

Vremenska varijabilnost intenziteta električnog polja koje potiče od mikro LTE bazne stanice

Ivana Stojanović, Mladen Koprivica, *Senior Member, IEEE*, Nenad Stojanović, Aleksandar Nešković, *Senior Member, IEEE*

Apstrakt—U radu je izvršena analiza promene intenziteta električnog polja koje potiče od mikro LTE (*Long Term Evolution*) bazne stanice, čije je merenje vršeno tokom sedam dana. Merenje je vršeno u frekventijskom opsegu *downlink* smera komunikacije na centralnoj učestanosti od 1835 MHz. Realizacija intenzivnih merenja je izvršena u realnim uslovima rada mreže u *indoor* okruženju. Promene u intenzitetu električnog polja mogu se podeliti na dva perioda u toku jednog dana i to na period sa višim nivoima i češćom promenom intenziteta električnog polja (od 08:00 do 22:00 časova) i na period sa nižim nivoima i redim promenama u intenzitetu električnog polja (od 22:00 do 08:00 časova narednog dana). Razlike u intenzitetu električnog polja uočene su i između radnih dana (ponedeljak-petak) i neradnih dana (subota i nedelja). Izračunavanjem merne nesigurnosti određena je vremenska varijabilnost intenziteta električnog polja. Izračunata merna nesigurnost koja je u opsegu od 1.71% do 11.26% pokazuje relativno malo odstupanje izmerenih vrednosti.

Gljučne reči—Intenzitet električnog polja; LTE; mikro bazna stanica; *indoor* okruženje.

I. UVOD

ELEKTROMAGNETSKO polje nije nova pojava i postoji svuda oko nas u različitim oblicima. Prirodna i veštačka svetlost su takođe vidovi elektromagnetskog polja. Elektromagnetsko polje (*Electromagnetic Field*, EMF) može biti generisano od strane mobilnih telefona, baznih stanica, WiFi (*Wireless Fidelity*) uređaja, mikrotalasnih pećnica, računara, raznih drugih telekomunikacionih uređaja i slično. Sva navedena zračenja dopiru do ljudskog tela i ostatka životne sredine. Deo tih zračenja se reflektuje, deo se apsorbuje, dok deo prolazi kroz ljudsko telo i druge objekte [1].

Bazne stanice mobilne telefonije svojim radom ne zagađuju životnu okolinu u konvencionalnom smislu, ali se kao i ostali radio i televizijski difuzni sistemi smatraju izvorima nejonizujuće radijacije. Iz tog razloga postoji potreba za merenjem takvih izvora radi provere usklađenosti sa normama

Ivana Stojanović – Telekom Srbija a.d., Bulevar umetnosti 16a, 11000 Beograd, Srbija i Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: ivnvukanic@gmail.com).

Mladen Koprivica – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: kopra@etf.rs).

Nenad Stojanović – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: nivzv@hotmail.com).

Aleksandar Nešković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: neshko@etf.rs).

kojima se ograničava uticaj na zdravlje ljudi.

Do sada su vršena brojna istraživanja o elektromagnetskom zračenju i njegovom uticaju na prirodnu sredinu. Rezultati izlaganja raznim telekomunikacionim signalima u toku 24 časa u školi i kući prikazani su u [2]. Mereni su intenziteti električnog polja za WiFi signale, signale mobilne telefonije, signale radio difuzije kao što su digitalna televizija i FM (*Frequency Modulation*) radio i signale koji potiču od DECT (*Digital European Cordless Telecommunications*) bežičnog fiksno telefona. Merenja su vršena na pet lokacija u školama i pet lokacija u kućama. Rezultati su pokazali da najveće zračenje potiče od DECT telefona i WiFi uređaja, dok je nešto manje od signala mobilne telefonije, a najmanje od radio difuznih sistema. Pokazano je da zračenje zavisi od doba dana i količine korišćenja telekomunikacionih sistema u određenom periodu u toku tog doba dana. Analizirani su signali GSM (*Global System for Mobile Communications*), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Systems*) i LTE (*Long Term Evolution*) mobilnih tehnologija. Slično istraživanje vršeno je i u [3]. Vršeno je merenje i poređenje zračenja velikog broja telekomunikacionih signala. Merenja su vršena u urbanom okruženju, u glavnom gradu Švedske, Stokholmu, na više od 30 lokacija. Signali različitih tehnologija mobilne telefonije su imali nešto viši nivo električnog polja u odnosu na signale radio i televizijskih difuznih sistema i drugih telekomunikacionih sistema. Merenja su vršena u *outdoor* okruženju za razliku od merenja u [2], gde su merenja vršena u *indoor* okruženju.

Veliki broj različitih telekomunikacionih signala meren je u jednom sveobuhvatnom istraživanju u tri Evropske zemlje – Holandiji, Belgiji i Švedskoj, u različitim okruženjima i na velikom broju lokacija [4]. Merenja su vršena na 311 lokacija od čega je 68 bilo u *indoor* okruženju, a 243 u *outdoor* okruženju. Analizirane su merene vrednosti sa lokacija različite gustine naseljenosti i pokazano je da u *outdoor* okruženju najveći intenzitet električnog polja potiče od GSM baznih stanica, dok je u *indoor* okruženju to slučaj za DECT telefone.

Autori su u [5] upoređivali zračenja koja potiču od GSM i LTE baznih stanica. Pokazano je da je izlaganje elektromagnetskom zračenju, kada se posmatra gustina energetskega fluksa, tri puta niže kod LTE bazne stanice u odnosu na GSM baznu stanicu.

Istraživanja o uticaju zračenja koje potiče od mobilnog telefona koji se nalazi neposredno uz korisnika su takođe vršena. Utvrđeno je da je srednja vrednost intenziteta električnog polja koje potiče od LTE terminalnog uređaja

manja od 1% maksimalne izmerene vrednosti [6]. Istraživanje zračenja LTE mobilnih terminala vršeno je i u laboratorijskim uslovima. Ispitivano je na koji način utiče prag termičkog bola na mlade, zdrave osobe [7].

U ovom radu su prikazani rezultati merenja vremenske varijabilnosti intenziteta električnog polja u toku jedne sedmice, u frekvencijskom opsegu *downlink* smera komunikacije, koje potiče od mikro LTE bazne stanice. Analiza je izvršena kroz grafičke prikaze i izmerene i izračunate numeričke vrednosti.

U sekciji II rada date su osnovne karakteristike signala koji potiče od LTE bazne stanice. Sekcija III daje kratak pregled dosadašnjih dugoročnih merenja signala mobilne telefonije u Srbiji. U sekciji IV prikazana je merna oprema koja je korišćena i metodologija merenja. U sekciji V prikazani su najvažniji rezultati i njihova analiza. U sekciji VI dati su zaključci i mogući pravci budućeg istraživanja.

II. KARAKTERISTIKE LTE SIGNALA

Fizički sloj LTE signala u frekvencijskom opsegu *downlink* strane komunikacije zasniva se na OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) tehnologiji, koja dodeljuje radio resurse većem broju korisnika što za rezultat daje robusniji sistem sa povećanim kapacitetom. Multipleksiranjem korisničkih podataka malog protoka na širem kanalu postiže se povećanje kapaciteta telekomunikacionog kanala, dok se robusnost postiže raspoređivanjem korisničkog saobraćaja po učestanostima kako bi se izbegla uskopojasna interferencija i feding usled višestruke propagacije [8].

U vremenskom domenu, LTE transmisija je organizovana u radio frejmove dužine od po 10 ms. Ovakav frejm je podeljen na 10 podfrejmova dužine po 1 ms. Zatim se podfrejm deli na dva slota trajanja 0.5 ms svaki. A slot se sastoji od 7 ili 6 OFDM simbola, u zavisnosti da li se koristi normalni ili prošireni ciklični prefiks (*Cyclic Prefix*) [9].

Pored opšte poznatog kratkoročnog fedinga još nekoliko efekata ima uticaj na snagu elektromagnetskog polja u mobilnim mrežama. Najčešće spominjani efekti su: saobraćajno opterećenje, automatska regulacija snage i neprekidna transmisija. Ukupna predajna snaga bazne stanice zavisi direktno od broja i protoka aktivnih konekcija tj. od saobraćajnog opterećenja. Saobraćajno opterećenje baznih stanica varira i zavisi od: doba dana, dana u nedelji, tarifnog profila koji se koristi, lokacije bazne stanice... Mobilni operateri konfiguriraju bazne stanice tako da pod određenim okolnostima zadovoljavaju saobraćajne potrebe u takozvanom satu najvećeg opterećenja („*busy hour*“ – period od 60 minuta tokom 24 sata kada dolazi do maksimalnog saobraćajnog opterećenja).

III. RANIJA DUGOROČNA MERENJA SIGNALA MOBILNE TELEFONIJE U SRBIJI

Vršeno je merenje varijabilnosti intenziteta električnog polja u frekvencijskom opsegu *downlink* smera komunikacije kod GSM 900 MHz, DCS 1800 MHz (*Digital Communication*

System) i UMTS 2100 MHz baznih stanica u urbanom delu Beograda, koje je proizašlo iz projekta LEXNET (*Low-EMF Exposure Future Networks*) [10].

U [11] su prikazani rezultati dobijeni dugoročnim merenjem varijabilnosti intenziteta električnog polja koje potiče od GSM baznih stanica. Merenja su vršena u urbanom delu Beograda na sedam različitih lokacija i to pet u *indoor* i dva u *outdoor* okruženju. Dobijeni rezultati su pokazali da se dan može podeliti na dva perioda. Prvi period predstavlja interval od 09:00 do 23:00 časova kada je viši intenzitet električnog polja i drugi period od 23:00 do 09:00 časova narednog dana kada je niži intenzitet električnog polja. Takođe je uočeno da je nivo električnog polja nešto niži bio u toku vikenda u odnosu na radne dane. Vrednosti izmerenog intenziteta električnog polja bile su u intervalu od 0.022 V/m do 0.042 V/m. Raspodela izmerenih vrednosti veoma je bliska normalnoj raspodeli. Prilikom izračunavanja merne nesigurnosti, vršeno je usrednjavanje izmerenih vrednosti u nekoliko vremenskih intervala. Dobijeni rezultati merne nesigurnosti bili su u opsegu od 3.57% do 12.11%. Sa povećanjem intervala usrednjavanja smanjivala se vrednost merne nesigurnosti.

Uporedna analiza dugoročnog merenja intenziteta električnog polja koje potiče od GSM, DCS i UMTS baznih stanica izvršena je u [12]. Merenja su takođe vršena u urbanom delu Beograda na sedam različitih lokacija. Pet lokacija je bilo u *indoor* i dva u *outdoor* okruženju. Kao i u [11], dva perioda u toku dana su se izdvojila. Opseg izmerenih vrednosti intenziteta električnog polja koje potiče od DCS bazne stanice je od 0.06 V/m do 0.11 V/m, kod UMTS taj opseg je od 0.03 V/m do 0.09 V/m, dok je kod GSM opseg isti kao u [11]. Raspodela izmerenih vrednosti kod UMTS sistema je bliska *log-normalnoj* raspodeli, za razliku od GSM i DCS sistema kod kojih ta raspodela teži normalnoj. Kod UMTS sistema, značajno veći broj izmerenih vrednosti intenziteta električnog polja ima niže vrednosti iz izmerenog opsega, za razliku od GSM i DCS sistema. I u ovom slučaju je prilikom izračunavanja merne nesigurnosti vršeno usrednjavanje izmerenih vrednosti u nekoliko vremenskih intervala. Za GSM tehnologiju merna nesigurnost je bila u opsegu od 4.04% do 12.11%, za DCS tehnologiju od 2.71% do 7.92% i za UMTS tehnologiju od 4.69% do 14.69%. Sa povećanjem intervala usrednjavanja smanjivala se vrednost merne nesigurnosti za sve tri analizirane tehnologije. Dobijeni rezultati su očekivani jer se GSM koristi uglavnom za prenos govora, a retko za prenos podataka, DCS se inače retko koristi, a kada se koristi uglavnom je u pitanju govorni servis. UMTS tehnologija se u trenutku merenja uglavnom koristila za prenos podataka, a ređe za prenos govora, što se odrazilo na veću varijabilnost intenziteta električnog polja.

IV. MERNA TEHNOLOGIJA

Prilikom merenja varijabilnosti intenziteta električnog polja korišćen je *Rohde&Schwarz* (RS) EMF merni sistem koji se nalazi u okviru Laboratorije za radio-komunikacije Elektrotehničkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu. Merni

sistem se sastoji od spektralnog analizatora *Rohde&Schwarz* FSH6 i izotropne merne sonde *Rohde&Schwarz* TS-EMF. Koristi se za pretraživanje radio-frekvencijskog spektra u opsegu od 30 MHz do 3 GHz. Prilikom merenja, spektralni analizator i izotropna merna sonda su postavljeni u prizemlju zgrade Elektrotehničkog fakulteta tokom sedam dana, što predstavlja tipično urbano *indoor* okruženje. Za potrebe merenja korišćena je infrastruktura preduzeća za telekomunikacije “Telekom Srbija” a.d.. Merni sistem je prikazan na slici 1.



Sl. 1. Korišćena merna oprema *Rohde&Schwarz* EMF

Na mernoj lokaciji se nalazi 12 kros-polarizovanih antena, od kojih su četiri antene preko kojih je realizovan GSM servis, četiri antene preko kojih je realizovan UMTS servis i četiri antene preko kojih je realizovan LTE servis. Merenja su sprovedena u opsegu u kome rade LTE bazne stanice za *downlink* smer komunikacije. Rezultati su beleženi na svake četiri sekunde uz pomoć softvera *White Tigress Baby – Measurements*, razvijenog u okviru Laboratorije za radio-komunikacije. Na spektralnog analizatoru su bile podešene sledeće vrednosti parametara prilikom merenja:

- centralna frekvencija – 1835 MHz,
- širina opsega (*resolution bandwidth*) – 1 MHz i
- vreme prebrisavanja (*sweep time*) – 100 ms.

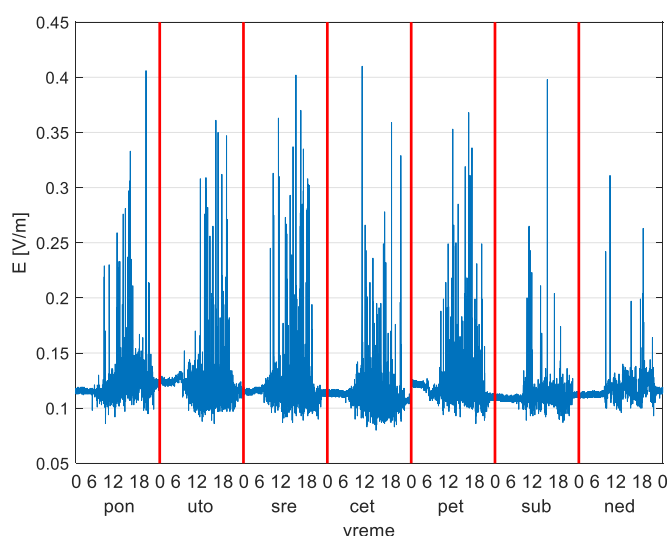
Merni sistem meri sve tri prostorne komponente električnog polja (E_x , E_y i E_z) istovremeno i kao rezultat daje vrednost ukupnog intenziteta električnog polja.

V. REZULTATI MERENJA

Rezultati dobijeni merenjem intenziteta električnog polja tokom sedam dana prikazani su grafički na slici 2. Sa slike se mogu uočiti dva različita perioda u toku svakog dana ako se posmatra razlika u jačini električnog polja. Prvi periodi imaju veće intenzitete i karakteristični su za dnevni deo dana, dok drugi periodi imaju manji intenzitet električnog polja i karakteristični su za noć. Periodi sa povećanim intenzitetom električnog polja mogu se nazvati aktivni sati, dok se periodi

sa smanjenim intenzitetom mogu nazvati neaktivni sati. Promene u intenzitetu električnog polja počinju da se javljaju oko 08:00 časova porastom nivoa, dok je sledeća promena u intenzitetu zabeležena oko 22:00 časova kada dolazi do pada intenziteta električnog polja, pa je tako za aktivan deo dana izabran period od 08:00-22:00 časova, dok je za neaktivan deo dana izabran period od 22:00-08:00 časova narednog dana. Promene vrednosti intenziteta električnog polja slične su za svaki dan, uz neznatne razlike tokom vikenda (subota i nedelja) kada je bilo manje varijacija u odnosu na radne dane (ponedeljak – petak) i kada su vrednosti jačine električnog polja bile niže. Izdvojeni periodi odgovaraju radnom vremenu Elektrotehničkog fakulteta, Univerziteta u Beogradu.

Merenje je početo u petak u ponoć i trajalo je sedam dana. Sa slike 2 se može uočiti mali nesklad u vrednostima intenziteta električnog polja u ponoć između četvrtka i petka koji se javlja upravo zbog početka i završetka merenja.



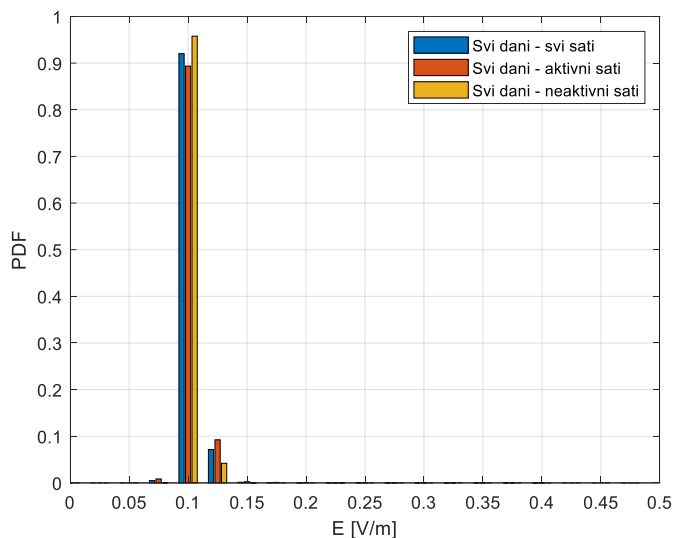
Sl. 2. Vremenska varijabilnost intenziteta električnog polja LTE signala u frekvencijskom opsegu *downlink* smera komunikacije

Za potrebe dalje analize, na osnovu uočenih razlika kod radnih dana u nedelji i vikenda i aktivnih i neaktivnih sati, izvršena je podela rezultata na šest različitih kategorija i to:

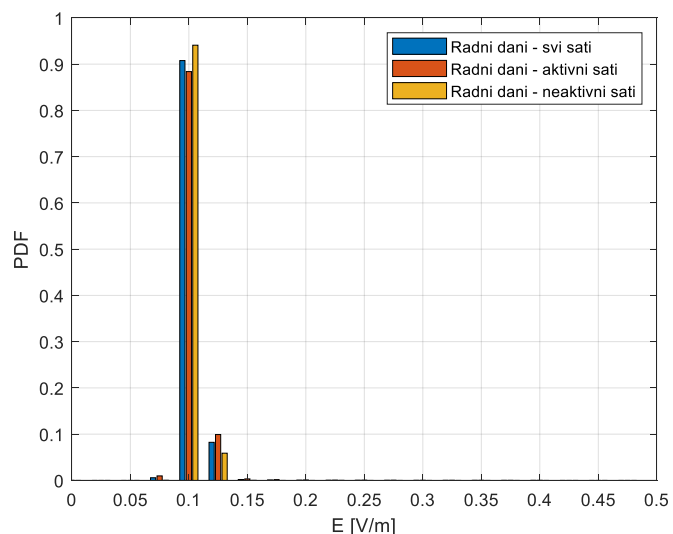
- svi dani – svi sati,
- svi dani – aktivni sati,
- svi dani – neaktivni sati,
- radni dani – svi sati,
- radni dani – aktivni sati,
- radni dani – neaktivni sati.

Na slici 3 prikazana je funkcija gustine verovatnoće intenziteta električnog polja za tri kategorije kada se razmatra svih sedam dana tokom kojih su vršena merenja. Sa slike se može uočiti da je najveći broj izmerenih vrednosti intenziteta električnog polja u intervalu od 0.1-0.15 V/m. Jako je mali broj izmerenih vrednosti intenziteta električnog polja u intervalu od 0.15-0.45 V/m i gotovo da se ne uočavaju na slici 3, dok se na slici 2 jasno uočavaju. Sa slike 3 se može uočiti da je kod nižih vrednosti intenziteta električnog polja veći

broj izmerenih vrednosti tokom neaktivnih sati (žuti stupci), dok je kod aktivnih sati obrnuto (crveni stupci). Vrednosti intenziteta električnog polja, koje su prikazane plavim stupcima, odnose se na sve sate i sve dane i imaju vrednosti između rezultata dobijenih posmatranjem samo aktivnih ili samo neaktivnih sati. Izmerene vrednosti iz opsega od 0.1-0.15 V/m predstavljaju preko 98% svih izmerenih vrednosti intenziteta električnog polja.



Sl. 3. Funkcija gustine verovatnoće intenziteta električnog polja za sve dane



Sl. 4. Funkcija gustine verovatnoće intenziteta električnog polja za radne dane (ponedeljak – petak)

Slični rezultati dobijeni su i kada su posmatrane tri kategorije kod kojih su analizirani samo radni dani, što je kroz funkciju gustine verovatnoće intenziteta električnog polja prikazano na slici 4. Poređenjem sa rezultatima dobijenim za sve dane, ilustrovanim na slici 3, uočava se blago povećanje broja izmerenih vrednosti sa većim intenzitetom električnog polja. Kako se LTE mobilna tehnologija u trenutku merenja koristila isključivo za prenos podataka, uočava se da je zbog

velikih brzina prenosa veoma kratko vreme emisije signala u *downlink* smeru komunikacije, pa je stoga registrovan mali broj izmerenih većih vrednosti intenziteta električnog polja.

Velika većina izmerenih vrednosti električnog polja ima niske nivoe, kada se posmatra opseg svih izmerenih vrednosti, koje potiču od LTE bazne stanice (0.05-0.45 V/m). Ipak, te vrednosti su nešto više u odnosu na vrednosti izmerene u [11] i [12] kod GSM, DCS i UMTS tehnologije.

Merna nesigurnost je parametar koji se pridružuje rezultatu merenja i koji karakteriše disperziju vrednosti koje se mogu se s razlogom pripisati mernoj veličini [13]. Merna nesigurnost je korišćena u daljoj analizi izmerenih rezultata.

Merna nesigurnost se može odrediti statističkom analizom velikog broja izmerenih vrednosti [13, 14]. Za potrebe određivanja merne nesigurnosti, potrebno je najpre odrediti srednju vrednost prema izrazu:

$$E_{sr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_{mer_i} \quad (1)$$

gde je sa E_{mer_i} označena i -ta izmerena vrednost, a sa N broj izvršenih merenja. Dalje je potrebno odrediti standardnu devijaciju prema izrazu:

$$\sigma(E_{sr}) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (E_{mer_i} - E_{sr})^2} \quad (2)$$

Konačno, merna nesigurnost u procentima se dobija kao odnos standardne devijacije i srednje vrednosti:

$$u_{mn}(\%) = \frac{\sigma(E_{sr})}{E_{sr}} \cdot 100 \quad (3)$$

U tabeli I prikazane su vrednosti merne nesigurnosti u procentima za određene vremenske intervale. Merna nesigurnost je izračunata za svaki dan u nedelji posebno, za sve radne dane (ponedeljak – petak), neradne dane, odnosno dane vikenda (subota i nedelja) i za svih sedam dana. Za svaki navedeni period izdvojeni su rezultati za sve sate, aktivne sate i neaktivne sate.

Dobijene vrednosti za sve vremenske periode su u opsegu od 1.71-11.26%. Najmanja merna nesigurnost dobijena je u toku neaktivnih sati u subotu (1.71%), dok je najveća merna nesigurnost dobijena u sredu u toku aktivnih sati (11.26%).

Posmatrajući sve sate u analiziranim vremenskim intervalima, izračunata je merna nesigurnost u opsegu od 4.86-8.76%. Najmanja merna nesigurnost dobijena je za subotu (4.86%), a najveća za sredu (8.76%). Kod aktivnih sati, merna nesigurnost je u opsegu od 5.30-11.26%. Najveća vrednost dobijena je za sredu (11.26%), a najmanja za nedelju (5.30%). Kod neaktivnih sati, zbog značajnog smanjenja varijacije intenziteta električnog polja, opseg vrednosti merne nesigurnosti je od 1.71-4.64%. Najmanja vrednost merne nesigurnosti od 1.71% dobijena je za subotu, dok je najveća

vrednost od 4.64% dobijena kada se analizira svih sedam dana tokom kojih je meren intenzitet električnog polja. Ako se posmatraju pojedinačni dani kod neaktivnih sati, najveća merna nesigurnost dobijena je za petak – 4.59%, i ta vrednost je manja od maksimalne za 0.05%.

Uočava se da je merna nesigurnost veća kod aktivnih sati nego kod neaktivnih za sve razmatrane vremenske intervale. Takođe, kod svih vremenskih intervala, merna nesigurnost za sve sate je između aktivnih i neaktivnih sati, što je i očekivano. Vrednosti merne nesigurnosti izračunate za subotu i nedelju, tj. za neradne dane, su znatno manje u odnosu na radne dane, posmatrano bilo pojedinačno, bilo za sve radne dane skupa. To važi i za aktivne i za neaktivne sate, ali je kod neaktivnih sati ta razlika znatno manja, što je i očekivano jer je mikro bazna stanica namenjena za opsluživanje korisnika koji se nalaze unutar zgrade Elektrotehničkog fakulteta.

TABELA I
Merna nesigurnost izražena u procentima za određene vremenske intervale

Vremenski interval	Svi sati	Aktivni sati	Neaktivni sati
Ponedeljak	6.92	7.96	2.83
Utorak	7.53	8.80	3.21
Sreda	8.76	11.26	2.32
Četvrtak	6.80	8.56	2.74
Petak	7.53	9.02	4.59
Subota	4.86	6.11	1.71
Nedelja	5.07	5.30	2.01
Radni dani	8.07	9.85	4.52
Neradni dani	5.80	6.86	2.58
Svi dani	7.61	9.13	4.64

TABELA II
Srednje i maksimalne vrednosti intenziteta električnog polja izražene u V/m za određene vremenske intervale

Vremenski interval	Svi sati		Aktivni sati		Neaktivni sati	
	Srednja vrednost	Maksimalna vrednost	Srednja vrednost	Maksimalna vrednost	Srednja vrednost	Maksimalna vrednost
Ponedeljak	0.1192	0.4060	0.1217	0.4060	0.1157	0.1300
Utorak	0.1181	0.3610	0.1151	0.3610	0.1224	0.1520
Sreda	0.1152	0.4020	0.1154	0.4020	0.1147	0.2450
Četvrtak	0.1097	0.4100	0.1088	0.4100	0.1111	0.1260
Petak	0.1162	0.3680	0.1166	0.3680	0.1157	0.1270
Subota	0.1093	0.3980	0.1098	0.3980	0.1084	0.1270
Nedelja	0.1160	0.3110	0.1186	0.3110	0.1123	0.2420
Radni dani	0.1157	0.4100	0.1155	0.4100	0.1159	0.2450
Neradni dani	0.1126	0.3980	0.1142	0.3980	0.1104	0.2420
Svi dani	0.1148	0.4100	0.1151	0.4100	0.1143	0.2450

U tabeli II prikazani su uporedni rezultati srednjih vrednosti i maksimalnih vrednosti intenziteta električnog polja po danima u nedelji, radnim danima, neradnim danima i tokom čitave nedelje. Takođe su razmatrani, aktivni sati, neaktivni sati i svi sati.

Srednje vrednosti intenziteta električnog polja su vrlo slične za sve razmatrane periode i iznose oko 0.11 V/m kada se posmatraju svi sati. Najveća srednja vrednost dobijena je za ponedeljak (0.1192 V/m), a najmanja za subotu (0.1093 V/m). Očekivano je da manje vrednosti budu za dane vikenda, ali je za četvrtak dobijena nešto niža srednja vrednost (0.1097 V/m) u odnosu na nedelju (0.1160 V/m). Kada se posmatraju maksimalne izmerene vrednosti one su u opsegu od 0.3110 V/m (nedelja) do 0.4100 V/m (četvrtak), što su vrednosti znatno veće od izračunatih srednjih vrednosti.

Kada se posmatraju samo aktivni sati, izračunate srednje vrednosti su nešto više u odnosu na to kada se posmatraju svi sati. Srednje vrednosti su u opsegu od 0.1088-0.1217 V/m. Maksimalne vrednosti u toku aktivnih sati se poklapaju sa maksimalnim vrednostima kod svih sati, što znači da su sve maksimalne vrednosti intenziteta električnog polja izmerene u toku aktivnih sati što je i očekivano.

Maksimalne vrednosti intenziteta električnog polja u toku neaktivnih sati znatno su niže od maksimalnih vrednosti izmerenih u toku aktivnih sati. Srednje vrednosti tokom neaktivnih sati su za nijansu niže od srednjih vrednosti tokom aktivnih sati, uz odstupanja koja su se javila u utorak i četvrtak, kao i kada se posmatraju svi radni dani gde su srednje vrednosti neaktivnih sati bile više od srednjih vrednosti aktivnih sati. Opseg srednjih vrednosti intenziteta električnog polja je od 0.1084 V/m (subota) do 0.1224 V/m (utorak). Opseg maksimalnih izmerenih vrednosti intenziteta električnog polja u toku neaktivnih sati je od 0.1260 V/m (četvrtak) do 0.2450 V/m (sreda).

Iako nije očekivano da pojedine srednje vrednosti za neaktivne sate budu veće od vrednosti kod aktivnih sati iz tabele II, gledajući grafik sa slike 2, uočavaju se značajnije promene u intenzitetu električnog polja čije vrednosti padaju i ispod vrednosti koja je konstantnija tokom neaktivnih sati, gde se može pronaći odgovor na neočekivan rezultat.

VI. ZAKLJUČAK

U radu je izvršeno merenje i analiza vremenske varijabilnosti intenziteta električnog polja koje potiče od mikro LTE 1800 MHz bazne stanice u toku jedne sedmice. Merenje je vršeno neprekidno tokom sedam dana u urbanom delu Beograda. Za merenje je korišćena merna oprema *Rohde&Schwarz* EMF.

Rezultati merenja su pokazali da se mogu izdvojiti dva različita perioda u toku dana. Jedan period se odnosi na vreme između 08:00-22:00 časova, kada su viši nivoi i češće varijacije intenziteta električnog polja. Drugi period je u intervalu od 22:00-08:00 časova sledećeg dana i tada su niži nivoi i smanjene su na minimum promene u intenzitetu električnog polja. Uočeno je i smanjenje emisije i varijacije intenziteta električnog polja u dane vikenda.

Zbog velike brzine prenosa podataka kraće su emisije signala sa višim nivoom zračenja. Zato je 98% svih izmerenih vrednosti intenziteta električnog polja u intervalu od 0.1-0.15 V/m, u čiji opseg ulaze i izračunate srednje vrednosti po danima u nedelji.

Računanjem merne nesigurnosti utvrđena su odstupanja od vrednosti koje se opravdano mogu uzeti za rezultat merenja. Izračunata merna nesigurnost koja je u opsegu od 1.71% do 11.26% pokazuje relativno malo odstupanje izmerenih vrednosti. Najmanja merna nesigurnost dobijena je u toku neaktivnih sati za subotu (1.71%) kada je bilo najmanje varijacije u intenzitetu električnog polja, dok je najveća merna nesigurnost dobijena za sredu u toku aktivnih sati (11.26%) kada su varijacije intenziteta električnog polja bile najčešće.

U budućem istraživanju potrebno je vršiti dugoročnija merenja promene intenziteta električnog polja na različitim lokacijama, vremenskim uslovima i u različitim okruženjima. Potrebno je voditi računa o broju korisnika koje opslužuje LTE bazna stanica u datom trenutku. Takođe, u narednom periodu planirano je merenje zračenja terminalnih uređaja povezanih na LTE baznu stanicu i njihov uticaj na ljude i okruženje.

LITERATURA

- [1] M. K. L. Alhasnawi, S. Abdulla, D. Fatseas, R. G. Addie, "Spectral density constraints on wireless communication," *Heliyon*, vol. 6, no. 5, e03979, 2020.
- [2] L. Verloock, W. Joseph, F. Goeminne, L. Martens, M. Verlaek, K. Constandt, "Temporal 24-hour assessment of radio frequency exposure in schools and homes," *Measurement* 56, pp. 50-57, 2014.
- [3] W. Joseph, L. Verloock, F. Goeminne, G. Vermeeren, L. Martens, "Assessment of general public exposure to LTE and RF sources present in an urban environment," *Bioelectromagnetics*, vol. 31, no. 7, pp. 576-579, 2010.
- [4] W. Joseph, L. Verloock, F. Goeminne, G. Vermeeren, L. Martens, "Assessment of RF exposures from emerging wireless communication technologies in different environments," *Health Physics*, vol. 102, no. 2, pp. 161-172, 2012.
- [5] M. Y. Zvezdina, Y. A. Shokova, O. Y. Nazarova, H. T. A. Al-Ali, G. H. A. Al-Farhan, "Visualization of electromagnetic exposure near LTE antennae," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 115.1: 012037, 2018.
- [6] P. Joshi, D. Colombi, B. Thors, L. E. Larsson, C. Törnevik, "Output power levels of 4G user equipment and implications on realistic RF EMF exposure assessments," *IEEE Access* 5, pp. 4545-4550, 2017.
- [7] Z. Vecsei, G. Thuróczy, I. Hernádi, "The effect of a single 30-min long term evolution mobile phone-like exposure on thermal pain threshold of young healthy volunteers," *International journal of environmental research and public health*, vol. 15, no. 9, 1849, 2018.
- [8] I. Stojanović, M. Koprivica, N. Stojanović, A. Nešković, "Analysis of the impact of network architecture on signal quality in LTE technology," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 95-109, 2020.
- [9] E. Lunca, C. Damian, A. Salceanu, "EMF exposure measurements on 4G/LTE mobile communication networks," *International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering*, Iasi, Romania, pp. 545-548, October 16-18, 2014.
- [10] M. Tesanovic, E. Conil, A. De Domenico, R. Agüero, F. Freudenstein, L. M. Correia, S. Bories, L. Martens, P. M. Wiedemann, J. Wiart, "Wireless networks and EMF—paving the way for low-EMF networks of the future: the LEXNET project", *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 9, no. 2, pp. 20-28, 2014.
- [11] M. Koprivica, M. Petrić, M. Popović, J. Milinković, S. Nikšić, A. Nešković, "Long-term variability of electromagnetic field strength for GSM 900MHz downlink band in Belgrade urban area," 22nd Telecommunications Forum TELFOR, Belgrade, Serbia, pp. 9-12, November 25-27, 2014.
- [12] M. Koprivica, M. Petrić, M. Popović, J. Milinković, A. Nešković, "Empirical analysis of electric field strength long-term variability for GSM/DCS/UMTS downlink band," *Telfor Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 87-92, 2016.
- [13] Joint Committee for Guides in Metrology (BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML), "JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 2008.
- [14] G. Basso, "Uncertainty in the measurement of electromagnetic field with isotropic broadband sensor and selective E&H field analyzer", *NARDA Safety Solutions*, 2009.

ABSTRACT

The paper analyzes the variability of the electric field strength originating from the micro LTE base station. Measurement of the electric field strength was performed during seven days. The measurement was performed in the frequency range of the downlink direction of communication at the central frequency of 1835 MHz. Intensive measurements were performed in real network conditions in indoor environment. Variability of electric field strength can be divided into two periods in one day, a period with higher levels and more frequent changes in electric field strength (from 08:00 AM to 10:00 PM) and a period with lower levels and less frequent changes in electric field strength (from 10:00 PM to 08:00 AM the next day). Differences in the electric field strength were also observed during working days (Monday-Friday) in relation to non-working days (Saturday and Sunday). The time variability of the electric field strength was determined by calculating the measurement uncertainty. The obtained measurement uncertainty, which is in the range from 1.71% to 11.26%, shows a relatively small deviation of the measured values.

Long-Term Variability of Electric Field Strength Originating from Micro LTE Base Station

Ivana Stojanović, Mladen Koprivica, Nenad Stojanović,
Aleksandar Nešković