Образац за пријаву техничког решења[1]

Назив	**Метод процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција базиран на адаптивним границама изложености**
Аутори	**Драган Кљајић и Никола Ђурић**
Категорија	**Ново техничко решење примењено на националном нивоу (M82)**
Кључне речи	**мониторинг нивоа електромагнетских поља, изложеност нејонизујућем зрачењу**

За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде):
Техничко решење је урађено за потребе информационе мреже за континуални мониторинг нивоа електромагнетских поља – СЕМОНТ (Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network), коју развија истраживачки тим Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду.
Година када је решење комплетирано:
Техничко решење је комплетирано у јануару 2017. године.
Годину када је почело да се примењује и од кога:
Иницијална примена овог техничког решења је почела у јуну 2015. године, у оквиру СЕМОНТ информационе мреже, на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду.
Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи:
Техничко решење представља програмско (software) решење, отвореног изворног кода, које покрива области информационих технологија и примењене електромагнетике. Специфична оријентација овог техничког решења јесте одређивање изложености опште популације магнетском пољу ниских фреквенција, на основу резултата широкопојасних мерења нивоа магнетског поља и информација о фреквенцијском спектру на локацији испитивања.
Како су резултати верификовани (од стране ког тела):
Техничко решење је верификовано у оквиру Лабораторије за електромагнетску компатибилност, Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду.

[1] У складу са одредбама *"Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача"*, бр. 110-00-29/2016-04, који је Министарство просвете науке и технолошког развоја усвојило дана **01. 03. 2016.** године ("Службени гласник РС" бр. 24/2016).

Проблем који се техничким решењем решава:

У данашњем времену, све је већи број извора нејонизујућег зрачења у људском окружењу, при чему је зрачење извора присутно у широком фреквенцијском опсегу. Посебно интересантни извори, у опсегу ниских фреквенција, јесу далеководи и трансформаторске станице. Они су саставни део било које дистрибутивне мреже и пренос електричне енергије на веће удаљености се не може замислити без њих. Нажалост, чест је случај да се ови извори, стицајем околности, налазе у стамбеним деловима насељених места или у њиховој непосредној близини.

Имајући у виду забринутост популације због могућих штетних здравствених ефеката услед потенцијалне изложености, у општем случају електромагнетским (ЕМ) пољима, а конкретно магнетским пољима које ови и слични извори емитују, адекватна мерења нивоа поља у окружењу и одговарајућа процена изложености су од великог значаја, како за само становништво, тако и за државне Агенције за заштиту животне средине.

У опсегу ниских фреквенција (од 1 Hz до 10 MHz), у ком су радне фреквенције далековода и трансформаторских станица, и у ком се испитују првенствено стимулативни ефекти на људско ткиво, услед излагања магнетским пољима, уобичајено мерене физичке величине јесу вектор јачине магнетског поља *H* [A/m] и/или вектор магнетске индукције *B* [T].

Област испитивања ЕМ поља регулисана је великим бројем стандарда и правилника, како на међународном, тако и на националном нивоу. Додатно, овим законски прописаним стандардима се дефинишу и минимални захтеви за мерење физичких величина којима се квантитативно описује ЕМ поље. Тренутно су у пракси заступљена и најчешће се користе два мерна приступа: широкопојасно и фреквенцијски селективно мерење.

Крајњи резултат примене широкопојасног мерења нивоа ЕМ поља јесте једна, свеукупна, кумулативна вредност нивоа поља на мерној локацији. Овој вредности доприносе сви присутни и активни извори у околини мерне локације.

Нажалост, код ове врсте мерења, ни инструмент, ни коришћена мерна сонда немају могућност детекције присутности активних извора који емитују ЕМ зрачење, нити су способни да разликују њихове радне фреквенције. Због тога се овај мерни приступ сматра фреквенцијски независним. Његова употреба је оријентисана углавном ка ситуацијама где је потребна информација о свеукупном нивоу поља, без обзира на број активних извора на датој локацији, и без обзира на којим то фреквенцијама они обављају емисију поља.

Са друге стране, употреба фреквенцијски селективног мерног приступа резултује низом вредности нивоа ЕМ поља, за сваку фреквенцију појединачно, у фреквенцијском опсегу коришћене мерне сонде. Стога је оваква врста мерења погодна, и углавном се користи, у ситуацијама када је неопходно одредити спектрални садржај поља на локацији од интереса, односно интензитет поља на свакој фреквенцији посебно.

Спектрална анализа поља може бити примењена како у широкопојасном фреквенцијском опсегу, тако и у појединим подопсезима од интереса, који могу бити резервисани за један или више извора ЕМ поља, сходно потребама корисника и/или доступношћу мерних сонди са одговарајућим карактеристикама.

У домену испитивања ЕМ поља, од посебног интереса јесте и процена потенцијалне изложености овим пољима. Због тога, употреба било којег од описана два мерна приступа последично захтева и адекватну процену изложености, како опште популације, тако и професионалног особља.

При процени изложености, домаћа акредитована тела и стручна јавност се ослањају на националне правилнике, којима је регулисана област испитивања ЕМ поља, првенствено на “*Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима*”, “Службени гласник РС”, бр. 104/2009 (у даљем тексту *Правилник*)[2], као и на низ пропратних стандарда за испитивање ЕМ поља.

У оквиру овог Правилника се дефинишу две категорије: базична ограничења излагања становништва и референтни гранични нивои. Базична ограничења излагања електричним, магнетским и ЕМ пољима (у опсегу од 0 Hz до 300 GHz) јесу ограничења у излагању изворима временски променљивих ЕМ поља, заснована на утврђеним здравственим ефектима и биолошким показатељима.

Са друге стране, за практичну употребу и процену изложености популације електричним, магнетским и ЕМ пољима користе се референтни гранични нивои. Они су дефинисани по фреквенцијама, у виду вредности интензитета вектора јачине електричног поља *E* [V/m], вектора јачине магнетског поља *H* [A/m] и/или вектора магнетске индукције *B* [T]. Мерењем ових величина и поређењем са референтним граничним нивоима врши се провера да ли су базична ограничења прекорачена.

У случају процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција (до 10 MHz), а у складу са Правилником, провера прекорачења базичних ограничења се обавља коришћењем једног од следећих критеријума:

$$\sum_{i=1Hz}^{150kHz} \frac{H_i}{H_{Li}} + \sum_{i>150kHz}^{10MHz} \frac{H_i}{b} \leq 1, \qquad (1)$$

или

$$\sum_{i=1Hz}^{150kHz} \frac{B_i}{B_{Li}} + \sum_{i>150kHz}^{10MHz} \frac{B_i}{b} \leq 1, \qquad (2)$$

у зависности од физичке величине која се мери. У првој једначини, H_i представља интензитет вектора јачине магнетског поља на фреквенцији *i*, H_{Li} референтни гранични ниво вектора јачине магнетског поља на фреквенцији *i*, док је константа *b* = 5 [A/m], за општу популацију, у складу са Правилником. У случају када се користи друга једначина, B_i представља интензитет вектора магнетске индукције на фреквенцији *i*, B_{Li} референтни гранични ниво вектора магнетске индукције на фреквенцији *i*, док је константа *b* = 6.25 [μT], за општу популацију.

На основу ова два критеријума, јасно је да се за процену изложености захтева фреквенцијски селективно мерење нивоа поља, с обзиром да се измерене вредности по фреквенцијама пореде са одговарајућим прописаним референтним граничним нивоом за дату фреквенцију. Тиме се добија појединачна изложеност, односно изложеност по фреквенцијама, док укупна изложеност, добијена сумирањем, пружа могућност провере прекорачења базичних ограничења. Уколико вредност укупне изложености не прелази вредност један, базична ограничења су задовољена, у складу са Правилником.

Нажалост, примена оваквог приступа процене изложености код широкопојасних мерења је практично немогућа, обзиром да код ове врсте мерења није могуће раздвајање по фреквенцијама, од-

[2] “***Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима***”, Службени гласник РС, бр. 104/2009.

носно није могуће одређивање доприноса појединих фреквенцијских компоненти поља укупној кумулативној вредности. У том случају критеријуми (1) и (2) постају неупотребљиви, јер није дефинисано који референтни гранични ниво треба узети у обзир при одређивању изложености.

Имајући у виду да национални Правилник, као ни пропратни стандардни, не нуде решење за процену изложености у случају широкопојасних мерења, недавно су предложени нови методи процене изложености, базирани на одређивању граница изложености[3], као и њиховом адекватном прилагођавању спектралним карактеристикама мерне локације [4], при чему су ова два метода намењени мерењу нивоа електричног поља високих фреквенција.

Оба метода предлажу одређивање горње и доње границе свеукупне изложености, односно опсега у ком се реална изложеност може наћи. Границе се добијају одговарајућим поређењем измерених вредности са минималним и максималним прописаним референтним граничним нивоима, у одговарајућем широкопојасном фреквенцијском опсегу мерне сонде.

Додатно, у оквиру другог метода се дефинише и прилагођавање граница изложености на основу спектралног садржаја поља, добијеног фреквенцијски селективним мерењем, што за последицу даје прецизније одређивање и сужење опсега у ком се реална изложеност налази.

Пошто се широкопојасна мерења често користе и за мерење магнетског поља, предлогом овог техничког решења дефинише се метод процене изложености, заснован на одређивању и прилагођавању граница свеукупне изложености магнетским пољима ниских фреквенција.

Стање решености тог проблема у свету:

Један од најважнијих докумената у области испитивања ЕМ поља јесте документ међународне независне организације *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), под називом “*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields* (up to 300 GHz):1998”, (у даљем тексту *Guidelines*).

Овај документ чини основу великог броја правних аката, како Републике Србије, тако и других држава у свету. Додатно, велики број стандарда из области испитивања ЕМ поља, међу којима је и један од најважнијих “*Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields* (0 Hz - 300 GHz)” – EN 50413:2008, са својим изменама дефинисаним документом EN 50413:2008+A1:2013, ослања се управо на ICNIRP-ов *Guidelines* документ.

Додатно, и национални Правилник је утемељен на ICNIRP-овом документу, с тим да домаћи правилник дефинише референтне граничне нивое који су два и по пута мањи у односу на нивое предложене у оквиру *Guidelines* документа. На тај начин су у Републици Србији додатно пооштрени критеријуми у погледу заштите од нејонизујућих зрачења.

---

[3] Техничко решење “***Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на границама изложености***” (М82), аутора: Н. Ђурић, Д. Кљајић, К. Касаш-Лажетић и В. Бајовић, усвојен одлуком наставно-научног већа Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, на 16. редовној седници, одржаној дана **25. 05. 2016.** године.

[4] Техничко решење “***Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености***” (М82), аутора: Д. Кљајић и Н. Ђурић, усвојен одлуком наставно-научног већа Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, на 23. редовној седници, одржаној дана **28. 09 .2016.** године.

У оквиру *Guidelines* документа процена изложености се базира искључиво на фреквенцијски селективном мерењу нивоа поља, што значи да ни овај документ, као један од најважнијих у области, не нуди адекватно решење за процену изложености у случају широкопојасних мерења нивоа поља.

Што се тиче опсега ниских фреквенција, један од најважнијих стандарда којим се уређује област испитивања магнетских поља јесте стандард “*Electric and magnetic field levels generated by AC power systems – Measurement procedures with regard to public exposure*” – EN 62110:2011, и документ са одговарајућим изменама EN 62110:2011/AC:2015. Нажалост, ни у оквиру овог стандарда није предложен метод за процену изложености опште популације, за случај широкопојасних мерења нивоа магнетског поља.

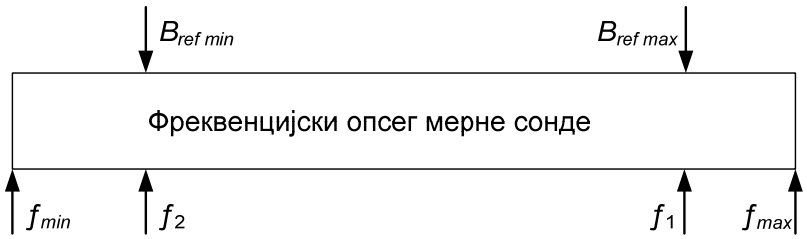
Стога се овим техничким решењем предлаже нов метод процене изложености магнетским пољима, ниских фреквенција, као допринос решавању проблематике испитивања и процене изложености магнетском пољу. Предложени метод се односи искључиво на широкопојасна мерења нивоа магнетског поља у опсегу ниских фреквенција, а примењљив је како за стандардна мерења у краћим временским периодима, тако и за мерења у дужим интервалима времена, такозвана континуална мерења, односно мониторинг нивоа магнетског поља.

Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже:

Предложени метод процене изложености магнетском пољу је базиран на одређивању доње и горње границе свеукупне изложености (Global Exposure Ration – *GER*), коришћењем следећих израза:

$$GER_{donje} = \frac{B_m}{B_{ref\,\max}(f_1)} \quad \text{и} \quad GER_{gornje} = \frac{B_m}{B_{ref\,\min}(f_2)}, \tag{3}$$

где је B_m измерена вредност вектора магнетске индукције, добијена широкопојасним мерењем, док су $B_{ref\ min}(f_2)$ и $B_{ref\ max}(f_1)$ минимални и максимални прописани референтни гранични нивои, за фреквенције f_1 и f_2, у фреквенцијском опсегу коришћене мерне сонде, дефинисаним од f_{min} до f_{max}, као што је приказано на слици 1



Слика 1. Избор минималог и максималног прописаног референтног граничног нивоа, у одговарајућем фреквенцијском опсегу.

Идентична процена изложености се може обавити и у случају када се врше мерења вектора јачине магнетског поља *H*, уз примену адекватних референтних граничних нивоа, прописаних за ову физичку величину. У оба случаја, стварна изложеност магнетском пољу се налази у опсегу:

$$GER_{donje} \le GER_{stvarno} \le GER_{gornje}, \tag{4}$$

с обзиром на чињеницу да су изабрани референтни гранични нивои најмањи и највећи могући у посматраном фреквенцијском опсегу коришћене мерне сонде.

У општем случају, у фреквенцијском опсегу мерне сонде минимални и максимални референтни гранични нивои, $B_{ref\ min}(f_2)$ и $B_{ref\ max}(f_1)$, не морају да буду они који одговарају фреквенцијама f_{min} и f_{max}, као што је приказано на слици 1.

Имајући у виду да примена широкопојасног мерног приступа не пружа могућност познавања спектралног садржаја поља на мерној локацији, избор референтних граничних нивоа се обавља у читавом фреквенцијском опсегу коришћене мерне сонде, без икаквих информација о радним фреквенцијама извора који су присутни и активни у околини.

Нажалост, тиме може доћи до неадекватног одабира минималног и максималног референтног граничног нивоа, $B_{ref\ min}(f_2)$ и $B_{ref\ max}(f_1)$, а поготово у ситуацијама када је на мерној локацији присутан и активан ужи спектар него што је фреквенцијски опсег коришћене мерне сонде.

Имајући у виду овакву могућност, рачунање GER_{donje} и GER_{gornje} ће довести до тога да је горња граница изложености магнетском пољу нешто веће вредности, док је доња граница нешто ниже вредности од стварне. Као последица, добија се шири опсег у ком се стварна изложеност пољу налази.

Анализирани опсег у ком се изложеност налази, квантитативно се може описати релативном грешком (тј. разликом) између граница изложености, дефинисаном као:

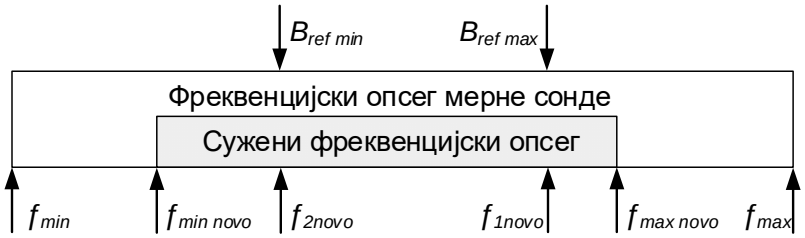
$$\delta[\%] = \frac{GER_{gornje} - GER_{donje}}{GER_{gornje}} \cdot 100\% = \left[1 - \frac{B_{ref\ min}}{B_{ref\ max}}\right] \cdot 100\%. \tag{5}$$

У неким ситуацијама ова разлика може бити значајна, те је поступак њеног смањења од изузетне важности и представља суштински део предложеног метода процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција, базираног на адаптивним границама изложености.

Смањењем разлике између граница изложености, односно њиховим прилагођавањем на основу стварно присутног спектра, сужава се опсег у ком се реална изложеност налази, а самим тим и повећава прецизност процене изложености у случају широкопојасних мерења нивоа поља.

Основна идеја новопредложеног метода прилагођавања граница, односно метода са адаптивним границама изложености, подразумева детекцију активних извора ЕМ поља у околини мерне локације. Јасном сликом о присутном спектру на мерној локацији могуће је увидети који делови фреквенцијског опсега широкопојасне мерне сонде могу да се одбаце, уколико на њима нема емисије ЕМ поља или је она занемарљива.

На тај начин се ствара могућност за сужење иницијалног фреквенцијског опсега на опсег у ком се врши избор нових референтних граничних нивоа $B_{ref\ min}(f_{2novo})$ и $B_{ref\ max}(f_{1novo})$, који су прикладнији датој мерној локацији, као што је приказано на слици 2.



Слика 2. Прилагођавање фреквенцијског опсега карактеристикама мерне локације и избор адекватних референтних граничних нивоа.

Избором нових референтних граничних нивоа, долази и до промене граница свеукупне изложености, које се сада могу одредити као:

$$GER_{donje}^{novo} = \frac{B_m}{B_{ref\,\max}\left(f_{1novo}\right)} \quad \text{и} \quad GER_{gornje}^{novo} = \frac{B_m}{B_{ref\,\min}\left(f_{2novo}\right)}. \tag{6}$$

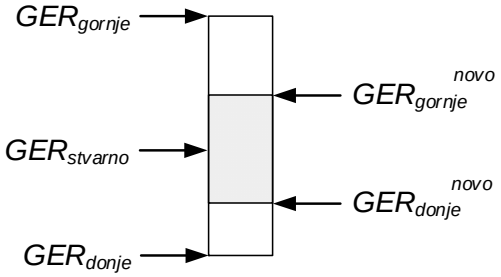
С обзиром да су почетно изабрани $B_{ref\,min}$ и $B_{ref\,max}$ минимални и максимални могући у иницијално посматраном фреквенцијском опсегу мерне сонде, сужење фреквенцијског опсега резултује са:

$$B_{ref\,\min}\left(f_2\right) \le B_{ref\,\min}\left(f_{2novo}\right) \quad \text{и} \quad B_{ref\,\max}\left(f_{1novo}\right) \le B_{ref\,\max}\left(f_1\right), \tag{7}$$

одакле на основу једначина (6), следи да је:

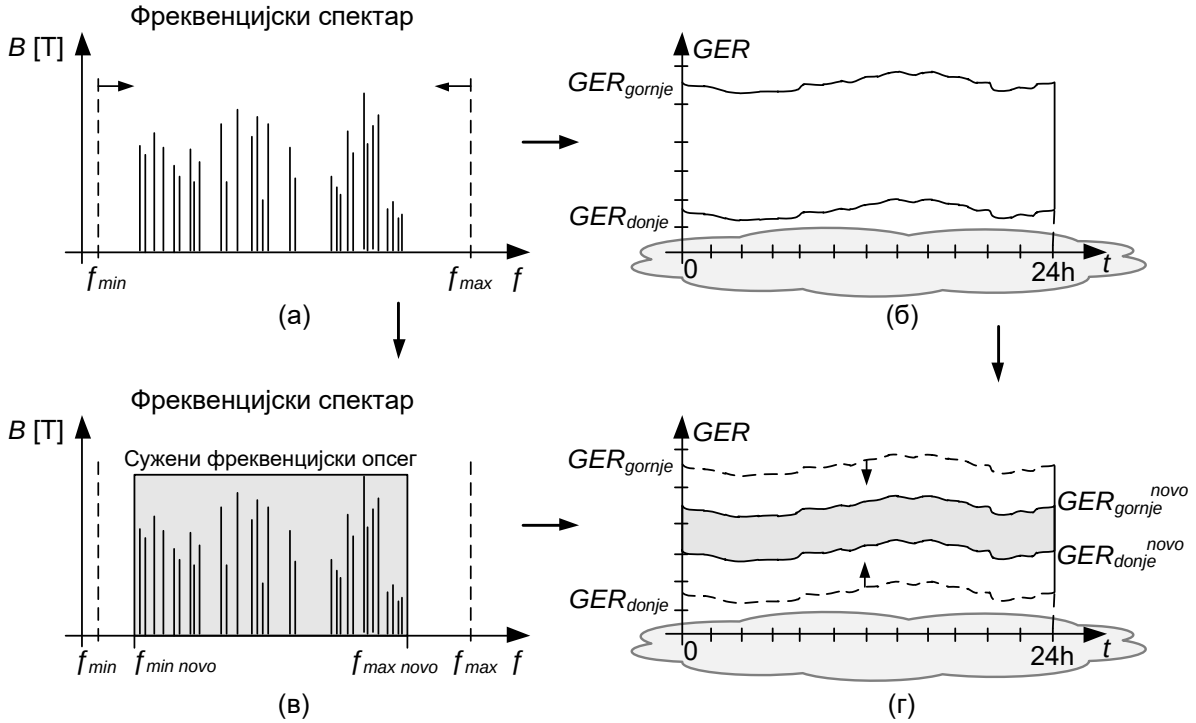
$$GER_{donje} \le GER_{donje}^{novo} \quad \text{и} \quad GER_{gornje}^{novo} \le GER_{gornje}, \tag{8}$$

чиме се опсег у ком се стварна изложеност налази сужава, а очекивана прецизност процене изложености повећава, као што је приказано на слици 3.



Слика 3. Сужење опсега у ком се реална изложеност магнетском пољу налази.

Посебан допринос оваквог приступа процени изложености, базираног на адаптивним границама, очекује се у ситуацијама континуалног мониторинга поља, односно мерења у дужем временском периоду, где процена дневних граница изложености резултује јасном сликом о дугорочној изложености опште популације на датој локацији, као што је приказано на слици 4.



Слика 4. Прилагођавање дневних граница изложености магнетском пољу ниских фреквенција.

С обзиром да је на конкретној мерној локацији мало вероватно релативно често постављање нових извора поља ниских фреквенција (као што су трансформаторске станице, далеководи и сл.), једном одређен спектрални садржај у опсегу ниских фреквенција, омогућује коришћење, у дужем периоду, нових одговарајућих референтних граничних нивоа, који су адекватнији датој локацији.

На овај начин процена дневних граница изложености у дужем временском периоду пружа јаснију слику о опсегу у ком се стварна изложеност налази, као што је приказано на сликама 4б и 4г.

Како је реализовано и где се примењује, односно које су могућности примене (техничке могућности):

Предложено техничко решење, односно метод процене изложености базиран на адаптивним граница изложености магнетским пољима ниских фреквенција, представља програмско (software) решење отвореног изворног кода, у складу са документом ”*Правилник о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*” – Прилог 2 – Техничко решење, бр. 110-00-29/2016-04, који је Министарство просвете науке и технолошког развоја усвојило дана 01. 03. 2016. године (“Службени гласник РС” бр. 24/2016).

Предложеним методом се даје допринос решавању проблематике процене изложености магнетским пољима у случају широкопојасних мерења. С обзиром да се одабир нових адекватних референтних граничних нивоа, за мерну локацију од интереса, врши након спектралне анализе поља, предложени метод комбинује употребу широкопојасног и фреквенцијски селективног мерења, док се сама процена изложености обавља у завршној фази обраде резултата мерења.

Важно је нагласити да једноставност и веома мала аритметичка комплексност чине предложени метод процене изложености прихватљивим, у погледу имплементације, односно примене за обраду добијених резултата мерења. Како је за прорачун сваке од граница изложености потребна само аритметичка операција дељења, коришћење било ког софтверског алата омогућују обраду мерних резултата и ефикасану примену предложеног метода.

Сложеност практичне примене предложеног метода делимично повећава чињеница да је за процену адаптивних граница изложености неопходно коришћење и фреквенцијски селективног мерења. Тиме се поред времена утрошеног на широкопојасна мерења интензитета вектора јачине магнетског поља (или вектора магнетске индукције) додатно време троши и на спектралну анализу поља на мерној локацији. Срећом, ова спектрална анализа се не мора често обављати на мерној локацији, уколико није било промена техничких карактеристика присутних активних извора зрачења.

У случајевима када се врше стандардна мерења нивоа поља, у краћим временским интервалима, ова сложеност може доћи до изражаја. Међутим, предности предложеног метода јасно су уочљиве у случајевима примене у системима дизајнираним за обављање континуалног широкопојасног мониторинга нивоа поља, у оквиру којих једном обављена спектрална анализа омогућује избор референтних граничних нивоа који ће се користити у дужем временском периоду за процену граница изложености. С обзиром да је вероватноћа учесталог инсталирања нових извора магнетског поља ниских фреквенција, на локацији испитивања, веома мала, примена предложеног метода се показује као корисна и оправдана.

Још једна од битних предности предложеног метода у системима за континуални мониторинг јесте и доступност историјата промене нивоа магнетског поља, као и одговарајуће изложености, крајњим корисницима. Њима се, путем јавно доступних Интернет web портала, пружају информације о

флуктуацији дневне изложености, уз дефинисање најужег могућег опсега у ком се стварна изложеност на датој локацији налази.

Адекватно повећање прецизности процене изложености, односно смањење разлике између дневних граница, омогућује се периодичном анализом спектра на локацији од интереса. На тај начин се повећава кредибилитет система за континуални мониторинг и одржава његова веома битна улога у области заштите животне средине, уз задовољење потреба корисника о правовременом информисању о присутном нивоу поља и потенцијалној изложености.

С обзиром да процена изложености представља завршну фазу испитивања ЕМ поља, након обављених мерења, очигледно је да је предложени метод независан од врсте и карактеристика употребљеног мерног инструмента. Његова општост омогућује обраду измерених вредности нивоа поља, добијених коришћењем практично свих комерцијално доступних мерних инструмената, намењених широкопојасним и фреквенцијски селективним мерењима нивоа поља.

Предложени метод је првобитно реализован за потребе СЕМОНТ информационе мреже, као мреже дизајниране за обављање континуалног широкопојасног мониторинга ЕМ поља и процену изложености у дужем периоду. Првенствени циљ СЕМОНТ система јесте приказ дневних граница изложености у виду графикона, и јавно информисање свих заинтересованих корисника. Предложени метод се стога намеће као веома корисно и поуздано решење, обезбеђујући прецизну и ефикасну процену изложености магнетским пољима.

Поред примене за процену изложености опште популације, предложени метод се може користити и за процену изложености магнетском пољу професионалног особља, коришћењем прописаних референтних граничних нивоа за ову категорију популације.

Предложени метод није искључиво везан за СЕМОНТ систем, већ се може применити и у било ком другом систему дизајнираном за континуални широкопојасни мониторинг нивоа поља, употребом одговарајућих прописаних референтних нивоа. Додатно, примена предложеног метода је могућа и у свим акредитованим организацијама које се баве испитивањима ЕМ поља, као и у лабораторијама које обављају одговарајућа мерења у научне сврхе.

Општост описаног метода омогућује једноставно коришћење и имплементацију у оквиру законодавства било које друге државе у свету, коришћењем националних референтних граничних нивоа, прописаних правилницима појединих држава или ICNIRP *Guidelines* документом.

Имајући у виду да је ово технико решење настало на основу научних радова објављених у еминентном међународном научном часопису и конференцијама, отворени изворни код и технички детаљи везани за предложени метод су доступни свим заинтересованим корисницима.

Прилози:

Предложена метода процене изложености је детаљно описана и у научном раду:

1. D. Kljajic, N. Djuric, J. Bjelica, M. Milutinov, K. Kasas-Lazetic and D. Antic, “Utilization of the boundary exposure assessment for the broadband low-frequency EMF monitoring”, Measurement, DOI:10.1016/j.measurement.2016.12.061, Volume 100, March 2017, pp. 110-114, ISSN: 0263-2241, 2017,

где су резултати примене овог метода на одговарајућој мерној локацији презентовани у поглављу “*Test measurement results*”.

Додатно, предложени метод је анализиран и у научном раду презентованом на конференцији:

2. N. Djuric, J. Bjelica, D. Kljajic, M. Milutinov, K. Kasas-Lazetic and D. Antic, “The SEMONT Continuous Monitoring and Exposure Assessment for the Low-frequency EMF”, IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies, EmergiTech 2016, August 3-6, 2016, Mauritius, pp. 1-6, ISBN: 978-1-5090-0705-9.

Наведени радови представљају прилоге овог техничког решења.

Лабораторија за електромагнетску компатибилност
Департман за енергетику, електронику и телекомуникације
Факултет техничких наука
Универзитет у Новом Саду
Трг Д. Обрадовића 6
21000 Нови Сад

У складу са одредбама "*Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*", бр. 110-00-29/2016-04, који је Министарство просвете науке и технолошког развоја усвојило 01. 03. 2016. године ("Службени гласник РС" бр. 24/2016), Лабораторија издаје ову

ПОТВРДУ

о верификацији Методе процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција базиран на адаптивним границама изложености

На основу спроведене камапање мониторинга магнетског поља ниских фреквенција, за потребе Информационе мреже за испитивање електромагнетских поља – СЕМОНТ (*Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network*), као и спроведених поступака провере и валидације "***Методе процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција базиране на адаптивним границама изложености***", овим документом потврђујемо да је метода верификована у оквиру Лабораторије за електромагнетску компатибилност ФТН Нови Сад, уз коришћење мерне опреме која припада Лабораторији.

У Новом Саду, дана 27. 01. 2017. године

Руководилац Лабораторије

Проф. др Неда Пекарић-Нађ

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ СИСТЕМ МЕНАЏМЕНТА СЕРТИФИКОВАН ОД:

Валентина Вребалов
Шеф кабинета декана

Наш број: 022-22/29
Ваш број:
Датум: 17.01.2017. Нови Сад

ПРЕДМЕТ: Именовање рецензената и прихватање рецензије за Техничко решење

Наставно-научно веће Департмана за енергетику, електронику и телекомуникације на 56. седници од 27.12.2016., на иницијативу Катедре за теоријску електротехнику једногласно је донело одлуку о именовању рецензената и прихватању рецензије за следеће техничко решење, које је резултат рада на пројекту ТР-32055.

Наслов: **Метод процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција базиран на адаптивним границама изложености**

Аутори: Драган Кљајић, Никола Ђурић.

Предложени рецензенти:
1. др Небојша Раичевић, ванредни професор, Електронски факултет, Универзитет у Нишу,
2. др Бранислав Вулевић, научни сарадник, Електротехнички институт Никола Тесла, Београд.

С поштовањем,

Доц. др Борис Думнић
руководилац Департмана

Доставити:
1 Јасмина Димић, Служба за опште и правне послове,
2 архива Департмана ЕЕТ.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ СИСТЕМ МЕНАЏМЕНТА СЕРТИФИКОВАН ОД:

Наш број:
Ваш број:
Датум: 2017-01-26

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 29. редовној седници одржаној дана 25.01.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 10.2. Верификација нових техничких решења и именовање рецензената

Тачка 10.2.1: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

1. Др Небојша Раичевић, ванр. проф, Електронски факултет у Нишу
2. Др Бранислав Вулевић, научни сарадник, Електротехнички институт Никола Тесла у Београду

Назив техничког решења:

"МЕТОД ПРОЦЕНЕ ИЗЛОЖЕНОСТИ МАГНЕТСКИМ ПОЉИМА НИСКИХ ФРЕКВЕНЦИЈА БАЗИРАН НА АДАПТИВНИМ ГРАНИЦАМА ИЗЛОЖЕНОСТИ"

Аутори техничког решења:Драган Кљајић, Никола Ђурић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:
Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар
Иван Нешковић, дипл. правник

Декан
Проф. др Раде Дорословачки

Рецензија техничког решења

Основни подаци о техничком решењу:	
Назив	Метод процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција базиран на адаптивним границама изложености
Аутори	Драган Кљајић и Никола Ђурић
Категорија	Ново техничко решење примењено на националном нивоу (М82)
Реализатор	Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду

Основни подаци о рецезенту	
Име и презиме, звање	проф. др Небојша Раичевић, ванредни професор
Ужа област за избор у звање, датум избора	Теоријска електротехника, 27. 10. 2016.
Установа где је запослен	Електронски факултет, Универзитет у Нишу

Стручно мишљење рецезента:

Предложени метод представља ново решење за процену потенцијалне изложености магнетском пољу ниских фреквенција, у случају употребе широкопојасног приступа мерења нивоа магнетског поља. Овим методом се одређују доња и горња граница изложености, односно опсег у ком се реална изложеност може наћи.

Додатно, овим методом се захтева и фреквенцијски селективно мерење нивоа поља, како би се одредио фреквенцијски садржај поља на мерној локацији на основу ког се прецизније бирају нови референтни гранични нивои, за тачније одређивање граница изложености и сужење опсега у ком се изложеност налази. На овај начин, процена изложености се обавља у складу са фреквенцијским карактеристикама мерне локације, пружајући резултате који одговарају владајућим условима на мерној локацији.

Метод процене је веома практичан за примену у реалним условима, како за процену изложености опште популације, тако и професионалног особља. Употреба метода се одвија у завршној фази обраде резултата мерења и крајње је једноставна, уз коришћење основне математичке операције дељења у току обраде мерних података.

Општост предложеног метода процене изложености омогућава коришћење и имплементацију у оквиру законодавства било које државе у свету, коришћењем националних референтних граничних нивоа, прописаних правилницима појединих држава. Додатно, предложени метод се односи искључиво на широкопојасна мерења магнетског поља у опсегу ниских фреквенција, а примењљив је како за стандардна мерења у краћим временским периодима, тако и за континуална мерења у дужим интервалима времена, односно мониторинг поља.

Мишљења сам да ово техничко решење испуњава све услове за "***Ново техничко решење примењено на националном нивоу* (М82)**", као што је предвиђено одредбама "*Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*", бр. 110-00-29/2016-04, који је Министарство просвете науке и технолошког развоја усвојило дана 01. 03. 2016. године ("Службени гласник РС" бр. 24/2016).

У Нишу, дана 08. 02. 2017. године

проф. др Небојша Раичевић

Рецензија техничког решења

Основни подаци о техничком решењу:	
Назив	**Метод процене изложености магнетским пољима ниских фреквенција базиран на адаптивним границама изложености**
Аутори	**Драган Кљајић и Никола Ђурић**
Категорија	**Ново техничко решење примењено на националном нивоу (М82)**
Реализатор	**Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду**

Основни подаци о рецезенту	
Име и презиме, звање	**др Бранислав Вулевић, научни сарадник**
Ужа област за избор у звање, датум избора	**Техничко-технолошке науке (електроника, телекомуникације и информационе технологије), 30. 11. 2016.**
Установа где је запослен	**Електротехнички институт Никола Тесла, Београд**

Стручно мишљење рецезента:

Предложено техничко решење јесте важан допринос решавању проблематике процене излагања магнетским пољима ниских фреквенција, у ситуацијама када се користи широкопојасно мерење нивоа поља на локацији од интереса.

Предложени методом се обавља процена граница излагања магнетском пољу, односно одређује се опсег у ком се реална изложеност може налазити. Комбинацијом широкопојасног и фреквенцијски селективног мерења, овим методом се одређују нови референтни гранични нивои, који најбоље одговарају спектралном садржају поља на датој мерној локацији. Након тога се ови нови гранични нивои користе за прецизнију процену граница и опсега у ком се стварно излагање налази.

Сам метод се користи у завршној фази испитивања магнетских поља, током обраде мерних података, и користи основне нумеричке операције. Додатно, предност предложеног метода јесте примењивост у системима дизајнираним за обављање континуалног широкопојасног мониторинга поља, у оквиру којих једном обављена спектрална анализа омогућује избор нових референтних граничних нивоа који ће се користити за процену граница излагања у дужем временском периоду.

Ово техничко решење представља допуну и комплементарно је са претходно објављеним техничким решењем "*Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености*" (М82), аутора Драгана Кљајића и Николе Ђурића, и у великој мери употпуњује процену изложености за широкопојасна мерења нивоа поља.

Техничко решење је добило потврду валидности, објављивањем у научном раду, у часопису међународног карактера – категорије М21. Стога, сматрам да предложено техничко решење испуњава све услове за "***Ново техничко решење примењено на националном нивоу* (М82)**", предвиђено одредбама "*Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*", бр. 110-00-29/2016-04, који је Министарство просвете науке и технолошког развоја усвојило 01. 03. 2016. године ("Службени гласник РС" бр. 24/2016).

У Београду, дана 13.02. 2017. године

др Бранислав Вулевић,дипл.инж.ел.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ СИСТЕМ МЕНАЏМЕНТА СЕРТИФИКОВАН ОД:
TÜV NORD ISO 9001 TÜV NORD ISO 14001 TÜV NORD OHSAS 18001

Наш број: 01.сл
Ваш број:
Датум: 2017-02-01

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 32. редовној седници одржаној дана 27.02.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 11. 2. Верификација нових техничких решења и именовање рецензената

Тачка 11.2.2.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење (М82) под називом:

"МЕТОД ПРОЦЕНЕ ИЗЛОЖЕНОСТИ МАГНЕТСКИМ ПОЉИМА НИСКИХ ФРЕКВЕНЦИЈА БАЗИРАН НА АДАПТИВНИМ ГРАНИЦАМА ИЗЛОЖЕНОСТИ"

Аутори техничког решења:Драган Кљајић, Никола Ђурић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:
Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар
Иван Нешковић, дипл. правник

Декан
Проф. др Раде Дорословачки

Measurement 100 (2017) 110–114

Contents lists available at ScienceDirect

Measurement

journal homepage: www.elsevier.com/locate/measurement

Utilization of the boundary exposure assessment for the broadband low-frequency EMF monitoring

Dragan Kljajic *, Nikola Djuric, Jelena Bjelica, Miodrag Milutinov, Karolina Kasas-Lazetic, Danka Antic

Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Trg D. Obradovica 6, 21000 Novi Sad, Serbia

ARTICLE INFO

Article history:
Received 5 July 2016
Received in revised form 26 December 2016
Accepted 28 December 2016
Available online 30 December 2016

Keywords:
Low-frequency magnetic field measurements
Broadband monitoring
General population exposure
Power substation
Power lines

ABSTRACT

Exposure to low-frequency electromagnetic fields (EMF) has become an issue considering a number of high-power low-frequency EMF sources installed in residential environment. Therefore, the EMF monitoring and appropriate exposure assessment are highly important regarding the safety, since residents can spend considerable time in the vicinity of such high-power objects. This short paper brings the case study related to the broadband continuous monitoring of the low-frequency magnetic field in the vicinity of the outdoor power substation, as a particularly important and interesting EMF source. Moreover, the exposure assessment of the general population, performed by a newly proposed adaptive boundary exposure approach, is presented. This approach assesses the upper and lower daily exposure boundaries, offering the range where real exposure is positioned. The reduction of difference between boundaries can be attained by frequency spectrum analysis, while in this case study the initial boundary difference was reduced from 99.6% to 33.3%.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The investigation, measurement and, in modern days, long-term monitoring of electromagnetic fields (EMF) is of great importance, together with the corresponding exposure assessment to EMFs.

The document of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)" [1] is one of the most commonly used in the area of EMF investigations. The document offers basic recommendations for the establishment of the exposure limits for both the general and occupational population, based on numerous laboratory and epidemiological studies.

ICNIRP's document offers an approach for comprehensive exposure assessment that implies EMF measurements based on the frequency selective measuring approach and frequency dependent reference levels [1,2]. Unfortunately, such approach is not suitable for broadband measurements, due to not knowing the frequencies on which the EMF sources emit and reference levels that should be used. Therefore, a new exposure assessment approach, based on adaptive exposure boundaries, has been proposed [3]. This approach was established with the high-frequency electric field strength measurement [3,4], providing the ability of being suitable for the low-frequency magnetic field, as well [5].

In this paper, the case study of the adaptive boundary approach implementation, for the low-frequency EMF measurements, is presented. Section "Low-frequency test measurement" brings the description of the chosen measurement location, as well as the basic information on used measuring procedure and equipment. Results of the performed measurement and the application of adaptive boundary exposure assessment are presented in the section "Test measurement results". Discussion of the obtained results is offered in the "Conclusion" section.

2. Low-frequency test measurement

Having in mind that power substations, such as the substation "Novi Sad 7", located in the city of Novi Sad, the Republic of Serbia, are installed in the residential areas, it is highly important and publicly strongly demanded that EMF levels in such areas are in compliance with the prescribed reference levels [1,6,7]. Therefore, the real-time in situ monitoring of the low-frequency magnetic field is more than necessary.

* Corresponding author.
E-mail addresses: dkljajic@uns.ac.rs (D. Kljajic), ndjuric@uns.ac.rs (N. Djuric), jelenabjelica15@uns.ac.rs (J. Bjelica), miodragm@uns.ac.rs (M. Milutinov), kkasas@uns.ac.rs (K. Kasas-Lazetic), danka.antic@uns.ac.rs (D. Antic).

http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.12.061
0263-2241/© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

2.1. Test measurement location

The substation "Novi Sad 7" is located in the suburb of the city of Novi Sad, named Telep. This high-power 110/25/35 kV outdoor substation is fed by 110 kV three-phase power lines, which cross Ohridska Street and enter into the substation, as presented in Fig. 1. Besides, there are several 25/35 kV underground power cables that exit from the substation along Heroja Pinkija Street. Those cables supply the consumers in Telep and other suburbs of Novi Sad.

Since there are several private households in the close vicinity of this power distribution object, the surrounding area should be considered as a highly sensitive zone regarding potential EMF exposure. Likewise, the presence of pedestrian pathways near the substation's courtyard, where pedestrians pass during the day, is an additional reason for the investigation and monitoring of the magnetic field in this area.

However, the most interesting section of the substation's surroundings is in Ohridska Street, above which three-phase power lines pass (at the height of about 10 m from the ground), and enter the substation, as depicted in Fig. 1 and in Fig. 2. These power lines also pass near the private household garden and a business building. Moreover, in this street there is no walking path, so the pedestrians walk over the traffic lane, distinguishing this lane as a primary monitoring place.

The nearest private house is distanced only 24 m from the vertical projection of the middle conductor of the power lines, as depicted in Fig. 2. Unfortunately, the power lines pass directly over the garden of this household, increasing the concern of residents on possible negative health effects during their daily gardening chores. Likewise, there is a commercial building, distanced 20 m from the vertical projection of the middle conductor, while a commercial driveway and a gate of this building are even closer to the middle conductor, at a distance of only 8 m, as presented in Fig. 2.

The frequent usage of the narrow traffic lane by pedestrians, as well as the close proximity of the mentioned buildings to the power lines, distinguish this location as highly attractive for the continuous and long-term monitoring of the low-frequency magnetic field.

2.2. Measuring procedure and measuring equipment

The initial measurement was performed in two phases [5], applying the handheld Narda EFA 300 measuring instrument [8], equipped with the isotropic B-field probe. The phases of the measurement were time-separated, conducting the preliminary field scanning and four hours broadband continuous monitoring in the first phase; in the second phase, the frequency spectrum analysis was performed using the SPECTRUM FFT/HARMONICS mode of the Narda EFA 300 instrument [8].

Fig. 1. Location of the "Novi Sad 7" substation.

3. Test measurement results

This section explains the utilization of the proposed adaptive boundary approach for the magnetic field exposure assessment, while additional details can be found in [3–5].

3.1. Boundary exposure assessment

Initially, the boundary approach was used to assess the potential exposure [3–5], evaluating upper and lower exposure boundaries by the following expressions:

$$GER_{low} = \frac{B_m}{B_{ref\max}(f_1)} \quad and \quad GER_{up} = \frac{B_m}{B_{ref\min}(f_2)}, \tag{1}$$

where B_m is the instantaneous broadband measured value of the magnetic flux density, while $B_{ref\ min}(f_2)$ and $B_{ref\ max}(f_1)$ are minimal and maximal prescribed reference levels, in the frequency range of the applied field probe (5 Hz to 32 kHz).

For this case study, $B_{ref\ min} = 2.5\ \mu T$ (for the frequency $f_2 = 32$ kHz) and $B_{ref\ max} = 640\ \mu T$ (for the frequency $f_1 = 5$ Hz) reference levels were selected, in accordance with the Serbian legislation [7], for the general population. Results of the global exposure ratio (*GER*) [4] boundaries assessment are shown in Fig. 3.

Unfortunately, an extensive range between those boundaries can be noticed, requiring an appropriate measure to quantify it. Therefore, in order to describe the range between *GER* boundaries, the relative difference δ was introduced, defined by the following equation:

$$\delta = \frac{GER_{up} - GER_{low}}{GER_{up}} \cdot 100\% = \left[1 - \frac{B_{ref\ min}}{B_{ref\ max}}\right] \cdot 100\%. \tag{2}$$

For the initial exposure assessment, the relative difference between *GER* boundaries is 99.6%, of the upper boundary, referring that the range where real exposure can be found is considerable. Hence, should this gap be reduced, it could be possible to evaluate the present exposure more precisely.

The main idea for the assessment improvement and difference reduction lies in uncovering the set of frequencies on which the EMF emission exists, and selecting new and more appropriate reference levels. By performing the spectrum analysis, the true frequency range of EMF emission can be determined, instead of the presumed one that corresponds to the instrument's field probe range. Consequently, the new $B_{ref\ min}$ and $B_{ref\ max}$ reference levels can be selected, matching the present spectrum closely and reducing the difference between initial *GER* boundaries.

3.2. The frequency selective measurement

The preformed spectral analysis resulted with active frequencies, as presented in Fig. 4, where it can be observed that 50 Hz is a dominant frequency, as expected.

Considering the measurement range of the used instrument, from 100 nT to 32 mT [8], the values below 100 nT, in Fig. 4, can be neglected, probably being the consequence of the detected noise or the uncertainty of the measuring instrument. However, since this is an initial study, in the case that they could be considered as good ones, without being neglected, those values could initiate the spectrum shrinking, as follows.

At the beginning, the visual inspection of the site showed no presence of any source of static or very slowly changed magnetic field; hence, narrowing is possible from the left side of the basic

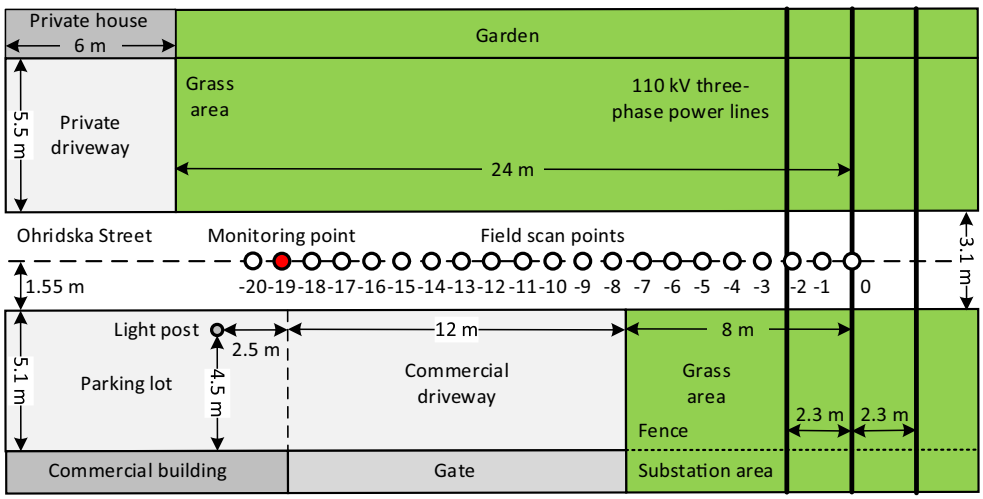


Fig. 2. The ground plan sketch of the monitoring location.

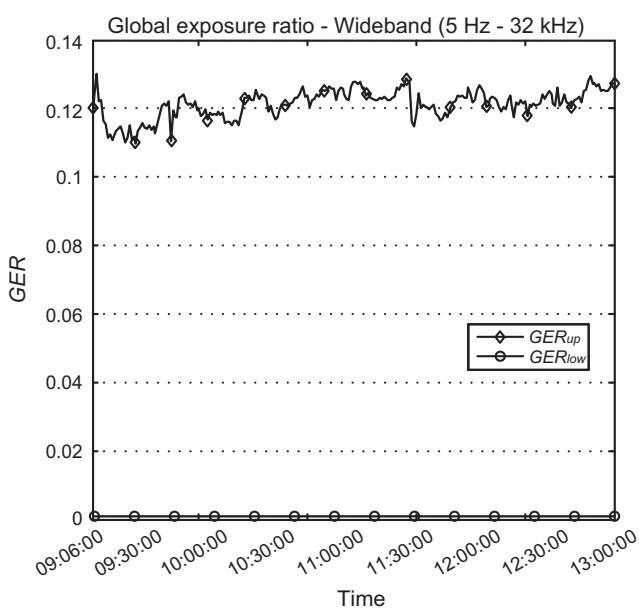


Fig. 3. The *GER* assessment at the test location.

harmonic of 50 Hz. Moreover, on the right side of 50 Hz, the last interesting harmonic is the odd harmonic on 450 Hz, as can be noticed in Fig. 4.

Contribution of odd harmonics in comparison to the basic harmonic of 50 Hz, as well as exposure assessment per particular harmonic's frequency [9], using the criteria provided in the ICNIRP recommendation [1], is offered in Table 1.

Observing the obtained results, it is clear that the contribution of odd harmonics is almost negligible regarding the basic 50 Hz harmonic, which dominantly contributes to the overall field strength, as well as the exposure at the monitoring location. Such conclusion is in accordance with the results obtained in [9].

If we temporarily neglect that those odd harmonics have very low values, the observed broadband frequency range can be initially narrowed to the range from 40 Hz to 450 Hz. Secondly, the observed frequency range can be reduced from 40 Hz to 60 Hz by neglecting the contribution of odd harmonics. The reason lies in the fact that their role is almost indistinguishable regarding the basic 50 Hz harmonics. In consequence, such spectral reduction is the foundation for the exposure assessment improvement and adaptive boundary approach, whose application will be demonstrated in the following section.

3.3. GER boundaries adaptation

In order to demonstrate the difference reduction between lower and upper exposure boundaries, the new adaptive *GER* assessment approach was considered through three cases:

- Case A – Assessment based on the initial broadband monitoring and the frequency range of the used field probe.
- Case B – Assessment as a consequence of the spectrum shrinking to the range from 40 Hz to 450 Hz.
- Case C – Assessment as a consequence of neglecting the contribution of odd harmonics and shrinking the observed frequency range, from 40 Hz to 60 Hz.

Considering those three cases, the new minimum and maximum reference levels can be selected, as presented in Table 2.

Slight reduction of the relative difference between *GER* boundaries can be observed in Table 2, where, for the case B, it is 91.1%, while for the case C new difference is 33.3%, which is highly noticeable. The graphical comparison of the new *GER* boundaries in cases B and C with those obtained in the case A is presented in Fig. 5.

The adaptive approach for the case C resulted with the increased precision of the assessment and a significantly smaller range between *GER* boundaries, leading consequently to the much clearer insight of the low-frequency magnetic field exposure at the chosen location.

Finally, if we consider the case that only the dominant frequency of 50 Hz is present, with its corresponding reference level of 40 μT [7], the adaptive boundary analysis leads to the merging of both *GER* boundary curves with the curve for 50 Hz exposure assessment, as it is pointed by arrows in Fig. 6. This result clearly shows the convergence of the proposed adaptive boundary approach to the conventional exposure assessment approach given in the ICNIRP recommendation [1].

This is a specific situation where only one dominant frequency exists. However, in the cases where a number of EMF sources are present in the vicinity of the testing location, operating at various frequencies, the ICNIRP approach cannot be applied for the broadband EMF observation. The broadband measurement is not capable to distinguish spectral content and thus the proper reference levels

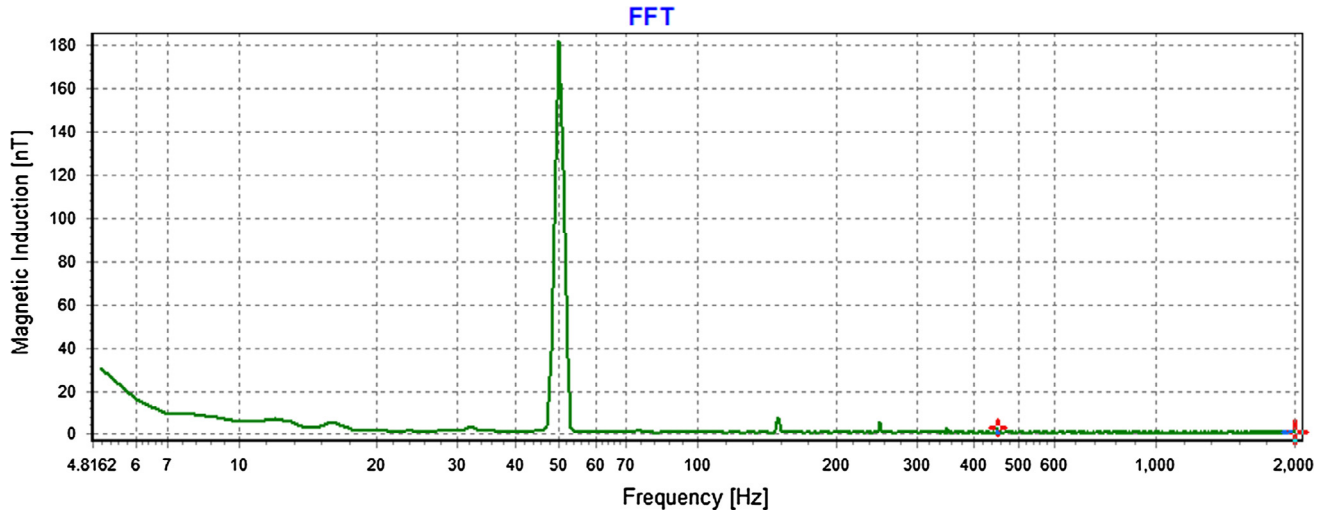


Fig. 4. Spectral characteristics of the test in situ location.

Table 1
Contribution of the odd harmonics of the spectrum.

Frequency [Hz]	B [nT]	B_{harm}/B_{basic} [%]	B_{ref} [μT]	$ER = B/B_{ref}$	ER_{harm}/ER_{total} [%]
50	181.94	100	40	4.55E−03	63.94
150	7.84	4.50	13.33	5.88E−04	8.27
250	5.78	3.32	8	7.22E−04	10.15
350	2.97	1.79	5.71	5.20E−04	7.31
450	3.26	1.60	4.44	7.35E−04	10.34
ER_{total}				7.11E−03	

Table 2
New reference levels in the case of spectrum shrinking.

Case	A	B	C
Frequency range [Hz]	5 to 32,000	40 to 450	40 to 60
$B_{ref\ min}$ [μT]	2.5	4.44	33.33
$B_{ref\ max}$ [μT]	640	50	50
δ [%]	99.6	91.1	33.3

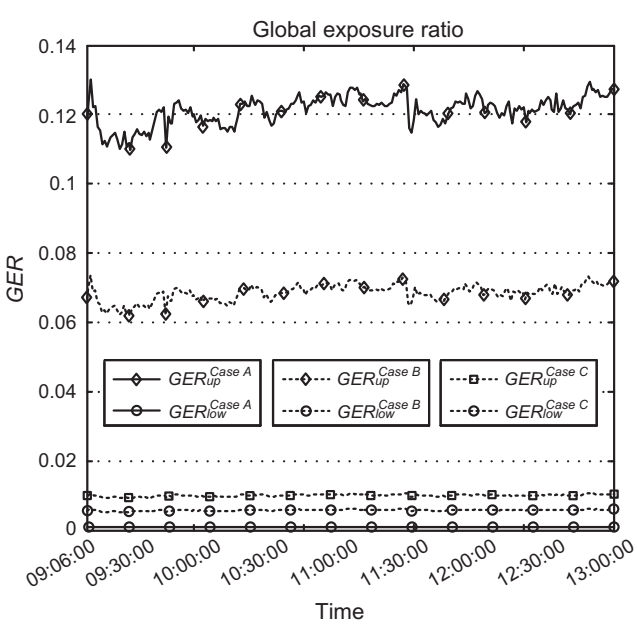


Fig. 5. *GER* difference reduction in cases B and C.

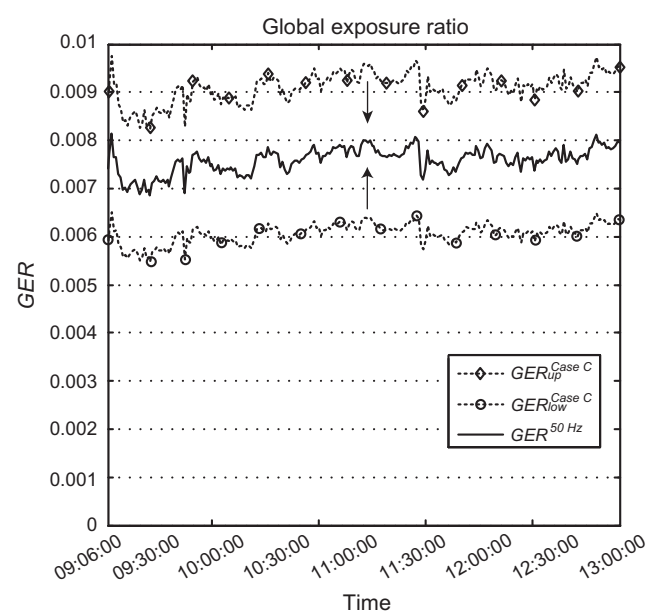


Fig. 6. *GER* boundaries merging at frequency of 50 Hz.

cannot be correctly determined. In such situations, the application of the proposed adaptive boundary approach comes to the fore and gains importance.

4. Conclusion

The measurement and fluctuation tracking of the EMF level are of great importance for the entire community. In this case study,

the broadband monitoring of the low-frequency magnetic field and corresponding exposure assessment, in the vicinity of a power distribution station, have been presented. The exposure assessment was completed by the newly proposed adaptive boundary approach, assessing the lower and upper exposure boundaries, regarding the spectral content of the monitoring location.

For the initial exposure assessment, regarding the frequency range of the field probe from 5 Hz to 32 kHz, the boundary difference of 99.6% was obtained. As a result of the spectral analysis, it is clear that the shrinking of the observed frequency range is possible: for the range from 40 Hz to 450 Hz, the boundary adaptation resulted in the reduction of the boundary difference to 91.1%, while for 40–60 Hz range, the considerable decrease of the boundary difference to 33.3% was obtained. Thus, the concept of adaptive boundaries and spectrum shrinking resulted with much better overview of the range of existing exposure.

The performed test monitoring considered the low-frequency magnetic field exposure assessment of the general population, in the vicinity of a substation, showing that the selected test location is a low exposed location. However, the foreseen studies will be focused on monitoring within the substation's courtyard and the control building, where the complex spectral content can be found and where adaptive boundary approach can demonstrate full capabilities, even for the occupational exposure assessment.

Ethical statement

This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

Acknowledgment

This work is supported by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, under the grant for the project TR 32055.

References

[1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) – Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), 1998. <http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf>.

[2] ICNIRP 2010, Guidelines for limiting exposure to time varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz), Health Phys. 99 (6) (2010) 818–836.

[3] D. Kljajic, N. Djuric, K. Kasas-Lazetic, D. Antic, Adaptive boundary approach for EMF exposure assessment in broadband measurements, in: Progress in Electromagnetics Research Symposium – PIERS 2015, Prague, Czech Republic, July 06–09, 2015, The Electromagnetics Academy, PIERS 2015 Proceedings, 2015, pp. 1889–1892, ISSN: 1559-9450, ISBN: 978-1-934142-30-1.

[4] D. Kljajic, N. Djuric, The adaptive boundary approach for exposure assessment in a broadband EMF monitoring, Meas. J. 93 (2016) 515–523, http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.055, ISSN: 0263-2241.

[5] N. Djuric, J. Bjelica, D. Kljajic, M. Milutinov, K. Kasas-Lazetic, D. Antic, The SEMONT continuous monitoring and exposure assessment for the low-frequency EMF, in: IEEE International Conference on Emerging Technologies and Innovative Business Practices for the Transformation of Societies – EmergiTech 2016, Mauritius, August 03–06, 2016, pp. 1–6.

[6] Electric and Magnetic Field Levels Generated by AC Power Systems – Measurement Procedures with Regard to Public Exposure, SRPS EN 62110:2011, 2011.

[7] Regulation on the Limits Exposure of Non-Ionizing Radiation, The Law of the Republic of Serbia, No. 104/09, 2009.

[8] EFA 300 EM Field Analyzer Operating Manual. <http://www.narda-sts.us/pdf_files/DataSheets/EFA300_DataSheet.pdf> (Assessed in December 2016).

[9] J.M. Paniagua, M. Rufo, A. Jiménez, F.T. Pachón, J. Carrero, Exposure estimation based on broadband ELF magnetic field measurements versus the multiple frequency rule, Radiat. Protect. Dosimetry 163 (2) (2014) 173–180, ncu175.

The SEMONT Continuous Monitoring and Exposure Assessment for the Low-frequency EMF

Nikola Djuric, Jelena Bjelica, Dragan Kljajic, Miodrag Milutinov, Karolina Kasas-Lazetic, Danka Antic
Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia
{ndjuric, jelenabjelica15, dkljajic, miodragm, kkasas, danka.antic}@uns.ac.rs

***Abstract* – The most known sources of the low-frequency electromagnetic field (EMF) can be found in electric power systems. Those systems and their power distribution parts have become the backbone of economic, technological and overall development of human society, intensely in modern-days. The actual humanity highly depends on the reliable power supply and thus a number of power distribution substations have been established, even in densely populated residential parts of the cities. The presence of such a power substation increases the public concerns on dangerous health effects, considering the exposure to EMF in the vicinity of substations. Thus, the comprehensive and detailed monitoring was demanded, along with the exposure assessment to EMF radiation. The continuous broadband monitoring method of the Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network – SEMONT has been considered in this paper, in a case study of the power substation "NS7 – South Telep", located in the city of Novi Sad, the Republic of Serbia. The exposure assessment, based on daily boundaries, has been employed, showing that acquired results emerge to be far below the Serbian prescribed reference levels.**

Keywords – monitoring of electromagnetic field; non-ionizing radiation exposure; wireless sensors network

I. Introduction

The modern-day power distribution systems face a number of issues and challenges to satisfy persistent requirements for increased power consumption. One of challenges is the reliability of the power distribution network. It has been demonstrated that the installation and internetworking of new power distribution substations is an effective approach to increase the robustness and provide trustworthy power supply.

The high-power substations are usually intended to be built on the peripherals of cities. Unfortunately, in a number of examples, they become surrounded by fast growing residential areas, sparking the health concerns of nearby residential population. Mostly, the residents have been frightened by the low-frequency electromagnetic field (EMF), dominantly caused by three-phase power lines that feed those substations. Therefore, the constant observation of the field strength in vicinity of the substations is demanded, alongside with the assessment of the general population and occupational exposure [1], [2].

Numerous countries has adopted recommendations of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), which established the guidelines for limiting the exposure to EMF, in order to provide protection against known adverse health effects [3]. Moreover, the national laws prescribe testing or monitoring to confirm the compliance of the existing, as well as newly installed EMF sources with prescribed reference levels, both for the low- and high-frequency spectrum range. Besides, the laws demand a transparent dissemination of the measurement results to the public.

In this paper, the Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network – SEMONT [4] and its feature of Narda EFA 300 equipment [5], [6] utilization for continuous monitoring of the low-frequency magnetic field strength was considered. For the first time, in this case study, the long-term measurements were performed in vicinity of "NS7 – South Telep" outdoor power substation, in the city of Novi Sad. Furthermore, the exposure assessment to the low-frequency magnetic field was conducted using newly proposed boundary exposure approach [7], [8], concerning the Serbian prescribed reference levels [9], [10].

This paper is organized so that Section II briefly describes the SEMONT utilization of Narda EFA 300 handheld measurement instrument, as well as boundary exposure assessment approach. Section III describes the measurement location and Section IV brings the measurement results of this a case study monitoring campaign. Finally, Section V concludes the paper.

II. The SEMONT System and EFA 300 Instrument

This section considers the concept and some features of the SEMONT monitoring network, while a number of additional details can be found in previously published papers [4], [8].

A. The SEMONT System Design

The system is a wireless network of autonomous and remote field monitoring sensor nodes, like Narda AMB 8057/3 [11], spatially distributed to cover the observed area or radiating source. The acquired measurement results are periodically transferred from sensor nodes using available GSM network and stored into the database of the SEMONT's Internet portal [12], [13], as conceptually presented in Fig. 1.

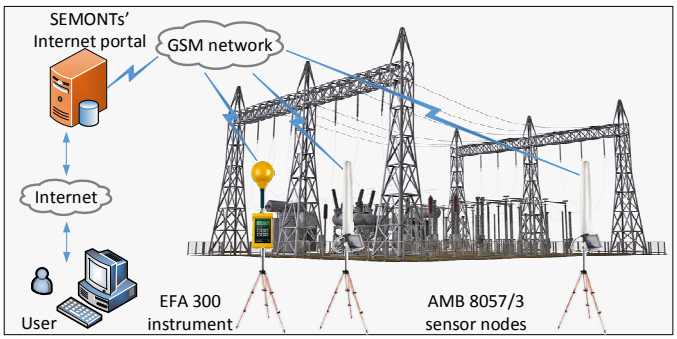


Fig. 1. The concept of the SEMONT monitoring network.

This paper is supported by the Ministry of Education, Sciences and Technological Development of the Republic of Serbia through the project grant no. TR 32055.

978-1-5090-0706-6/16/$31.00 ©2016 IEEE.

The software implemented in the Internet portal automatically processes measurement data and disseminates them to the public, using graphs, tables and GIS system that is powered by the Google maps technology [12], [13].

Besides the utilization of wireless sensor nodes [11], [14], the SEMONT system also integrates measurement results acquired by the handheld equipment, such as Narda EFA 300 [5], as depicted in Fig. 2.

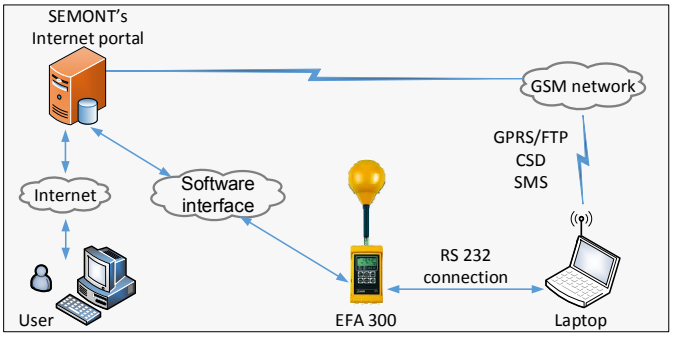


Fig. 2. EFA 300 utilization into the SEMONT system.

In this test campaign, the handheld instrument was used as a sensor node, activating its monitoring mode [5], [6], while the measurement results were saved in the internal memory and later manually downloaded and assimilated into the Internet portal [12], [13]. The specific software interface was used for data parsing, enabling authorized personnel to incorporate measurement results into the centralized database, using the administrative part of the Internet portal.

B. *The Concept of the Boundary Exposure Assessment*

The SEMONT system implements continuous monitoring, observing all active EMF sources in vicinity of the measurement equipment, in a wide frequency range. Such monitoring, known as a broadband monitoring, results with only one value per time instance, i.e. the cumulative field strength, representing the overall contribution of all surrounding EMF sources.

The broadband monitoring is not able of discriminating the radiating frequencies. In consequence, such type of monitoring is not able to perform the exposure per frequency assessment, as instructed by the ICNIRP Guidelines [3], calculating exposure ratio (*ER*) for the low-frequency range

$$ER = \sum_{j=1Hz}^{65kHz} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j\geq 65kH}^{10MHz} \frac{H_j}{b}, \qquad (1)$$

where H_j is the magnetic field strength at frequency j, $H_{L,j}$ is the prescribed magnetic field reference level, while b = 24.4 *A/m* (30.7 *mT*) for occupational exposure and 5 *A/m* (6.25 *mT*) for general public exposure. A magnetic field can be specified in two ways: as the magnetic flux density B, expressed in tesla (T), or as the magnetic field strength H, expressed in ampere per meter (A/m). These two quantities are related by the expression $B = \mu H$, where μ is magnetic permeability. Usually, only one of the quantities B or H needs to be measured.

The Guidelines suggest the use of different reference levels for each frequency, regarding the fact that the human tissue reacts differently on different frequencies.

In case of the SEMONT's broadband monitoring, the exposure assessment was performed using global exposure ratio (*GER*) [15] and boundary assessment approach [7], [8]. In the monitoring frequency band of the field probe, the minimal and maximal reference levels were used to determine the range where real exposure can be positioned, as shown in Fig. 3.

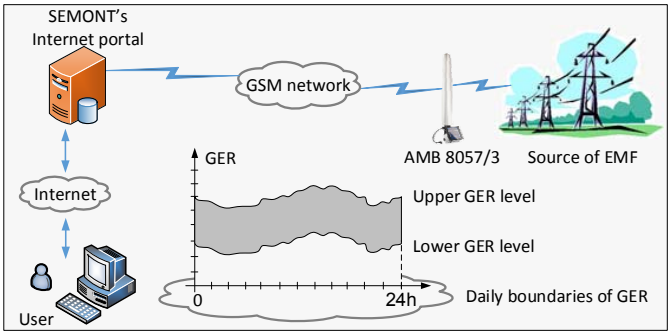


Fig. 3. The idea of the boundary exposure assessment.

Regarding the low-frequency magnetic field strength monitoring and the frequency range of Narda EFA 300 instrument, from 5 *Hz* to 32 *kHz*, the *GER* boundaries were calculated as:

$$GER_{lower} = \frac{B_m}{B_{ref\,\max}} \quad \text{and} \quad GER_{upper} = \frac{B_m}{B_{ref\,\min}}, \qquad (2)$$

where B_m is the measured value, while $B_{ref\,\min}$ and $B_{ref\,\max}$ are minimal and maximal prescribed reference levels. According to the Serbian prescribed reference levels [9], [10], the minimal and maximal reference levels, in this frequency range, are presented in Table I.

TABLE I. REFERENCE LEVELS USED FOR GER CALCULATION

	Corresponding frequency	Referent level
$B_{ref\,\min}$	32 *kHz*	2.5 μT
$B_{ref\,\max}$	5 *Hz*	640 μT

If another field probe is to be used, with a different monitoring band, these reference levels have to be recalculated.

III. THE MONITORING LOCATION

The high-power substation "NS7 – South Telep" is located in the south-west part of the city of Novi Sad, surrounded by the suburb named Telep, as shown in Fig. 4.

Fig. 4. Surroundings of the "NS7 – South Telep" substation.

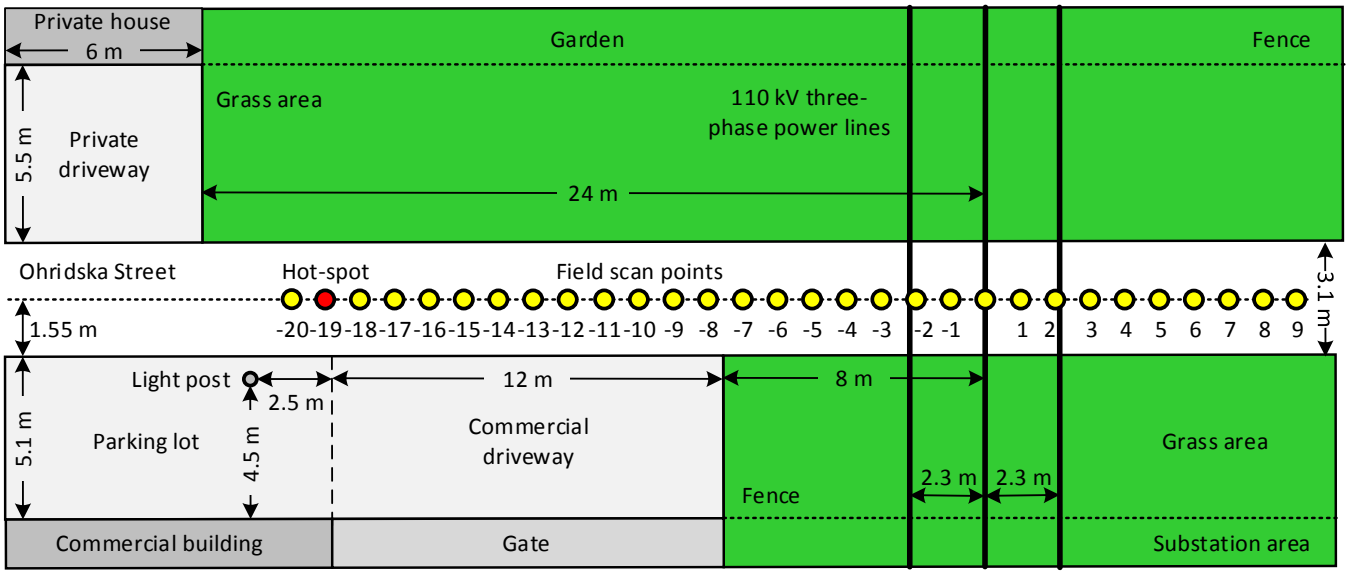


Fig. 5. The sketch of the monitoring location.

TABLE II. THE PRELIMINARY SPATIAL SCAN OF THE MAGNETIC FIELD STRENGTH IN VICINITY OF POWER-LINES

x [m]	– 1	– 2	– 3	– 4	– 5	– 6	– 7	– 8	– 9	– 10	– 11	– 12	– 13	– 14	– 15	– 16	– 17	– 18	– 19	– 20
B [μT]	1.15	1.11	1.06	0.96	0.87	0.84	0.75	0.68	0.60	0.53	0.47	0.42	0.38	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.20
x [m]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B [μT]	1.11	1.04	1.01	0.93	0.84	0.75	0.67	0.60	0.55	0.48	0.42	0.37	0.33	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15

This high-power 110/25/35 kV outdoor substation is fed by 110 kV three-phase power lines, crossing a private courtyard and Ohridska Street before entering the substation. Moreover, several 25/35 kV underground power cables departure the substation, along Heroja Pinkija Street, proceeding forward to the consumers of Telep and other suburbs of the city of Novi Sad.

Beside the closeness of private households, there is a walking path along Heroja Pinkija Street, where pedestrians pass near the substation. Such situation, in addition, affects that this location can be considered as a highly sensitive zone.

For this paper, the most interesting spot for the magnetic field strength monitoring was located in Ohridska Street, near 110 kV three-phase power lines. In this street, there is narrow traffic lane, with no walking paths alongside; hence, pedestrians use the traffic lane to reach their households, passing under the cables, as sketched in Fig. 5.

The nearest private house is located 24 m from the middle conductor of the three-phase lines (measured on the ground). Unluckily, the garden of this house is beneath the power lines. Since the house residents perform some gardening work daily, it further increases the concerns of health effects.

Moreover, across Ohridska Street, a commercial building is located, whose driveway and entrance are even closer to the middle conductor, as presented in Fig. 5. The height of middle conductor, above the center of the traffic lane, is 10 m, which can be seen as a very low, considering that the average person height is 1.7 m.

The narrow traffic lane, frequently used by pedestrians, as well as the close proximity of parking lots to the conductors of these power lines, classify this location as highly important for the continuous and long-term magnetic field strength monitoring, regarding almost certain presence of people in vicinity of power-lines.

IV. MEASUREMENT RESULTS

Regarding the measurement method of the SEMONT system, the monitoring campaign was carried in two steps: first, a preliminary field strength scan was performed along the traffic lane, right and left from power-lines, in order to determine the spatial distribution of field strength, as well as spot with local maximum of the field strength, so called hot-spot. Second, the continuous monitoring was conducted in this hot-spot, trying to determine the field strength fluctuation over time.

A. Preliminary Field Strength Scanning

The field scanning was conducted on both sides of the vertical projection of the middle conductor, at the height of 1.1 m from the ground. The technician performed short and one-time instance measurements, moving in 1 m steps between consecutive measurement points, shown in Fig 5. The short pause was made in each measurement point, in order to prevent possible electromagnetic induction that can appear since the field probe is moved in EMF.

The results of this preliminary field strength scanning are presented in Table II, while, beneath the middle conductor, the value of 1.14 μT was measured.

TABLE III. STATISTICAL ANALYSIS OF THE SCANNING RESULTS

B_{min}	B_{max}	*STDEV*
0.147 μT	1.15 μT	3.4E-07

Furthermore, the simple statistical analysis was performed on those values, which represent the spatially distributed field strength. Regarding the outcome, presented in Table III, it can be noticed that the standard deviation is almost minor, indicating a very slow change of field strength near the power-line.

B. Measurement vs. Calculation in Preliminary Scanning

The preliminary field scanning results were verified using calculations and theoretical modeling of the three-phase power lines according to the method in [16], and presented in Fig. 6.

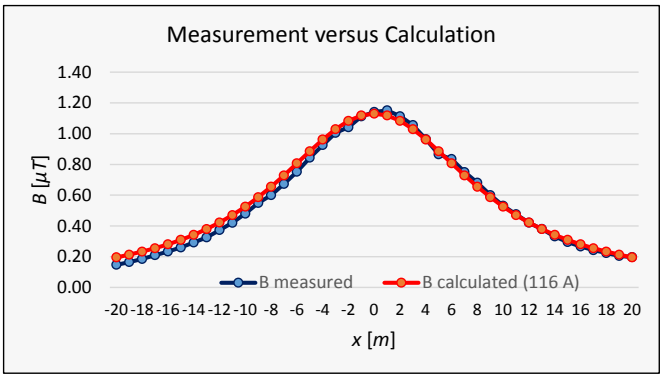


Fig. 6. The results of scanning and calculation on 1.1 *m* from the ground.

By courtesy of "EPS Distribucija – Regionalni centar Elektrovojvodina" [17], as the authorized operator for the "NS7 – South Telep" substation, the current intensity of three-phase power lines was provided for the period from 7:45 AM to 8:10 AM, as presented in Table IV, when preliminary scanning was performed. For the theoretical calculations, the worst case was chosen for considerations, using intensity of round 116 *A*.

TABLE IV. THE THREE-PHASE POWER LINES CURRENT INTENSITY

Min	*Max*	*Average*
110.18 *A*	116.78 *A*	114.79 *A*

The current intensity was also provided for the whole day, covering the rest of the monitoring campaign.

C. Continuous Monitoring using EFA 300 Instrument

The second part of this preliminary campaign was the continuous monitoring in the hot-spot, performed by installing the EFA 300 measuring equipment on the tripod, as shown in Fig. 7, and using its continuous monitoring mode [6].

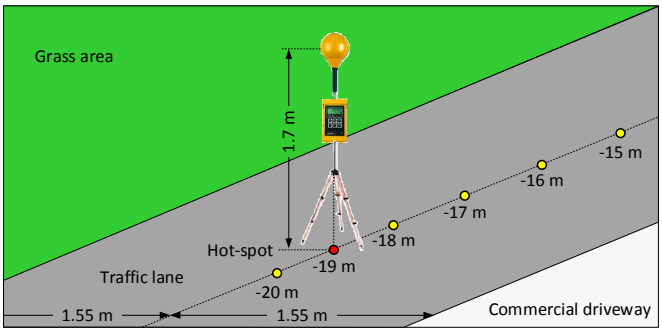


Fig. 7. EFA 300 setup in the monitoring hot-spot.

In order to cover and monitor the commercial driveway, parking lots and private driveways in Ohridska Street, the hot-spot was intentionally chosen at distance of 19 *m*, on the left of the power lines middle conductor, as presented in Fig. 5.

The instrument was installed at the height of 1.7 *m*, performing continuous field monitoring at the height of a highly sensitive zone of the human head, particularly since the low-frequency magnetic field shows dominant stimulating effects on the human tissue [18].

D. Magnetic Field Strength Fluctuation

The continuous monitoring was carried out in unperturbed field conditions, without the presence of population or technicians near the instrument, throughout the period of four hours, from 9 AM until 1 PM, using 6 minute averaging [15], [19].

It was assumed that the consumption of electric energy will be significant during this period of the day. Thus, the selected time frame was seen as quite appropriate to acquire a relevant insight on the magnetic field strength fluctuation in vicinity of the power-lines, as well as the substation. The results of monitoring are depicted in Fig. 8.

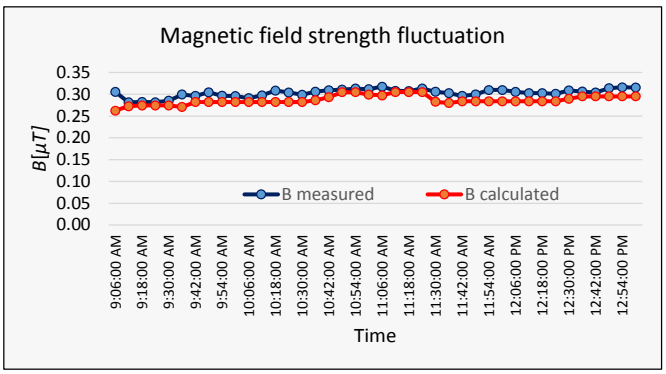


Fig. 8. Results of continuous monitoring.

The measurements show a slow change of field strength over time, while the statistical analysis, presented in Table V, with standard deviation of 9.213E-09 moreover confirms that.

TABLE V. STATISTICAL ANALYSIS OF FIELD FLUCTUATION

B_{min}	$B_{average}$	B_{max}	*STDEV*
0.281 μT	0.303 μT	0.319 μT	9.213E-09

The good agreement with the theoretical calculation is present, even calculations were performed assuming unperturbed field conditions, during the entire period of monitoring. However, this assumption cannot be completely true and therefore, in some of future studies, calculations should be improved to reflect the real circumstances. However, for this initial monitoring, it should not be a constraint.

E. Results of the Boundary Exposure Assessment

The exposure assessment was performed using the boundary exposure approach, described by the equation (2), and the Serbian prescribed reference levels regarding the general population. The results of the *GER* assessment, in monitoring hot-spot, are presented in Fig. 9.

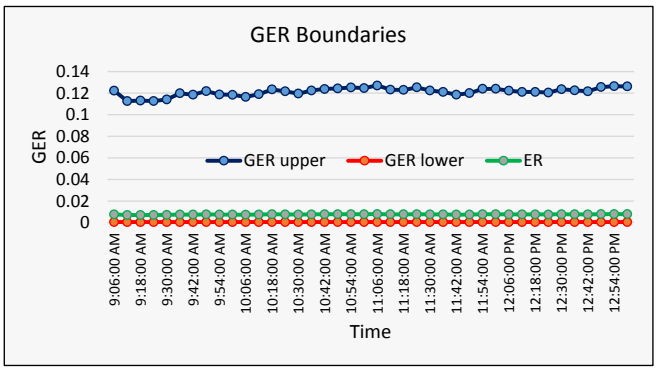


Fig. 9. The assessment of *GER* boundaries.

The statistical analysis of those curves shows that GER_{upper} ranges from 0.1126 to 0.1276, with the deviation of 3.7E-03, while GER_{lower} is in range from 0.00044 to 0.00050, with even smaller deviation of 1.44275E-05, as presented in Table VI.

TABLE VI. STATISTICAL ANALYSIS OF GER BOUNDARIES

$GER_{upper\ min}$	$GER_{upper\ avg}$	$GER_{upper\ max}$	*STDEV*
0.1126	0.1213	0.1276	0.0037
$GER_{lower\ min}$	$GER_{lower\ avg}$	$GER_{lower\ max}$	*STDEV*
0.00044	0.00047	0.00050	1.44275E-05

The small standard deviation of both *GER* curves indicates that the potential magnetic field exposure of the general population was almost constant during the monitoring period.

Considering the ICNIRP Guidelines recommendations for the exposure assessment and assuming that in vicinity of power lines only $f = 50$ *Hz* frequency is dominant, the Serbian prescribed level for this frequency is given in Table VII.

TABLE VII. REFERENCE LEVELS FOR $F = 50$ *HZ* FREQUENCY

	Corresponding frequency	Referent level
B_{ref}	50 *Hz*	40 μT

The ICNIRP *ER* assessment is presented in Fig. 9, while the statistical analysis of its fluctuation, in addition, confirms slow variation, as presented in Table VIII.

TABLE VIII. STATISTICAL ANALYSIS OF GER BOUNDARIES

ER_{min}	ER_{avg}	ER_{max}	*STDEV*
0.00704	0.00758	0.00794	0.00023

Unfortunately, in case that we can assume that only 50 *Hz* frequency is dominant, the extensive monitoring range of EFA 300 instrument, till 32 *kHz*, causes the upper *GER* boundary to be overestimated, as can be seen from Fig. 9. The reason lies in the use of low value reference level $B_{ref\ min} = 2.5\ \mu T$, in the GER_{upper} assessment, which correspond to the 32 *kHz*.

Comparing the average values of *GER* boundaries and *ER*, it can be noticed that the upper boundary has been overestimated, while the lower is underestimated by 16 times then *ER*. Obviously, the particular result was obtained for the case of 50 *Hz* dominant frequency only. However, this fact indicates that the uncertainty of the exposure estimation can be increased, as well as the boundary range, where real exposure is assessed.

Nevertheless, having in mind that the maximal allowable level of *GER* and *ER* is equal to one [10], and that the maximal value of upper boundary GER_{upper} is 0.1276, which is 7.84 times lower than the allowable level, it can be concluded that, considering human health, the exposure of the general population on monitoring location, during the whole monitoring period, was significantly lower than the allowable level.

F. The GER Relative Difference Analysis

The proposed boundary exposure assessment approach can be valuable in circumstances where it is difficult or even impossible to estimate the radiation frequencies of EMF sources in vicinity of the location. This approach considers the overall frequency range of the used field probe and thus, analyzing the relative difference between *GER* boundaries as

$$\delta = \frac{GER_{upper} - GER_{lower}}{GER_{upper}} = \left(1 - \frac{B_{ref\ \min}}{B_{ref\ \max}}\right), \qquad (3)$$

it can be noticed that in case of the EFA 300 monitoring band, from 5 *Hz* to 32 *kHz*, the relative difference is 99.61 %. This is a considerable range, and thus it is necessary to try lowering it.

In case that monitoring band can be reduced, the new reference levels will be selected and used in equation (3), as suggested in [20], for the high-frequency monitoring applications. Thus, the final part of the monitoring campaign was the EFA 300 spectral analysis of the test location, presented in Fig. 10.

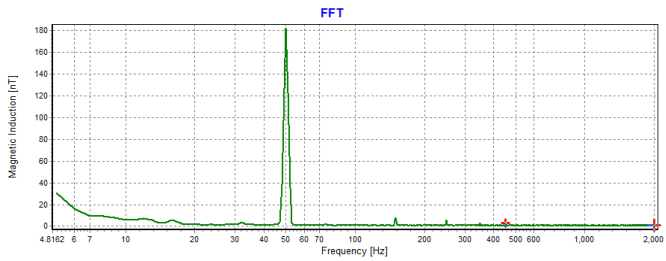


Fig. 10. Spectral analyses in the hot-spot.

Concerning the low-frequency spectrum, it can be noticed that the last interesting frequency in the hot-spot location is 450 *Hz*, which is the fifth harmonic of 50 *Hz* spectral component. Moreover, on the left side of 50 *Hz*, there are no major components, while the increased spectral content near 5 *Hz* can be debated as a real content or as a potential measurement error of the instrument [6].

The test location is an open area, and visual inspection did not notice any potential sources of the time constant magnetic field. Thus, we agree that only the spectral content from 40 *Hz* to 450 *Hz* should be considered for exposure. Regarding the Serbian prescribed reference levels [10] and reduced monitoring band, the Table IX presents new reference levels.

TABLE IX. RECALCULATED REFERENCE LEVELS

Reference level	Corresponding frequency	Value
$B_{ref\ \min\ new}$	450 *Hz*	4.44 μT
$B_{ref\ \max\ new}$	40 *Hz*	50 μT

Accordingly, the new *GER* boundaries can be assessed, as depicted in Fig 11.

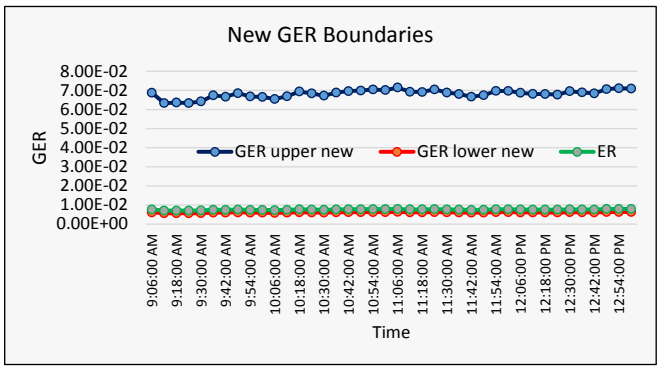


Fig. 11. Recalculated *GER* boundaries.

The relative difference between *GER* boundaries decreases to 91 %, which is a small improvement in the precision of the boundary exposure assessment approach, as well as the reduction of the range where the real exposure can be found.

Additionally, the statistical analyses of new *GER* boundaries, presented in Table X, once again, confirm that this location has a very slow fluctuation of exposure, and that the exposure is far below the prescribed reference levels.

TABLE X. STATISTICAL ANALYSIS OF NEW GER BOUNDARIES

$GER_{upper\ min\ new}$	$GER_{upper\ avg\ new}$	$GER_{upper\ max\ new}$	$STDEV_{new}$
0.06335	0.06823	0.07149	2.07777E-03
$GER_{lower\ min\ new}$	$GER_{lower\ avg\ new}$	$GER_{lower\ max\ new}$	$STDEV_{new}$
0.00563	0.00606	0.00635	1.84673E-04

Despite the small reduction of the relative difference between boundaries, comparing the average values of new *GER* boundaries and *ER*, the overestimation of the upper boundary is now 9 times, while the underestimation of the lower one is 1.24 times less than *ER*, which is the improvement in comparison to the previous 16 times.

V. CONCLUSION

The case study consideration of the SEMONT system and EFA 300 handheld instrument for the low-frequency magnetic field and long-term monitoring, in vicinity of a power substation, was presented in this paper. Additionally, the boundary approach for the general population exposure assessment was used to assess the range where real exposure is positioned.

Regarding the Serbian prescribed reference levels, in particular in situ location, the potential exposure showed to be far below the allowable levels, while the fluctuation of the exposure was negligibly low.

Unfortunately, in case of the low-frequency magnetic field monitoring, the narrowing of the monitoring band did not result with an extensive decrease in the difference between *GER* boundaries. However, it has been showed that it is possible to increase the precision of the boundary exposure assessment, as well as the real exposure range for the broadband monitoring.

The forthcoming research will be focused on improvement of the boundary assessment approach for low-frequency magnetic field, particularly since this method showed considerable results for high-frequency electric field exposure assessment.

REFERENCES

[1] A. S. Safigianni, Member, IEEE and C. G. Tsompanidou, “Electric- and Magnetic-Field Measurements in an Outdoor Electric Power Substation”, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 1, pp. 38-42, 2009.

[2] L. Korpinen, H. Kuisti, R. Pääkkönen, P. Vanhala and J. Elovaara, “Occupational Exposure to Electric and Magnetic Fields While Working at Switching and Transforming Stations of 110 kV”, Oxford University Press on behalf of the British Occupational Hygiene Society, pp. 1-11, 2011.

[3] ICNIRP, “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”, 1998.

[4] N. Djuric, D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic, M. Milutinov, M. Prsa, V. Bajovic, N. Pekaric-Nadj and V. Milosevic, “The Concept of the SEMONT Monitoring System and its Influence on the EM Pollution Protection”, IEEE AFRICON 2013 Conference, Mauritius, September 9-12, pp. 1298-1302.

[5] M. Milutinov, N. Djuric, D. Miskovic and D. Knezevic, “Utilization of the EFA-300 field meter into the SEMONT information network”, 11th International Conference on Applied Electromagnetics – PES 2013, Sept. 01-04, 2013, Nis, Serbia.

[6] Narda Safety Test Solutions GmbH, EFA-200/-300 EM Field Analyzer Operating Manual, 2245/98.22, http://www.narda-sts.de/home.htm, 2006

[7] N. Djuric and D. Kljajic, “Assessment of Daily Exposure in the Broadband Continuous Monitoring System – SEMONT”, IEEE AFRICON 2013 Conference, Mauritius, September 9-12, pp. 903-907.

[8] N. Djuric, D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic and V. Bajovic, “The SEMONT continuous monitoring of daily EMF exposure in an open area environment”, Environmental Monitoring and Assessment, Volume 187, Issue 4, 187:191, 2015, pp. 1-17.

[9] V. Bajovic, N. Djuric, and D. Herceg, “Serbian laws and regulations as foundation for electromagnetic field monitoring information network”, 10th International Conference on Applied Electromagnetics, PES 2011, Nis, Serbia, Sept. 25-29, pp. 1-5.

[10] "Regulation on the limits exposure of non-ionizing radiation", the law of the Republic of Serbia, no. 104/09, 2009.

[11] D. Antic, N. Djuric and D. Kljajic, “Environmental EMF Monitoring in the SEMONT System Using Quad-band AMB 8057/03 Sensor”, The 10th IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications – WiMob 2014, October 8-10, Larnaca, Cyprus, pp. 328-333.

[12] N. Djuric and N. Kavecan, “Internet portal of the SEMONT information network for the EM field monitoring”, The 4th International Conference on Advances in Future Internet – AFIN 2012, Rome, Italy, August 19 – 24, pp. 55-59 (the best paper award).

[13] The SEMONT Internet portal, http://semont.ftn.uns.ac.rs, accessed January 2016.

[14] D. Miskovic, N. Djuric and D. Kljajic, “The MonitEM Sensor Employment in the SEMONT System”, The 6th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology – ICET-2013, Novi Sad, Serbia, May 15-17, pp. 1-4.

[15] EN 50492, 2008, “Basic standard for the in-situ measurement of electro-magnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations”, 2008.

[16] M. Milutinov, A. Juhas and M. Prsa, “Electric and magnetic field in vicinity of overhead multi-line power system”, 2nd International Conference on Modern Power Systems – MPS 2008, Cluj-Napoca, Romania, 12-14 November 2008, Acta Electrotehnica, Special Issue, pp. 313-316.

[17] “EPS Distribucija – Regionalni centar Elektrovojvodina”, http://www.elektrovojvodina.rs, accesed July 2015.

[18] Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks – SCENIRH, “Final opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)”, http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_041.pdf, 2015.

[19] EN 50413:2010, “Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)”, 2010.

[20] D. Kljajic, N. Djuric, K. Kasas-Lazetic and D. Antic, “Adaptive Boundary Approach for EMF Exposure Assessment in Broadband Measurements”, Progress in Electromagnetics Research Symposium – PIERS 2015, Prague, Czech Republic, July 06 – 09, 2015, pp. 1872-1875.

[21] D. Kljajic, N. Djuric, K. Kasas-Lazetic and M. Prsa, “Procedure for Incorporation of NBM-550 Measurement Results into the SEMONT Database”, IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics – SISY 2013, September 22-26, 2013, Subotica, Serbia, pp. 309 – 312.