

## Međulaboratorijska ispitivanja kod širokopojasnih merenja elektromagnetskih polja

BRANISLAV D. VULEVIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd

LJUBIŠA S. ČIČKARIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd

SASA D. MILIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd

MIRJANA M. MARČETA, W-line d.o.o., Laboratorija W-line, Beograd

Stručni rad

UDC: 537.8.08

DOI: 10.5937/tehnika1802239V

*U radu su prikazani rezultati međulaboratorijskih ispitivanja kod širokopojasnih merenja jačine električnog polja visokih učestanosti, sa ciljem da se potvrdi tehnička kompetentnost laboratorija učesnica. Isti treba da posluži kao polazni okvir za buduća razmatranja i poboljšavanja metoda međulaboratorijskih ispitivanja u ostalim oblastima vezanim za ispitivanja nivoa nejonizujućih zračenja kojima su ljudi izloženi u svom okruženju.*

**Ključne reči:** izlaganje ljudi, nejonizujuća zračenja, jačina električnog polja, visoke učestanosti, međulaboratorijska ispitivanja

### 1. UVOD

Zahvaljujući brzom razvoju novih tehnologija, mernih uređaja i njihovog povezivanja u merne sisteme, prvih petnaest godina XXI veka karakteriše pojava različitih pristupa merenjima u svim oblastima čovekovog bitisanja. Ovo posebno implicira potrebu za usaglašavanjem mernih metoda. Zbog toga se dužna pažnja poklanja standardizaciji i harmonizaciji mernih metoda.

Poseban podsticaj za razvoj mernih metoda, tehnika i standarda iz oblasti ispitivanja nivoa elektromagnetskih polja proizilazi iz njihovog potencijalno negativnog uticaja na ljudsko zdravlje. Ubrzani razvoj i sve šira primena bežične telekomunikacione tehnologije, bežičnog interneta, mobilne telefonije, televizije, bežičnog prenosa podataka, vojnih i industrijskih komunikacionih sistema pokreće razvoj mernih metoda, tehnika, i instrumenata. Postoji veliki broj naučnih radova, studija i standarda koji pokrivaju oblasti merenja elektromagnetnih polja celog opsega učestanosti, od ultra-niskih (mHz) do ultra-visokih (THz) [1 - 5].

Merenja koja se vrše u okviru ispitivanja nivoa elektromagnetskih polja (EMF) predstavljaju najmanje precizna merenja u fizici, posebno kada se posmatra okruženje sa većim brojem izvora. Samim tim, značaj standardizacije dobija na važnosti.

U okviru tehničkih zahteva, standarda SRPS ISO/IEC 17025:2006 [6], pod tačkom 5.9.1 apostrofira se da: „Laboratorija mora da poseduje procedure za upravljanje kvalitetom radi praćenja valjanosti obavljenih ispitivanja i etaloniranja“.

To praćenje treba da se planira, preispituje i obuhvati učešće u programima međulaboratorijskih ispitivanja (MLI) ili programima ispitivanja osposobljenosti (Proficiency Testing, PT), čiji se opšti zahtevi definišu u standardu SRPS ISO/IEC 17043:2011 [7]. Pri tome, odabrane metode provere treba da odgovaraju vrsti i obimu preduzetog posla.

Osnovni cilj MLI jeste potvrda tehničke kompetencije laboratorija učesnica pod kojom se, između ostalog, podrazumeva:

- Utvrđivanje i praćenje sposobnosti laboratorija za obavljanje određenih ispitivanja;
- Uočavanje problema u laboratorijama, kao i iniciranje aktivnosti za njihovo prevazilaženje;
- Utvrđivanje sposobnosti zaposlenih;
- Uspostavljanje efektivnosti i uporedivosti novih metoda ispitivanja i

Adresa autora: Branislav Vulević, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Beograd, Koste Glavinića 8a

e-mail: banevul@gmail.com

Rad primljen: 05.02.2018.

Rad prihvaćen: 13.03.2018.

- Stvaranje dodatnog poverenja kod korisnika usluga laboratorije.

Svrha ovog rada je da ukaže na značaj MLI uz predstavljanje jednog primera iz prakse, kojim se ilustruje sprovođenje MLI vezano za slučaj širokopoljnih merenja jačine električnog polja visokih učestanosti u skladu sa standardom CENELEC EN 50492 [8], odnosno odgovarajući domaći standardi SRPS EN 50492:2010 i SRPS EN 50492:2010/ A1:2014 [9].

## 2. LABORATORIJE UČESNICE, MERNA OPREMA I AMBIJENTALNI USLOVI

U okviru MLI opisanog u ovom radu, izvršeno je poređenje rezultata merenja jačine električnog polja visokih učestanosti u zatvorenom prostoru (sala za sastanke). Učesnice navedenog MLI bile su dve akreditovane laboratorije – Laboratorija 1 (skraćena: WL) i Laboratorija 2 (skraćena: INT).

Laboratorije učesnice MLI raspolagale su opremom za izotropno, širokopoljano merenje jačine električnog polja visokih učestanosti, koje zadovoljavaju zahteve standarda CENELEC EN 50492 [8]. Oznake i nazivi merne opreme prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1. Osnovni podaci o mernoj opremi

Laboratorija	Merna oprema opseg frekvencija	Serijski broj
WL	WaveControl, SMP + Sonda WPF8 100 kHz – 8 GHz	11SM0117 (uređaj)
		12WP040171 (sonda)
INT	NARDA, NBM 550 + Sonda EF 0691 100 kHz – 6 GHz	H-0300 (uređaj)
		H-0477 (sonda)

Režim rada oba merna instrumenta podešen je tako da je jednim setom merenja obuhvaćeno kontinualno merenje u trajanju od 2 minuta pri čemu se memorišu minimalna, srednja i maksimalna efektivna (RMS) vrednost jačine električnog polja visokih frekvencija na svake 3 sekunde.

Uslovi okoline tokom merenja:

- temperatura okoline:  $24^{\circ}\text{C} \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ ;
- vlažnost vazduha:  $23\% \pm 3,5\%$ .

Merenja temperature i vlažnosti vazduha vršena su termohigrometrom TROTEC BC15 Multi Measure (serijski broj 09121314).

## 3. IZVOR EMF, LOKACIJA I SCENARIO TOKOM MERENJA

Kao referentni izvor elektromagnetskih polja visokih učestanosti korišćen je signal-generator Keysight Technologies N9310A i direkciona antenna 489-DB koji su povezani kablom Keysight Technologies N6314A,

čiji su osnovni podaci prikazani u tabeli 2. Pozicije opreme tokom merenja prikazane su na slici 1.

Tabela 2. Osnovni podaci referentnog izvora EMF

Element izvora polja	Naziv (Serijski broj)
RF Signal generator 9kHz-3GHz	Keysight Technologies N9310A (CN0116A944)
Direkciona, multiband antenna 489-DB 800MHz-2500MHz	Keysight Technologies N9910X-820 (N/A)



Slika 1 – Pozicije opreme tokom merenja

Sva merenja vršena su u jednoj tački (pozicija 1) u zatvorenoj prostoriji na visini 1,35 m od poda, za unapred zadate ulazne snage i frekvencije generisanog signala (nemodulisani CW signal).

„Pozicija 2“ predstavlja položaj referentnog izvora EMF tokom merenja a određena je prethodnim proračunom sa ciljem da se „Pozicija 1“ nalazi u zoni dalekog polja (Fraunhofer-ova zona) [10].



Slika 2 – Položaj izvora EMF i merne opreme WL

Na slikama 2 i 3, prikazani su položaji opreme laboratorija učesnica tokom MLI.



Slika 3 – Položaj izvora EMF i merne opreme INT

Pojedinačna ispitivanja (za svaku laboratoriju) podeljena su na dva dela:

#### 1. Linearnost:

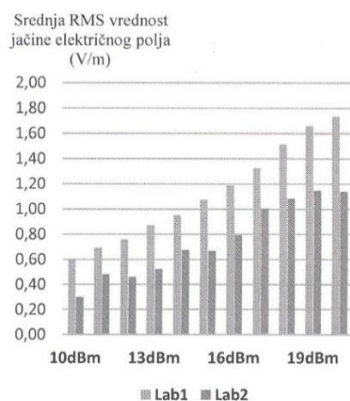
- Referentna učestanost: 1500 MHz;
- Promena izlazne snage generatora od 10 dBm do 20 dBm, sa korakom od 1 dBm (ukupno: 11 setova rezultata);
- 2. Frekvencijski odziv:
- Izlazna snaga signal-generatora: 20 dBm;
- Promena frekvencije (800, 1.000, 1.200, 1.500, 1.700, 2.000 i 2.500 MHz) – ukupno: 7 setova rezultata.

Kao što je ranije navedeno, kod podešavanja režima rada mernih uređaja, jedan set merenja obuhvata kontinualno merenje u trajanju od 2 minuta pri čemu se na svake 3 sekunde memorišu minimalna, srednja i maksimalna (RMS) vrednost jačine električnog polja visokih frekvencija. Dakle, u jednom setu merenja dobijemo 3 x 40 vrednosti.

#### 4. PRIKAZ REZULTATA MERENJA

Rezultati merenja su klasifikovani prema sledećim metrološkim karakteristikama:

- Linearnost: U tabeli 3 i na slici 4 dat je uporedni prikaz izmerenih srednjih RMS vrednosti jačine električnog polja za obe laboratorije za učestanost 1500 MHz i promenu izlazne snage signal-generatora od 10 dBm do 20 dBm, sa korakom 1 dBm.



Slika 4 - Linearnost pri frekvenciji od 1500 MHz

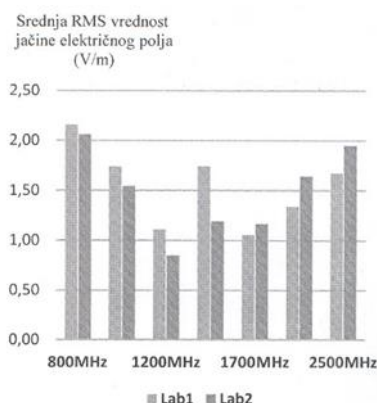
Tabela 3. Prikaz rezultata - linearnost

P (dBm)	E <sub>lab</sub> [V/m]	
	Lab1 (E <sub>SRI</sub> )	Lab2 (E <sub>SRII</sub> )
10	0.60	0.30
11	0.69	0.48
12	0.76	0.46
13	0.87	0.52
14	0.95	0.67
15	1.07	0.67
16	1.19	0.79
17	1.33	1.01
18	1.51	1.08
19	1.66	1.15
20	1.74	1.14

Frekvencijski odziv: U tabeli 4 i na slici 5 dat je uporedni prikaz izmerenih srednjih RMS vrednosti jačine električnog polja za obe laboratorije za izlaznu snagu signal-generatora 20 dBm (100 mW) i promenu frekvencije signala.

Tabela 4. Prikaz rezultata - frekvencijski odziv

f (MHz)	E <sub>lab</sub> [V/m]	
	Lab1 (E <sub>SRI</sub> )	Lab2 (E <sub>SRII</sub> )
800	2.15	2.06
1000	1.74	1.54
1200	1.11	0.85
1500	1.74	1.19
1700	1.05	1.16
2000	1.34	1.64
2500	1.67	1.95



Slika 5 – Frekvencijski odziv za izlaznu snagu signal-generatora 20 dBm (100 mW)

#### 5. MERNA NESIGURNOST

Dva bitna faktora koja doprinose proširenoj mernoj nesigurnosti kod određivanja jačine električnog polja visokih učestanosti su:

- Etaloniranje uređaja i sonde - podaci dobijeni od proizvođača merne opreme i uverenje o etaloniranju od nezavisne akreditacione laboratorije;
- Ponovljivost merenja (isti uslovi merenja – bliskost slaganja između rezultata uzastopnih merenja iste merene veličine).

Jedan tipičan primer koji daje smernice i ilustruje način (kriterijum) određivanja budžeta merne nesigurnosti za širokopojasnu mernu opremu dat je u radu navedenom u literaturi [11]. Prema navedenom kriterijumu, relativne proširene merne nesigurnosti kod laboratorija učesnica iznosile su za Laboratoriju 1 i Laboratoriju 2, 41,2% i 44,7% respektivno.

U tabelama 5 i 6 prikazane su vrednosti za proširenu nesigurnost rezultata laboratorija učesnica. U pitanju su vrednosti prikazane u tabeli 3 i tabeli 4, pomnoženi sa koeficijentima 0,412 i 0,447 tj. odgovarajućim vrednostima relativne proširene merne nesigurnosti laboratorija učesnica.

Tabela 5. Proširena nesigurnost rezultata iz tabele 3

P (dBm)	$U_{lab}$ [V/m]		
	Lab 1 ( $U_I$ )	Lab 2 ( $U_{II}$ )	$U_{ref}$ [V/m]
10	0.25	0.13	0.19
11	0.29	0.21	0.25
12	0.31	0.21	0.26
13	0.36	0.23	0.30
14	0.39	0.30	0.35
15	0.44	0.30	0.37
16	0.49	0.35	0.42
17	0.55	0.45	0.50
18	0.62	0.48	0.55
19	0.68	0.50	0.59
20	0.72	0.51	0.61

Tabela 6. Proširena nesigurnost rezultata iz tabele 4

f (MHz)	$U_{lab}$ [V/m]		
	Lab 1 ( $U_I$ )	Lab 2 ( $U_{II}$ )	$U_{ref}$ [V/m]
800	0.89	0.92	0.90
1000	0.72	0.69	0.70
1200	0.46	0.38	0.42
1500	0.72	0.53	0.62
1700	0.43	0.52	0.48
2000	0.55	0.73	0.64
2500	0.69	0.87	0.78

## 6. OCENA DOBIJENIH REZULTATA

Prema standardu ISO/IEC 17043 [7] i sličnom primeru navedenom u literaturi [12] koji je vezan za MLI dve akreditovane laboratorije, za ocenjivanje performansi laboratorija koristi se  $E_n$  broj koji se izračunava na osnovu sledećeg izraza:

$$E_n = \frac{E_{SR_i} - E_{ref}}{\sqrt{U_i^2 + U_{ref}^2}} \quad (1)$$

S obzirom na to da tačna vrednost jačine polja nije i ne može biti poznata, postavlja se pitanje koje bi vrednosti  $E_{ref}$  i  $U_{ref}$  trebalo usvojiti. Imajući u vidu činjenicu da su obe laboratorije vršile merenja „praktično istovremeno“ i na istom mernom mestu, opravdano je da se za dodeljenu vrednost usvoji „srednja vrednost“ rezultata merenja obe laboratorije:

$$E_{ref} = \frac{E_{SRI} + E_{SR_{II}}}{2} \quad (2)$$

Pri čemu su:

$E_{SR_i}$  - izračunata srednja vrednost jačine električnog polja laboratorije  $i$ ;

$E_{ref}$  - dodeljena vrednost jačine električnog polja (usvojena tačna vrednost);

$U_i$  - proširena merna nesigurnost rezultata laboratorije  $i$  (tabele 5 i tabele 6);

$U_{ref}$  - proširena merna nesigurnost dodeljene vrednosti (tabele 5 i tabele 6).

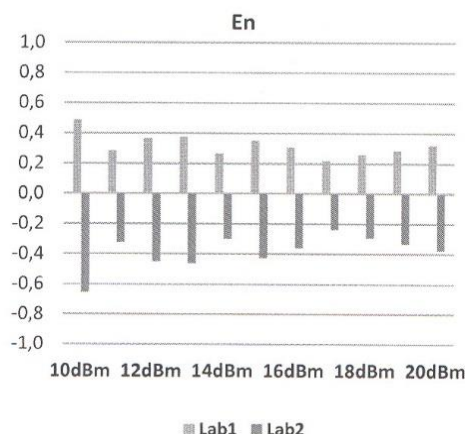
Za proširenu nesigurnost rezultata (iz tabele 5 i tabele 6) dodeljene vrednosti, usvojena je srednja vrednost proširenih mernih nesigurnosti obe laboratorije:

$$U_{ref} = \frac{U_I + U_{II}}{2} \quad (3)$$

Kriterijumi za ocenjivanje su sledeći:

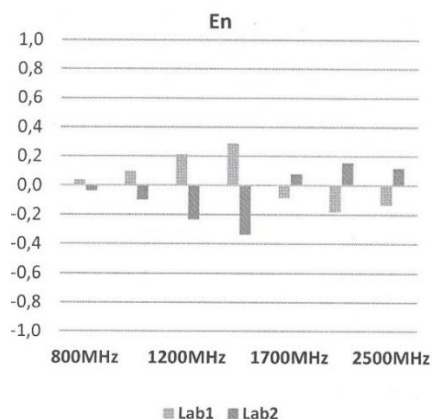
$|E_n| < 1$  - zadovoljavajuće performanse

$|E_n| \geq 1$  - nezadovoljavajuće performanse i znak da se preduzmu određene korektivne mere.



Slika 6 – Grafički prikaz  $E_n$  brojeva - linearnost

Na slikama 6 i 7 grafički su prikazani odgovarajući  $E_n$  brojevi dobijeni tokom ispitivanja linearnosti i frekvencijskog opsega, respektivno.



Slika 7 – Grafički prikaz  $E_n$  brojeva - frekvencijski odziv

## 6. ZAKLJUČAK

Cilj svakog MLI je, pre svega, da se na osnovu analize dobijenih rezultata prema zadatim kriterijumima utvrdi prihvatljivost rezultata i tako potvrdi tehnička kompetentnost laboratorija učesnica.

Na osnovu dobijenih rezultata u toku MLI, lako se dolazi do zaključka da su vrednosti  $E_n$  broja manje od 1 za obe laboratorije. Ovo nedvosmisleno ukazuje na činjenicu da su svi dobijeni rezultati korektni. To istovremeno znači da su tokom sprovođenja MLI postignuti zadovoljavajući rezultati u odnosu na postavljena pravila iz dogovorenog protokola. Obe laboratorije ovu analizu mogu koristiti kao polaznu osnovu za svoje buduće interne analize.

## 7. ZAHVALNICA

Ovaj rad urađen je u okviru projekta TR 33024 koji je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

## LITERATURA

- [1] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks – SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, The SCENIHR 9th plenary meeting on 27 January 2015.
- [2] Moradi M, Naghidi N, Hemmati H, Asadi-Samani M, Bahmani M. Effect of Ultra High Frequency Mobile Phone Radiation on Human Health, *Electron Physician*, Vol. 8 No. 5, p.p. 2452-2457, 2016.
- [3] Fayed I, Bedda M, Electromagnetic Radiation and its effects on human beings: Survey and Environmental Recommendations, 15th Scientific Symposium for Hajj, Umrah and Madinah visit - Scientific Portal for 1436AH, 2015.
- [4] Telecom Regulatory Authority of India, Information paper on Effects of Electromagnetic Field Radiation from Mobil Towers and Handsets. Dostupno na: [http://www.trai.gov.in/sites/default/files/EMF\\_Information\\_Paper\\_30.07.2014.pdf](http://www.trai.gov.in/sites/default/files/EMF_Information_Paper_30.07.2014.pdf)
- [5] Hanna SA, Motai Y, Varhue W, Titcomb S. Measurement evaluations of static and low frequency magnetic fields in the near field region, *Measurement*, Vol. 44, p.p. 1412- 1421, 2011.
- [6] SRPS ISO/IEC 17025:2006 "Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje", Institut za standardizaciju Srbije.
- [7] SRPS ISO/IEC 17043:2011 "Ocenjivanje usaglašenosti – Opšti zahtevi za ispitivanje osposobljenosti", Institut za standardizaciju Srbije.
- [8] European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC), Basic standard for in-situ measurement of electromagnetic fields strength related to human exposure in vicinity of base stations. *CENELEC EN 50492*, 2008.
- [9] Institut za standardizaciju Srbije, SRPS EN 50492:2010, Službeni glasnik 31/10, Beograd, 2014.
- [10] Sambo Y. A, Heliot F, Imran M. A, A Survey and Tutorial of Electromagnetic Radiation and Reduction in Mobile Communication Systems, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 2, p.p. 790 – 802, 2014.
- [11] Vulević B, Određivanje jačine električnog polja visokih učestanosti primenom širokopojasnih merenja, *Tehnika*, Vol.72, No.5, p.p. 701–706, 2017.
- [12] Kovačević M. A, Munić N, Nikolić V, Međulaboratorijsko poređenje merenja napona smetnji na mrežnim priključcima, *Zbornik radova ETRAN 2017, Sesija MLI. Metrologija i merne metode*, Kladovo, Srbija, rad ML1.1, 5-8. Jun 2017.

**SUMMARY****INTERLABORATORY TESTING FOR BROADBAND ELECTROMAGNETIC FIELD MEASUREMENTS**

*This paper presents the results of interlaboratory testing for broadband measurement of the high-frequency electric field strength, with the aim of confirming the technical competence of participating laboratories. The purpose of this paper is to provide the initial measuring framework for future consideration and improvement of interlaboratory testing methods. The presented metrological framework can have its practical application in other areas related to the testing of non-ionizing radiation levels that people are exposed to in environment.*

**Key words:** *human exposure, non-ionizing radiation, electric field strength, high frequency, interlaboratory testing*