључили да је кандидаткиња квалификована да настави рад на докторској дисертацији на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

2. Предмет и циљ истраживања

Нормалан ход човека је процес репетитивног понављања корака. Приликом сваког корака се понављају активности ипсилатералне и контралатералне ноге, уз временско кашњење. Ход се може описати као

синергистичка активност свих елемената сензорно-моторног система човека. Синергистичка активност се, инжењерским речником, може описати у облику временско-просторне шеме [1]. Током ходања, активирају се специфичне синергије током различитих временских интервала, и тај редослед је конзистентан у различитим обрасцима у одређеном ритму [2; 3]. Истраживачи су доказали да образац активације у нервном систему у току хода карактерише пет временских модула који не зависе од брзине хода, укључујући и трчање [4]. Исти истраживачи су показали да је број модула код тек рођене бебе два. Временом се повећа на четири, и затим у фази одрастања настаје и пети модул [5]. Истраживања су показала да при ходу уназад не могу да се користе исти модули [6].

Чињеница да постоји синергизам при ходу особе која нема промене на сензорно-моторном систему омогућује да се при анализи хода особа које имају поремећаје система посматрају разлике у односу на параметре који дефинишу синергизам. Повреда централног нервног система доводи до промена модалитета хода и синергизам се губи. Рехабилитација је процес учења пацијента да учествује у нормалним животним активностима са смањеним сензорно-моторним потенцијалом, евентуално потпомогнути асистивним системом. Део рехабилитације је ресторација хода, односно поновне обуке пацијента да са смањеним сензорно-моторним ресурсима стоји и хода на начин најсличнији ходу је имао пре поремећаја. У процесу рехабилитације је значајан фактор успешности протокола који се примењују, а тај фактор мора да буде објективно квантификован.

Објективизација хода се своди на анализу кретања тела у простору. Прецизна мерења кретања се обављају у специјалним лабораторијама за анализу покрета које интегришу систем камера који снимају систем маркера постављених на карактеристичне тачке на телу, мерне платформе уграђене у подлогу по којој испитаник хода и могућност интеграције бежичног система за мерење мишићне активности у току покрета [7]. Савремене камере користе комбиноване инфрацрвене и видео камере. Мерне платформе користећи мерне траке прецизно мере тродимензионалну расподелу силе реакције подлоге и уобичајено су 60 x 60 cm, тако да снимају силе само у току једног корака и то једне ноге. То је разлог да се користи више платформи постављених тако да снимају неколико корака обе ноге. Програми користе измерене положаје тачака (маркера) и испитивачу омогућују детаљну анализу кинематике (трајекторије, брзине, и убрзања маркера) и на основу њих угаоне промене између сегмената тела. Програм користи и сигнале са мерних платформи па омогућује и анализу динамике (силе, моменти, снага, енергија).

Да би могао да се анализира већи број корака у лабораторије за анализу хода се интегришу покретне траке (*treadmill*) испод којег су мерне платформе. Проблем је што се ход по покретној траци разликује од хода по непокретној подлози [8].

Алтернатива која је постала веома популарна, јер је применљива у клиничком окружењу, су преносни системи који бежично шаљу сигнала рачунару и омогућују анализу хода. Преносни системи користе инерцијалне минијатурне сензоре који мере убрзање, угаоне брзине и магнетно поље и често се називају инерцијалне мерне јединице (ИМЈ), а користе и улошке у ципеле или специјалне ципеле којима се процењује сила (притисак) реакције подлоге користећи пиезорезистивне или пиезоелектричне сензоре. Ови практични системи даје резултате који нису упоредиви по прецизности са мерним резултатима добијеним у лабораторији за ход. Последњих година се посвећује пажња развоју прецизнијих система (елиминисан хистерезис, обезбеђена поновљивост и довољна прецизност, могућност праћења компоненти силе реакције подлоге) [9].

Систем који се користи мора да прати кориснички програм који клиничару даје јасну и прецизну слику разлике. Конвенционалне анализе хода резултују великим бројем параметара, а то отежава примену и ефикасност процене разлика патолошког и нормалног хода. С обзиром на то, потребно је редукovati димензионалност мера коју даје мерни систем. Један ефикасан начин редукције броја променљивих је примена методе главних компоненти (*Principal Component Analysis* – ПЦА), а истовремено је погодно користити и дводимензионалне приказе који показују синергичност процеса. Дводимензионални приказ је погодан применом циклограма с обзиром на периодичност при ходу од корака до корака.

Све ово је део истраживања чији резултати ће бити у докторској дисертацији:

- Анализа ПЦА при здравом ходу. За снимање ће се користити *Gait Master*, једноставан систем за мерење кретања стопала и интеракције са подлогом у току хода [9]. *Gait Master* користи улошке у ципелама у којима су по 2 инерцијална сензора за мерење убрзања и угаоних брзина и по 5 сензора који мере силу реакције подлоге. Сигнали са сензора се бежично преносе до рачунара, приказују у реалном времену и меморишу ради касније математичке анализе. Постављање система је сведено на облачење ципела у којима су улошци;

- Развој програма којим се одређују главне компоненте и програма за анализу главних компоненти користећи циклограме;
- Анализа поновљивости резултата при разним брзинама хода при нормалном ходу;
- Снимање патолошког хода и анализа разлика при ходу пацијената са хемиплегијом.

Снимања на испитаницима ће бити у складу са протоколом који је одобрио етички одбор Клинике за рехабилитацију „Др Мирослав Зотовић“ у Београду. Избор и рад са пацијентима ће бити у сарадњи са квалификованим и обученим терапеутима и физијатрима. Сви испитаници ће потписати формулар да су информисани. Примена система је потпуно неинвазивна.

Резултати ових истраживања ће бити први степен за даља клиничка испитивања и формирање база података који ће касније омогућити аутоматску анализу перформанси, тј. разлика између нормалног и патолошког хода. Овај резултат директно унапређује рехабилитацију пацијената јер омогућује избор оптималног третмана на основу објективно процењеног унапређења хода.

Релевантни радови из области истраживања:

1. Popović M, Popović DB, A new approach to reaching control for tetraplegic subjects. *Journal of electromyography and kinesiology*, 1994; 4. 242-53.
2. Clark DJ, Ting LH, Zajac FE, Neptune RR, Kautz SA, Merging of healthy motor modules predicts reduced locomotor performance and muscle coordination complexity post-stroke. *J Neurophysiol.* 2010; 103(2):844-57.
3. Chvatal SA, Ting LH, Common muscle synergies for balance and walking, *Front Comput Neurosci.* 2013; 7(48):1-14.
4. Ivanenko YP, Poppele RE, Lacquaniti F, Five basic muscle activation patterns account for muscle activity during human locomotion. *J Physiol.* 2004; 556(Pt 1):267-82.
5. Dominici N, Ivanenko YP, Cappellini G, D'Avella A, Mondì V, Cicchese, M, Fabiano A, Silei T, Di Paolo A, Giannini C, Poppele R, Lacquaniti F, Locomotor Primitives in Newborn Babies and Their Development, *Science (New York, N.Y.)*, 2011; 334:997-999
6. Ivanenko YP, Cappellini G, Poppele RE, Lacquaniti F, Spatiotemporal organization of alpha-motoneuron activity in the human spinal cord during different gaits and gait transitions, *Eur J Neurosci.* 2008; 27: 3351–3368.
7. Akhtaruzzaman MD, Shafie AA, Khan MDR, Gait analysis: Systems, Technologies and Importance. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 2016; 16(07), p.1630003.
8. Shi L, Duan F, Yang Y, Sun Z. The Effect of Treadmill Walking on Gait and Upper Trunk through Linear and Nonlinear Analysis Methods, *Sensors (Basel)*, 2019; 19(9):2204
9. www.rehabshop.rs, accessed on March 12, 2021
10. Gavrilović M, Gyroscope-based method for evaluation of gait symmetry. *Proceedings of 5th IcETRAN*, Palić, Serbia, 2018, pp. 699-702. ISBN 978-86-7466-752-1
11. Milovanović, J., Gavrilović, M.M, Topalović, I, Popović, D.B., *Influence of two weeks balance practice with feedback on the gait in hemiplegic patients*. Proc. of 5th IcETRAN, Palić, Serbia, 2018, pp. 695-698, ISBN 978-86-7466-752-1-

3. Полазне хипотезе

Ова дисертација полази од две хипотезе :

- Анализа хода помоћу ПЦА је клинички применљива и корелисана са конвенционалним методама анализе
- Резултати модела хода су објективан репрезент за процену разлика патолошког и нормалног хода

У циљу провере хипотеза у истраживању ће бити добијени одговори на следећа питања:

1. Да ли је могуће квантификовати разлике у ходу здравих испитаника и пацијената после можданог удара користећи конвенционалне методе анализе хода?
2. Да ли је могуће користећи систем који садржи ГРФ сензоре, акцелерометре и жироскопе развити модел који квантификује (варијабилност) у ходу?
3. Да ли је могуће показати поновљивост резултата при различитим брзинама користећи циклограме у простору главних компоненти?
4. Да ли је модел хода клинички применљив за процену перформанси хода?

4. Научне методе истраживања

Истраживање се може поделити у следеће целине:

- Формирање протокола и мерење на здравим испитаницима и хемиплегичним пацијентима после можданог удара

- Анализа параметара хода, са посебним акцентом на симетрију
- Увођење новог модела хода и анализа циклограма при ходу здравих
- Анализа циклограма пацијената и праћење перформанси хода
- Дискусија о временским синергијама током хода

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће истраживање дати следеће научне доприносе:

- Развој модела хода који користи анализу главни компоненти и циклограме који приказују ход редукован на две димензије;
- Дефинисање мера које карактеришу циклограме у циљу процене разлике патолошких у односу на нормалан ход;
- Валидацију добијених мера статистичком анализом на здравим испитаницима;
- Нови приказ временских синергија у ходу тестиран у клиничким условима и коришћен од стране клиничара.

6. План истраживања и структура рада

Субјекти. У првој фази истраживања учествује осам особа код којих не постоји сензорно-моторни дефицит (здрави испитаници). У другој фази ће бити укључено бар пет пацијената после можданог удара са клиничким знацима хемиплегије. Сви тестови са пацијентима ће бити у складу са етичким принципима и вођени од стране акредитованог клиничара у Клиници „Др. Мирослав Зотовић“.

Протокол. Улошци одговарајуће величине се постављају у ципеле испитаника. Кратка процедура пре самог мерења (~ 30с) подразумевала калибрацију сензора: од испитаника се тражи да подигну леву, а затим десну ногу и задрже је у ваздуху око 2 секунде, а у истом интервалу испитивач укључује дугме за калибрацију нуле. Сигнали са жирокопа и акцелерометра не треба да се калибришу. Пре самог снимања, испитаник има времена да се навикне на улошке и окружење у којем се снима. Затим се од испитаника тражи да ходају различитим брзинама на равной подлози дужине 10 метара. Сигнали са свих сензора снимају се у три узастопне сесије са паузом од једног минута између сукцесивних мерних сесија.

Методe снимања и обраде података.

У првој фази истраживања, биће сниман ход испитаника који немају сензорно-моторне поремећаје. Испитаници ће бити различитих година и различитог пола, и ходаће разним брзинама. Снимаће се кинематика и динамика стопала и одредити циклограми у дводимензионалном простору главних компоненти. Користиће се *Bartlett's sphericity* тест да би се проверило да ли је скуп сигнала погодан за примену ПЦА. Посебно ће бити анализирани прве две главне компоненте у форми циклограма. Циклограм је затворена крива линија, те није важно који тренутак се дефинише као почетак једног циклуса и тиме избегава проблем одређивања тих тренутака. Користиће се као локални минимум једне од главних компоненти, и на тај начин поделити ход на узастопне циклограме. Добијени циклограми ће омогућити формирање стандардних форми који ће се касније у анализи патолошког хода користити за поређење квалитета хода. Посматраће се површине узастопних циклограма, тј. циклуса хода. Анализираће се циклограми за разне брзине хода испитаника који немају сензорно – моторне поремећаје. Анализираће се и поредити површине и стандардне девијације узастопних циклуса, и проверити њихова поновљивост. Очекују се значајне разлике између циклограма за разне брзине хода. При овој очекивана је мања поновљивост циклограма при спором ходу јер се тај ход са цикличне моторне активности делимично претвара у активност сличну циљаном покрету при ком кортикалне структуре значајно утичу на планирање покрета. Резултате класификације хода применом циклограма ће се упоредити са резултатима добијеним применом конвенционалних метода.

У другој фази истраживања, мериће се сигнали у току хода пацијената на клиници, у сарадњи са докторима и терапеутима у складу са протоколима које је одобрио етички одбор клинике (анализа случаја). Алгоритми развијени у току испитивања на здравим испитаницима ће се применити за анализу сигнала добијених у клиници. Провериће се какве су мере на оваквим сигнаlima и како се оне мењају у току терапије.

Очекује се да ће *Gait Master* мерни систем и софтвер који резултује из овог истраживања пружити клиничарима довољно ефикасан и једноставан начин за праћење перформанси хода пацијената после можданог удара у току рехабилитационог поступка.

7. Закључак и предлог

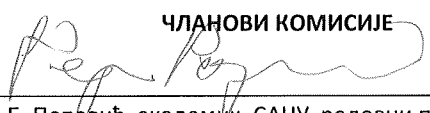
Марија Гавриловић, рођена Петровић, са дипломом мастер инжењер електротехнике и рачунарства стеченом на Електротехничком факултету у Београду је положила сви испите предвиђене програмом докторских студија са просечном оценом 9.9. Успешно је на усменом испиту о подобности теме докторске дисертације под насловом „Објективизација људског хода применом методе главних компоненти добијених са сигнала динамике стопала” образложила идеју, хипотезе, и метод истраживања, одлично одговорила на питања и добила оцену задовољава. У досадашњем раду је објавила седам радова на конференцијама, а један рад у научном часопису са импакт фактором у коме је део главних резултата дисертације је прихваћен за публикавање. У припреми је и други рад који ће бити поднет за публикавање у часопису категорије M21-M23 у току 2021. године. У досадашњем раду је кандидаткиња показала да је у стању да самостално формира нове идеје и развија протоколе истраживања. Марија је такође показала да може успешно да ради у тиму истраживача и да сарађује са клиничарима. Резултати који су досад добијени и они који су предвиђени да буду у дисертацији су од значаја за унапређење клиничке праксе у области рехабилитације пацијената после повреде централног нервног система и третману особа које немају нормалан образац хода.

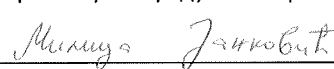
На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи рад кандидаткиње Марије Гавриловић, мастер инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће: 1. Кандидаткиња испуњава све формалне и суштинске услове прописане Законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета у Београду за израду докторске дисертације, и 2. Предложена тема „Објективизација људског хода применом методе главних компоненти добијених са сигнала динамике стопала” је научно заснована, а резултати до којих ће се доћи израдом ове докторске дисертације представљаће значајан и оригиналан допринос. Проблеми који се третирају у тези припадају области Биомедицинске технике.

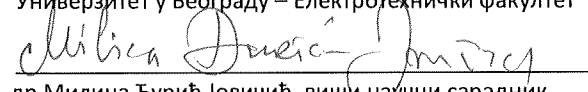
Узимајући у обзир све претходно наведено предлажемо Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да прихвати пријаву докторске дисертације, под насловом „Објективизација људског хода применом методе главних компоненти добијених са сигнала динамике стопала” кандидаткиње мастер инжењера електротехнике и рачунарства **Марије Гавриловић**, и да је упути на одговарајуће веће Универзитета у Београду са циљем коначног прихватања пријаве докторске дисертације. Предлажемо да ментор на овој тези буде др Дејан Поповић, академик САНУ, редовни професор Електротехничког факултета Универзитета у Београду у пензији,

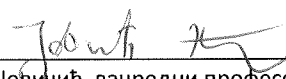
У Београду, 11.05.2021.

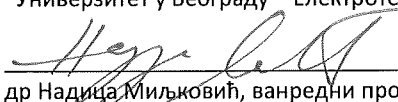
ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ


др Дејан Б. Поповић, академик, САНУ, редовни професор у пензији
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Милица Јанковић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Милица Ђурић Јовичић, виши научни сарадник
ИЦЕФ Електротехничког факултета Универзитета у Београду


др Ненад Јовичић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет


др Надица Миљковић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет