

Широкопојасна мерења нивоа електричних поља високих учестаности и одређивање коефицијената изложености

Бранислав Вулевић¹, Љубиша Чичкарић¹

¹Универзитет у Београду, Електротехнички институт „Никола Тесла“, Косте Главинића 8а, 11000 Београд, Република Србија

Кратак садржај: Излагање људи електромагнетским пољима високих учестаности (изнад 100 kHz) која потичу од савремених система за бежични пренос информација представља неминовност модерног доба. Захваљујући убрзаном развоју нових технологија, мерних уређаја и њиховог повезивања у мерне системе, првих петнаест година XXI века карактерише појава различитих приступа мерењима а самим тим и процене изложености људи наведеним пољима. Основна сврха овог рада је приказ одређивања коефицијената изложености на основу резултата широкопојасних мерења јачине електричног поља високих учестаности у опсегу од 3 MHz до 18 GHz у животној средини.

Кључне речи: излагање људи, јачина електричног поља, високе учестаности, коефицијент изложености, животна средина.

1. Увод

Излагање људи нејонизујућим зрачењима, могуће штетне последице по здравље и заштита, представљају ударне теме у најразвијенијим земљама света и земљама које теже техничко-технолошком прогресу. Велики број мултидисциплинарних екипа стручњака ради на свеобухватном посматрању и проучавању широке лепезе проблема заштите, јер се ради о изузетно комплексним питањима која свој одговор треба да добију у будућности. Досадашња истраживања и бројне епидемиолошке студије о биолошким ефектима ових поља довела су до узнемирености јавног мњења. Узрок томе је лоше и сензационалистичко информисање када су у питању стамбени и пословни објекти у близини телекомуникационих инсталација, што се посебно односи на базне станице јавне мобилне телефоније.

У циљу процене изложености становништва, познавање нивоа електромагнетских поља високих учестаности на терену је од изузетне важности. Мерења представљају основу како за верификацију резултата добијених коришћењем нумеричких модела тако и за процену нивоа електромагнетских поља на терену када је свака врста прорачуна и симулација отежана присуством већег броја извора, радним условима, а самим тим и комплексном расподелом поља [1,2].

Коефицијенти изложености су главни показатељи да ли добијени резултати мерења на терену задовољавају прописане референтне граничне нивое излагања дефинисане одговарајућим стандардом, препоруком или правилником. У Републици Србији, Законом о заштити од нејонизујућих зрачења [3], прописан је Правилник [4] у коме су утврђени гранични нивои излагања становништва електричним и магнетским пољима ниских и високих учестаности.

Сврха овога рада јесте одређивање коефицијената изложености на посматраном мерном месту на терену у складу са Правилником [4] и стандардом CENELEC EN 50492 [5], за случај широкопојасне методе мерења јачине електричних поља високих учестаности.

2. Опис коришћене мерне методе

Најпре се врши генерални преглед посматране локације који, између осталог, подразумева:

- утврђивање присуства свих извора електричних, магнетских и електромагнетских поља или других значајних карактеристика које могу утицати на резултате мерења;
- утврђивање евентуалног присуства предмета или објеката који утичу на доступност одређеним потенцијалним мерним местима;
- прикупљања осталих података о делу простора у којем се врши испитивање, релевантних за сам поступак мерења или исправност/репрезентативност резултата према важећим препорукама и на основу релевантне стручне литературе.

2.1. Прелиминарна мерења

Прелиминарним испитивањем одређује се мерно место на коме ће се вршити детаљно мерење у циљу одређивања процене изложености људи у посматраном простору. Под прелиминарним испитивањем подразумева се обилазак простора (отвореног или затвореног) при чему се широкопојасном мерном сондом врши „скенирање простора“ на висини 1,5 m од пода/тла. Извршилац мерења се креће лагано у простору (један корак у секунди), при чему мерна сонда треба да буде удаљена најмање 1 m од тела извршиоца. Уколико се ради о затвореном простору, треба водити рачуна да мерна сонда буде бар 1 m удаљена од зидова и осталих

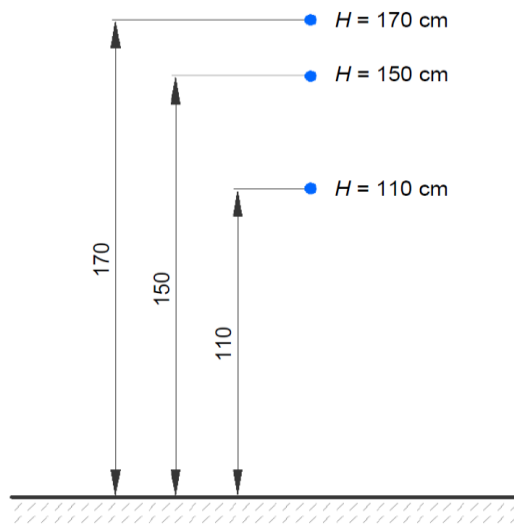
објекта у просторији и да током мерења нема активних локалних извора електромагнетских поља високих учестаности (мобилни телефони, бежични интернет, итд.).

2.2. Детаљна мерења

Мерно место треба да се налази у области далеког поља (тзв. „зона зрачења“) где се предпоставља да је однос интензитета вектора јачине електричног и магнетског поља E/H у било којој тачки и у било ком тренутку једнак импеданси средине (Z) кроз коју се талас простире ($E/H = Z \cong 377 \Omega$ - за вакуум). Јачина електричног поља E [V/m], јачина магнетског поља H [A/m] и површинска густина снаге S [W/m²] теоријски су повезане једноставним релацијама:

$$S = E^2 / 377 = 377 H^2 \quad (1)$$

Код мерења у зонама повећане осетљивости као што су куће, станови, вртићи, школе итд., мерења на одређеном мерном месту, посебно када у околини постоји више извора, треба да буду вршена на бар три висине у оквиру истог мерног места, као што је приказано на слици 1.



Слика 1. Мерне тачаке за просторно усредњавање на једном мерном месту [5]

Просторно усредњавање добијених вредности јачине електричног поља врши се према изразу:

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N E_i^2}{N}}, \quad (2)$$

где су:

E_i – средња вредност очитаних вредности јачине електричног поља у свакој тачки i у простору;

N – број мерних тачака (у примеру са слике 1, $N = 3$).

При томе се E_i израчунава као:

$$E_i = \sqrt{E_{xi}^2 + E_{yi}^2 + E_{zi}^2}. \quad (3)$$

Широкопојасни мерни инструмент са изотропном сондом подешава се тако да у свакој тачки у простору мерење траје по 6 минута и да се на сваких 10 секунди меморише по једна минимална, средња и максимална ефективна вредност јачине електричног поља. Време мерења по једном мерном месту је 18 минута.

Дакле, по свакој тачки располажемо са по 3 x 36 „измерених вредности“ (минимум, средња и максимум) јачине електричног поља.

У раду наведеном у литератури [2] приказан је један конкретан пример примене мерне методе на терену, док је у раду наведеном у литератури [6] приказана процена мерне несигурности за случај просторног усредњавања код широкопојасних мерења,

3. Начин одређивања коефицијената изложености

У складу са стандардом CENELEC EN 50492 [5], измерена средња ефективна вредност, настала као производ одговарајуће мерне методе или њена одговарајућа екстраполирана вредност (уколико се користи екстраполација) треба да буде директно упоредива са одговарајућим прописаним референтним нивоима. У Републици Србији, сагласно Правилнику о границама излагања нејонизујућим зрачењима [4], за посматрани опсег фреквенција између 100 kHz и 300 GHz постоје референтне вредности чији је приказ дат у табели 1.

Под појмом **коефицијент** или **фактор изложености** (енглески: *Exposure Ratio* – ER) подразумева се однос између квадрата измерене ефективне вредности јачине електричног поља и квадрата прописане

референтне вредности за јачину електричног поља, дефинише се за сваку мерну тачку на посматраној локацији и одређен је изразом (4).

Треба нагласити да се у случају широкопојасне мерне опреме, измерена средња ефективна вредност треба упоредити са најнижим референтним нивоом у опсегу учестаности који покрива сонда која се користи.

$$ER_j = \left(\frac{E_j}{E_{ref}} \right)^2 \quad (4)$$

где су:

E_j – измерена средња ефективна вредност јачине електричног поља у посматраној тачки j

E_{ref} – најнижа референтна вредност јачине електричног поља у посматраном опсегу учестаности (конкретно: 11,2 V/m - из табеле 1, за посматрани случај сонде која покрива опсег од 3 MHz до 18 GHz).

Основни услов да измерене вредности јачине електричног поља буду у складу са прописаним нормама из одговарајућег правилника јесте да:

$$\text{Средња вредност } ER_j < 1 \quad (5)$$

Табела 1. Табеларни приказ референтних вредности [4]

Фреквенција (f)	Јачина електричног поља E [V/m]	Густина снаге (екв. равански талас) S_{ekv} [W/m ²]	Време упросечења t [min]
100 – 150 kHz	34,8	-	6
0,15 – 1 MHz	34,8	-	6
1 – 10 MHz	34,8 / $f^{1/2}$	-	6
10 – 400 MHz	11,2	0,326	6
400 – 2000 MHz	0,55 $f^{1/2}$	$f / 1250$	6
2 – 10 GHz	24,4	1,6	6
10 – 300 GHz	24,4	1,6	68 / $f^{1,05}$

У табели 2 дати су резултати мерења на једном мерном месту и одговарајући коефицијенти изложености у складу са стандардом CENELEC EN 50492 [5]. Конкретно, коришћен је један пример са мерења на лицу места („in situ“) са терена описан у литератури [2].

Табела 2. Приказ резултата мерења са посматраног мерног места и одговарајући коефицијенти изложености

Ознака мерног места	Опсег учестаности (са коришћене сонде)	Висина од пода/тла [m]	Измерена вредност (V/m)	Реф. ниво (V/m)	Коефицијент изложености (ER _j)
1	3 MHz до 18 GHz	1,1	6,78	11,2	0,366
		1,5	8,83		0,622
		1,7	6,19		0,305
		Средња вредност ER_j:			

На основу вредности за коефицијенте излагања из табеле 3 може се закључити да је јачина електричног поља за опсег учестаности од 3 MHz до 18 GHz на посматраној локацији у складу са нормама прописаним Правилником [4].

4. Закључак

У раду је приказан начин одређивања коефицијената изложености за случај просторног усредњавања код широкопојасних мерења. Основна предност посматране широкопојасне методе јесте у случају доношења одлука „на лицу места“ када се захтева брза и поуздана процена излагања људи електромагнетским пољима високих учестаности у животној средини.

Овај рад може да послужи као полазни оквир за будућа разматрања и побољшања мерних метода усмерених према перманентном (целодневном) праћењу нивоа електромагнетских поља у циљу проучавања утицаја на здравље људи.

Захвалница

Овај рад урађен је у оквиру пројекта бр. III-43009 који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B.Vulevic, P.Osmokrovic: "Evaluation of Uncertainty in the Measurement of Environmental Electromagnetic Fields", *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 141, no. 2, pp. 173–177, 2010.
- [2] B.Vulević: "Određivanje jačine električnog polja visokih učestanosti primenom širokopojasnih merenja", *TEHNIKA*, vol. 72, no. 5, pp. 701–706, 2017.
- [3] Закон о заштити од нејонизујућих зрачења, *Службени гласник Републике Србије*, бр.36/09 од 15.05.2009.
- [4] Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима, *Службени гласник Републике Србије*, бр.104/09 од 16.12.2009.
- [5] *Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*, CENELEC EN 50492, 2008.
- [6] B.Vulević, M.Grbić, A.Pavlović: "Nivoi električnih polja visokih učestanosti: jedan primer određivanja merne nesigurnosti kod širokopojasnih merenja", *Zbornik radova, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“*, vol.26, p.p. 141–150, 2016.

Abstract: The exposure of people to high-frequency electromagnetic fields (over 100 kHz) that emanate from modern wireless information transmission systems is inevitable in modern times. Due to the rapid development of new technologies, measuring devices and their connection to measuring systems, the first fifteen years of the 21st century are characterized by the appearance of different approaches to measurements. This prompts the need for the assessment of the exposure of people to these fields. The main purpose of this paper is to show how to determine the exposure ratios based on the results of broadband measurements of the high-frequency electric field in the range of 3 MHz to 18 GHz in the environment.

Keywords: human exposure, electric field strength, high frequencies, exposure ratio, environment.

Broadband Measurements of High-Frequency Electric Field Levels and Exposure Ratios Determination

Branislav Vulević, Ljubiša Čičkarić

Rad primljen u uredništvo: 31.10.2017. godine.

Rad prihvaćen: 14.11.2017. godine.

