

Одлуком Наставно-научног већа Електротехничког факултета, Универзитета у Источном Сарајеву, број 03-936/19 од 08.07.2019. године, именована је Комисија за оцену и одбрану урађене докторске дисертације кандидата мр Дарка Шукe под називом: „*Површинска густина енергије зрачења као интегрална мјера за карактеризацију изложености електромагнетској емисији*“.

(у даљем тексту: Комисија) у следећем саставу:

1. **Ванредни проф. др Мирјана Симић-Пејовић**, (Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ужа научна област *Телекомуникације*) - председник;
2. **Редовни проф. др Предраг Пејовић**, (Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ужа научна област *Електроника*) - ментор и члан;
3. **Редовни проф. др Томислав Шекара**, (Електротехнички факултет Универзитета у Београду, ужа научна област *Аутоматика*) - члан;
4. **Доцент др Божидар Поповић**, (Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, ужа научна област *Електроника и електронски системи*) - члан.
5. **Доцент др Мирјана Максимовић**, (Електротехнички факултет Универзитета у Источном Сарајеву, ужа научна област *Телекомуникације*) – члан;

Комисија је прегледала и оценила докторску дисертацију и о томе подноси Наставно-научном већу Електротехничког факултета у Источном Сарајеву следећи

ИЗВЕШТАЈ о оцени урађене докторске дисертације

1. Значај и допринос докторске дисертације са становишта актуелног стања у одређеној научној области

У савременом друштву постоје многи извори електромагнетског (ЕМ) зрачења. Сви они доприносе повећању ЕМ интерференције, при чему је изложеност људи природним изворима занемарљива у поређењу са оним из вештачких извора. У оквиру ове дисертације фокус је стављен на телекомуникационе технологије испитивањем изложености радио-фреквентном (РФ) ЕМ пољу, углавном од базних станица мобилне телефоније (GSM - *Global System for Mobile communications*, DCS - *Digital Cellular System* и UMTS - *Universal Mobile Telecommunication System*), јер су то најрелевантнији РФ извори у свакодневном окружењу. Пошто ови системи користе емисију ЕМ таласа као основу за њихову међусобну повезаност, велики проценат зрачења, којем су људи изложени, долази управо од њих. Као последица тога, долази до повећања нивоа ЕМ поља у животној средини. Генерално, становништво се плаши ефеката овог типа „*загађења*“. Из тих разлога, веома је важно објективно пратити и проценити ниво ЕМ зрачења у животној средини. Истраживачки програм Светске здравствене организације (*World Health Organization, WHO*), идентификовао је потребу за спровођењем мерних кампања које би карактерисале изложеност становништва из свих РФ извора, с посебним нагласком на нове бежичне технологије. Изложеност опште популације и професионалног особља мора бити процењена према међународним препорукама и стандардима. Ова процена не може бити ограничена на један мерни тренутак и мора узети у обзир временске варијације изложености ЕМ пољу. Већина стандарда се односи на

фреквенцијску зависност јачине електричног поља (E) и густине снаге зрачења (S), а излагања се узимају у обзир са 6-минутним односно 30-минутним временима усредњавања. Стандарди су задовољени када је просечна вредност усредњавања (нпр. јачине електричног поља) испод максималне дозвољене вредности. Максимална дозвољена вредност у стандардима је везана за фреквенцију која се мери. У оквиру дисертације, преиспитују се постојећа времена усредњавања, даје се предлог усредњавања на нивоу целог дана (24 часа), те се даје предлог нове интегралне (кумулятивне) мере за процену изложености. У већини случајева приликом процене изложености врши се провера усклађености са основним ограничењима датим у стандардима, при чему се усклађеност за општу популацију или професионално особље (радници) може проценити путем прорачуна или мерењима. Детаљна упутства о проценама дата су у техничким стандардима које је израдила Међународна унија за телекомуникације (*International Telecommunication Union, ITU*) и друге међународне организације, као што су Међународна електротехничка комисија (*International Electrotechnical Commission*) или Европски комитет за електротехничку стандардизацију (*European Committee for Electrotechnical Standardization*). Под претпоставком да је јачина електричног поља и његове варијације на спорој и брзо променљивој временској скали важан параметар, у оквиру дисертације, посебан акценат се ставља на промену густине снаге која се сматра zgodним и компактним начином описивања сложеног понашања посматраних система, при чему се употребом предложене интегралне мере смањује варијабилност резултата мерења.

2. Оцена да је урађена докторска дисертација резултат оригиналног научног рада кандидата у одговарајућој научној области

Урађена докторска дисертација представља оригинално научно дело. Оригинални део истраживања посебно анализира могућност увођења параметра „површинске густине енергије зрачења“ (коришћен је и термин: „изложена густина енергије“) као нове интегралне мере изложености ЕМ пољу. Изложена густина енергије је израчуната за све прикупљене резултате мерења у различитим временским периодима, а разматрана је и периодичност на дневном нивоу. Утврђен је предлог за спровођење такве мере за карактеризацију изложености. Анализа је извршена за различите фреквентне опсеге. Комплетан софтвер за обраду података у оквиру дисертације је написан у програмском језику *Python*, базираном на бесплатној платформи, узимајући у обзир математичке операције које су већ имплементирани у самом програму. Као додатна потврда валидности предложене методе за процену изложености, резултати истраживања су објављени у међународном часопису са импакт фактором: *Oxford Academic, Radiation Protection Dosimetry*.

3. Преглед остварених резултата рада кандидата у одређеној научној области

Кандидат је током спроведеног истраживања остварио значајне резултате од којих су неки потврда ранијих вишегодишњих истраживања, док су неки потпуна новина у области процене изложености ЕМ пољу. У току стручне каријере кандидат је као аутор или коаутор објавио више радова у часописима и симпозијумима од међународног и националног значаја. Радови кандидата објављени током истраживања и израде докторске дисертације су посебно истакнути (наглашени).

Радови објављени у водећим часописима међународног значаја (SCI листа):

1. Šuka, D., Pejović, P., Simić-Pejović, M. Application of time-averaged and integral-based measure for measurement results variability reduction in GSM/DCS/UMTS systems. *Radiat. Prot. Dosimetry, ncz154* (2019). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz154> (IF: 0.831)
2. Medjedović, P., Šuka, D. Fast and Reliable Locating of Points with the Maximum Value of Total Electromagnetic Field Using a Modern Experimental Method for Radio Coverage in Urban Environment. *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 2014, No. 414532, pp. 11 (2014). <http://dx.doi.org/10.1155/2014/414532> (IF: 1.347)

Радови објављени у зборницима са националних и међународних скупова:

1. Шука, Д. С., Симић, М.И., Пејовић, П.В. Мјерне процедуре и законске регулативе за процјену излагања нејонизујућем ЕМ зрачењу - процјена за GSM/UMTS базне станице. *ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА*, Vol. 15, Ref. KST 1-12, pp. 256-261 (2016).
<http://infotech.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2016/radovi>
2. Шука, Д. С., Ожеговић, П.Д. Прорачун параметара ЕМ зрачења базних станица мобилне телефоније моделом раванских таласа. *ИНФО-ТЕХ-ЈАХОРИНА*, Vol. 15, Ref. KST 1-13, pp. 262-267 (2016).
<http://infotech.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2016/radovi.html>
3. Шука, Д. С., Ожеговић, П.Д. Антене са апертуром у GSM/UMTS си-стемима - прорачун ЕМ параметара зрачења за mini-link параболичне антене. *ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА*, Vol. 15, Ref. KST 1-14, pp. 269-273 (2016).
<http://infotech.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2016/radovi.html>
4. Darko S. Šuka, Mirjana I. Simić, Predrag V. Pejović: "Aspects of remote monitoring and recording system of non-ionizing electromagnetic radiation", *The 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, pp. 607-611, ISSN 1847-3938, ISBN 978-953-233-083-0, Opatija, Croatia 2015
5. Д. Шука, М. Симић, П. Пејовић: „Процјена вриједности параметра SAR од DECT и WiFi технологије у indoor окружењу“, *ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА*, Vol. 14, No. KST 14, pp. 361-366, ISBN 978-99955-763-6-3, 2015
<http://infotech.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2015/radovi.html>
6. D. Šuka, M. Simić, P. Pejović: "Site-specific Radio Propagation Prediction Software: Wireless InSite Prediction Models Overview", *ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА*, Vol. 14, No. KST 16, pp. 371-376, ISBN 978-99955-763-6-3, 2015
<http://infotech.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2015/radovi.html>
7. М. Симић, П. Пејовић, Д. Шука, Милан Бјелица, Милица Михаиловић: „Експериментална анализа близинских и латерационих метода позиционирања корисника у урбаном окружењу“, *ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА*, Vol. 14, No. KST 17, pp. 377-382, ISBN 978-99955-763-6-3, 2015 <http://infotech.etf.unssa.rs.ba/zbornik/2015/radovi.html>
8. Darko Šuka, Petar Mededović, Mirjana Simić: "Procjena vrijednosti parametra SAR u blizini GSM/UMTS baznih stanica", *The 37th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics*, pp. 668-673, ISSN 1847-3938, ISBN 978-953-233-078-6, Opatija, Hrvatska 2014
9. Darko Šuka, Mirjana Simić, Petar Mededović: "Pregled sigurnosnih standarda izlaganja

nejonizujućem elektromagnetskom zračenju”, Institut za standardizaciju Bosne i Hercegovine, Bilten No. 1-2, pp. 8-14, ISSN 1840-2860, 2014

10. **Дарко Шука**, Петар Међедовић, Мирјана Симић: „Мјерење ЕМ зрачења: Анализатор спектра vs. Дозиметар“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА Vol. 12, Ref. KST-2-11, p. 418-423, Март 2013. (ISBN 978-99955-763-1-8)
http://www.infoteh.rs.ba/index.php?strana=rad_objavljeni&sesija=KST-2#KST-2
11. Petar Međedović, **Darko Šuka**: „Prediction and measurement of electromagnetic radiation at Krajina Square in the city of Banja Luka“, Telsiks 2013, Proceedings of Papers, Vol.2, Ref. PO1.11, p.534-537, Srbija, Niš, oktobar 2013. ISBN 978-1-4799-0899-8, DOI 10.1109/TELSKS.2013.6704435, 2013
12. Petar Međedović, **Darko Šuka**: „Softwares for urban electromagnetic wave propagation modeling“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА Vol. 11, Ref. KST-IV-6, pp. 422-427, Март 2012. (ISBN 978-99938-624-8-2) <http://www.infoteh.rs.ba/rad/2012/KST-4/KST-4-6.pdf>
13. Petar S. Međedović, Željko R. Blagojević, **Darko S. Šuka**: „Softverska predikcija i mjerenje elektromagnetnog zračenja u gradu Banjaluci“, 20th Telecommunications Forum TELFOR 2012, pp. 440-443, Serbia, Belgrade, November 20-22, 2012. ISBN 978-1-4673-2983-5, DOI 10.1109/TELFOR.2012.6419241, 2012
14. **Дарко Шука**, Мирјана Симић: „Преглед РФ стандарда излагања“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА Vol. 10, Ref. B-II-5, pp. 149-153, Март 2011. (ISBN 978-99938-624-6-8)
<http://www.infoteh.rs.ba/zbornik/2011/radovi/B-II/B-II-5.pdf>
15. Петар Међедовић, **Дарко Шука**: „Професионална изложеност РФ пољима антена БС на крововима“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА Vol. 9, Ref. B-III-3, pp. 256-260, Март 2010. (ISBN 99938-624-2-8) <http://www.infoteh.rs.ba/zbornik/2010/radovi/B-III/B-III-3.pdf>
16. **Дарко Шука**, Петар Међедовић: „Управљање здравственим ризицима узрокованим зрачењем електромагнетског поља“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА Vol. 9, Ref. E1-20, pp. 978-982, Март 2010. (ISBN 99938-624-2-8)
<http://www.infoteh.rs.ba/zbornik/2010/radovi/E1/E1-20.pdf>
17. **Дарко Шука**: „Предикција густине снаге електромагнетског зрачења базних станица мобилне телефоније“, ИНФОТЕХ-ЈАХОРИНА Vol. 7, Ref. B-II-12, Март 2008. (ISBN 99938-624-2-8) <http://www.infoteh.rs.ba/zbornik/2008/>

Пројекти повезани са облашћу дисертације:

1. „Процјена индивидуалне изложености радиофреквентним емисијама базних станица мобилне телефоније у урбаном (насељеном) подручју“, Министарство науке и технологије у Влади Републике Српске, 2010. год.

4. Оцена о испуњености обима и квалитета у односу на пријављену тему (по поглављима)

Кандидат је у потпуности испоштовао план и програм рада на дисертацији, а у складу са пријавом докторске дисертације. Докторска дисертација кандидата садржи укупно 166 страница, укључујући насловну страну, захвалницу, посвету, предговор, сажетак на српском и на енглеском језику, садржај и кратку биографију аутора. Главни текст дисертације је обима 137 страница, у оквиру којих је приказано 32 слике, 43 табеле, 202 референце и 2 прилога, док је трећи прилог, због обимности података, дат на CD-у.

Дисертација је организована кроз седам поглавља, укључујући уводно поглавље и закључак са доприносима дисертације. На крају дисертације дат је списак прилога, списак коришћене литературе, попис коришћених скраћеница, слика, табела и кратка биографија аутора.

Увод

У првом, уводном поглављу представљени су предмет, циљ и резултат истраживања, те структура рада.

Стандарди за изложеност људи ЕМ пољима

Друго поглавље даје кратак преглед основних стандарда који постављају границе изложености ЕМ пољу базних станица мобилне телефоније.

Метрике за процену изложености

Треће поглавље описује скуп метрика (мера или метода) које се користе за процену изложености опште популације и професионалног особља, уз анализу њихових предности и ограничења.

Временске варијације и мерења ЕМ поља

Четврто поглавље разматра неке од фактора који утичу на временске варијације нивоа ЕМ поља, као и кратак преглед анализе резултата мерења приказаних у научној литератури. Описан је и преглед мерне опреме која се користи у истраживању, као и врсте мерних метода.

Анализа процене изложености

У петом поглављу представљене су две методе (усредњена и интегрална) за анализу изложености опште популације ЕМ пољу. Приказане су могућности смањења варијабилности резултата мерења како би се повећала тачност процјене изложености. Верификација предложених метода извршена је путем тестирања на сопственим, те подацима добијеним са мониторинг мрежа из неких европских земаља.

Упоредна анализа резултата симулација и мерења

У шестом поглављу направљена је компаративна анализа између резултата мерења и симулација, узимајући у обзир посебан преглед предности и ограничења која постоје у примени таквих метода за процену изложености.

Закључак

Седмо поглавље рада садржи сумиране резултате истраживања. Приказани су доприноси дисертације и наведене су смернице за будући рад, као и предности и ограничења спроведених истраживања.

Докторска дисертација је и по обиму и по квалитету у потпуности испунила циљеве и задатке постављене у пријави дисертације.

5. Научне резултате докторске дисертације

Истраживања спроведена у оквиру докторске дисертације у циљу потврде постављених хипотеза су у потпуности испуниле очекиване резултате и постављене циљеве. Основни научни доприноси дисертације су:

- Предложена је неопходност дугорочних мерења (током целог дана, као и током недеље) и потврђен је значај истих;
- Смањена је варијабилност резултата мерења, при чему је повећана поновљивост истих;
- Предложено је усредњавање у времену током целог дана и валидност таквог предлога је потврђена (усредњавање у времену обезбеђује мању зависност резултата мерења од тренутка када је мерење извршено);
- Предложена је и објављена нова интегрална (кумулативна) мера (дефинисана кроз термин „*изложена густина енергије*“) за процену изложености ЕМ пољу (таква мера даје мања одступања у дневној изложености у односу на краткорочне варијације, не захтева употребу било које специфичне врсте мерне опреме и примењива је на све комерцијално доступне мерне инструменте (који су дизајнирани за фреквентно селективна мерења), а не захтева ни посебна финансијска средства у смислу куповине лиценцираних софтверских алата).
- Анализа изложености ЕМ пољу је извршена за различите фреквентне опсеге;
- Анализирана је периодичност јачине електричног поља (односно података мерења) на дневном и недељном нивоу;
- Резултати предикције добијени симулацијама упоређени су са резултатима мерења ради верификације програма за симулацију (одређена одступања су очекивана због апроксимације неких параметара).

6. Примењивост и корисност резултата у теорији и пракси

Материјал који дисертација обрађује је актуелан како са стране поља примене тако и по питању алата који се користе. Предложена интегрална метода се односи на мерење ЕМ поља у дужим временским периодима, познатије као континуално праћење нивоа ЕМ поља, те омогућава једноставну и ефикасну процену дугорочне изложености смањењем варијабилности резултата мерења. Ово је неопходно из разлога што најновији трендови у области изложености ЕМ пољу предлажу дугорочно праћење и снимање (мониторинг) параметара (нивоа) ЕМ поља на терену. Интегрална метода је првобитно дизајнирана за примену на фреквентно селективним мерењима у GSM/DCS/UMTS системима, где се углавном мери јачина електричног поља. Такође, интегрална метода је примењива и у случају кумулативних мерења сва три опсега заједно. Развијени теоретски модели су подлога за практично решење дисертације у коме се нуди лакоћа коришћења интегралне методе у обради резултата мерења ЕМ поља, при чему се не захтева коришћење било које специфичне врсте мерне опреме и примењива је на све комерцијално доступне мерне инструменте, који су дизајнирани за фреквентно селективна мерења. Такође, метода не захтева никакве посебне ресурсе у смислу плаћања додатних софтверских алата. Као таква, пружа могућност реализације неких будућих практичних решења тј. надоградњу постојећег решења. Корисност и примењивост како теоретских тако и практичних резултата дисертације је у томе што је

установљен практичан начин за анализу постојећих података, те обраду нових података мерења. Такође, треба нагласити могућност примене предложене методе у било ком систему за континуално праћење ЕМ поља, као што је то случај са свим акредитованим организацијама за тестирање ЕМ поља, те у овлашћеним лабораторијама, како у краћем временском периоду (тј. 24 часа дневно), тако и у дужем временском периоду (7 дана, па чак и дуже).

7. Начин презентовања резултата научној јавности

Мр Дарко Шука је објавио највећи део резултата своје докторске дисертације у међународном часопису са импакт фактором: *Oxford Academic, Radiation protection Dosimetry*.

- **Šuka, D.,** Pejović, P., Simić-Pejović, M. *Application of time-averaged and integral-based measure for measurement results variability reduction in GSM/DCS/UMTS systems*. Radiat. Prot. Dosimetry, ncz154 (2019). <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz154>

8. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу увида у докторску дисертацију мр Дарка Шуке под називом „Површинска густина енергије зрачења као интегрална мјера за карактеризацију изложености електромагнетској емисији“, Комисија је једногласно закључила да је кандидат изабрао актуелну и оригиналну тему истраживања, коју је спровео поштујући све принципе научног рада и користећи савремене методе испитивања и анализе резултата. Дисертација садржи оригиналне теоријске и практичне резултате у области процене изложености опште популације ЕМ пољу. Истраживање у оквиру ове дисертације могло би значајно да допринесе техничкој пракси, побољшању стандарда и развоју методологије за анализу процене изложености. На основу наведеног, Комисија предлаже Већу Електротехничког факултета у Источном Сарајеву и Сенату Универзитета у Источном Сарајеву, да докторску дисертацију под насловом

„Површинска густина енергије зрачења као интегрална мјера за карактеризацију изложености електромагнетској емисији“

аутора мр Дарка Шуке, дипл. инж. ел. прихвати и одобри њену јавну одбрану, којом ће стећи звање доктора техничких наука.

Место: Источно Сарајево

Датум: 12.09.2019.

Комисија:

1. **Мирјана Симић-Пејовић**, у звању ванредни професор, Телекомуникације, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, председник Комисије;

Мирјана Симић - Пејовић

2. **Предраг Пејовић**, у звању редовни професор, Електроника, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, члан Комисије;

Предраг Пејовић

3. **Томислав Шекара**, у звању редовни професор, Аутоматика, Универзитет у Београду, Електротехнички факултет, члан Комисије;

Томислав Шекара

4. **Божидар Поповић**, у звању доцент, Електроника и електронски системи, Универзитет у Источном Сарајеву, Електротехнички факултет, члан Комисије;

Божидар Поповић

5. **Мирјана Максимовић**, у звању доцент, Телекомуникације, Универзитет у Источном Сарајеву, Електротехнички факултет, члан Комисије;

Мирјана Максимовић
