

Универзитет у Београду
Електротехнички факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата мр Милице Поповић Саковић

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета Универзитета у Београду број 5043/17-3 од 31.01.2022. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата мр Милице Поповић Саковић под насловом:

**„Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже
на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу“**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Милица Поповић Саковић је стекла академски назив Магистра електротехничких наука за област Телекомуникације на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Магистарску тезу под насловом „Утицај М2М и ОG саобраћаја на перформансе НSРA мреже и квалитет сервиса“ одбранила је 28.08.2013. године.

Кандидат је уписао докторске академске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, на модулу Телекомуникације, школске 2017/2018. године. Школску годину 2019/2020. кандидат је провео у статусу мировања по основу породичног одсуства.

Кандидат је 02.05.2019. године пријавио тему за израду докторске дисертације под називом: „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу“. Комисија за студије трећег степена Електротехничког факултета разматрала је 07.05.2019. године предлог теме за израду докторске дисертације и упутила Наставно-научном већу Електротехничког факултета предлог за формирање Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације. Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду на седници бр.

840 од 14.05.2019. године донело је Одлуку о именовању Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације, бр. 5043/17-1 од 23.05.2019. године. Дана 29.05.2019. године одржана је јавна усмена одбрана теме докторске дисертације и кандидат је успешно положио докторски испит пред Комисијом у саставу: др Александар Нешковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), председник комисије, др Никола Томашевић, научни сарадник (Универзитет у Београду – Институт Михајло Пупин), члан комисије који није запослен на ЕТФ-у, др Драган Олћан, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), члан комисије, др Наташа Нешковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), члан комисије. Наставно-научно веће Електротехничког факултета Универзитета у Београду усвојило је Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и донело је Одлуку о прихватању теме докторске дисертације, број 5043/17-2 од 11.6.2019. године. За ментора је истом одлуком именован др Младен Копривица, доцент на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, на седници одржаној 1.7.2019. године, дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације (број одлуке 61206-2718/2-19 од 1.7.2019. године).

Кандидат је 30.12.2021. поднео докторску дисертацију на преглед и оцену. Комисија за студије трећег степена потврдила је на седници одржаној 11.1.2022. године испуњеност потребних услова за подношење предлога за формирање Комисије за оцену докторске дисертације Наставно-научном већу Електротехничког факултета. Наставно-научно веће Факултета именовало је Комисију за оцену докторске дисертације (број одлуке 5043/17-3 од 31.01.2022. године) под насловом „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу“, у саставу: др Александар Нешковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Наташа Нешковић, редовни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Никола Томашевић, виши научни сарадник (Универзитет у Београду – Институт Михајло Пупин), др Драган Олћан, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет), др Дејан Драјић, ванредни професор (Универзитет у Београду – Електротехнички факултет).

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација мр Милице Поповић Саковић под насловом „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу“ припада научној области Техничке науке – Електротехника и рачунарство, ужој научној области Телекомуникације, за које је матични факултет Електротехнички факултет Универзитета у Београду.

Ментор докторске дисертације је др Младен Копривица, доцент на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, који се дужи низ година бави научноистраживачким радом у области електромагнетског зрачења у мобилним мрежама и објавио је већи број радова у истакнутим међународним часописима са JCR листе.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милица Поповић Саковић рођена је 1975. године у Београду. Редовне студије завршила је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Телекомуникације, 2002. године, одбраном дипломског рада „Конвертор из AutoCAD-а у Linpar“ код ментора академика проф. др Антонија Ђорђевића. Остварила је укупан просек оцена на студијама 8,76 (9,63 на последње две године студија) и оцену 10 за дипломски рад. Последипломске студије завршила је на Електротехничком факултету, смер

Телекомуникације, са просечном оценом 10. Магистарску тезу „Утицај М2М и ОГ саобраћаја на перформансе HSPA мреже и квалитет сервиса“, код ментора проф. др Мирослава Дукића, одбранила је 2013. године.

Од 2003. године запослена је у компанији Телеком Србија. Током професионалне каријере радила је на пословима планирања и развоја мреже, пројектовања, изградње, тестирања и пријема. Била је ангажована, као члан или координатор тима, на увођењу нових технологија и услуга у мрежу Телекома Србија, као и нових или оптимизованих принципа рада. Значајни пројекти укључују увођење технологија WLL и CDMA450 у мрежу, пилот пројекат WiMAX, припрему за производњу DSL каблова са домаћим фабрикама, пилот пројекат мултисервисног приступног уређаја (MSAN), пилот пројекат LTE, увођење CLL услуге, увођење LTE, пилот пројекте All-IP трансформације, пилот пројекат увођења оптичке мреже (GPON) у постојеће објекте, као и пројекат All-IP трансформације мреже. Водила је научно-истраживачки рад тима Телекома Србија на ЕУ пројектима LOLA и LEXNET, у оквиру програма FP7. Учествовала је у осмишљавању и реализацији друштвено-одговорне кампање „Бираш како комуницираш“, покривајући стручне аспекте кампање. Тренутно обавља послове Шефа службе за оперативну подршку у Дирекцији за технику.

Течно говори енглески и француски језик и служи се италијанским језиком. Члан је Инжењерске коморе Србије и поседује лиценцу одговорног пројектанта телекомуникационих мрежа и система. Члан је удружења IEEE.

Њен стручни и научни рад обухвата објављивање радова у међународним и домаћим часописима, презентацију радова на домаћим и страним конференцијама, предавања стручној јавности и студентима, учешће у изради књига, рецензије радова. Аутор је или коаутор 20 научних и стручних радова, од којих је 5 радова објављено у међународним часописима са JCR листе, 2 рада у домаћим часописима, 9 радова објављено је у зборницима међународних конференција и 4 рада у зборницима конференција националног значаја. Учествовала је као коаутор у изради поглавља у 3 стручне књиге међународних издавача.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу“ написана је на 130 нумерисаних страна и 9 почетних нумерисаних страна, латиничним писмом. Дисертација садржи насловну страну на српском, насловну страну на енглеском језику, празну страну, страну са подацима о ментору и члановима комисије, страну са подацима о докторској дисертацији на српском језику, страну са подацима о докторској дисертацији на енглеском језику, као и три стране са садржајем дисертације. Дисертација даље садржи 8 поглавља, преглед коришћене литературе, 2 прилога и биографију аутора. У тексту дисертације, без прилога, постоји 36 слика, 39 табела и 125 библиографских референци. Поглавља су насловљена на следећи начин: 1. Увод, 2. Преглед величина и норми којима се ограничава изложеност људи електромагнетским пољима, 3. Архитектура мобилне мреже, 4. Статистичка анализа кључних параметара мреже, 5. Развој методе за одређивање укупне просечне изложености становништва и појединца електромагнетском пољу бежичних телекомуникационих система, 6. Експериментална анализа утицаја коришћених сервиса на изложеност појединца, 7. Експериментална анализа утицаја архитектуре мреже на укупну средњу изложеност становништва, 8. Закључак. У Прилогу 1 табеларно су приказане нотације и симболи параметара и променљивих, док је у Прилогу 2 дата формулација индекса изложености. Након биографије аутора приложене су потписане изјаве: Изјава о

ауторству, Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу описана је укратко проблематика изложености електромагнетском пољу које потиче од мобилних комуникационих система и значај процене стварне укупне изложености. Дате су полазне хипотезе, мотивација и циљеви истраживања.

У другом поглављу дата је библиографска анализа величина и норми којима се ограничава изложеност људи електромагнетским пољима. Дат је преглед коришћених фреквенцијских опсега, основне величине преко којих се ограничава изложеност људи, а затим и преглед норми са нагласком на граничне вредности изложености за општу популацију, и то норми које су донеле међународне организације и тела (ICNIRP, ЕУ, IEEE, FCC, Health Canada, ARPANSA) и норми које су донете националним прописима. Дат је и кратак осврт на норме које доносе поједини градови и покрајине, а које су строже од норми дефинисаних међународним препорукама или националним прописима. Уз норме је дат и кратак историјат промена, посебно у последњих неколико година. Даље су описане методе мерења електромагнетског зрачења у циљу провере усклађености са прописима, као и методе за процену стварне изложености.

У трећем поглављу описана је архитектура мобилне мреже, у смислу примењених технологија и слојева мреже који се тичу величине ћелија. Приказани су типови малих ћелија и објашњени трендови њихове примене. Дата је и веза архитектуре мреже са изложеношћу електромагнетском пољу.

У четвртном поглављу дата је статистичка анализа кључних параметара мреже и то на начин да су најпре објашњени основни принципи рада мобилних мрежа који се тичу изложености електромагнетском пољу, затим су појединачно илустровани поједини механизми кроз статистичке параметре мреже или мерења лабораторијском опремом. Приказани су активност на радио интерфејсу, механизам контроле снаге, анализа снаге у *downlink*-у, мерења предајне снаге у *uplink*-у. Илустрован је утицај архитектуре мреже у смислу употребе макро, микро и фемто ћелија, као и утицај коришћених сервиса на изложеност електромагнетском пољу.

У петом поглављу приказан је развој нове методе за одређивање укупне просечне изложености становништва електромагнетском пољу бежичних телекомуникационих система. Објашњена је сврха увођења нове методе и циљеви приликом развоја методе, у смислу коришћења што више података који се могу добити из саме мобилне мреже, у реалном времену или у дужем периоду. Затим су описани извори података који се користе, као и детаљан развој методе у смислу одређивања изложености пољу које потиче од корисничких уређаја, одређивања изложености пољу од базних станица и комбиновања ових података у укупну средњу изложеност становништва или појединца. Затим је дата дискусија са анализом недостатака методе и предлозима за унапређење методе.

У шестом поглављу дата је експериментална анализа утицаја коришћених сервиса на изложеност појединца од мобилног уређаја. Анализирано је коришћење девет типичних сервиса у различитим радио условима и преко различитих мобилних технологија и дати су закључци по питању изложености, као и смернице за што мању изложеност особе од сопственог мобилног уређаја исказане кроз префериране технологије и услове преноса.

У седмом поглављу дата је експериментална анализа утицаја архитектуре мреже на укупну средњу изложеност становништва кроз два тестна случаја са по два сценарија. Најпре су дати дијаграм тока процеса и дијаграм калкулације и објашњен је на конкретним

примерима начин комбиновања података у односу на подручје које се посматра и у односу на податке прикупљене мерењима на терену и са мреже. На две тестне локације вршена су мерења за сценарио са укљученим микро слојем и сценарио са искљученим микро слојем, при чему се на две локације и микро ћелије разликују – на једној су у питању *outdoor* микро ћелије у урбаном окружењу, а на другој локацији су у питању *indoor* микро ћелије са дистрибуираним антенским системом у високо урбаном окружењу. Два тестна случаја су анализирана са становишта укупне изложености, као и по компонентама изложености – од мобилних уређаја и од базних станица и по доприносима технологија GSM и UMTS. У једном тестном случају анализирана је и укупна изложеност у две области покривања – макро слоја и „подвученог“ микро слоја – за два сценарија. За оба тестна случаја изведени су закључци по питању изложености. Затим је дата дискусија по питању утицаја архитектуре мреже на изложеност становништва, анализиран је утицај параметара на резултате методе кроз промену распореда корисника по слојевима која илуструје типичан *offloading* и дате су смернице за оптимизацију мреже у погледу изложености становништва.

У осмом поглављу дата су закључна разматрања у погледу вредности и перспективе развијене методе, а затим и у погледу утицаја архитектуре мобилне мреже на изложеност становништва електромагнетском пољу. Дати су предлози за унапређење методе коришћењем напредних алата у мобилној мрежи и откривен је потенцијал будуће мреже да се самооптимизује у погледу изложености. Дат је осврт на изазове процене изложености код нових мобилних технологија.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација припада области анализе изложености људи радио-фреквенцијским електромагнетским пољима, која је у фокусу и опште популације и научних радника, а посебно добија на актуелности са увођењем 5G технологије. У овој области су у претходне три године доношене нове међународне препоруке и прописи, што такође говори о актуелности теме. Очекује се висок раст броја повезаних уређаја, преносивих и мобилних уређаја, од којих се неки носе и на телу. Стога је важно сагледати реалну и укупну изложеност електромагнетским пољима, јер све више научних радова сугерише да је у условима коришћења масивних антенских поља и техника обликовања снопа изложеност прецењена у односу на постојеће методе провере које се базирају на максималним вредностима, јер су реалне вредности вишеструко мање. При томе, изложеност се у радовима процењује махом преко просторне расподеле снаге, не узимајући у обзир и друге факторе који на исту утичу. Сугерише се и да у условима комплексне мреже методе статистичког прорачуна постају једине меродавне. Оригиналност дисертације је управо развој обухватне статистичке методе прорачуна, која користи обухватне податке укључујући корисничке профиле, доб корисника, понашање на основу саобраћајне статистике у реалном времену, сервисе које користе, као и снагу коју емитују кориснички уређаји и расподелу снаге која потиче од базних станица у датом подручју. При томе метода користи податке из мобилне мреже у највећој могућој мери, како податке који се могу обрадити у готово реалном времену, тако и дугорочно прикупљене и анализиране податке из мреже. Оваква метода није забележена у литератури, а отвара врата за будућу мрежу која би имала средства да сама процени изложеност коју стварају њени уређаји и корисници, као и да се и перспективно самооптимизује.

Метода је демонстрирана коришћењем мерења у 2G и 3G мрежи у оперативном раду, али је применљива на било коју бежичну мрежу уз адекватно прикупљање података са

мреже. Коришћењем методе демонстриране су предности увођења слоја са малим ћелијама, али и могуће мане, и истакнута је важност брижљивог планирања мреже имајући у виду циљеве попут покривања, капацитета, као и смањене изложености електромагнетским пољима. Примена малих ћелија које се уводе из разлога повећања капацитета или проширења покривања, углавном доводе и до смањење изложености, али то веома зависи од примењене технологије и топологије. Применом редуковане методе на примеру појединца експериментално је одређена и изложеност приликом коришћења различитих сервиса у различитим условима и преко различитих технологија и извршена је детаљна анализа резултата која је показала који све фактори могу да утичу на изложеност, рачунајући ту и услове с краја-на крај, од мобилног уређаја до удаљеног сервера.

Имајући у виду савременост и актуелност описане проблематике, као и приказане резултате и применљивост развијене методе, Комисија сматра да дисертација кандидата задовољава све прописане стандарде.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Литература коју је кандидат користио у дисертацији је пажљиво одабрана и садржи најважније радове који покривају посматрану научну област. Велики број радова, као и препорука и прописа, је новијег датума што указује на актуелност одабране проблематике. На основу обима коришћене литературе може се закључити да је кандидат имао темељан увид у досадашње доприносе у овој и блиским научним областима. Наведено је укупно 124 библиографских референци. Листа укључује и 2 рада која је кандидат објавио у току израде дисертације, као и поглавље књиге у чијој је изради учествовао, а који су директно проистекли из рада на дисертацији.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У решавању постављених проблема докторске дисертације, као и у остваривању дефинисаних циљева, коришћене су следеће научне методе:

- Библиографска анализа дефинисаних величина и норми којима се ограничава излагање људи електромагнетским пољима која потичу од телекомуникационих уређаја;
- Анализа објављених радова и препорука, прописа и стандарда којима се дефинишу норме и методе мерења за проверу усклађености;
- Анализа статистичких података добијених из ћелије мобилне мреже за више различитих типова подручја и типова инсталације (*indoor/outdoor*), у циљу одређивања саобраћајног оптерећења мреже и других кључних параметара мреже у времену;
- У циљу статистичког одређивања и верификације профила емитоване снаге корисничког уређаја, анализа измерених одбирака предајне снаге уређаја у задатим мрежним условима, као и снаге коју уређај(и) прима(ју) – мерења по појединачном уређају и по ћелији, за више типова ћелија;
- Анализа одбирака предајне снаге мобилних уређаја добијених мерењем на терену, у циљу статистичког одређивања и верификације профила емитоване снаге, као и снаге сигнала који уређај прима;
- Експериментална анализа просторне расподеле интензитета електричног поља на више локација, у циљу одређивања изложености електромагнетском пољу које потиче од базних станица;

- Експериментална анализа сигнала који емитује кориснички уређај, за потребе одређивања фактора активности појединих апликација на радио интерфејсу корисничког уређаја;
- Статистичка анализа података са различитих мрежних подсистема (записи о позивима, систем за аналитику корисника, систем за аутоматску конфигурацију мобилних уређаја), као и са мрежних интерфејса у језгру (*core*) мреже, у циљу одређивања времена изложености корисника, профила коришћења сервиса, типова корисничких уређаја;
- Анализа статистичких извора података у вези са структуром и понашањем становништва по питању коришћења информационо-комуникационих технологија (ИКТ).

На основу анализе докторске дисертације може се закључити да примењене научне методе одговарају спроведеним научним истраживањима и оствареним циљевима у оквиру теме докторске дисертације.

3.4. Применљивост остварених резултата

Докторска дисертација потакнута је практичним проблемима у области изложености радио-фреквенцијском електромагнетском пољу. Најпре, иако су норме и начин мерења давно дефинисани и допуњавани или мењани у више наврата, из резултата провере усклађености са нормама се не може видети стварна изложеност у условима реалног коришћења, јер се за базне станице и мобилне уређаје усклађеност проверава одвојено и на различите начине – мерењима на терену и прорачунима или у лабораторијским условима пријављивањем максималних вредности. Забринутост јавности услед мултипликације извора и услед нејасноћа по питању стварне и укупне изложености и евентуалних опасности даље утиче на развој мреже, који је условљен дозволама за постављање базних станица.

Развијена метода управо омогућава одређивање стварне и укупне изложености становништва, узимајући у обзир све параметре који на исту утичу (не само снагу) на статистички начин и то коришћењем обимних података који се могу извући из стварне мреже у оперативном раду. Указано је и на то да би коришћење напредних алата за прикупљање и анализу података, који су развијени у друге сврхе, побољшало прецизност дате методе. У комплексном окружењу са више технологија и типова ћелија, укључујући и 5G, статистичко израчунавање изложености намеће се као једино изводљиво и веродостојно, а развијена статистичка метода може се применити на било који бежични систем уз одговарајућу колекцију података. Метода се може свести и на појединца и уз помоћ података са мреже оцењивати лична изложеност. Уз одређена претходна мерења, моделовање и калибрацију релације примљене снаге мобилног уређаја и густине снаге на месту корисника, могла би се користити само мрежна мерења, уз мрежну статистику. Увођење агената на мобилним уређајима могло би да корелисане податке о коришћеној апликацији, израченој снази и пријемној снази, као и податке о кориснику. Увођење напредних алата који се користе за побољшање корисничког искуства, попут алата са геолокацијом, такође би могло да допринесе прецизности методе, као и одређивању геопросторног распореда корисника и снага.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу прегледане дисертације, као и увидом у биографију кандидата, Комисија процењује да је кандидат мр Милица Поповић Саковић показала способност за самостални научно-истраживачки рад. Систематичан преглед постојеће научне литературе, препорука,

прописа и стандарда, уочавање практичних проблема и потребе за новом методом која би дала укупну стварну изложеност електромагнетском пољу, од мобилних уређаја и базних станица, у условима стварног коришћења ових технологија, осмишљавање експерименталних анализа, потребних података и сам развој оригиналне методе квалификују кандидата за самосталан научни рад. Кандидат је такође учествовао у међународним научно-истраживачким пројектима као вођа тима испред своје компаније, што такође указује на самосталан истраживачки рад. У прилог наведеном иде и чињеница да је кандидат објавио више научних радова у часописима са JCR листе на којима је први аутор, од чега су два директно проистекла из рада на дисертацији.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси који су остварени кроз докторску дисертацију су следећи:

- Развијена је нова метода за одређивање укупне просечне изложености становништва и појединца електромагнетском пољу бежичних телекомуникационих система која користи актуелне податке са мобилне мреже у оперативном раду. Наведени су правци побољшања прецизности методе увођењем напредних алата за прикупљање података у мобилној мрежи.
- На основу резултата експерименталних мерења у оквиру мобилне мреже у оперативном раду спроведена је верификација развијене методе и анализиран је утицај различитих параметара мреже на одређивање укупне изложености, од предајне снаге уређаја, величине ћелије, технологије, до сервиса који се користе.
- Спроведена је експериментална анализа утицаја коришћених сервиса на изложеност појединца у различитим радио условима и преко различитих технологија, за девет типичних врста сервиса.
- Дати су предлози за смањење изложености појединца електромагнетском пољу које потиче од бежичних мрежа и уређаја.
- Спроведена је експериментална анализа утицаја архитектуре мреже и коришћене технологије на укупну изложеност становништва кроз два тестна случаја, на две локације, са по два сценарија, са упоредном анализом изложености електромагнетском пољу које потиче од базних станица и пољу које потиче од корисничких уређаја, као и анализом доприноса појединачних технологија, GSM и UMTS. На основу експерименталних резултата утврђен је утицај архитектуре мобилне мреже, као и коришћене технологије, на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу.
- Дате су смернице за оптимизацију мреже у погледу изложености становништва.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем полазних хипотеза, постављених циљева и остварених резултата, констатујемо да је кандидат успешно одговорио на сва релевантна питања за решавање проблема дефинисаног предметом истраживања. Уз систематичан преглед постојеће научне литературе, препорука и стандарда и уочавање практичних проблема у оцени стварне и укупне изложености становништва, развој методе за одређивање укупне стварне изложености коришћењем података из великог броја извора унутар мобилне мреже и ван ње, у реалном времену и у дужем периоду, експериментална анализа утицаја коришћених

сервиса на изложеност појединца и експериментална анализа утицаја архитектуре мобилне мреже на изложеност становништва применом развијене методе представљају значајан допринос у области телекомуникација што је и верификовано објављивањем резултата истраживања у престижним међународним часописима са JCR листе.

4.3. Верификација научних доприноса

Кандидат је објавио два рада у међународним часописима JCR листе, који су директно проистекли из истраживања у сврхе израде докторске дисертације. Кандидат је у оквиру израде докторске дисертације учествовао као коаутор у изради поглавља књиге међународног издавача.

Категорија M21:

1. **Milica Popović Saković**, Mladen Koprivica, Jelena Milinković, Aleksandar Nešković, "Comparison of Average Total EMF Exposure for Microcell/Macrocell Topologies Using Novel Methodology Based on Operational Network Measurements," IEEE Access, August 2021, vol. 9, pp. 113770-113787, 2021, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3104930, ISSN: 2169-3536. Impact factor (2020) 3.367, M21.

Категорија M23:

1. **Milica Popović**, Mladen Koprivica, Jelena Milinković, Aleksandar Nešković, "Experimental analysis of individual EMF exposure for GSM/UMTS/WLAN user devices", Annals of Telecommunications, February 2019, Volume 74, Issue 1-2, pp. 79-91, DOI: 10.1007/s12243-018-0679-7, Print ISSN: 0003-4347. Impact Factor 1.546, M23.

Категорија M14:

1. Mladen Koprivica, **Milica Popović**, Aleksandar Nešković, "Chapter 5: Architecture of public mobile networks and its impact on EMF exposure", IET Telecommunications Series Book "Low Electromagnetic Emission Wireless Network Technologies: 5G and beyond", edited by Muhammad Ali Imran, Fabien Hélot, Yusuf Abdulrahman Sambo, IET - The Institution of Engineering and Technology, November 2019, pp. 115-139, ISBN: 9781785618482, Book DOI: 10.1049/PBTE084E, Chapter DOI: 10.1049/PBTE084E_ch5, M14.

Кандидат је објавио и друге радове који су уско повезани са истраживањем спроведеним у оквиру израде докторске дисертације.

Категорија M22:

1. Yuanyuan Huang, Nadège Varsier, Stevan Niksic, Enis Kočan, Milica Pejanović-Djurišić, **Milica Popović**, Mladen Koprivica, Aleksandar Nešković, Jelena Milinković, Azeddine Gati, Christian Person and Joe Wiart, "Comparison of average global exposure of population induced by a macro 3G network in different geographical areas in France and Serbia", Bioelectromagnetics, September 2016, Volume 37, Issue 6, pp. 382–390, DOI: 10.1002/bem.21990, ISSN: 0197-8462 (Print). Impact Factor 1.93, M22.

Категорија M33:

1. Mladen Koprivica, Vladimir Slavković, **Milica Popović**, Jelena Milinković, Aleksandar Nešković, "Experimental analysis of duty factor for WLAN user devices", 23rd

Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), Nov. 2015, pp: 145–148, DOI: 10.1109/TELFOR.2015.7377435, Electronic ISBN: 978-1-5090-0055-5.

2. Mladen Koprivica, Majda Petrić, **Milica Popović**, Jelena Milinković, Stevan Nikšić, and Aleksandar Nešković, “Long-term variability of electromagnetic field strength for GSM 900MHz downlink band in Belgrade urban area”, 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), Nov. 2014, pp. 9-12, DOI: 10.1109/TELFOR.2014.7034346, Electronic ISBN: 978-1-4799-6191-7.

3. **Milica Popović**, Mladen Koprivica, Stevan Nikšić, Jelena Milinković, and Aleksandar Nešković, “Methodology for the comparison of cellular technologies and services with respect to EMF exposure”, TELFOR 2014, Nov. 2014, pp. 13-16, DOI: 10.1109/TELFOR.2014.7034347, Electronic ISBN: 978-1-4799-6191-7.

4. **Milica Popović**, Miloš Tešanović, Benoit Radier, “Strategies for reducing the global EMF exposure: cellular operators perspective”, 11th International Symposium on Wireless Communications Systems (ISWCS), Aug. 2014, pp. 836-841, Electronic ISBN: 978-1-4799-5863-4, DOI: 10.1109/ISWCS.2014.6933469.

Категорија M52:

1. Mladen Koprivica, Majda Petrić, **Milica Popović**, Jelena Milinković, and Aleksandar Nešković, „Empirical Analysis of Electric Field Strength Long-Term Variability for GSM/DCS/UMTS Downlink Band“, Telfor Journal, Vol. 8, No. 2, 2016, pp. 87-92, 2016, ISSN: 1821-3251.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација кандидата мр Милице Поповић Саковић под насловом „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу“ у целини је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме и садржи све битне елементе који се захтевају Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У дисертацији је развијена метода за одређивање средње стварне изложености становништва у изабраном подручју електромагнетском пољу мобилних система, које потиче од базних станица и од корисничких уређаја, коришћењем великог броја података из мобилне мреже и спољних података где је то било неопходно. Спроведене су експериментална анализа утицаја коришћених сервиса на изложеност појединца пољу корисничког уређаја, као и експериментална анализа утицаја архитектуре мреже на изложеност становништва. Остварени резултати дисертације могу имати веома значајну примену у пракси. Резултате проистекле из истраживања спроведеног у оквиру докторске дисертације кандидат је објавио у водећим међународним часописима са JCR листе. На основу увида у докторску дисертацију и објављене радове кандидата, Комисија констатује да дисертација представља оригиналан и савремен научни допринос у домену телекомуникација.

Кандидат мр Милица Поповић Саковић показала је способност за самостални научни рад, што потврђује и чињеница да је објавила низ научних радова који су проистекли из дисертације, али и из других научно-истраживачких активности у којима је учествовала. Комисија констатује да је кандидат мр Милица Поповић Саковић, дипломирани инжењер електротехнике, испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

Имајући у виду наведено, Комисија са задовољством предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу” кандидата мр Милице Поповић Саковић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 03.03.2022. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ




др Александар Нешковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Наташа Нешковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Никола Томашевић, виши научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт Михајло Пупин



др Драган Олџан, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Дејан Драјић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет