

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу“ коју је пријавила **мр Милица Поповић, дипл. инж.**

Одлуком бр. 5043/17-1 од 23.05.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом „Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу (енгл. *The determination of mobile network architecture impact on population total exposure to electromagnetic field*)“ коју је пријавила **мр Милица Поповић, дипл. инж.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Милица Поповић 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 M2M и OG 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 Телеком 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

кампане „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 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 две књиге, рецензије радова. Аутор је или коаутор 19 научних и стручних радова, од којих су 4 рада објављена 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 2 стручне књиге међународних издавача.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Милица Поповић је завршила магистарске студије на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, смер Телекомуникације, са просечном оценом 10. Магистарску тезу „Утицај M2M и OG саобраћаја на перформансе HSPA мреже и квалитет сервиса“, код ментора проф. др Мирослава Дукића, одбранила је 2013. године.

По основу завршених магистарских студија, уписала је трећу годину докторских академских студија на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду, модул Телекомуникације, школске 2017/2018. године.

Водила је научно-истраживачки рад тима Телекома Србија на ЕУ пројектима LOLA (*Achieving Low-Latency in Wireless Networks*, Grant Agreement ID: 248993, 2010-2013) и LEXNET (*Low EMF Exposure Future Networks*, Grant Agreement ID: 318273, 2012-2015), у оквиру програма FP7, обављајући и административне активности у вези са управљањем пројектима.

На основу резултата пројекта LEXNET, унутар компаније је иницирала активности које су резултирале друштвено одговорном кампањом Телекома Србија, „Бираш како комуницираш“, у сарадњи са ЕТФ Београд и Министарством трговине, туризма и телекомуникација, са циљем едукације становништва о електромагнетском зрачењу које потиче од система мобилних комуникација. Учествовала је у осмишљавању и реализацији кампање, укључујући креирање веб странице, PR активности, трибине, покривајући стручне аспекте. У склопу кампање, одржала је предавања:

- [1] Mladen Koprivica, **Milica Popović**, „Kampanja Biraš kako komuniciraš“, Studentski kulturni centar, 24.03.2016.
- [2] Ivana Filipović, **Milica Popović**, „Kampanja Biraš kako komuniciraš: Komunikacioni aspekti i stručni motivi kampanje“, predavanje u okviru Akademije modernog menadžmenta, u organizaciji ESTIEM LG Beograd, 01.12.2015.

Одржала је неколико предавања студентима, у оквиру наставе и радионица, по позиву:

- [1] **Milica Popović**, “EMF Exposure in Radio Communications”, predavanje za studente telekomunikacija iz Beča, Brna i Bratislave, Technische Universität Wien, Institute of Telecommunications, Beč, 23.03.2017.
- [2] **Milica Popović**, „Elektromagnetno zračenje u radiokomunikacijama“, predmet: M2M komunikacioni sistemi, doc. dr Dejan Drajić, ETF Beograd, 9.12.2016.

- [3] **Milica Popović**, „Mreža Telekom Srbija“, uz prezentaciju alata za planiranje mobilne i fiksne pristupne mreže, Radionica Telekom Srbija za Fond za mlade talente, 23.1.2014.
- [4] **Milica Popović**, „M2M Challenges in Cellular Networks / Izazovi uvođenja M2M u ćelijske mreže“, predmet: M2M komunikacioni sistemi, doc. dr Dejan Drajić, ETF Beograd, 15.11.2013. i 14.11.2014.
- [5] **Milica Popović**, „FP7 project LOLA“, Seminar „*Brand New Engineers – Od integrala do inženjera!*“, u organizaciji EESTEC LC Beograd, ETF Beograd, 4.12.2012.

Одржала је више предавања стручној јавности, из више области:

- [1] Jelena Milinković, **Milica Popović**, „Moderne radio komunikacije“, TELFOR 2015, Program posebnih događaja, Posebne sekcije kompanija, Telekom Srbija, 25.11.2015.
- [2] **Milica Popović**, „LEXNET projekat iz ugla operatora i regulative“, Radionica „Savremene bežične telekomunikacione mreže i EM polja“, ETF Beograd, 22.5.2015.
- [3] Mladen Koprivica, **Milica Popović**, Jelena Milinković, Stevan Nikšić, Aleksandar Nešković, „*Low EMF Exposure Future Networks - LEXNET projekat*“, TELFOR 2013, Tehničke i informacione prezentacije, Nov. 2013, Beograd.
- [4] **Milica Popović**, „LOLA FP7 project presentation“, TELFOR 2012, SS1.4, Nov. 2012, Beograd.
- [5] Dejan Drajić, **Milica Popović**, „*M2M traffic influence on WCDMA/HSPA Network Performance*“, 6th Workshop Next Generation Service Delivery Platform (NG SDP), Kommunikation und Verteilte Systeme (KuVS) Fachgespräch, Session 2, April 2012, Fraunhofer FOKUS Institute, Berlin, Germany.
- [6] **Milica Popović**, „Opis tehničkog rešenja bežične pristupne mreže u WiMAX tehnologiji, kablovske pristupne mreže i kombinovanog rešenja za pristupnu mrežu u naselju Kaluđerica“, u okviru predavanja „Prezentacija TeleCAD-GIS projekta i jednog primera planiranja kombinovane kablovske i bežične mreže u WiMAX tehnologiji sa osvrtom na primenu softverskih alata TeleCAD-GIS i NIR“, u organizaciji Inženjerske komore Srbije, 3.10.2008. Novi Sad.
- [7] **Milica Popović**, Slađana Jovanović, „Prikaz projekta planiranja kablovske bežične (WiMAX) i kombinovane pristupne mreže beogradskog naselja Kaluđerica“, u okviru predavanja „Predstavljanje i rad u programskom paketu Tele CAD-GIS“, u organizaciji Inženjerske komore Srbije, 9.5.2008. Beograd.

Одржала је предавање по позиву на међународној конференцији:

- [1] **Milica Popović**, „*M2M simulations and real applications in HSPA network – impact on network performance and service*“, 3rd FOKUS FUSECO Forum 2012, Workshop 2, Session 1, 15.11.2012. Fraunhofer FOKUS Institute, Berlin, Germany.

Учествовала је у панел дискусији на међународној конференцији:

- [1] Dino Flore, **Milica Popović**, Ramón Agüero, Panel „Minimizing network roll-out delays – future-proofing wireless networks against exposure concerns and reducing any potential increase in EMF levels“, *11th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, Workshop Low-EMF Radio-link Technologies and Wireless Networks Management, 26.8.2014, Barcelona, Spain.

Коаутор је поглавља у 2 књиге међународних издавача:

- [1] Markus Laner, Navid Nikaein, Dejan Drajić, Philipp Svoboda, **Milica Popović**, and Srdjan Krčo, "Chapter 3: M2M Traffic and Models", *Machine-to-Machine Communications: Architectures, Technology, Standards, and Applications*, edited by Vojislav B. Mišić and Jelena Mišić, published July 1, 2014, by CRC Press, pp.57-86, ISBN 978-1-4665-6123-6.
- [2] Markus Laner, Navid Nikaein, Philipp Svoboda, **Milica Popović**, Dejan Drajić, Srdjan Krčo, "Chapter 8: Traffic models for machine-to-machine (M2M) communications: types and applications", *Machine-to-machine (M2M) communications, architecture, performance and applications*, edited by M. Dohler and C. Anton-Haro, published 2014, by Woodhead publishing, pp. 133-154, ISBN 978-1-78242-102-3.

Била је стручни рецензент 3 научна рада, од чега 1 за међународни часопис (ETT, 2013, рад није објављен) и 2 за међународне конференције (ICC 2013, ISWCS 2015).

Научно-истраживачко искуство у области предложене теме потврдила је објављивањем 2 рада у часописима међународног значаја (категорије M22 и M23), 1 рада у часопису националног значаја и 4 рада на конференцијама од међународног значаја.

У току досадашњег научно-истраживачког рада Милица Поповић је била аутор или коаутор 19 радова, од којих су 4 рада објављена у часописима међународног значаја (по 2 у категоријама M22 и M23), 2 рада у часописима националног значаја, 9 радова на конференцијама међународног значаја и 4 рада на конференцијама националног значаја:

Научни часописи међународног значаја

- [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 (2017) 1.168, M23.
- [2] 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.
- [3] **Milica Popović**, Dejan Drajić, Philipp Svoboda, Navid Nikaein, Srđan Krčo and Markus Laner, "Latency Analysis for M2M and Online Gaming Traffic in an HSPA Network", *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks (AHSWN)*, 31:1-4, 2016, pp. 259-277, ISSN: 1551-9899 (print), ISSN: 1552-0633 (online), Impact factor: 1.034, M23.
- [4] **Milica Popović**, Dejan Drajić, Srđan Krčo, "Evaluation of the UTRAN (HSPA) performance in different configurations in the presence of M2M and online gaming traffic", *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, Wiley and Sons, published online Nov. 2013, DOI: 10.1002/ett.2738, ISSN: 2161-3915, Vol. 26, Issue 5, May 2015, pp. 800-812, Print ISSN: 1541-8251. Impact Factor: 1.295, M22.

Научни часописи националног значаја

- [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.
- [2] **Milica Popović**, Dejan Drajić, Srdjan Krčo, „A latency analysis for M2M and OG-like traffic patterns in different HSPA core network configurations“, *Telfor Journal*, Vol. 6, No. 2, 2014, pp. 103-108, ISSN: 1821-3251.

Научне конференције међународног значаја (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.
- [5] **Milica Popović**, Dejan Drajić, Srdjan Krčo, “The impact of HSPA core network features on latency for M2M and OG-like traffic patterns”, *TELFOR 2013*, Nov. 2013, pp. 291-294, DOI: 10.1109/TELFOR.2013.6716228, Electronic ISBN: 978-1-4799-1420-3.
- [6] Navid Nikaein, Markus Laner, Kaijie Zhou, Philipp Svoboda, Dejan Drajić, **Milica Popovic**, Srdjan Krco, “Simple Traffic Modeling Framework for Machine Type Communication”, *10th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS)*, Aug. 2013, pp. 1-5, Print ISBN: 978-3-8007-3529-7.
- [7] Dejan Drajić, **Milica Popović**, Navid Nikaein, Srdan Krčo, Philipp Svoboda, Igor Tomić, Nenad Zeljković, “HSPA radio access performance evaluation for Online games and M2M applications traffic (TCP vs UDP)”, *TELFOR 2012*, Nov. 2012, pp. 9-12, DOI: 10.1109/TELFOR.2012.6419579, Print ISBN: 978-1-4673-2983-5.
- [8] Dejan Drajić, **Milica Popović**, Navid Nikaein, Srdjan Krčo, Philipp Svoboda, Igor Tomić and Nenad Zeljković, “Impact of Online Games and M2M Applications Traffic on the Performance of HSPA Radio Access Networks”, *6th International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS)*, July 2012, pp. 880-885, DOI: 10.1109/IMIS.2012.54, Print ISBN: 978-1-4673-1328-5.
- [9] Dejan Drajić, Srdjan Krčo, Igor Tomić, Philipp Svoboda, **Milica Popović**, Navid Nikaein and Nenad Zeljković, “Traffic Generation Application for Simulating Online Games and M2M Applications via Wireless Networks”, *9th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS)*, Jan. 2012, pp.167-174, DOI: 10.1109/WONS.2012.6152224, Print ISBN: 978-1-4577-1721-5.

Научне конференције националног значаја (M63)

- [1] Igor Tomić, **Milica Popović**, “5G: Expectations and technology evolution”, *21st Conference and Exhibition YUINFO 2016*, Zbornik radova, Izdavač: Društvo za informacione sisteme i računarske mreže, pp. 95-99, ISBN: 978-86-85525-17-9.
- [2] **Milica Popović**, Slađana Jovanović, Jelena Milinković, Aleksandar Vukosavljević, „Primer planiranja kablovske i bežične pristupne mreže korišćenjem GIS alata”, *Sedmi naučno-stručni simpozijum INFOTEH Jahorina 2008*, Mart 2008, Vol. 7, Ref. B-II-13, pp. 203-207, ISBN-99938-624-2-8.
- [3] Aleksandar Vukosavljević, **Milica Popović**, Jelena Milinković, Slađana Jovanović, „Jedan primer pripreme GIS okruženja u procesu planiranja pristupnih mreža”, *15. Telekomunikacioni forum TELFOR 2007*, Nov. 2007, pp. 619-622.
- [4] **Milica Popović**, Antonije Đorđević, “Konvertor iz AUTOCAD-a u LINPAR u primenjenoj elektromagnetici”, *Treći naučno-stručni simpozijum INFOTEH Jahorina*, Mart 2003, INFOTEH-JAHORINA, Vol. 3, Ref. D-8, pp. 195-198.

Дана 29.05.2019. године одржана је јавна усмена одбрана теме докторске дисертације (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. Оцена Комисије је да је кандидаткиња мр Милица Поповић успешно одбранила предложену тему докторске дисертације.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Приликом писања овог Извештаја, Комисија је размотрила све претходно наведене чињенице, искуства у научно-истраживачком раду, као и резултате досадашњег рада кандидатиње Милице Поповић. На основу резултата које је кандидатиња постигла у свом досадашњем стручном и научном раду, публикованих научних резултата из области мобилних комуникационих система, и уже области изложености електромагнетском зрачењу, који су препознати и валоризовани од стране међународне научне заједнице, Комисија је закључила да је кандидаткиња испунила услове који је квалификују да приступи изради докторске тезе на предложену тему.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања је анализа укупне средње изложености становништва и појединца електромагнетским пољима која потичу од бежичних комуникационих система у реалном окружењу и одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на изложеност. Изложеност становништва електромагнетском зрачењу умногостручила се у последњем веку, док се конкретно изложеност изворима који су део бежичних комуникација знатно повећала последњих деценија. Овај раст је условљен развојем мобилних комуникационих система, али и растућим захтевима за понуђеним сервисима. Појава паметних телефона означила је прекретницу за саобраћај преноса података. Паметни телефони донели су нове саобраћајне обрасце у мобилне мреже, повећање саобраћаја и сигнализације, којима су

мреже морале да се прилагоде. Са експанзијом паметних телефона мобилни саобраћај стално расте, а нове апликације, посебно *video streaming*, преузимају примат 1. Појава комуникација „машинског типа“ (M2M - *Machine to Machine Communications*) и даље, Интернет ствари (IoT - *Internet of Things*), уз нову 5G технологију на хоризонту, условљавају даљи раст мобилног саобраћаја, али и вишеструке изворе зрачења у близини људи, или чак на телу људи (*wearables*).

Од самог почетка развоја мобилних комуникационих система трају истраживања утицаја ових система на здравље људи и сходно добијеним резултатима донете су међународне препоруке 2-5 и национални прописи у вези са заштитом од нејонизујућег зрачења, какво генеришу и мобилни комуникациони системи. Национални прописи су у многим државама, укључујући и Србију 6-7, строжији од међународних препорука. Поред базичних ограничења и изведених референтних граничних нивоа за мерења у реалном окружењу, донете су и методе мерења и прорачуна 8-11 којима се обезбеђује да норме неће бити прекорачене у простору у ком бораве људи, као и приликом коришћења мобилних уређаја 12.

Без обзира на то што сва инсталирана опрема, као и кориснички уређаји, морају да прођу тестове и мерења ради доказивања усклађености са нормама, свеприсутност мобилних комуникационих система условила је пораст бојазни становништва од електромагнетског зрачења и то првенствено базних станица, а затим и корисничких уређаја 13. При томе, просечан корисник нема увид у стварну укупну изложеност електромагнетском зрачењу, у однос изложености која потиче од базних станица и од мобилних уређаја, и често има технички неутемељена убеђења у вези са зрачењем 14. Са једне стране, корисници не би желели да имају базну станицу у својој близини, а са друге стране, желе да користе све предности модерних бежичних комуникационих система. Такође, желе сталну доступност, што за мобилне операторе представља потпуно супротстављене захтеве. Бојазан од базних станица условљена је и уверењем да та изложеност није под контролом корисника, а стална је, док је коришћење мобилног телефона под контролом корисника и није стално. Са те стране је важно квантификовати колико заправо све базне станице у окружењу доприносе изложености корисника 15-16, а колико кориснички уређај који је близу тела корисника. Свест о повећању времена коришћења мобилних уређаја са појавом нових апликација 17 пажњу јавности је преусмерила и на корисничке уређаје. Многи регулатори и друге државне институције донели су смернице за правилно коришћење мобилних уређаја у циљу смањења сопствене изложености електромагнетском зрачењу 18-19. Притисак јавности је довео и до интензивнијих истраживања, мерења 20-22 и рестрикција у погледу инсталације појединих система у одређеним просторима (школе, обданишта, болнице и др).

Како би се оценила укупна стварна изложеност људи електромагнетском пољу које потиче од мобилних комуникационих система, предложене су методе које комбинују изложеност пољу које потиче од базних станица и изложеност пољу које потиче од мобилних телефона 23-26. Циљ овог истраживања је развој методе за одређивање укупне средње изложености становништва која би у највећој могућој мери користила податке који се могу добити из реалне мобилне мреже, као и екстерне податке где је неопходно. То би отворило пут за будуће планирање мреже и само-оптимизацију у реалном времену, која би уз стандардне параметре попут покривања и капацитета узела у обзир и изложеност становништва. У оквиру овог истраживања биће спроведена анализа доприноса појединих компонената укупној изложености (изложеност зрачењу базних станица и изложеност зрачењу корисничког уређаја) у различитим реалним сценаријима. Истраживање има за циљ да покаже и утицај коришћених сервиса реализованих преко различитих технологија и у различитим радио условима, као и утицај топологије мреже (слојеви: макро, микро..) и коришћене технологије (GSM, UMTS, WLAN) на изложеност појединца и становништва. Ове анализе подразумевају опсежна мерења и статистичку анализу података из реалне мреже кроз више сценарија.

На основу анализе утицаја појединих фактора и идентификације доминантне компоненте изложености у појединим сценаријима биће дате смернице за планирање и оптимизацију мобилне мреже на начин који смањује укупну изложеност, али и смернице за примену других техника које би смањиле изложеност становништва и појединца. Будуће мреже би уз имплементацију напредне аналитике података из мреже могле да израчунавају изложеност у реалном времену и предузимају кораке за њено смањење. Мобилне мреже наредних генерација користеће и фреквенцијске опсеге који се до сада нису користили у сврхе корисничке комуникације 27, што отвара и дискусију у вези са квантификовањем излагања електромагнетном пољу 28. Нове мреже користе напредне технике попут адаптивног обликовања снопа зрачења антене што усложњава мерење интензитета зрачења. Увођење мобилних мрежа наредних генерација стога наилази и на комплексније изазове у вези са изложеношћу становништва електромагнетским пољима²⁹, који директно утичу и на успешност увођења и достизање пуног потенцијала савремених технологија 29-30.

Литература:

1. Ericsson. *Ericsson Mobility Report November 2017*.
2. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Guidelines for limiting exposure to time varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*. Health Physics **74**(4), 494-522 (1998).
3. ARPANSA. *Radiation Protection Standard - Maximum exposure levels to radiofrequency fields – 3 kHz to 300 GHz*. Radiation Protection Series, Publication No. 3 Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (2002).
4. FCC. *Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radio-frequency electromagnetic fields*. Federal Communications Commission 1997-01 ed: OET Bulletin 65 (1997).
5. IEEE standard C95.1-2005. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers (2006).
6. Закон о заштити од нејонизујућих зрачења (Службени гласник РС број 36/09).
7. Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима (Службени гласник РС број 104/2009).
8. CENELEC. *Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz–300 GHz)*. European Standard EN 50413:2008. European Committee for Electrotechnical Standardization (2008).
9. CENELEC. *Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz–40 GHz)*. European Standard EN 50383:2010/AC:2013. European Committee for Electrotechnical Standardization (2013).
10. CENELEC. *Basic standard to demonstrate the compliance of fixed equipment for radio transmission (110 MHz–40 GHz) intended for use in wireless telecommunication networks with the basic restrictions or the reference levels related to general public exposure to radio frequency electromagnetic fields, when put into service*. European Standard EN 50400:2006/A1:2012. European Committee for Electrotechnical Standardization (2012).
11. CENELEC. *Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*. European Standard EN 50492:2008/A1:2014. European Committee for Electrotechnical Standardization (2014).
12. IEC EC 62209-2:2010 (2010). Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices - Human models, instrumentation, and procedures - Part 2: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for wireless communication devices used in close proximity to the human body (frequency range of 30 MHz to 6 GHz).
13. Freudenstein F, Wiedemann P.M. et Brown, T.W.C, "Exposure perception as a key indicator of risk perception and acceptance of sources of radio frequency electromagnetic fields", Journal of Environmental and Public Health, volume 2015, article ID 198272, <http://dx.doi.org/10.1155/2015/198272>.
14. Freudenstein, F., Wiedemann, P.M., Pejanovic-Djurisic, M., Koprivica, M., Neskovic A. (2014). Intuitive exposure and risk perception of RF EMF: Case studies Serbia and Montenegro. Proceedings of 22nd Telecommunications Forum - TELFOR 2014, Belgrade, IEEE 978-1-4799-6190-0, 1-4.
15. Alanko T., Hietanen M., von Nandelstadh P. (2008). Occupational exposure to RF fields from base station antennas on rooftops. Ann. Telecommun. **63** :125–132. doi: 10.1007/s12243-007-0001-6.
16. Bornkessel, C., Schubert, M., Wuschek, M. and Schmidt, P. Determination of the general public exposure around GSM and UMTS base stations. Radiation Protection Dosimetry **124**(1), 40–47 (2007).

17. Subramani Parasuraman, Aaseer Thamby Sam, Stephanie Wong Kah Yee, Bobby Lau Chik Chuon, and Lee Yu Ren, "Smartphone usage and increased risk of mobile phone addiction: A concurrent study", *Int J Pharm Investig.* 2017 Jul-Sep; 7(3): 125–131, doi: 10.4103/jphi.JPHI_56_17.
18. Federal Communications Commission (2018). Specific Absorption Rate (SAR) For Cell Phones: What It Means For You. <https://www.fcc.gov/consumers/guides/specific-absorption-rate-sar-cell-phones-what-it-means-you>. Accessed February 7th, 2018.
19. California Department of Public Health (2017). CDPH Issues Guidelines on How to Reduce Exposure to Radio Frequency Energy from Cell Phones. <https://www.cdph.ca.gov/Programs/OPA/Pages/NR17-086.aspx>. Accessed February 7th, 2018.
20. Hedendahl L.K., Carlberg M., Koppel T., Hardell L. (2017). Measurements of Radiofrequency Radiation with a Body-Borne Exposimeter in Swedish Schools with Wi-Fi. *Front. Public Health.* 5:279. doi: 10.3389/fpubh.2017.00279.
21. Roser K, Schoeni A, Struchen B, Zahner M, Eeftens M, Fröhlich J, Röösli M, "Personal radiofrequency electromagnetic field exposure measurements in Swiss adolescents," *Environment International*, vol. 99, February 2017, pp. 303-314, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.008>.
22. Emma Chiaramello, Marta Parazzini, Serena Fiocchi, Marta Bonato, Paolo Ravazzani, Joe Wiart, "Children exposure to femtocell in indoor environments estimated by sparse low-rank tensor approximations", *Annals of Telecommunications*, February 2019, Volume 74, Issue 1–2, pp 113–121, doi: 10.1007/s12243-018-0681-0.
23. Lauer O., Frei P., Gosselin M., Joseph W., Röösli M., Fröhlich J. (2013). Combining near- and farfield exposure for an organ-specific and whole-body RF-EMF proxy for epidemiological research: a reference case. *Bioelectromagnetics.* 34(5):366-74. doi: 10.1002/bem.21782.
24. Plets D, Joseph W, Aerts S, Vanhecke K, Vermeeren G. and Martens L, "Prediction and comparison of downlink electric-field and uplink localized SAR values for realistic indoor wireless planning," *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 162, issue 4, December 2014, pp. 487-498, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncu019>.
25. Varsier N., Plets D., Corre Y., Vermeeren G., Joseph W., Aerts S., Martens L. and Wiart J., "A novel method to assess the human population exposure induced by a wireless cellular network," *Bioelectromagnetics*, vol. 36, n°6, pp. 451-463, Sept. 2015
26. Yuanyuan Huang, Joe Wiart, "Simplified Assessment Method for Population RF Exposure Induced by a 4G Network", *IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology*, Volume 1, Issue 1, pp. 34-40, June 2017, doi: 10.1109/JERM.2017.2751751.
27. Eduardo Carrasco, Davide Colombi, Kenneth R Foster, Marvin Ziskin, Quirino Balzano, "Exposure assessment of portable wireless devices above 6 GHz", *Radiation Protection Dosimetry*, 2018, ncy177, <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy177>.
28. Ting Wu, Theodore S. Rappaport, Christopher M. Collins, "Safe for Generations to Come: Considerations of Safety for Millimeter Waves in Wireless Communications", *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 16, Issue 2, pp. 65 – 84, Feb. 2015, doi: 10.1109/MMM.2014.2377587.
29. ITU-T, Series K Supplement 14 (05/2018), "The impact of RF-EMF exposure limits stricter than the ICNIRP or IEEE guidelines on 4G and 5G mobile network deployment", 2018.
30. Rafał Pawlak, Piotr Krawiec, Jerzy Żurek, "On Measuring Electromagnetic Fields in 5G Technology", *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 29826 – 29835, March 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2902481.

3. Полазне хипотезе

Основне хипотезе од којих се полази у изради ове дисертације су:

- У области изложености становништва електромагнетском зрачењу које потиче од бежичних телекомуникационих мрежа и корисничких уређаја, дефинисане су међународне и националне норме којима се ова изложеност ограничава. Дефинисане су и методе којима се практично проверава испуњеност ових норми, и то посебно за базне станице и приступне нодове, а посебно за корисничке уређаје. Иако су у пракси појединачне норме по правилу задовољене, постоји потреба за одређивањем укупне стварне (реалне) изложености која потиче истовремено и од базних станица и од корисничких уређаја.
- У ситуацији када забринутост становништва у вези са изложеношћу електромагнетским пољима расте и када се очекује мноштво нових извора са увођењем 5G технологије, посебно оних близу људског тела, неопходно је одредити стварне доприносе појединих компонената укупној изложености појединца и становништва, као и факторе који у свакодневном коришћењу мобилних технологија доприносе укупној изложености.

- Полазећи од метрике која узима у обзир укупну изложеност (и од базних станица и од корисничких уређаја), метода која у највећој могућој мери користи актуелне податке са мобилне мреже у оперативном раду, може да омогући одређивање укупне изложености. Потребно је испитати утицај различитих параметара мреже на резултат предложене методе и могућности за повећање тачности методе коришћењем напредних система за аналитику мреже.
- Фактори попут технологије и топологије мреже, саобраћајног оптерећења мреже, радио услова и коришћених сервиса, могу значајно утицати на изложеност електромагнетском зрачењу становништва, па се јавља потреба за квантитативном анализом утицаја поменутих фактора кроз неколико реалних случајева.
- Метрика која узима у обзир укупну изложеност становништва која потиче од мреже (и од базних станица и од корисничких уређаја) може да омогући оптимизацију (или само-оптимизацију) мреже узимајући у обзир изложеност становништва електромагнетском зрачењу. На основу тога, јавља се потреба за утврђивањем смерница за оптимизацију мреже које узимају у обзир изложеност као један од значајних параметара.

4. Научне методе истраживања

У оквиру истраживања биће коришћене следеће методе:

- Библиографска анализа дефинисаних величина и норми којима се ограничава излагање људи електромагнетским пољима која потичу од телекомуникационих уређаја.
- 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, планирано је да се изврши 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 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).

5. Очекивани научни dopринос

Очекује се да из докторске дисертације проистекну следећи резултати:

- Биће развијена метода за одређивање укупне просечне изложености становништва и појединца електромагнетном пољу бежичних телекомуникационих система која користи актуелне податке са мобилне мреже у оперативном раду.
- На основу резултата експерименталних мерења у оквиру мобилне мреже у оперативном раду биће спроведена верификација развијене методе и анализа утицаја основних параметара мреже на одређивање укупне изложености, на основу чега ће бити изведени закључци.
- Биће спроведена експериментална анализа утицаја архитектуре мреже и коришћене технологије на укупну изложеност становништва кроз неколико тестних сценарија у оквиру оперативне мреже, са упоредном анализом резултата изложености електромагнетском пољу које потиче од базних станица и пољу које потиче од корисничких уређаја. На основу експерименталних резултата биће утврђен утицај архитектуре мобилне мреже, као и коришћене технологије, на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу
- На бази експерименталних резултата добијених мерењем у мрежи мобилног оператора, биће спроведена анализа утицаја коришћених сервиса на изложеност појединца у различитим радио условима и преко различитих технологија. На основу добијених резултата биће дефинисани предлози за оптимизацију изложености појединца.
- На основу резултата и закључака спроведених анализа биће утврђене смернице за оптимизацију мреже у погледу изложености становништва, уз стандардне оптимизационе циљеве као што су покривање и капацитет мреже.

Неки од резултата досадашњих истраживања приказани су у следећим радовима кандидата:

Научни часописи међународног значаја

- [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, Impact Factor (2017) 1.168, M23.
- [2] *Yuan Yuan 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, Impact Factor 1.93, M22.

Домаћи часописи

- [3] *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.

Међународне конференције

- [4] *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.
- [5] *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.

- [6] *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.
- [7] *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.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања, који ће да прати и структура рада, састоји се из неколико делова. У првом делу биће дата библиографска анализа величина и норми које се користе за регулаторно ограничавање изложености људи електромагнетским пољима која потичу од мобилних комуникационих система, базних станица и корисничких уређаја. Преглед метрика и метода које се користе за процену изложености појединца и становништва, као и преглед досадашњих истраживања биће дат у другом поглављу. Кроз трећи део биће изложена статистичка анализа кључних параметара мреже за типичне ћелије, као и резултати мерења снаге корисничких уређаја коришћењем више метода. На основу ових мерења биће дефинисани услови за експериментално одређивање изложености кроз више тестних сценарија. У четвртом делу биће дефинисана метода којом се коришћењем доступних података из мобилне мреже процењује изложеност становништва, као и појединца, у неком подручју. Такође, биће дефинисан потребан обим мерења, методе усредњавања, потребни подаци са мреже, подаци који се добијају мерењем на терену и подаци из спољних извора, за одређивање укупне средње изложености од базних станица и од корисничких уређаја. Утицај коришћених сервиса у различитим радио условима и преко различитих технологија на изложеност појединца зрачењу корисничког уређаја биће анализиран у петом делу. У шестом делу ће кроз неколико тестних случајева бити анализиран утицај архитектуре мреже, односно коришћене технологије и топологије мреже, на укупну средњу изложеност становништва, као и на појединачне узроке изложености (утицај базних станица и/или корисничког уређаја). У овом делу биће дати и предлози за оптимизацију мреже у циљу смањења средње изложености становништва, као и за смањење изложености појединца. У последњем делу биће дата дискусија о резултатима мерења, најновијим истраживањима и изазовима у вези са изложеношћу код 5G технологије.

7. Закључак и предлог

У предлогу тезе јасно је објашњен значај метода за одређивање укупне изложености становништва електромагнетском пољу, значај коришћења актуелних података из оперативне мреже, као и потреба да се одреди утицај архитектуре мреже на изложеност становништва. На прегледан и јасан начин су дефинисана унапређења која би нова метода донела у одређивању утицаја архитектуре мреже на изложеност становништва приликом реалног коришћења сервиса у оперативној мрежи, изабране су адекватне експерименталне и статистичке методе истраживања, и прецизно идентификовани очекивани научни доприноси. Поред тога, дефинисан је одговарајући план истраживања, као и структура рада.

Досадашњи резултати Милице Поповић у стручном и научном раду, публиковани научни резултати из области мобилних комуникационих система, и уже области

изложености електромагнетском зрачењу, који су препознати и валоризовани од стране међународне научне заједнице, у потпуности је квалификују за рад на предложеној теми.

На основу свега наведеног закључујемо да **мр Милица Поповић, дипл. инж**, испуњава све услове за израду докторске дисертације на српском језику и потврђујемо научну заснованост предложене теме **„Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу”**. С обзиром на то да тема покрива актуелну област истраживања електромагнетског зрачења у јавним мобилним системима, као да и припада ужој научној области телекомуникација, те да је Електротехнички факултет Универзитета у Београду матичан за ову научну област, за ментора предлагемо др Младена Копривицу, доцента са Електротехничког факултета, Универзитета у Београду. У складу са овим предлогом, уз Извештај је приложен и списак радова др Младена Копривице, доцента, који га квалификују за ментора.

Сходно томе, предлагемо Наставно-научном већу Електротехничког факултета, Универзитета у Београду да прихвати тему докторске дисертације **„Одређивање утицаја архитектуре мобилне мреже на укупну изложеност становништва електромагнетском пољу”**, и да одобри кандидаткињи **Мр. Милице Поповић** израду докторске дисертације под наведеним насловом.

Београд, 30. мај 2019. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



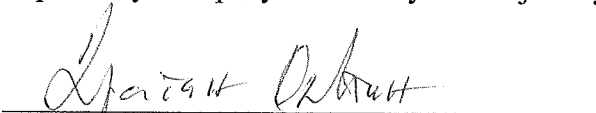
др Младен Копривица, доцент
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



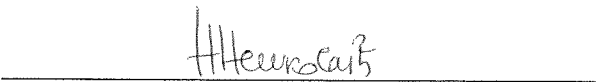
др Александар Нешковић, редовни професор
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



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



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



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