

# Образац за пријаву техничког решења<sup>1</sup>

|             |  |
|-------------|--|
| Назив       | Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености |
| Аутори      | Драган Кљајић, Никола Ђурић  |
| Категорија  | Ново техничко решење примењено на националном нивоу (М82)  |
| 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, коју развија истраживачки тим Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду.

## Година када је решење комплетирано:

Техничко решење је комплетирано у септембру 2016. године.

## Годину када је почело да се примењује и од кога:

Иницијална примена овог техничког решења је почела у јуну 2016. 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, типа отвореног извornog кода, које покрива области телекомуникација и информационих технологија, са специфичном оријентацијом ка одређивању изложености опште популације електричном пољу високих фреквенција, на основу резултата широкопојасних мерења нивоа електричног поља и одређивањем фреквенцијског спектра, применом селективног скенирања.

## 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.

<sup>1</sup> 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 погледу заштите животне средине и опште популације, изложеност нејонизујућим зрачењима је постала област од посебног интереса, пре свега због све већег броја извора зрачења овакве врсте у људском окружењу. Стога су мерење, праћење и контрола нивоа електричног, магнетског и електромагнетског (EM) поља у окружењу веома битни, како за Агенције за заштиту животне средине, тако и за само становништво.

У области мерења нивоа EM поља, тренутно су заступљена два приступа: широкопојасно и фреквенцијски селективно мерење. Ова два приступа се поред начина мерења одговарају величине, разликују и по типу мерних инструмената који се користе.

Мерни инструменти за широкопојасно мерење нивоа EM поља као резултат дају једну, свеукупну и кумулативну вредност нивоа поља, у околини мерне локације. У таквој измереној вредности се налазе доприноси свих активних, присутних извора у околини мерне локације, чије су радне фреквенције у оквиру фреквенцијском опсегу мерне сонде инструмента. У случају овог типа мерења, ни инструмент, ни сама сонда нису у могућности да разликују на којим то фреквенцијама околни извори емитују EM зрачење.

Овакав мерни приступ се може сматрати као фреквенцијски независан и зато се најчешће користи у ситуацијама када је потребна информација о свеукупном нивоу поља, без обзира на број активних извора на датој локацији, као и на којим то фреквенцијама они раде.

Са друге стране, фреквенцијски селективни приступ мерењу истовремено нуди резултате мерења нивоа EM поља, за сваку фреквенцију појединачно, у фреквенцијском опсегу коришћене мерне сонде. Стога се мерни инструменти, предвиђени да обављају овакав тип мерења, углавном користе када је неопходно одредити спектрални садржај на одговарајућој локацији, за читав фреквенцијски опсег или за поједине подопсеге, резервисане за један или више извора EM поља.

Ова два мерна приступа се углавном користе одвојено и независно, у зависности од тога какав тип мерења је неопходан. Њихова евентуална заједничка употреба доводи до продужења неопходног времена мерења, али изискује и релативно велике трошкове, које захтевају куповина, калибрација и одржавање мерних инструмената, као и поступак обраде података, међутим, њихова заједничка употреба може бити од велике користи.

У погледу испитивања EM поља, употреба било којег од описана два мерна приступа додатно захтева и процену изложености пољу, како опште популације, тако и професионалног сопља, у складу са одговарајућом применом. При процени изложености, домаћа акредитована тела и стручна јавност се ослањају на националне правилнике, којима је регулисана област испитивања EM поља, првенствено на “Правилник о границама излагања нејонизујућим зрачењима”, “Службени гласни РС”, бр. 104/2009 (у даљем тексту Правилник), као и на низ пропратних стандарда.

Овај правилник дефинише две категорије: базична ограничења излагања становништва и референтне граничне нивое. Базична ограничења излагања електричним, магнетским и EM пољима (у опсегу од 0 Hz до 300 GHz) јесу ограничења у излагању изворима временски променљивих EM поља, заснована на утврђеним здравственим ефектима и биолошким показатељима.

Референтни гранични нивои представљају нивое излагања популације електричним, магнетским и ЕМ пољима, који служе за практичну процену изложености, на основу мерења вектора јачине електричног поља  $E$  [V/m], вектора јачине магнетског поља  $H$  [A/m] и/или вектора магнетске индукције  $B$  [T], како би се утврдило да ли постоји вероватноћа да базична ограничења буду прекорачена. Прописани референтни гранични нивои су фреквенцијски зависни и за сваку фреквенцију се дефинише одговарајућа вредност референтног нивоа.

Када је у питању процена изложености електричним пољима високих фреквенција (изнад 100 kHz), на којима су термички ефекти излагања доминантни, она се врши тако што се провера прекорачења базичних ограничења обавља коришћењем следећег критеријума:

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left( \frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left( \frac{E_i}{E_{Li}} \right)^2 \leq 1 \quad (1)$$

при чему је  $E_i$  интензитет вектора јачине електричног поља на фреквенцији  $i$ ,  $E_{Li}$  референтни гранични ниво вектора јачине електричног поља на фреквенцији  $i$ , док је константа  $c = 87/f^{1/2}$  [V/m], за општу популацију, у складу са Правилником.

Очигледно је да овакав приступ процене изложености подразумева фреквенцијски селективна мерења нивоа поља, јер се захтева да се интензитет вектора јачине електричног поља, за сваку фреквенцију понаособ, пореди са одговарајућим прописаним референтним граничним нивоом. На овај начин се може добити допринос укупној изложености сваке фреквенцијске компоненте поља, односно изложеност по појединачним фреквенцијама. Могућност прекорачења базичних ограничења не постоји, уколико је задовољен услов да свеукупна изложеност, добијена сумирањем изложености по свим фреквенцијама у изразу (1), не прелази вредност један.

Нажалост, овакав приступ процене изложености опште популације је практично неупотребљив у случајевима када се користе широкопојасна мерења. Тада није могуће раздавање фреквенција и њихових појединачних доприноса измереној кумулативној вредности нивоа поља. Код коришћења овог типа мерења, првенствени проблем представља чињеница да не знамо коју вредност референтног граничног нивоа треба узети у обзир, при одређивању изложености.

С обзиром да национални Правилник, као ни пропратни стандардни, не нуде решење за процену изложености у случају широкопојасних мерења, недавно је предложен нови метод процене изложености, базиран на одређивању граница изложености, за случај мерења нивоа електричног поља високих фреквенција<sup>2</sup>.

Метод процене изложености, базиран на границама изложености, предлаже одређивање опсега у ком се реална изложеност електричном пољу може наћи. Код овог метода се одређују минимални и максимални прописани референтни гранични нивои,  $E_{ref\ min}$  и  $E_{ref\ max}$ , у фреквенцијском опсегу мерне сонде, од  $f_{min}$  до  $f_{max}$ , који се онда користе за одређивање горње и доње границе изложености.

Нажалост, у многим ситуацијама распон између граница изложености може да буде значајан, чиме се увељко умањује прецизност одређивања опсега у ком се налази стварна изложеност. Предлогом овог техничког решења дефинише се унапређени метод процене изложености, заснован на

<sup>2</sup> Техничко решење “Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на границама изложености” (М82), аутора: Н. Ђурић, Д. Кљајић, К. Касаш-Лажетић, В. Бајовић, усвојен одлуком наставно-научног већа Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, на 16. редовној седници, одржаној дана 25.05.2016. године.

адаптивним границама изложености, које могу да се прилагођавају реалном спектралном садржају на испитној локацији, што доводи до смањења разлике између граница изложености, а самим тим и до повећања прецизности процене изложености.

**Стање решености тог проблема у свету:**

Велики број правних аката, како Републике Србије, тако и других држава у свету, ослања се на препоруку међународне независне организације *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), која нуди смернице и упутства за заштиту од штетног излагања нејонизујућим зрачењима, дефинисане у документу "*Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*:1998", (у даљем тексту *Guidelines*).

Национални Правилник је утемељен управо на овом документу, при чему треба нагласити да је Република Србија додатно поштрила критеријуме у том погледу, усвајањем сопствених референтних граничних нивоа, који су два и по пута мањи у односу на нивое предложене у оквиру *Guidelines* документа. Међутим, и сам *Guidelines* документ процену изложености базира на фреквенцијски селективном мерењу нивоа ЕМ поља, и не нуди решење за процену изложености у случају широкопојасних мерења нивоа ЕМ поља.

Један од могућих начина процене изложености код широкопојасних мерења предложен је у стандарду "*Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations*" – EN 50492:2008, и документу са одговарајућим изменама EN 50492:2008+A1:2014.

У овом стандарду, у одељку Annex K – "*Examples of implementation of this standard in the context of Council Recommendation 1999/519/EC*", који је информативног карактера, сугерише се поређење мерење вредности са минималним референтним граничним нивоом из читавог фреквенцијског опсега који покрива мерна сонда инструмента. Међутим, с обзиром да се овај стандард односи на мерења нивоа електричног поља високих фреквенција, у околини базних станица мобилне телефоније, као конкретног извора ЕМ поља, ни овај стандард се не може сматрати опште прихватљивим, односно не може се сматрати као документ који нуди јасне и прецизне смернице како вршити процену изложености у општем случају широкопојасних мерења, у произвољном фреквенцијском опсегу, без информација о присуности активних извора у околини.

Додатно, у тренутно најважнијем стандарду из области испитивања ЕМ поља, под називом "*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, у тачки 5.2.4, се такође позива на фреквенцијски зависне референтне граничне нивоје. Ова тачка предлаже употребу филтерских банака или брзе Фуријеве трансформације (Fast Fourier Transform – FFT), за одређивање спектралног садржаја измереног сигнала, како би се добијене вредности могле упоредити са фреквенцијски зависним референтним граничним нивоима. На овај начин се и сам базни стандард EN 50413, посредно, ослања на *Guidelines* документ и фреквенцијски селективно мерење, односно на критеријум провере дефинисан једначином (1).

Имају у виду постојећу празнину у регулативи, као и могућност за предлагање неких иновативних решења, недавно предложено техничко решење за процену изложености базирано на границама

изложености<sup>3</sup>, које је прилагођено широкопојасним мерењима, даје одговарајући допринос проблематици процене изложености електричним пољима високих фреквенција.

Предложено решење је применљиво како за стандардна мерења у краћим временским периодима, тако и за мерења у дужим интервалима времена, такозвана континуална мерења (мониторинг) нивоа електричног поља.

Поред поменутих и опште прихваћених докумената и стандарда, постоје и појединачна документа и акта из националне законске регулативе појединих држава, са вероватноћом да је у неком од њих предложена метода процене изложености на основу широкопојасних мерења. Међутим, ауторима овог техничког решења није позната ни једна таква метода. Додатно, у националној законској регулативи Републике Србије, у области испитивања електромагнетских поља, која је дефинисана важећим правилницима из 2009. године, као и одговарајућим националним стандардима из ове области, не постоји ни један метод процене изложености за случај широкопојасних мерења.

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

Метод процене изложености базиран на границама изложености, одређује доњу и горњу границу свеукупне изложености (Global Exposure Ration – GER):

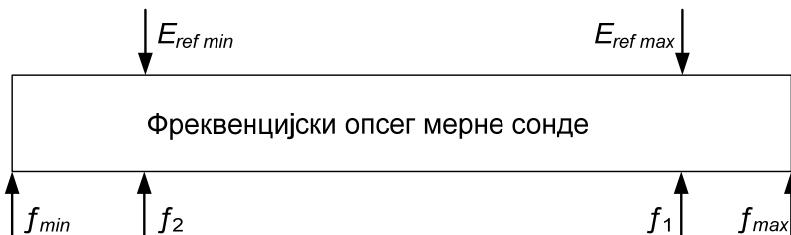
$$GER_{donje} = \left( \frac{E_m}{E_{ref\ max}(f_1)} \right)^2 \quad \text{и} \quad GER_{gornje} = \left( \frac{E_m}{E_{ref\ min}(f_2)} \right)^2, \quad (2)$$

где је  $E_m$  измерена вредност вектора јачине електричног поља, добијена широкопојасним мерењем, док су  $E_{ref\ min}(f_2)$  и  $E_{ref\ max}(f_1)$  минимални и максимални прописани референтни гранични нивои, који су прописани за фреквенције  $f_1$  и  $f_2$ , у фреквенцијском опсегу коришћене мерне сонде, дефинисаним од  $f_{min}$  до  $f_{max}$ .

Имајући у виду да су изабрани референтни гранични нивои најмањи и највећи могући у фреквенцијском опсегу сонде, стварна изложеност електричном пољу се сигурно налази у опсегу:

$$GER_{donje} \leq GER_{stvarno} \leq GER_{gornje}. \quad (3)$$

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



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

<sup>3</sup> Техничко решење "Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на границама изложености" (М82), аутора: Н. Ђурић, Д. Клајић, К. Касаш-Лажетић, В. Бајовић, усвојен одлуком наставно-научног већа Факултета техничких наука, Универзитета у Новом Саду, на 16. редовној седници, одржаној дана 25.05.2016. године

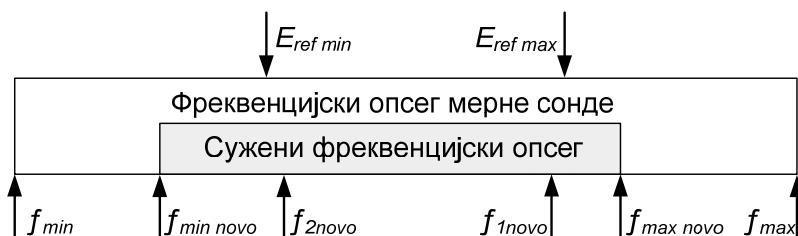
Додатно, ови референтни гранични нивои се узимају у складу и из укупног фреквенцијског опсега мерне сонде, без икаквог познавања спектралног садржаја поља на мерној локацији, односно без информација о томе на којим то фреквенцијама је присутна емисија поља у околини.

Нажалост, може се десити да је на конкретној локацији присутан и активан ужи спектар од фреквенцијског опсега сонде, чиме је могуће да се референтни гранични нивои бирају из овог ужег опсега, који знатно боље одговара стварној ситуацији на локацији.

Имајући у виду могућност погрешног одабира  $E_{ref\ min}(f_2)$  и  $E_{ref\ max}(f_1)$ , за конкретну мерну локацију, јасно је да ће рачунање  $GER_{donje}$  и  $GER_{gornje}$  довести до тога да је горња граница нешто веће вредности, док је доња граница нешто ниже вредности од реалне. Све то ће резултовати великом опсегом у коме се може налазити стварна изложеност електричном пољу, односно великом релативном грешком (тј. разликом) између граница изложености, која се може дефинисати као:

$$\delta[\%] = \frac{GER_{gornje} - GER_{donje}}{GER_{gornje}} \cdot 100\% = \left[ 1 - \left( \frac{E_{ref\ min}}{E_{ref\ max}} \right)^2 \right] \cdot 100\%. \quad (4)$$

У циљу смањења ове разлике, а самим тим и повећања прецизности процене изложености електричном пољу високих фреквенција, главна идеја овог техничког решења и метода базираног на адаптивним границама изложености јесте детекција активних извора ЕМ поља у околини мерне локације. Циљ је да се види који то делови из фреквенцијског опсега сонде могу да се одбаце, јер на њима нема емисије ЕМ поља, чиме се ствара могућност за сужење фреквенцијског опсега у ком се врши избор нових референтних граничних нивоа  $E_{ref\ min}(f_{2novo})$  и  $E_{ref\ max}(f_{1novo})$ , који су прикладнији датој мерној локацији, као што је приказано на слици 2.



Слика 2. Избор прикладнијег минималог и максималног прописаног референтног граничног нивоа, за конкретну мерну локацију.

Избором нових референтних граничних нивоа, границе свеукупне изложености се сада могу одредити као:

$$GER_{donje\ novo} = \left( \frac{E_m}{E_{ref\ max}(f_{1novo})} \right)^2 \quad \text{и} \quad GER_{gornje\ novo} = \left( \frac{E_m}{E_{ref\ min}(f_{2novo})} \right)^2, \quad (5)$$

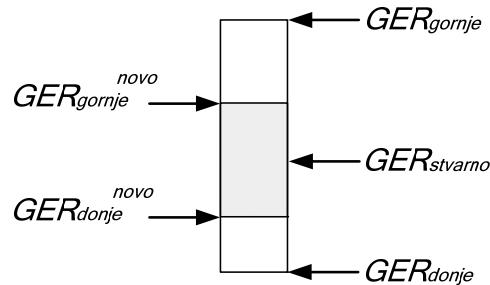
чиме се опсег у коме се стварна изложеност налази смањује, а очекивана прецизност процене изложености повећава. С обзиром да су почетни изабрани  $E_{ref\ min}$  и  $E_{ref\ max}$  минимални и максимални могући у иницијално посматраном фреквенцијском опсегу, сужење фреквенцијског опсега доводи до тога да мора да важи:

$$E_{ref\ min}(f_2) \leq E_{ref\ min}(f_{2novo}) \quad \text{и} \quad E_{ref\ max}(f_{1novo}) \leq E_{ref\ max}(f_1), \quad (6)$$

одакле на основу једначина (5), следи да је:

$$GER_{donje} \leq GER_{donje\ novo} \quad \text{и} \quad GER_{gornje\ novo} \leq GER_{gornje}, \quad (7)$$

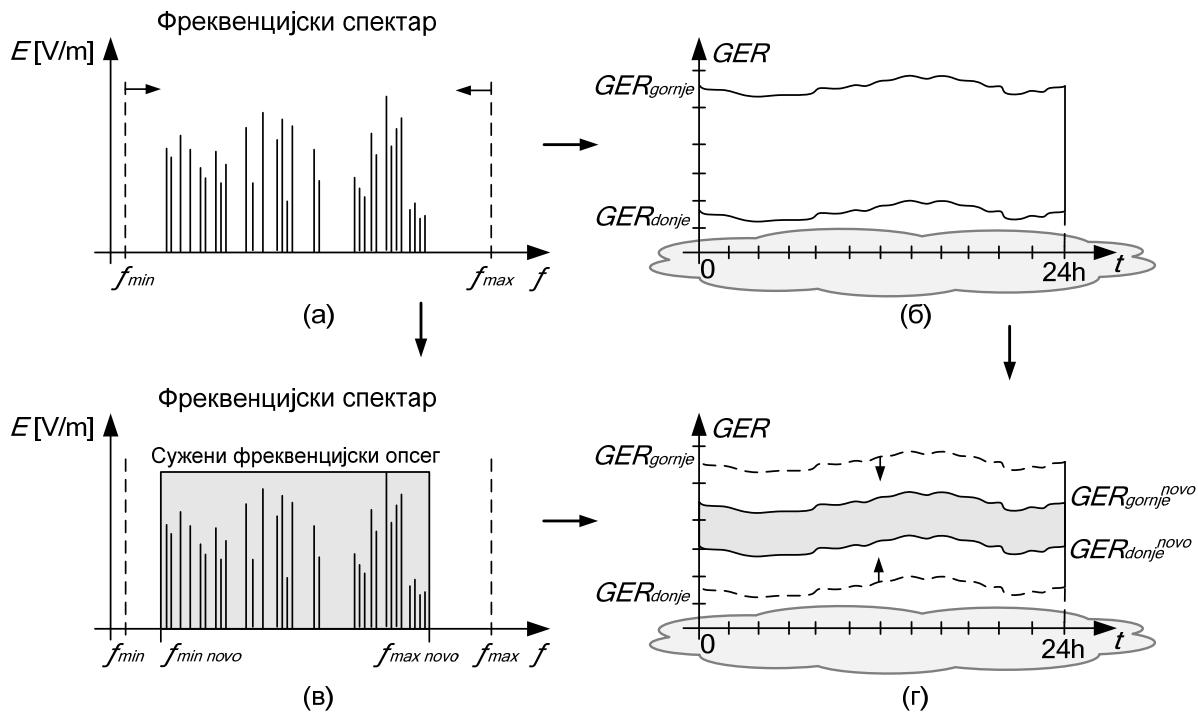
што доказује да се опсег у коме се стварна изложеност налази смањује, а прецизност процене изложености повећава, као што је приказано на слици 3.



Слика 3. Смањење разлике између граница изложености електричном пољу високих фреквенција.

Основна идеја која омогућава смањење разлике између граница изложености и сужење опсега у коме се стварна изложеност налази јесте одређивање спектралног садржаја електричног поља, на мерној локацији од интереса. Стога, метод процене изложености, који се овим техничким решењем предлаже подразумева коришћење фреквенцијски селективног мерног приступа у комбинацији са широкопојасним мерењима.

Треба нагласити да овај приступ може даје и значајан допринос у ситуацијама континуалног мониторинга поља, и процене дневних граница изложености, у дужем временском периоду, као што је приказано на слици 4.



Слика 4. Примена адаптивног метода за процену дневних граница изложености.

Имајући у виду чињеницу да је мала вероватноћа да ће на мерној локацији бити честог инсталирања нових извора поља, једном одређен спектрални садржај може указати на нове референтне граничне нивое, који су одговарајући тој локацији, и који се могу користити за даљу процену нових

дневних граница изложености и сужење опсега у ком се стварна изложеност налази, као што је то приказано на сликама 4б и 4г.

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

Предложено техничко решење, тачније метода процене изложености базирана на адаптивним границама изложености, представља програмско (software) решење и реализовано је на принципу отвореног извornог кода, у складу са Прилогом 2 – Техничко решење, "Правилник 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).

Као унапређење већ постојеће методе за процену изложености, базиране на границама изложености, ова метода кроз прилагођење одговарајућих референтних граничних нивоа представља веома корисно решење у завршној фази обраде резултата широкопојасних мерења, за потребе процене изложености. Предложена метода је веома практична, са аспекта имплементације, с обзиром да не захтева никакве посебне ресурсе, у погледу коришћења посебних софтверских алата за њен рад и примену. За то су довољне уобичајене аритметичке операције, доступне у свим програмским алатима за обраду података.

Једна од предности предложене методе јесте и веома мала аритметичка комплексност, с обзиром да су за прорачун сваке од граница изложености потребне само две аритметичке операције (дељење и квадрирање).

Оно што дату методу чини нешто сложенијом за практичну употребу, у односу на иницијалну верзију, јесте неопходност одређивања спектралног садржаја поља на локацији, за шта се може користи фреквенцијски селективно мерење. Ова чињеница резултује нешто већом комплексношћу примене саме методе, с обзиром да је поред широкопојасних мерења интензитета вектора јачине електричног поља (било у једном тренутку времена или у дужем временском интервалу), неопходно одговарајуће време и за фреквенцијски селективну анализу, од које зависи и поступак избора/одређивања нових референтних граничних нивоа, као и прилагођења самих граница изложености.

Повећање комплексности долази до изражaja када се спроводе стандардна мерења поља, у кратком временском интервалу, али ако се метода користи у системима са континуалним мониторингом, тада једном обављена спектрална анализа може да да нове граничне нивое, који ће се користити у дужем временском периоду за процену изложености. Ово је могуће имајући у виду да је мала вероватноћа да ће се често појављивати, односно инсталирати нови извори поља на локацији испитивања.

Додатно, примена методе са адаптивним границама у системима за континуални мониторинг, је од посебног значаја пошто је кориснику доступан историјат промене нивоа електричног поља, као и одговарајуће изложености пољу. Помоћу оваквих система корисницима се омогућава боља информисаност у погледу потенцијално штетне изложености, пошто се прецизније дефинише опсег у коме се стварна изложеност налази, на датој локацији.

Применом фреквенцијске анализе спектра, периодично (на шестомесечном, годишњем нивоу...), пружа се могућност за адекватно повећање прецизности процене изложености система са континуалним мониторингом, кроз смањење разлике између дневних граница.

Предложена метода се користи у завршној фази мерења, након преузимања података из мерног инструмента, и то у фази обраде мерних података. Имајући то у виду, очигледно је да примена предложене методе не захтева употребу специфичне врсте мерних инструмената, него је применљива са практично свим комерцијално доступним мерним инструментима, дизајнираним за широкопојасна и фреквенцијски селективна мерења нивоа поља.

Примена предложене методе је у оквиру СЕМОНТ информационе мреже. С обзиром да је њена првенствена намена обављање континуалног широкопојасног мониторинга ЕМ поља и адекватна процена изложености, предложена метода се намеће као веома корисно и поуздано решење. Приказивањем дневних граница изложености, путем графика који су јавно доступни свим корисницима Интернет web портала СЕМОНТ система, омогућује се веома прецизна и ефикасна процена изложености опште популације. На тај начин се задовољавају потребе корисника, а уједно и повећава кредитабилитет самог система.

Предложена метода није стриктно ограничена на примену за процену изложености опште популације, него се уз одговарајуће измене може употребити и за процену изложености професионалног особља. Дате измене подразумевају коришћење одговарајућих прописаних референтних граничних нивоа, за ову категорију популације.

Веома важно је напоменути да предложена метода није искључиво везана за СЕМОНТ систем, већ се може применити у било ком другом систему дизајнираном за континулани широкопојасни мониторинг нивоа поља. Такође, метода се може користити и у свим акредитованим организацијама за испитивање ЕМ поља, као и у лабораторијама које обављају одговарајућа мерења у научне сврхе.

Што се тиче примене на међународном нивоу, једноставност и пре свега општост предложене методе омогућују њено коришћење и имплементацију у оквиру законодавства било које друге државе у свету, уз примену адекватних референтних граничних нивоа, прописаних у правилницима појединачних држава или у оквиру ICNIRP *Guidelines* документа.

Имајући у виду да је метода настала на основу научних радова, објављених у еминентном научном, међународном часопису и конференцији, њен отворени код је доступан свим заинтересованим корисницима.

#### Прилози:

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

1. D. Kljajic and N. Djuric, “The adaptive boundary approach for exposure assessment in a broadband EMF monitoring”, Measurement Journal, DOI:10.1016/j.measurement.2016.07.055, Volume 93, November 2016, pp. 515–523, ISSN: 0263-2241, 2016,

где су одговарајући детаљи same методе и њене примене, објашњени у поглављу “*The boundary exposure assessment approach*”.

Додатно, предложена метода је анализирана и у научном раду презентованом на конференцији:

**Техничко решење: "Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености"**

---

2. D. Kljajic, N. Djuric, K. Kasas-Lazetic, 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, The Electromagnetics Academy, PIERS 2015 Proceedings, pp. 1889-1892, ISSN: 1559-9450, ISBN: 978-1-934142-30-1.

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 електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености

На основу обављене кампање мониторинга електричног поља високих 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 електричним пољима високих фреквенција базиран 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 09.09.2016. године

Руководилац Лабораторије

проф. др Неда Пекарић-Нађ



УНИВЕРЗИТЕТ  
У НОВОМ САДУ

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



ФАКУЛТЕТ  
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

ИНТЕГРИСАНИ  
СИСТЕМ  
МЕНАЏМЕНТА  
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Валентина Вребалов  
Шеф кабинета декана

Наш број: 022-221.1246.

Ваш број:

Датум: 30.08.2016. Нови Сад

**ПРЕДМЕТ: Именовање рецензената и прихватање рецензије за Техничко решење**

Наставно-научно веће Департмана за енергетику, електронику и телекомуникације на 39. седници од 30.08.2016., 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 електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености**

Аутори: Драган Кљајић, Никола Ђурић.

Предложени рецензенти:

1. др Злата Џеваровић, редовни професор, Електронски факултет, Универзитет у Нишу.
2. др Бранислав Вуловић, научни сарадник, Електротехнички Институт "Никола Тесла", Београд.

С поштовањем,

*Борис Думнић*

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: 2016-09-01

### ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 20. редовној седници одржаној дана 31.08.2016. године, донело је следећу одлуку:

**-непотребно изостављено-**

### **ТАЧКА 13. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње**

**Тачка 13.2.1: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:**

- Проф. др Злата Цветковић, Електронски факултет у Нишу
- Др Бранислав Вуловић, научни сарадник, Електротехнички институт „Никола Тесла“ у Београду

Назив техничког решења:

**"МЕТОД ПРОЦЕНЕ ИЗЛОЖЕНОСТИ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЉИМА ВИСОКИХ  
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



# Рецензија техничког решења

## Основни подаци о техничком решењу:

|            |  |
|------------|--|
| Назив      | Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености |
| Аутори     | Драган Кљајић, Никола Ђурић  |
| Категорија | Ново техничко решење примењено на националном нивоу (М82)  |
| Реализатор | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду   |

## Основни подаци о рецензенту

|   |  |
|---|--|
| Име и презиме, звање                      | проф. др Злата Цветковић, редовни професор |
| Ужа област за избор у звање, датум избора | Теоријска електротехника, 12. 12. 2012.    |
| Установа где је запослен                  | Електронски факултет, Универзитет у Нишу   |

## Стручно мишљење рецензента:

Предложено техничко решење представља нов допринос у домену испитивања електричних поља високих фреквенција, и значајно побољшава процену потенцијале изложености овим пољима, у ситуацијама када се користи широкопојасно мерење.

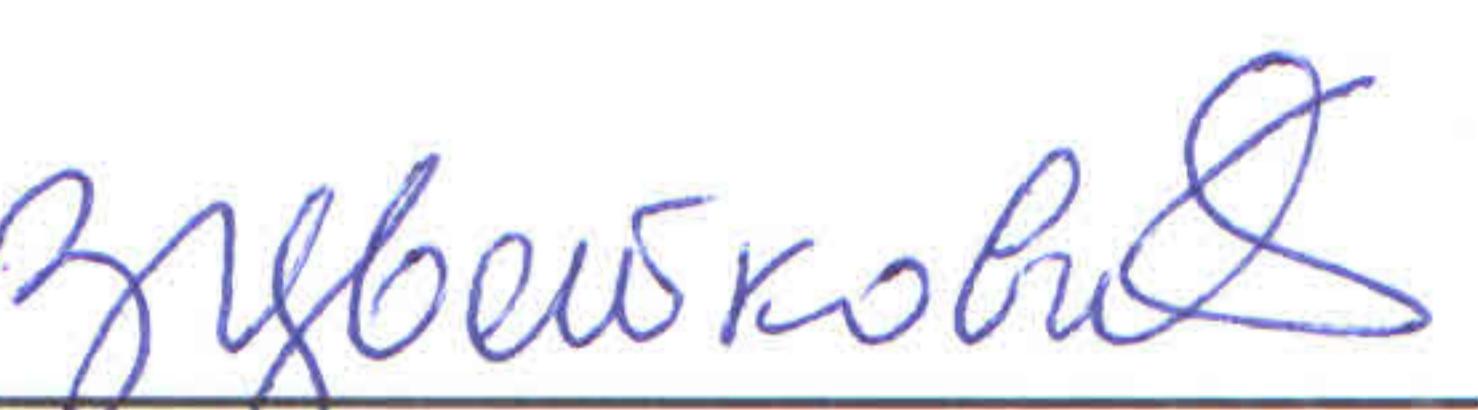
Ово техничко решење представља унапређену верзију, претходно објављене Методе процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на границама изложености (М82), аутора Никола Ђурић, Драган Кљајић, Каролина Касаш-Лажетић, Вера Бајовић. Међутим, метод предложен у овом техничком решењу, поседује додатни ниво оригиналности, што га чини независним поступком процене изложености, којим се прецизније одређује опсег у ком се реална изложеност може наћи.

Метод процене је осмишљен да комбинује широкопојасна и фреквенцијски селективна мерења, како би се одредили референтни гранични нивои, који најбоље одговарају датој мерној локацији, а који се касније користе за адекватну процену дневних граница изложености. Сам метод се користи у завршној фази испитивања поља, током обраде мерних података, и користи добро познате и лако доступне нумеричке алате.

Додатно, техничко решење за процену изложености, поред примене на националном нивоу, у информационој мрежи за испитивање електромагнетских поља – СЕМОНТ (Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network), може да се примењује и на међународном нивоу, коришћењем адекватних референтних граничних нивоа.

Техничко решење је добило потврду валидности, објављивањем у научном раду, у часопису међународног карактера. Стога, сматрам да ово техничко решење испуњава све услове за "Ново техничко решење примењено на националном нивоу (М82)", предвиђене 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 Нишу, дана 10.09.2016. године

  
prof. др Злата Цветковић

## Рецензија техничког решења

### Основни подаци о техничком решењу:

|            |  |
|------------|--|
| Назив      | Метод процене изложености електричним пољима високих фреквенција базиран на адаптивним границама изложености |
| Аутори     | Драган Кљајић, Никола Ђурић  |
| Категорија | Ново техничко решење примењено на националном нивоу (М82)  |
| Реализатор | Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду   |

### Основни подаци о рецензенту

|   |  |
|---|--|
| Име и презиме, звање                      | др Бранислав Вулевић, научни сарадник              |
| Ужа област за избор у звање, датум избора | Природно-математичке науке (физика), 21. 05. 2011. |
| Установа где је запослен                  | Електротехнички институт Никола Тесла, Београд     |

### Стручно мишљење рецензента:

Предложено техничко решење додатно доприноси и значајно побољшава процену изложености електричним пољима, у оквиру националне информационе мреже за испитивање електромагнетских поља – СЕМОНТ (Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network). Само техничко решење унапређује процену дневних граница изложености електричном пољу високих фреквенција, комбинујући широкопојасна и фреквенцијски селективна мерења нивоа поља.

Метод представља побољшање Метода процене изложености електричним пољима високих фреквенција базираног на границама изложености (М82), аутора Никола Ђурић, Драган Кљајић, Каролина Касаш-Лажетић и Вера Бајовић. Нови метод одређује одговарајуће референтне граничне нивое, који одговарају стварном спектралном садржају на локацији испитивања, чиме се добија побољшана процена дневних граница изложености и смањен опсег између њих, у којима се сигурно налази реална изложеност.

Метод процене изложености базиран на адаптивним границама изложености је веома практичан за примену у реалним условима, како за процену изложености опште популације, тако и професионалног особља у оквиру њихових свакодневних дужности. Употреба метода је крајње једноставна и одвија се у завршној фази обраде резултата мерења, користећи при томе најједноставније математичке операције и алате за обраду података.

Техничко решење представља програмско (software) решење, које је своју потврду адекватности добило објављивањем у научном раду аутора, у часопису међународног карактера, а њен отворени изворни код је чини лако применљивом и на међународном нивоу.

Мишљења сам да техничко решење испуњава све услове за **"Ново техничко решење примењено на националном нивоу (М82)"**, предвиђене 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 Београду, дана 26.09.2016. године

  
др Бранислав Вулевић, дипл. инж. ел.



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2016-09-29

## ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 23. редовној седници одржаној дана 28.09.2016. године, донело је следећу одлуку:

*-непотребно изостављено-*

### ТАЧКА 11. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 11.1.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење (M82) под називом:

**“МЕТОД ПРОЦЕНЕ ИЗЛОЖЕНОСТИ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЉИМА ВИСОКИХ  
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



# The adaptive boundary approach for exposure assessment in a broadband EMF monitoring



Dragan Kljajic <sup>\*</sup>, Nikola Djuric

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

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 6 May 2016

Received in revised form 14 July 2016

Accepted 15 July 2016

Available online 17 July 2016

### Keywords:

Electromagnetic fields

Continuous monitoring

Broadband exposure assessment

## ABSTRACT

The boundary approach for the assessment of daily exposure to electromagnetic fields (EMF) has been recently proposed for the continuous and broadband EMF monitoring of the Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network – SEMONT. This approach is based on the determination of the daily upper and lower exposure boundaries, combining data of the continuous in situ EMF monitoring in a broadband frequency range and the minimal and maximal prescribed reference levels. The real exposure is positioned between these boundaries. In this paper, the enhancement of the boundary approach is presented. By adjusting the existing boundaries and reducing the difference between them, the precision of the daily exposure assessment in the SEMONT system has been improved. The frequency selective measurement has been used to determine the frequencies on which EMF sources radiate over a particular area and in situ location. Consequently, the new minimal and maximal reference levels can be selected; these are suitable for a particular in situ location and should be used for the calculation of exposure boundaries on that location. A simple in situ test measurement of the high-frequency electric field strength was performed, in order to verify the proposed adaptive boundary approach. The analysis shows that this approach attained reduction in boundaries difference of 36.25%, regarding the Serbian legislation, resulting with the increased precision of the daily exposure assessment for the broadband EMF monitoring.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Two approaches for measurements of electromagnetic field (EMF) level have been most commonly used: the frequency selective and the broadband approach [1,2]. These approaches use different types of instruments: the spectrum analyzers and broadband field strength meters, respectively. The frequency selective approach simultaneously offers results of field strength measurement for each separate frequency, in the entire scanned frequency range, resulting with a number of values. On the other hand, the broadband measuring approach results with a single value of the overall and cumulative field strength in a broadband frequency range, contributed from each frequency particularly, without the possibility of differentiating between frequencies.

Both measuring approaches are applicable for the low-frequency and high-frequency EMF measurement, where, in the low-frequency range, the magnetic field strength is usually measured, while in the high-frequency range, the electric field strength is the measured value. These approaches are often used

independently, although in some situations they can act as a complement to each other.

The EMF measurements and assessments of the risk exposure need to be performed in compliance with relevant standards [3–5]. The large number of national and international legislative acts relies on the recommendation of the International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP), named “Guidelines for Limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)” [6], setting up the guidelines for the exposure assessment of the general population, as well as the occupational one.

Regarding the exposure assessment, the approach suggested in ICNIRP's Guidelines has been based on the frequency selective measurements, allocating contributions of each particular frequency to the overall field strength and calculating exposure per frequency. Due to the scanning of the entire frequency spectrum and the checking of the existence of EMF sources at particular frequencies, this measuring approach is quite demanding, resulting with a large quantity of data in a short time period. On the other hand, the broadband measuring approach does not require spectrum scanning, neither the frequency separation nor the determination of the existence of EMF sources. Thus, this type of measurement is much simpler, faster and easier to perform.

\* Corresponding author.

E-mail addresses: [dkljajic@uns.ac.rs](mailto:dkljajic@uns.ac.rs) (D. Kljajic), [ndjuric@uns.ac.rs](mailto:ndjuric@uns.ac.rs) (N. Djuric).

Recent trends in the EMF testing require a constant field strength monitoring [5], using a continuous measurement, in order to obtain real-time EMF level fluctuations on the long-term basis. Due to the fact that the measurement is faster and results with a significantly smaller amount of data, the broadband measurement approach appears as a quite practical solution for the EMF monitoring requirements and the assessment of human exposure to EMF, especially for a longer time period. Moreover, this type of measurement offers an easier data processing, dissemination and presentation to the public, and therefore it is more user-friendly for the general population.

Recently proposed approach of the boundary exposure assessment, implemented into the Serbian Electromagnetic Field Monitoring Network – SEMONT [7], is based on the determination of the daily upper and lower boundaries of exposure, comparing the results of the continuous in situ EMF broadband monitoring with the minimal and maximal reference level for a particular broadband frequency range of the field probe.

In this paper, the advancement of the proposed boundary approach is presented. The calculated boundaries have been adapted in order to reduce the difference between them and to increase the precision of the exposure assessment. In the section “The boundary exposure assessment approach”, the brief re-introduction of the boundary approach is presented, as well as possibilities for its improvement, while “Disadvantage of the boundary assessment approach” section describes the conventional exposure assessment approach, based on the frequency selective measurements, and presents the ideas for the advancement of the boundary approach and the adaptation of its exposure boundaries. The section “Utilization of the adaptive boundary approach” brings the results of the in situ measurement, conducted in order to verify the proposed adaptive boundary approach, as well as the discussion on the obtained reduction of the difference between boundaries. Finally, the “Conclusion” section, focusing on the adaptive boundary approach application, is provided at the end of this paper.

## 2. The boundary exposure assessment approach

The combination of the broadband measurement and the continuous monitoring, as performed by the SEMONT system [8,9], offers the important data of cumulative field strength over a day, from all surrounding EMF sources, and the possibility for the assessment of the long-term exposure of humans to EMF radiation. Such approach can be used for the attainment of daily fluctuation of EMF, while the results can be used for the EMF register of the observed area [9], as presented in Fig. 1.

Unfortunately, at this moment there is no recommended specific procedure for a comprehensive exposure assessment of the human population in the case of broadband measurements. The standard SRPS EN 50492:2010 [3] provides some indications and gives initial instructions in such a case, suggesting a comparison

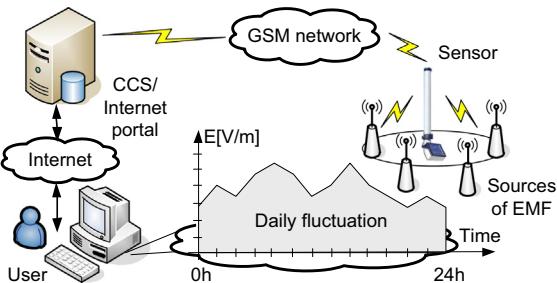


Fig. 1. History overview of the EMF level fluctuation.

of the obtained measured value with the lowest reference level in the frequency range of the used field probe. Consequently, the global exposure ratio (*GER*) is obtained [3].

The basis of the proposed boundary exposure assessment approach is additional comparison with the highest reference level in the frequency range of the field probe, thus assessing the lower boundary of *GER* [7]. The exploitation of the results of the continuous in situ EMF monitoring, and their combination with the minimal and the maximal reference level in a certain frequency range, offer a range where the possible real-time exposure can be positioned at any instant of time.

The proposed boundary approach is applicable for any kind of broadband EMF measurements, and can be used for the exposure assessment for both the general population and the occupational one. Hence, it is already implemented into the SEMONT monitoring system, which is designed for the low-frequency and high-frequency real-time and long-term EMF monitoring [8].

In this paper, only the high-frequency electric field strength measurements will be considered. Since the thermal effects on human tissue are dominant for those frequencies, the assessment of the *GER* boundaries is performed by applying the following expressions:

$$GER_{low} = \left( \frac{E_m}{E_{ref\ max}(f_1)} \right)^2 \text{ and } GER_{up} = \left( \frac{E_m}{E_{ref\ min}(f_2)} \right)^2, \quad (1)$$

where  $E_m$  is the broadband measured value of the electric field strength, while  $E_{ref\ min}(f_1)$  and  $E_{ref\ max}(f_2)$  are minimal and maximal reference levels, prescribed by the appropriate legislation [6,10,11], over the frequency range of the applied field probe. According to the proposed boundary approach, the real-time exposure is located in the following range:

$$GER_{low} \leqslant GER_{real} \leqslant GER_{up}. \quad (2)$$

The presentation of these *GER* boundaries, in the form of daily curves, provides valuable information to the general public on the daily levels of exposure to nonionizing radiation in the environment, as depicted in Fig. 2 [12,13].

By adopting the proposed boundary approach, the systems based on a long-term continuous monitoring and an observation of EMF, during 24/7 period, can offer a clearer insight of the exposure during the day, on a particular in situ location, regarding that the real exposure is located between the assessed boundaries.

## 3. Disadvantage of the boundary assessment approach

The ICNIRP's recommendation offers certain guidelines for the compliance assessment of the potential EMF exposure [6]. In the case of the high-frequency measurements, the following requirements have to be met:

$$\sum_{i=100\text{ kHz}}^{1\text{ MHz}} \left( \frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{ MHz}}^{300\text{ GHz}} \left( \frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leqslant 1 \quad (3)$$

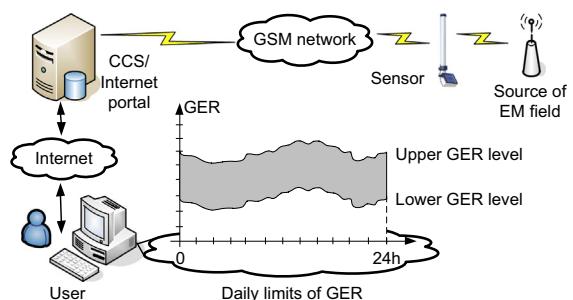


Fig. 2. The public presentation of daily *GER* boundaries.

and

$$\sum_{j=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left( \frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1 \text{ MHz}}^{300 \text{ GHz}} \left( \frac{H_j}{H_{Lj}} \right)^2 \leq 1 \quad (4)$$

where  $E_i$  is the electric field strength at the frequency  $i$ ,  $E_{L,i}$  is the electric field strength reference level for the frequency  $i$ ,  $H_j$  is the magnetic field strength at the frequency  $j$ ,  $H_{Lj}$  is the magnetic field reference level for the frequency  $j$ ,  $c$  is  $610/f$  [V/m] ( $f$  in MHz) for the occupational exposure and  $87/f^{1/2}$  [V/m] for the general public exposure, while  $d$  is  $1.6/f$  [A/m] ( $f$  in MHz) for the occupational exposure and  $0.73/f$  [A/m] for the general public exposure [6].

The exposure assessment approach in the ICNIRP's Guidelines relies on the frequency selective measurements, determining exposure per frequency. Unfortunately, this approach is not applicable in broadband measurements, and consequent exposure assessment, since it is unknown on which frequencies the EMF sources emit and which reference level values have to be used for the observed frequency range. Thus, the application of the boundary approach appears to be a much better solution for the evaluation and the exposure assessment to EMF in the broadband frequency range.

The determination of the *GER* boundaries relies on the comparison of the measured values of the field strength with the pre-assumed lowest and highest reference levels in a particular frequency range of the used field probe. Those minimal and maximal reference levels are applied for the assessment, during the entire monitoring period, and without any knowledge on the frequencies of the present EMF emission. Thus, it could happen that the frequencies corresponding to the selected reference levels mismatch the active frequencies on a particular location, since there are no EMF sources that emit at every frequency in the frequency range of the probe, and particularly at the frequencies that correspond to the minimal and maximal reference levels. Consequently, it can be assumed that the lower *GER* boundary can be underestimated, while the upper *GER* boundary overestimated.

The goal of the newly proposed adaptive boundary approach is to perform a better and more accurate assessment, by determining which emitting frequencies are present at a specific in situ location [14]. Accordingly, it could be possible to select suitable reference levels whose frequencies closely correspond to the present spectrum. On selecting the new minimal and maximal reference levels, the *GER* boundaries can be calculated using the following expressions:

$$GER_{low} = \left( \frac{E_m}{E_{ref \ max}(f_{1new})} \right)^2 \quad \text{and} \quad GER_{up} = \left( \frac{E_m}{E_{ref \ min}(f_{2new})} \right)^2, \quad (5)$$

while the difference between the *GER* boundaries can be reduced.

This paper investigates the approach of *GER* boundaries adaptation and reduction of the difference between them, by involving the frequency selective measurement at a corresponding in situ location. The aim is to discover the appropriate reference levels that should be used for the new exposure boundaries assessment. The utilization of the spectrum analysis will provide information on spectral characteristics of the measured field strength, as well as information on the presence of all EMF sources in the vicinity of the in situ measurement location.

#### 4. Utilization of the adaptive boundary approach

In order to verify the adaptive boundary approach for the exposure assessment in the broadband monitoring, the real-time in situ test measurement of the high-frequency electric field strength was conducted in the campus area of the University of Novi Sad. Considering the almost constant presence of the student population,

the campus area was deliberately chosen for this test measurement, as a highly sensitive zone of the city of Novi Sad [15].

##### 4.1. Measurement location

For this test measurement, the visual inspection of the campus area was conducted, in accordance with the SRPS EN 50413:2010 standard [4], noticing all active and dominant EMF sources. The selected location is on the corner of Dr. S. Milosevic and Dr. V. Savic streets, since this location presents a highly visited crossroad between the buildings of the Novi Sad Business School and the Student Sports Centre. In addition, this location is in a close proximity to the primary school "Jovan Popovic" and the day nursery and kindergarten "Happy Childhood", as shown in Fig. 3.

However, the most important reason for the selection of this measurement location lies in the presence of two visually noticeable GSM base stations in the close vicinity, which are marked as dominant EMF sources. The antennas of these base stations are installed on the rooftops of two nearby apartment buildings, as shown in Fig. 3, providing GSM 900 and GSM 1800 communication services, while covering three area sectors. The basic technical data of these GSM antennas are specified in Table 1 [16,17].

The first sector GSM 900 and GSM 1800 antennas are located 187 m and 201 m from the center of the measurement location respectively, while the measurement location is in the direction of the main beams of these sector antennas, as shown in Fig. 3. The intersection of the main beams from the first sector antennas is above the measurement location, at the heights of 19.85 m and 4.18 m above the ground level, as shown in Table 2. This fact suggests the potential increase of the EMF strength, as well as the possible exposure of the humans at this location.

The main beams reach the ground behind the test measurement location, far away, at the distances of 188.82 m and 119.73 m, respectively.

##### 4.2. Measuring procedure and measuring equipment

The test measurement was conducted by applying both, the broadband and the frequency selective measuring approaches, dividing the measurement into two phases. First, the continuous monitoring in a broadband frequency range was performed, during the time period of four hours, and second, the frequency selective scanning of the spectrum was performed, detecting the emission

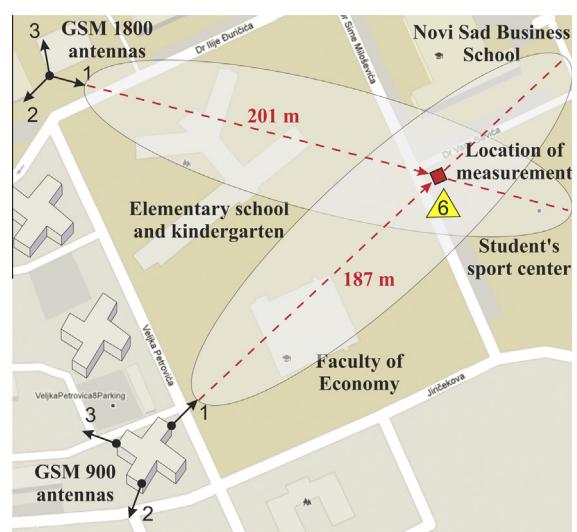


Fig. 3. Surrounding of the test measurement location [15].

**Table 1**

Technical characteristics of the base station antennas [16,17].

| Sectors                              | RBS 2206 indoor 900 MHz |            |            | RBS 2216 indoor 1800 MHz |            |            |
|--------------------------------------|-------------------------|------------|------------|--------------------------|------------|------------|
|                                      | 1st sector              | 2nd sector | 3rd sector | 1st sector               | 2nd sector | 3rd sector |
| Antenna type                         | K739495                 | K739495    | K739495    | K742241                  | K80010292  | K742241    |
| Number of antennas per sector        | 1                       | 1          | 1          | 1                        | 1          | 1          |
| Antenna azimuth                      | 45°                     | 200°       | 290°       | 105°                     | 225°       | 350°       |
| Electrical down-tilt                 | 2°                      | 2°         | 2°         | 2°                       | 2°         | 2°         |
| Mechanical down-tilt                 | 4°                      | 1°         | 4°         | 0°                       | 0°         | 0°         |
| Antenna center from ground level [m] | 39.5                    | 37.5       | 37.5       | 11.2                     | 11.2       | 11.2       |
| Number of channels per sector        | 4                       | 4          | 4          | 4                        | 4          | 4          |

**Table 2**

The main beam of the first sector antennas over the test measurement location.

| GSM service | Azimuth [°] | Passing on the height of [m] | Reach the ground at [m] | Behind the location [m] |
|-------------|-------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| GSM 900     | 45          | 19.85                        | 375.82                  | 188.82                  |
| GSM 1800    | 105         | 4.18                         | 320.73                  | 119.73                  |

and presence of non-visible EMF sources in the vicinity of the test location.

#### 4.2.1. Phase I

The broadband measurement was conducted using the handheld Narda NBM-550 broadband field meter [18], equipped with the electric field probe EF 0691, whose main parameters are shown in Table 3 [19].

The NBM-550 broadband field meter has the ability of manual recording, as well as the continuous monitoring of the electric field strength. Therefore, the first phase of measurement consisted of two parts:

- First, the preliminary electric field spatial scanning was performed over the measurement grid regarding the SEMONT's measurement procedure [20,21]. The obtained results served for the determination of the so-called hot spot that presents a local spot with the maximum field strength.
- After that, the continuous monitoring of the high-frequency electric field was conducted in the hot spot, during the time period of four hours, from 10 a.m. until 2 p.m., with 6 min averaging, as suggested in the guidelines [5,6].

This four hour period was selected since it encircles the period of the day when the maximum radiation of EMF sources can be expected; the second reason relies on the fact that students frequently pass through the selected area during that time period, attending their daily activities. Unfortunately, it is obvious that four hour period is not enough to attain deep and comprehensive insight into the long-term (daily, monthly) EMF exposure on a particular in situ location. However, for the verification of the proposed adaptive boundary approach it can be acceptable.

#### 4.2.2. Phase II

In the second phase, by finishing the continuous monitoring, the frequency selective scanning of the present spectrum content was conducted in the hot spot. This type of measurement was started at 2:25 p.m., using Rohde & Schwarz FSH3 spectrum analyzer, equipped with RSEMF30-26-04-08 three axis field probe and R&S RFEX v6.1.34 software. The main parameters of this measuring system are shown in Table 4 [22].

**Table 3**

Broadband electric field probe EF 0691 [19].

| Parameter | Frequency range  | Measurement range | Linearity              | Frequency sensitivity    |
|-----------|------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| Value     | 100 kHz to 6 GHz | 0.35 to 650 V/m   | ±0.5 dB (2 to 400 V/m) | ±1.5 dB (1 MHz to 4 GHz) |

The frequency scanning lasted very short, from 2:25 p.m. to 2:36 p.m., which FSH3 needs to sweep the entire spectrum. The instrument itself was set up in AUTO SWEEP TIME mode with basic parameters presented in Table 5.

The frequency selective measurement was performed only once, in order to determine the present spectrum. However, such measurements can be performed several times during campaign of continuous monitoring, resulting with a better overview of possible change in spectrum. Unfortunately, such approach can result with a huge amount of measurements data and moreover with strong impracticality of utilization of both type of instrument at the same hot spot. Therefore, in this test measurement the spectrum analysis was performed only once, assuming that present EMF sources will not change their emitting frequencies at all.

#### 4.3. Measurement results

The broadband continuous monitoring resulted with the fluctuation of the overall and cumulative electric field strength during the selected time period. Unlike this approach, the frequency selective measurement provided information on the electric field level for each particular frequency in the range covered by the used field probe, while that measurement was performed in a short period of time.

##### 4.3.1. Continuous monitoring

The electric field strength fluctuation is depicted in Fig. 4. The curves present maximum and average field strength values, for the broadband continuous monitoring in the hot spot, during the time period of four hours.

At the beginning of test measurement, the initial exposure assessment was performed by applying the proposed boundary approach on the acquired results of monitoring, determining the lower and the upper GER boundaries of the exposure. Those boundaries were calculated utilizing Eq. (1), where the average value of the measured electric field strength was used as  $E_m$  value. The minimal and maximal reference levels are  $E_{ref\ min} = 11 \text{ V/m}$  and  $E_{ref\ max} = 34.8 \text{ V/m}$ , in the observed field probe's frequency range, according to the Serbian legislation for the general population [10,11]. The assessed GER boundaries and the range where the real exposure can be located are shown in Fig. 5.

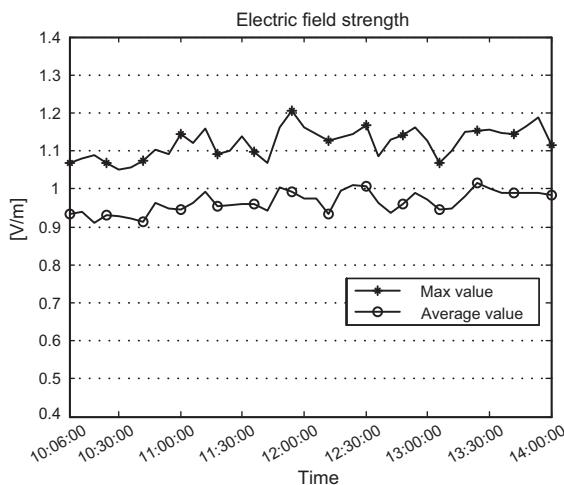
**Table 4**

FSH3 spectrum analyzer field probe's main parameters [22].

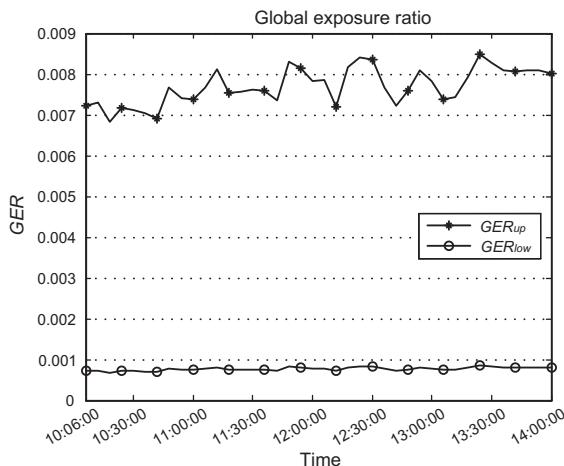
| Parameter | Frequency range | Measurement range | Frequency resolution |
|-----------|-----------------|-------------------|----------------------|
| Value     | 30 MHz to 3 GHz | 1 mV/m to 100 V/m | 1 Hz                 |

**Table 5**  
FSH3 AUTO SWEEP TIME mode parameters [22].

| Parameter | Trace mode/<br>detector | Res BW/video<br>BW/span       | Ref level     | Dwell<br>time |
|-----------|-------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| Value     | Max hold/RMS            | 1000 kHz/auto/<br>150.000 MHz | 91 dB $\mu$ V | 250 ms        |



**Fig. 4.** Broadband continuous monitoring of the electric field strength in the hotspot.



**Fig. 5.** Boundary exposure assessment of the general population at the in situ location.

The range between *GER* boundaries could be described by the relative difference  $\delta$ , using the following equation:

$$\delta = \frac{GER_{up} - GER_{low}}{GER_{up}} \cdot 100\% = \left[ 1 - \left( \frac{E_{ref\_min}}{E_{ref\_max}} \right)^2 \right] \cdot 100\%. \quad (6)$$

Unfortunately, considering the used  $E_{ref\_min}$  and  $E_{ref\_max}$  values, as well as entire frequency range of the field probe, the relative difference between *GER* boundaries is 90% from the upper boundary, which presents a significant difference. In the case that the reduction of this gap is possible, it could be feasible to evaluate the presented EMF exposure much more precisely. Thus, our intention was to uncover the frequencies on which the EMF emission exists on test location, and to determine the new  $E_{ref\_min}$  and  $E_{ref\_max}$

reference levels, which correspond to the present spectrum and which consequently will lead to the reduction of the difference between the initial *GER* boundaries.

#### 4.3.2. The frequency selective measurement

The results of the high-frequency electric field spectrum scanning are presented in Fig. 6. The presence of the spectral components in several sub-frequency ranges can be noticed, which are caused by different communication services. As it can be seen, the GSM 900 and GSM 1800 components of the electric field have the highest strengths in spectrum, which was expected regarding the visual inspection of EMF sources in the campus area and the measurement location surrounding.

Additionally, the spectrum shows existence of some other EMF sources, which were not noted during the visual inspection of the site. Those sources provide the UMTS 2100 communication service and radio/TV broadcasting, which was also expected, regarding commercial potential of the campus area for services providers.

Considering frequency scanning, the electric field strength is below the FSH3 threshold, for some subranges, or in those subranges there is no EMF emission. Such subranges are from 172 MHz to 426 MHz, from 568 MHz to 783 MHz, from 790 MHz to 937 MHz, from 960 MHz to 1805 MHz and from 1853 MHz to 2125 MHz. Thus, the vertical dashed lines in Fig. 6 present transitions between subranges with and without EMF emission.

**4.3.2.1. The exposure ratio by ICNIRP's Guidelines.** Regarding the standard measuring methods, prescribed in SRPS EN 50492:2010 and SRPS EN 50413:2010 standards [3,4], the consequent frequency selective exposure assessment was performed according to the ICNIRP's Guidelines and Eq. (3), calculating the exposure ratio (*ER*) with the following expression:

$$ER = \sum_{i=100 \text{ kHz}}^{1 \text{ MHz}} \left( \frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1 \text{ MHz}}^{3 \text{ GHz}} \left( \frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2, \quad (7)$$

where  $E_i$  is the measured electric field strength at the frequency  $i$ ,  $E_{L,i}$  is the electric field strength reference level for the frequency  $i$ , which takes values from 100 kHz to 3 GHz, while  $c$  is  $87/f^{1/2}$  [V/m] for the general public exposure.

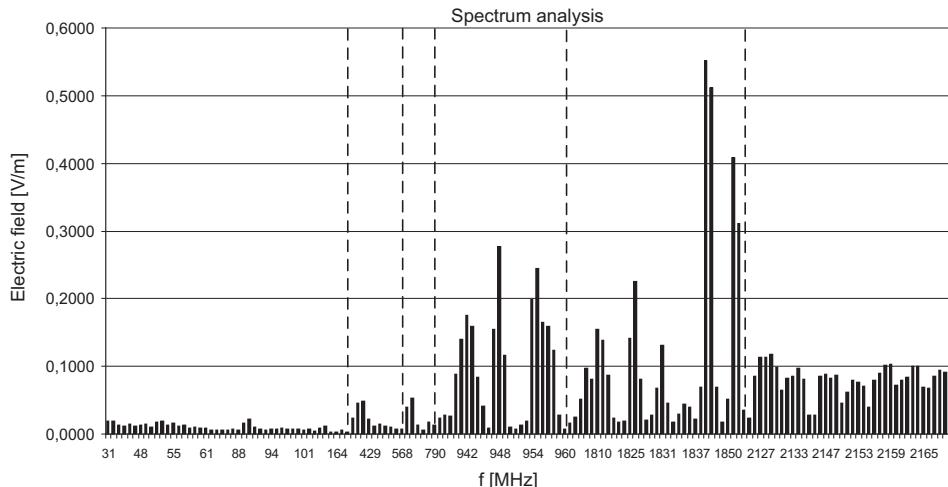
Regarding the present spectrum, the exposure ratio *ER* has a value of 0.003696605 and it is positioned between the assessed *GER* boundaries, as presented in Fig. 7.

The average values of  $GER_{low}$  and  $GER_{up}$  boundary curves, during four hour monitoring, are 0.000769456 and 0.007701178, respectively, as it can be seen in Table 6.

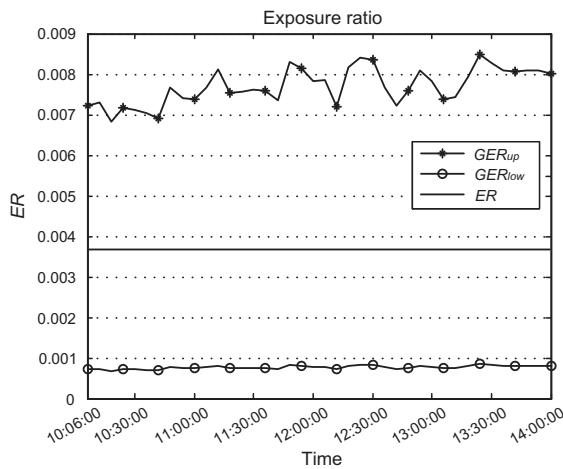
Relative difference between  $GER_{up}$  average value and *ER* is 51.99% from  $GER_{up}$ , while the difference between *ER* and  $GER_{low}$  average value is 79.17% from *ER*. Such high differences encourage our assumption that they could be reduced, by adapting the initial *GER* boundaries using new reference levels, determined by the spectrum scanning and the detection of present EMF sources.

**4.3.2.2. Assessment of maximum exposure ratio.** The main objective of the frequency selective scanning was to obtain information about spectrum content, at particular in situ location, and to get insight on the presence of EMFs originating from sources that are not visually noticeable. Regarding the information about present spectrum, communication services GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 were considered as a dominant EMF sources on the test location.

The standard SRPS EN 50413:2010 [3] considers the worst case scenario of exposure, resulting that the maximum exposure assessment from three dominant communication services was separately performed, assuming the worst-case when all channels of corresponding base stations are active.



**Fig. 6.** The spectrum of the high-frequency electric field at the measurement location.



**Fig. 7.** Comparison of results of two exposure assessment approaches.

**Table 6**  
Minimum, average and maximum values of exposure boundaries.

|                    | Minimum     | Average     | Maximum     | Standard deviation [%] |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|
| GER <sub>low</sub> | 0.000683499 | 0.000769456 | 0.000849103 | 0.004423703            |
| GER <sub>up</sub>  | 0.006840869 | 0.007701178 | 0.008498326 | 0.044275054            |

The carriers' electric field strengths for these services, as well as reference levels that correspond to the carrier's frequencies are specified in **Table 7**.

According to standard SRPS EN 50492:2010 [3], the maximum exposure ratio ( $ER_{max}$ ) is calculated using the following expression:

**Table 7**  
Maximum exposure ratios for the dominant EMF services.

| Service                  | GSM 900     | GSM 1800      | UMTS 2100   |
|--------------------------|-------------|---------------|-------------|
| $n_{channel}$            | 4           | 4             | –           |
| Carrier frequency        | 948 MHz     | 1842 MHz      | 2129 MHz    |
| $E_{carrier}$ [V/m]      | 0.276762591 | 0.55179539022 | 0.117707478 |
| $E_{max}$ [V/m]          | 0.553525182 | 1.10359078    | 0.235414956 |
| $E_{ref\ carrier}$ [V/m] | 16.934      | 23.605        | 24.4        |
| $ER_{max}$               | 0.001068418 | 0.002185753   | 0.000232717 |

$$ER_{max} = \left( \frac{E_{max}}{E_{ref\ carrier}} \right)^2, \quad (8)$$

where in the case of GSM 900 and GSM 1800 services,  $E_{max}$  is obtained as:

$$E_{max} = \sqrt{n_{channel}} \cdot E_{carrier}, \quad (9)$$

while, in the case of UMTS 2100 service  $E_{max}$  is calculated as:

$$E_{max} = \sqrt{\eta_{cpich}} \cdot E_{carrier}. \quad (10)$$

Parameter  $\eta_{cpich}$  is the ratio between the maximum allocated power to the base station and the power allocated to the common pilot channel (CPICH) of UMTS 2100 service. This relation is expressed by corresponding electric field strengths, in Eq. (10). In this equation  $E_{carrier}$  represents electric field level measured at the CPICH frequency, while  $E_{max}$  is maximum expected field strength of the base station, as described in standard SRPS EN 50492:2010 [3]. The standard, in addition, mentions that  $\eta_{cpich}$  parameter depends on the capacity of the base station, it is set by the operators, and it can be commercially confidential. Its value is generally between 4% and 10%, while in this paper the value of 10% is used, regarding worst case exposure.

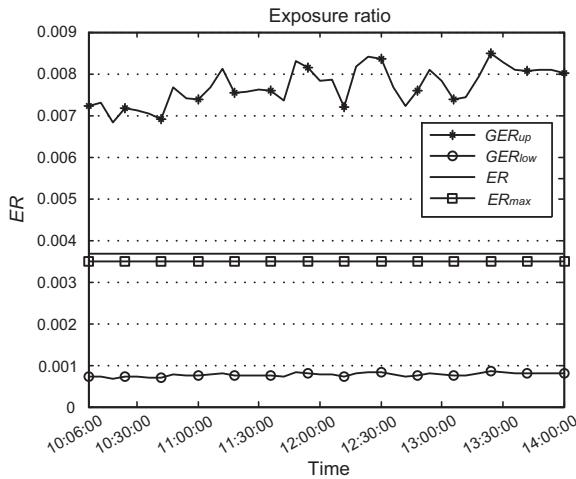
For the test location, the final  $ER_{max}$  is obtained as

$$ER_{max} = ER_{max}^{GSM\ 900} + ER_{max}^{GSM\ 1800} + ER_{max}^{UMTS\ 2100} = 0.003486888, \quad (11)$$

and it is presented in **Fig. 8**.

Observing  $ER_{max}$  value it can be noticed that a difference exists comparing with  $ER$  value, which is calculated by taking into account the entire frequency range. The reason for this is that GSM and UMTS base stations have been assumed as dominant sources, working with full capacity, which in many situations is not likely that will occur. Moreover, all other EMF sources were neglected, which in real situations usually should not be done or should be properly justified if ignoring.

The relative difference between  $ER$  and  $ER_{max}$  is 5.69% from  $ER$  and such small value confirms the highest contribution of the EMF radiation originated from GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 communication services on the test measurement location. Additionally, the relative difference between initial  $GER_{up}$  average value and  $ER_{max}$  is 54.72% from  $GER_{up}$ , while the difference between  $ER_{max}$  and initial  $GER_{low}$  average value is 77.93% from  $ER_{max}$ .



**Fig. 8.** Sum of maximum exposure ratios of the dominant EMF sources.

#### 4.3.3. Boundary adaptation approach

Rough comparison of the results of the assessed *GER* boundaries and the calculated exposure ratio following the ICNIRP's Guidelines suggests that the difference between the initial *GER* boundaries could be reduced. However, one has to consider the fact that, on excluding the contribution of GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 services at a particular in situ location, the rest of the spectrum has a small contribution to the overall field strength. Additionally, the electric field strengths at frequencies reserved for the radio/TV broadcasting are much smaller in comparison with the field strengths at the frequencies intended for GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 communication services. On this test location, their contribution to the exposure ratio *ER* is only 3.05%, as can be seen in [Table 8](#).

However, there may be a number of other locations where emission from cellular networks is not dominant and where, for example, radio/TV broadcasting systems are primary EMF sources. Therefore, neglecting the contribution of some field components may not be performed without a strong reasons and confirmation on dominant EMF sources presence, through the visual inspection and frequency selective scanning of the spectrum.

Results presented in [Table 8](#) shows that GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 communication service are really dominant EMF sources at chosen measurement location, justifying the necessity for maximum exposure assessment from them, as it is required by standards and described in previous section.

The frequency spectrum, shown in [Fig. 6](#), suggests that the observed broadband frequency range (from 30 MHz to 3 GHz) could be narrowed to the range from 30 MHz to 2200 MHz, since the FSH3 analyzer did not detect presence of any field components beyond that frequency range. Additionally, according to the results provided in [Table 8](#), neglecting the contribution of the field components at the frequencies reserved for the radio/TV broadcasting, additional shrinking of the observed frequency range can be performed, narrowing it to the range from 925 MHz to 2200 MHz.

Thus, in order to show the advantage of the adaptation of *GER* boundaries, let us consider the assessment of corresponding *GER* boundaries in three cases:

**Table 8**  
Exposure ratios for a particular frequency ranges.

| Service                | Radio/TV    | GSM 900     | GSM 1800     | UMTS 2100    |
|------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Frequency range [MHz]  | 30 to 800   | 925 to 960  | 1805 to 1880 | 2110 to 2200 |
| $ER_{service}$         | 0.000112764 | 0.001312814 | 0.001836578  | 0.000434449  |
| $ER_{service}/ER [\%]$ | 3.05        | 35.51       | 49.68        | 11.75        |

$ER = 0.003696605$  is overall exposure ratio, from all active EMF sources in surrounding, shown in [Fig. 7](#)

- Case A – assessment based on the initial four hour broadband monitoring,
- Case B – assessment as a consequence of spectrum analyses and the shrinking of the observed frequency range from 30 MHz to 2200 MHz, and
- Case C – assessment as a consequence of neglecting the contribution of the radio/TV broadcasting service and the shrinking of the observed frequency range from 925 MHz to 2200 MHz.

Regarding those three cases, the new minimal and maximal reference levels can be selected, as presented in [Table 9](#).

Changes in the newly selected minimal and maximal reference levels resulted in decreasing the relative difference between initial *GER* boundaries, as presented in [Table 9](#). Certain slight reduction can be observed in case B, while the decreasing in case C is much more expressed.

Adapted *GER* boundaries for cases B and C, as well as their comparison with those obtained in case A (the initial phase of the broadband monitoring) are presented in [Fig. 9](#).

[Fig. 9a](#) shows that there is no change of  $GER_{up}^{Case\ B}$  boundary, comparing it to the initial  $GER_{up}^{Case\ A}$ , while the new  $GER_{low}^{Case\ B}$  boundary is less underestimated in comparison with  $GER_{low}^{Case\ A}$ . The relative difference between the adapted boundaries in case B is now 80%. However, the additional adaptation of *GER* boundaries occurs in case C ([Fig. 9b](#)), where the reduction in boundaries difference of 36.25% is attained. Such reduction will result in the increased precision of the assessment, as well as in a much clearer insight of the EMF exposure at the chosen in situ location.

The average values of the adapted  $GER_{low}$  and  $GER_{up}$  boundary curves, in cases B and C, are specified in [Table 10](#).

Ratios between the average values of the adapted upper and lower boundaries ( $GER^{adapt}$ ) in cases B and C, and those boundaries acquired in the initial phase of the broadband exposure assessment ( $GER^{Case\ A}$ ), are provided in [Table 11](#).

The results presented in [Fig. 9](#) and [Table 10](#) show that the performed test measurement and the conducted boundary adaptation bring certain enhancement of the proposed boundary exposure assessment approach. In the adaptation case C, a significant reduction of difference between *GER* boundaries is accomplished, as well as the improvement of their assessment for about 50%.

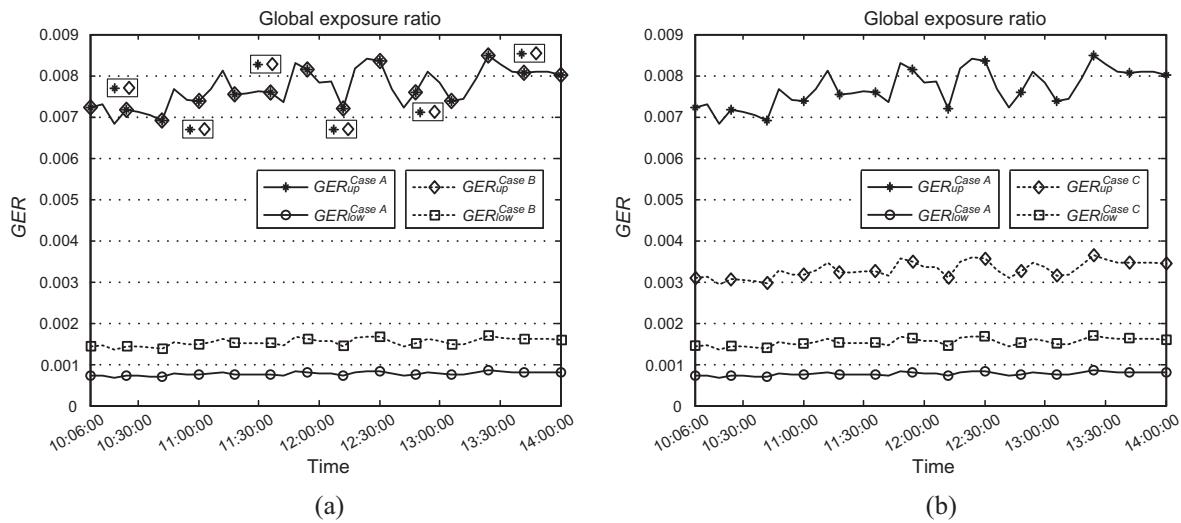
The comparison of case C adapted *GER* boundaries with  $ER_{max}$  values for three dominant EMF services is shown in [Fig. 10](#).

It can be observed that the sum of  $ER_{max}$  values for three dominant EMF sources is not placed in the range between those boundaries, as expected, having the value almost equal to the adapted  $GER_{up}$  average value. It is caused due to a couple of reasons. First, the frequency selective measurement was conducted in a relatively

**Table 9**

The new reference levels of the electric field strength in the case of spectrum shrinking.

| Case                  | A                     | B          | C           |
|-----------------------|-----------------------|------------|-------------|
| Frequency range [MHz] | Broadband 0.1 to 3000 | 30 to 2200 | 925 to 2200 |
| $E_{ref\ min}$ [V/m]  | 11                    | 11         | 16.728      |
| $E_{ref\ max}$ [V/m]  | 34.8                  | 24.597     | 24.597      |
| $\delta$ [%]          | 90                    | 80         | 53.75       |



**Fig. 9.** Adaptation of GER boundaries in cases B (a) and C (b).

**Table 10**

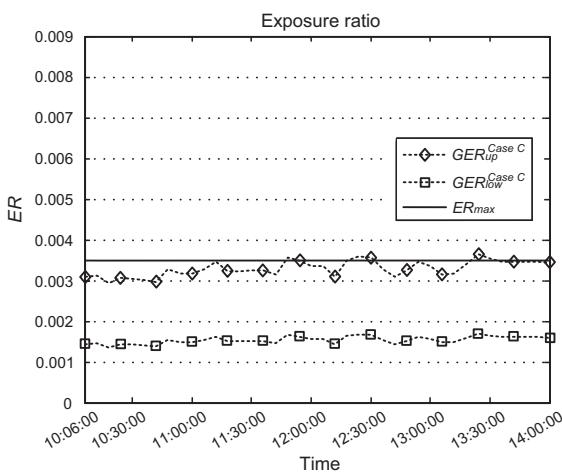
Minimum, average and maximum values of adapted exposure boundaries.

|        |             | Minimum     | Average     | Maximum     | Standard deviation [%] |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------------|
| Case B | $GER_{low}$ | 0.001368146 | 0.001540204 | 0.001699630 | 0.008854829            |
|        | $GER_{up}$  | 0.006840869 | 0.007701178 | 0.008498326 | 0.044275054            |
| Case C | $GER_{low}$ | 0.001368146 | 0.001540204 | 0.001699630 | 0.008854829            |
|        | $GER_{up}$  | 0.002958071 | 0.003330079 | 0.003674775 | 0.019145047            |

**Table 11**

Ratio of adapted and initial GER boundaries.

| Case                                 | B          | C           |
|--------------------------------------|------------|-------------|
| Frequency range [MHz]                | 30 to 2200 | 935 to 2200 |
| $GER_{adapt}/GER_{up}^{Case A}$ [%]  | 100        | 43.24       |
| $GER_{low}^{Case A}/GER_{adapt}$ [%] | 49.96      | 49.96       |



**Fig. 10.** Comparison of results of two exposure assessment approaches in the adaptation case C.

short time period (a few minutes), and it is possible that some changes in the spectrum are not detected, while the broadband monitoring lasted for four hours. Second, the calculation of  $ER_{max}$  values assumed the worst-case situation (maximum traffic and maximum power of base stations), which is in some situation unlikely to happen, while, on the other hand, it is not possible to know

whether EMF sources radiate the highest strength at the moment of the spectrum scanning or in some other period of the day.

Considering the performed analysis, it is clear that using the spectrum scanning, the accuracy of the assessment of GER boundaries can be improved at an in situ location. Generally, implementing the proposed adaptive boundary approach into the systems for broadband EMF observation, like the SEMONT system, and performing a periodic spectrum scanning for the determination of suitable reference levels, could offer a much better assessment of a long-term exposure to nonionizing radiation in the environment, increasing the credibility of the systems for EMF monitoring.

Moreover, since the periodical spectrum scanning can offer information on some post-installed EMF sources at a particular in situ location, and their contribution in the spectrum, the change of the minimal and maximal reference levels would be desirable, increasing the precision of the exposure assessment. Thus, the periodical modification of reference level values in the monitoring system database, so that they correspond to the present in situ EMF spectrum, could improve the system's effectiveness in informing the general population on a range where the real time EMF exposure is positioned.

## 5. Conclusion

Diversities in procedures and equipment for the measurement and assessment of EMF exposure in the environment result in some advantages/disadvantages regarding the success and cost-effectiveness of the applied methods. The frequency selective measuring approach offers information on the presence of EMF sources in the vicinity of an in situ measurement location and their contribution in the spectrum; nevertheless, it also results with a large amount of data and becomes impractical in the case of a long-term continuous observation of the field strength. Therefore, the measurement of the overall field strength in the broadband fre-

quency range imposes as a better solution when the continuous monitoring is demanded, since it does not require any field component separation nor the determination of the existence of EMF sources.

A problem that occurs when applying the broadband measuring approach is the lack of the prescribed specific procedure for a comprehensive exposure assessment of the human population. As a possible solution, the boundary exposure assessment approach is proposed. This approach suggests the determination of daily lower and upper boundaries of a possible EMF exposure, offering, with some confidence, the range where the real exposure could be positioned.

In order to enhance the proposed boundary approach, this paper brought a possible adaptation of GER boundaries by involving the frequency selective measurements. It is shown that the spectrum scanning of the observed field strength can result in new and more appropriate reference levels, adapting the GER boundaries, and considerably reducing the difference between them. The performed analysis shows attainment in the reduction of boundaries difference of 36.25%, consequently resulting with the increased precision of the daily exposure assessment for the broadband EMF monitoring.

It can be concluded that the combination of the broadband and the frequency selective measuring approaches can offer a much clearer overview of the exposure to EMF at corresponding in situ locations. Additionally, a periodic spectrum scanning can reveal the existence of some new EMF sources, installed in the location's surrounding, offering the new minimal and maximal reference levels in the corresponding frequency range, and subsequently adapting the GER boundaries. Thus, using such an approach, it is possible to advance the corresponding exposure assessment in the existing and upcoming systems for the broadband continuous monitoring of EMF.

## 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] B.O. Ayinmode, I.P. Farai, Measurement and method in radiofrequency radiation exposure assessments, *Pacif. J. Sci. Technol.* 14 (2013) 110–118.
- [2] C. Goiceanu, R. Dănulescu, Principles and methods of measuring environmental levels of high-frequency electromagnetic fields, *J. Prevent Med.* 14 (3–4) (2006) 79–86.
- [3] Basic Standard for the In-situ Measurement of Electromagnetic Field Strength Related to Human Exposure in the Vicinity of Base Stations, SRPS EN 50492:2010, 2010.
- [4] Basic Standard on Measurement and Calculation Procedures for Human Exposure to Electric, Magnetic and Electromagnetic fields (0 Hz–300 GHz), SRPS EN 50413:2010, 2010.
- [5] ITU-T K.83, Recommendation ITU-T K.83 – Monitoring Electromagnetic Field, 03/2011.
- [6] 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/emfgd1.pdf>>.
- [7] N. Djuric, D. Kljajic, Assessment of daily exposure in the broadband continuous monitoring system – SEMONT, in: *IEEE AFRICON 2013 Conference*, Mauritius, 9–12 September 2013, 2013, pp. 903–907. ISBN: 978-1-4673-5943-5/13.
- [8] N. Djuric, D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic, M. Milutinov, M. Prsa, V. Bajovic, N. Pekaric-Nadj, V. Milosevic, The concept of the SEMONT monitoring system and its influence on the EM pollution protection, in: *IEEE AFRICON 2013 Conference*, Mauritius, 9–12 September 2013, 2013, pp. 1298–1302.
- [9] N. Djuric, D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic, V. Bajovic, The SEMONT EM field register support for the assessment of daily exposure limits, in: *IEEE 11th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics – SISY 2013*, Subotica, Serbia 26–28 September, 2013, pp. 305–308.
- [10] V. Bajovic, N. Djuric, D. Herceg, Serbian laws and regulations as foundation for electromagnetic field monitoring information network, in: *10th International Conference on Applied Electromagnetics, PES 2011*, Nis, Serbia, September 25–29, 2011, pp. 1–5.
- [11] Regulation on the Limits of Exposure to Non-ionizing Radiation, the Law of the Republic of Serbia, No. 104/09.
- [12] N. Djuric, N. Kavecan, Internet portal of the SEMONT information network for the EM field monitoring, in: *The 4th International Conference on Advances in Future Internet – AFIN 2012*, Rome, Italy, August 19–24, 2012, pp. 55–59.
- [13] SEMONT Website. <<http://semont.ftn.uns.ac.rs>>.
- [14] 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, pp. 1889–1892, ISSN: 1559-9450, ISBN: 978-1-934142-30-1.
- [15] N. Djuric, D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic, V. Bajovic, The SEMONT Continuous Monitoring of Daily EMF Exposure in An Open Area Environment, Environmental Monitoring and Assessment, March 2015, 2015, <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-015-4395-8>, Print ISSN: 0167-6369, Online ISSN: 1573-2959.
- [16] M. Prsa, V. Milosevic, A. Juhas, K. Kasas-Lazetic, D. Herceg, N. Djuric, M. Milutinov, Detaljna analiza uticaja na zivotnu sredinu GSM bazne stanice Novi Sad – Liman 2 kompanije 063 Mobtel Srbija (ENG: Detailed analysis of the impact on the environment of the GSM base station Novi Sad – Liman 2 of 063 Mobtel Srbija company), Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, 2004.
- [17] V. Milosevic, M. Pascan, Rezultati merenja intenziteta EM zracenja u neposrednom okruzenju GSM bazne stanice sistema mobilne telefoni Telekom Srbija a.d., na lokaciji Novi Sad – NSH69, Novi Sad – Liman II (ENG: The results of measurements of the intensity of EM radiation in the immediate neighborhood of GSM base station of the system of mobile telephony of the Telecom Serbia a.d. company, at the location of Novi Sad – NSH69, Novi Sad – Liman II), Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia, 2008.
- [18] Narda Safety Test Solutions GmbH, NBM-550 Broadband Field Meter User's Guide, 2006.
- [19] Narda Safety Test Solutions GmbH, EF 0691 Electric Field User's Guide, 2006.
- [20] D. Kljajic, N. Djuric, K. Kasas-Lazetic, The SEMONT information network for intelligent EM field continuous monitoring, in: *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications – CIVEMSA 2013*, Milan, Italy, July 15–17, 2013, pp. 126–131. ISBN: 978-1-4673-4701-3.
- [21] N. Djuric, D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic, V. Bajovic, The measurement procedure in the SEMONT monitoring system, *Environ. Monit. Assess.* 186 (3) (2014) 1865–1874.
- [22] Rohde & Schwarz FSH3 Handheld Spectrum Analyzer, Operating Manual, 2010. <[http://www.etsist.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web\\_salud\\_medioamb/equipos\\_medida/equipos\\_nuevos/manuales/manual%20FSH3\\_operacion\\_ingles.pdf](http://www.etsist.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web_salud_medioamb/equipos_medida/equipos_nuevos/manuales/manual%20FSH3_operacion_ingles.pdf)>.

# Adaptive Boundary Approach for EMF Exposure Assessment in Broadband Measurements

**Dragan Kljajic, Nikola Djuric, Karolina Kasas-Lazetic, and Danka Antic**

Faculty of Technical Sciences, University of Novi Sad

Trg D. Obradovica 6, Novi Sad 21000, Serbia

**Abstract**— Recently proposed boundary approach for exposure assessment of humans to electromagnetic field (EMF), regarding the continuous broadband EMF monitoring, offers daily upper and lower exposure boundaries. This means that the range with the potential exposure of the general population, as well as the occupational one, can be located in real time. As an advancement of this method, this paper presents a novel approach based on the adaptation of exposure boundaries in order to reduce the difference between them and this will increase the precision of the assessment. Frequency spectrum analysis has been applied, determining the appropriate reference levels for boundary calculation on a particular in-situ location. The results of the performed in-situ test measurement of the high-frequency electric field strength have shown attainment in the reduction of boundaries difference of 36.25%, consequently resulting with the increased precision of the daily exposure assessment for the broadband EMF monitoring.

## 1. INTRODUCTION

Two most commonly applied approaches for the in-situ measurements of electromagnetic field (EMF) level are the frequency selective and broadband approaches. Even though worldwide researches have shown that, for many cases, the general public exposure is well below the established guidelines, long-term EMF monitoring is an important issue from an environmental protection point of view.

The broadband measuring approach seems to be a more appropriate solution, for the requirements of the continuous and long-term monitoring of the real-time EMF level fluctuations in the environment. This approach results with the single value of the overall and cumulative EMF strength, unlike the frequency selective approach, which simultaneously offers a number of EMF values for each separate frequency in a particular frequency range.

Thus, in order to provide the long-term continuous supervision of the overall and cumulative level of EMF over the observed area, the Serbian electromagnetic field monitoring network — SEMONT has been recently tested [1, 2]. The SEMONT is based on the utilization of autonomous and independent field sensors that perform broadband EMF monitoring, radiated from all active sources around the sensor nodes.

Unfortunately, due to the lack of information on the operating frequencies of EMF sources, the utilization of the broadband measuring approach leads to difficulties in performing the exposure assessment of humans. These difficulties occur since it is not known which of reference levels has to be applied when the comparison of measured values has to be done.

In order to solve this issue, the boundary exposure assessment approach has been proposed, calculating the daily upper and lower boundaries of exposure [3]. That approach has already been implemented into the SEMONT monitoring system and is applicable for both the low-frequency and the high-frequency EMF measurements.

## 2. THE BOUNDARY ASSESSMENT APPROACH

Regrettably, there is no recommended specific procedure for a comprehensive exposure assessment of the human population in case of the broadband EMF monitoring. On the other hand, some baseline instructions are provided in the standard SRPS EN 50492:2010 [4], suggesting the comparison of the obtained measured value with the lowest reference level in the frequency range of the used field probe in order to obtain the global exposure ratio (*GER*).

Based on this suggestion, the recently proposed boundary approach suggests the comparison of the obtained measured values with the lowest and highest reference levels in the field probe's frequency range [3]. Applying such an approach, the upper and lower boundaries of exposure can be determined. In case of the high-frequency electric field measurements, the boundaries are

calculated via following expressions:

$$GER_{low} = \left( \frac{E_m}{E_{ref \ max}} \right)^2 \quad \text{and} \quad GER_{up} = \left( \frac{E_m}{E_{ref \ min}} \right)^2, \quad (1)$$

where  $E_m$  is the broadband measured electric field strength value, while  $E_{ref \ min}$  and  $E_{ref \ max}$  are the minimum and maximum electric field reference levels, over the frequency range of the applied field probe, defined by the corresponding legislation for the general population, as well as the occupational exposure. In this paper, the exposure assessment has been done considering reference levels prescribed by the Serbian legislation [5].

Combining the proposed boundary approach and the results of the continuous in-situ EMF broadband monitoring, the daily boundaries can be obtained, showing the fluctuation of the potential exposure over a long period of time, as it is depicted in Fig. 1 [2].

For the purpose of this initial research, a simple test measurement of the high-frequency electric field strength was conducted on the location of the campus area of the University of Novi Sad. Four-hour broadband monitoring of the electric field strength was performed regarding the SEMONT's measurement procedure [2], in the frequency range of 100 kHz up to 6 GHz, applying Narda NBM-550 handheld broadband meter equipped with EF 0691 field probe. This equipment has very similar features as the sensor nodes of the SEMONT system.

Based on the acquired measurement results, the  $GER$  boundaries calculation was performed according to the Equation (1), where the minimum and maximum reference levels in the observed frequency range were chosen according to the Serbian legislation [5]. Results of the upper and lower  $GER$  boundaries calculation are shown in Fig. 2.

The calculation of the upper and lower exposure boundaries results with a certain difference between them, which can be described by the relative difference  $\delta$  as

$$\delta = \frac{GER_{up} - GER_{low}}{GER_{up}} \cdot 100\% = \left[ 1 - \left( \frac{E_{ref \ min}}{E_{ref \ max}} \right)^2 \right] \cdot 100\%. \quad (2)$$

In the observed frequency range,  $E_{ref \ min} = 11 \text{ V/m}$  (for frequency  $f = 400 \text{ MHz}$ ) and  $E_{ref \ max} = 34.8 \text{ V/m}$  (for frequency  $f = 100 \text{ kHz}$ ) [5]. Consequently, the relative difference between  $GER$  boundaries is 90% from the upper boundary, which presents a significant discrepancy, as it can be observed from Fig. 2.

However, the real exposure is somewhere between  $GER$  boundaries and the most precise method to determine it is to use the frequency selective measuring approach, as suggested in the Guidelines of International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) [6].

Unfortunately, the exposure per frequency approach, given in these Guidelines, could not be applied for broadband EMF measurements, since there is a lack of information on present frequencies on which EMF sources radiate. Thus, this paper proposes the investigation of  $GER$  boundaries

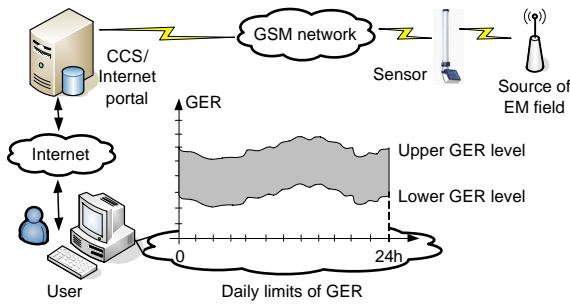


Figure 1: Presentation of daily boundaries of the  $GER$  to the public.

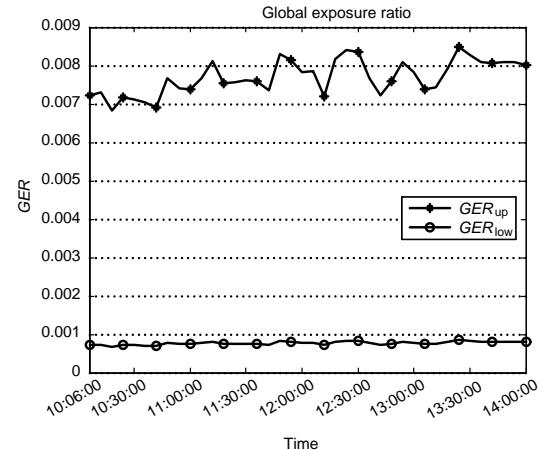


Figure 2: Broadband exposure assessment of the general population on an in-situ measurement location.

adaptation and the reduction of difference between them by adopting new and appropriate reference levels for a particular in-situ location. With the reduction of *GER* boundaries, a smaller range could be offered, where the real exposure can be positioned, resulting with a much better insight onto the exposure on a particular in-situ location.

### 3. THE ADAPTIVE BOUNDARY APPROACH

The broadband measuring approach offers results of the overall and cumulative value of EMF at a particular in-situ location, without the ability to identify active EMF sources in the surroundings, nor their operating frequencies. Choosing the lowest and highest prescribed reference levels in the observed broadband frequency range for  $E_{ref\ min}$  and  $E_{ref\ max}$ , consequently leads to the underestimation and the overestimation of *GER* boundaries. This situation occurs since the measured results are compared only with these two limits, while the reference levels for other frequencies are not taken into consideration.

Regarding the particular location, it is possible that only few field components in the whole frequency spectrum contribute to the overall measured EMF value. Thus, it is clear that the observed frequency range can be narrowed and new reference levels can be chosen, reducing the gap between *GER* boundaries. This is the main idea of the adaptive boundary approach.

Latest researches have shown that the most dominant sources of the high-frequency EMF emission in the environment are those reserved for GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 communications services [7, 8]. Having in mind this fact, the shrinking of the observed broadband frequency range is possible in case that it is proven that the contribution from other frequencies and EMF sources to the overall EMF strength is practically negligible, as it is presented in Fig. 3.

One way to determine in-situ active frequencies is by a spectrum scanning. Thus, the adaptation of *GER* boundaries is based on the utilization of the frequency selective in-situ measurement combined with the broadband EMF monitoring.

In order to verify the proposed adaptive approach, the spectrum scanning at a test measurement location was performed. Results of the performed scanning confirmed the assumption on the dominance of the mobile phone communications services in surroundings. Hence, the appropriate shrinking of the observed broadband frequency ranges from 925 MHz to 2200 MHz (comprising only downlink of GSM 900, GSM 1800 and UMTS 2100 services), leading to the selection of new minimum and maximum reference levels:  $E_{ref\ min} = 16.728 \text{ V/m}$  (for frequency  $f = 925 \text{ MHz}$ ) and  $E_{ref\ max} = 24.597 \text{ V/m}$  (for frequency  $f = 2200 \text{ MHz}$ ) [5]. Consequently, the relative difference between the adapted *GER* boundaries is now 53.75% from the upper boundary, while the attained reduction of the difference between the exposure boundaries is depicted in Fig. 4.

The performed analysis shows that, involving a frequency selective measurement, a reduction in

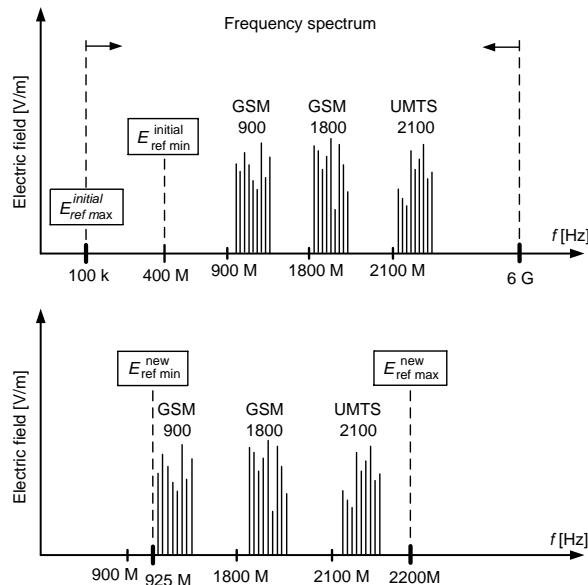


Figure 3: Shrinking of the observed frequency range.

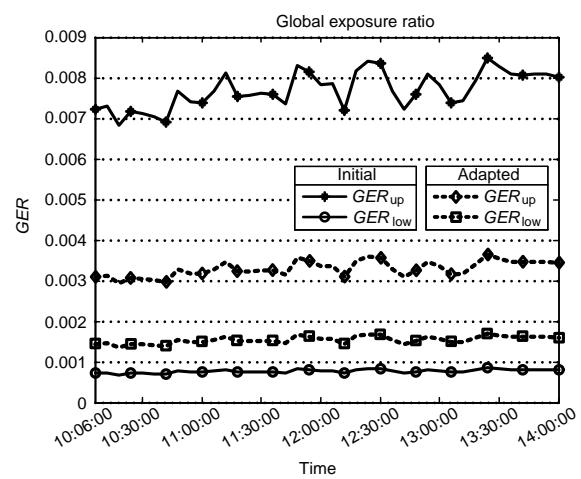


Figure 4: Adaptation of exposure boundaries.

boundaries difference of 36.25% is attained. However, the real exposure is again somewhere between *GER* boundaries, though in this case the precision of assessment is improved, accomplishing a much clearer insight of the human exposure to EMFs at a particular in-situ measurement location.

Generally, a combination of both measuring approaches at in-situ measurement locations could help in advancing the efficiency of systems for the broadband EMF observation, such as the SEMONT system. The implementation of the suggested adaptive boundary approach into those systems could offer the improvement in the accuracy of the assessment of possible long-term exposure of the public to non-ionizing radiation in the environment.

It is important to emphasize that the dominance of EMF sources varies with the measurement location; thus, depending on active frequencies in the sensor node surroundings, the corresponding narrowing of the spectrum could be performed, as well as the appropriate adaptation of exposure boundaries.

#### 4. CONCLUSION

In this paper, one of the possible solutions for the advancement of the proposed boundary exposure assessment approach is presented. This approach is suitable for the purposes of the broadband EMF monitoring in the environment, and is already implemented into the SEMONT monitoring system.

Results of the performed test measurement showed that information on frequency spectrum in the vicinity of the measurement location could enhance the proposed boundary approach through the adaptation of calculated exposure boundaries and the reduction of difference between them.

The results also revealed that the adaptive boundary approach could offer a clearer overview of human exposure to EMF in the environment and increase the precision of the daily exposure assessment on a particular in-situ location. Moreover, performing the periodic EMF spectrum scanning at the position of the SEMONT's sensor nodes could help in the advancement of the efficiency of such monitoring system regarding the precision of the exposure assessment of human population, as well as the occupational one.

#### 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. Djuric, N., 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*, 1298–1302, Mauritius, Sep. 9–12, 2013.
2. Djuric, N., D. Kljajic, K. Kasas-Lazetic, and V. Bajovic, "The measurement procedure in the SEMONT monitoring system," *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 186, No. 3, 1865–1874, Mar. 2014.
3. Djuric, N. and D. Kljajic, "Assessment of daily exposure in the broadband continuous monitoring system — SEMONT," *IEEE AFRICON 2013 Conference*, 903–907, Mauritius, Sep. 9–12, 2013.
4. "Basic standard for the in-situ measurement of electromagnetic field strength related to human exposure in the vicinity of base stations," SRPS EN 50492:2010, 2010.
5. "Regulation on the limits of exposure to non-ionizing radiation," No. 104/09, the Law of the Republic of Serbia.
6. 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>.
7. Eurobarometar 2007, Electromagnetic Fields, 2007, [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_272a\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_272a_en.pdf).
8. Gajšek, P., P. Ravazzani, J. Wiart, T. Samaras, and G. Thuróczy, "Electromagnetic field exposure assessment in Europe radiofrequency fields (10 MHz–6 GHz)," *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, Vol. 25, No. 1, 37–44, 2013.