

Утицај радиофреквентног нејонизујућег зрачења на животну средину у Републици Српској

Зоран П. Поповић, Предраг Илић

Сажетак: *Ниво загађења радиофреквентним зрачењем расте сразмерно развоју нових телекомуникационих технологија и ширењем потреба корисника. Да би се спречила изложеност електромагнетном зрачењу изнад дозе дозвољене за општу популацију, неопходно је студиозно планирање изградње антенских система и испитивање животне и радне средине у њиховој околини. Градске зоне су потенцијално најугроженије када је реч о изложености високофреквентном нејонизујућем зрачењу, и то је у овом раду описано примерима осетљивих локација (околине школа, вртића и болничког центра). Преглед података и анализа стања оптерећености животне средине у Републици Српској нејонизујућим електромагнетним зрачењем био је примарни циљ студија о овој теми. Приказане су мерне методе и алати за теоријску процену коришћени за детекцију и предикцију ових физичких штетности, које сходно начину живота имају тенденцију перманентног раста.*

Кључне ријечи: *Високофреквентно и ниско нејонизујуће зрачење, мапирање изложености нејонизујућем зрачењу, заштита животне средине, изложеност*

Цитирање: Поповић ПЗ, Илић П (2023) Утицај радиофреквентног нејонизујућег зрачења на животну средину у Републици Српској. У: Илић П, Говедар З, Пржуљ Н (уредници) Животна средина. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LV:485–525

Cite as: Popović PZ, Ilić P (2023). Impact of radio-frequent radiation to the environment in Republic of Srpska. In: Ilić P, Govedar Z, Pržulj N (eds) Environment. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LV:485–525

14.1. Увод

Спрегнута промена електричног и магнетног поља у простору током времена чини електромагнетно поље (ЕМП). Ова појава није локалног карактера, те се у виду електромагнетног таласа (ЕМТ) шири у простору преносећи енергију. Може се илустровати као осцилације вектора електричног и магнетног поља, а може се одвијати и у супстанцијалним срединама и у вакууму, те за преносење ЕМТ није неопходна супстанцијална средина (Karamarković 2005). Различити типови електромагнетних таласа разликују се једино према таласној дужини, односно фреквенцији. Таласна дужина је карактеристика ЕМТ и одређује његове особине и начин интеракције са материјом (Tipler and Mosca 2008). Од дужих ка краћим таласним дужинама спектар електромагнетног зрачења дели се на дуге радио-таласе, кратке радио-таласе, средње радио-таласе, ултракратке радио-таласе, микроталасе, инфрацрвене, видљиве, ултраљубичасте, X и γ зраке. Суседни делови спектра се преклапају, нису строго одвојени, јер не постоје јасне границе (Karamarković 2005; Tipler and Mosca 2008).

Према механизму настанка, могу се класификовати на ЕМТ великих таласних дужина, које је могуће генерисати помоћу електронских уређаја, док се електромагнетно зрачење из видљиве (између 400 и 780 nm) и ултраљубичасте (између 10 и 400 nm) области може добити електронским прелазима са виших у нижа енергијска стања атома или молекула. X-зраци таласне дужине приближно 0,1 nm (Tipler and Mosca 2008) настају кочењем убрзаних електрона или преласком електрона из виших (удаљених од језгра атома) у енергијски нижа (унутрашња) непопуњена стања, док γ зрачење настаје као последица деекситације језгра атома из побуђеног нивоа.

Према интеракцији са средином кроз коју пропагира електромагнетно зрачење дели се на јонизујуће и нејонизујуће (Штрбац и сар. 2019). Зрачење које се састоји од ЕМТ или честица, енергије довољне да узрокују јонизацију проласком кроз супстанцу назива се јонизујуће (J3) (Аранђеловић и Јовановић 2009). Том приликом из атома и/или молекула настају јони, ослобађа се електрон из попуњених орбитала атома/молекула средине (негативни јони), а остатак атома/молекула постаје позитиван јон. У ћелијама организма као последице јонизације јављају се биолошки ефекти. Један јонизовани молекул може да изазове процесе рекомбинације и јонизације на милионе суседних молекула у само једној пикосекунди (Крстић 2020). Због тога се при разматрању биолошких ефеката проузрокованих на молекуларном нивоу морају сагледати енергије везе молекула. Величине које дефинишу јонизујуће зрачење су: апсорбована доза по јединици масе; јачина апсорбоване дозе - апсорбована доза током неког временског

интервала; експозициона доза - количина истоименог наелектрисања које настаје у јединици запремине; јачина експозиционе дозе - прираштај експозиционе дозе током времена; еквивалентна доза - способност апсорбоване дозе да изазове оштећења у организму и ефективна доза - збир свих еквивалентних доза у свим органима и ткивима коригованих тежинским факторима. Јонизујуће зрачење дели се на честично (алфа, бета и неутронско зрачење) и електромагнетно зрачење кратких таласних дужина (X и γ зраци). Према пореклу, природни извори јонизујућег зрачења су космички и земаљски радионуклиди, а у вештачке се убрајају употреба нуклеарног оружја, нуклеарна постројења и производња радиоактивних изотопа.

Директни биолошки ефекти ЈЗ су последица директног јонизујућег дејства на органске молекуле у организму (протеине, ДНК, липиде, угљене хидрате), а индиректни се јављају као последица јонизације воде, при чему настају реактивни слободни радикали, који даље хемијски реагују са органским молекулама, при чему долази до кидања молекулских веза и стварања органских слободних радикала (Аранђеловић и Јовановић 2009).

Нејонизујуће зрачење обухвата део спектра у ком ЕМТ нема довољну енергију да изазове јонизацију средине кроз коју пролази. Нејонизујућем делу спектра електромагнетног зрачења припада цео технички опсег спектра који човек користи, углавном у информационо-комуникационим технологијама (радио-фреквенције, микроталаси, милиметарски таласи, инфрацрвено зрачење и видљива светлост). Упркос томе не може се тврдити, како је то било устаљено раније, да нејонизујуће зрачење нема утицаја на човеков организам при проласку кроз ткива.

Биолошко дејство радиофреквентног зрачења настају услед апсорпције у ткиву, при чему долази до стимулације кретања јона и слободних електрона, што се манифестује као термички ефекат. Он зависи од количине апсорбоване енергије (што зависи од фреквенције, интензитета и поларизације зрачења) и од карактеристика ткива.

На правцу главног снопа зрачења у близини извора велике снаге може доћи до озбиљних оштећења у организму. Промењиво електрично поље ниских фреквенција доводи до индуковања електричног поља на површини и у човековом телу. Долази до формирања дипола у атомима и молекулама унутар ћелија, који са слободним јонима у екстрацелуларној течности теже да се поставе дуж линије сила електричног поља. Промењиво магнетно поље, продирући у ткиво, доводи до стварања електричног поља у телу. То електрично поље индукује вртложне електричне струје, које теку у облику затворених петљи (Аранђеловић и Јовановић 2009).

У Републици Српској врше се систематска али и редовна испитивања нивоа нејонизујућег електромагнетног зрачења у области ниских фреквенција и радиофреквентног зрачења, емитованих са извора телекомуникационих технологија. Према Закону о заштити од нејонизујућег зрачења (Закон 2019), ради спречавања прекомерне изложености у радној и животној средини, врше се испитивања нивоа ових зрачења, при чему се примењују нормативи дефинисани домаћим правилницима, усклађеним са међународним стандардима и нормама.

Осим нејонизујућег зрачења, у животној средини постоји велики је број ризика који доводе до загађења животне средине. Присутно је загађење земљишта (Alijagić et al. 2011; Huremović et al. 2017; Savić et al. 2018; Ilić et al. 2020; Radomirović et al. 2020; Ilić et al. 2022) и ваздуха (Илић и сар. 2008; Ерић и сар. 2008; Илић и Јањуш 2008; Илић 2009; Илић и сар. 2009, 2010; Прерадовић и сар. 2010; Илић 2015; Ilić et al. 2018b; Ilić et al. 2019; Илић и Максимовић 2021; Radović et al. 2022; Ćirišan et al. 2023). Посљедњих година јавља се повећан ниво буке (Јањуш и сар. 2017а, 2017б; Ilić et al. 2018а; 2018с, 2018д, 2018е; Luković et al. 2018; Божић и сар. 2018; Вожић et al. 2020; Ilić et al. 2021; Стојановић Бјелић и сар. 2022) као специфичан облик загађења животне средине (ваздуха).

У животну средину се испушта велики број загађујућих материја. Најчешће их идентификујемо у облику штетних гасова, течности, чврстих материјала, зрачења (електромагнетно и радиоактивно) или као буку, топлоту, вибрације итд. Њихово дејство је веома комплексно, од директног или индиректног утицаја на здравље човека, преко потенцијала да мењају климу планете услед загађења атмосфере. Примера ради, емисија CO₂ је за неколико последњих деценија порасла са 250 милиона на шест милијарди тона годишње. Постојећи биљни свет, који се рапидно смањује, може да у процесу фотосинтезе обради само половину ове емитоване загађујуће материје (Белић 1992).

Екосистем загађују и угрожавају и следеће материје: угљоводоници, озон, флуориди, жива, кадмијум, фосфати, нитрати и нитрити, соли, хлоровани угљоводоници, полихлоровани бифенили, деривати карбоксилних киселина, азбест, полициклични ароматични угљоводоници, нафта, органске материје, чврсти отпацци, јонизујуће и нејонизујуће зрачење, топлота и бука.

Током израде студија у одређеним специфичним областима испитивани су: ваздух, вода, земљиште, ниво буке и електромагнетно зрачење на територији Републике Српске. Настоји се утврдити колико су установљене вредности у складу са ентитетским прописима усвојеним према стандардима и прописима Европске уније. Врше се одговарајућа повремена али

континуална испитивања параметара животне и радне средине. Проучавање ових параметара је континуално с циљем заштите здравља локалног становништва и очувања фундаменталних животних услова према важећим нормама добијеним досадашњим стручним и научним испитивањима.

Осим редовних стручних студија, које су у складу са законском регулативом, раде се и научна истраживања подстакнута међународним и домаћим пројектима. Примењују се најновије научне методе, инструменти и софтверски пакети ради разумевања присуства проблема и ради предикције токова загађујућих материја на специфичним локацијама у ваздуху, води или земљишту. Истраживања су усмерена и на утврђивање нивоа и начина ширења штетног нејонизујућег зрачења и буке.

Студије и научна истраживања рађени су на основу испитивања специфичних локација широм Републике Српске, у индустријским местима са повећаном активношћу током различитих делатности. Најчешће су изучаване следеће локације: рудници, термоелектране, топлане, саобраћајнице или места са повећаном урбанизацијом која је корелисана са повећањем интензитета буке и електромагнетног смога.

14.2. Нејонизујуће електромагнетно зрачење

У свету се, у неколико декада с краја двадесетог и почетка двадесет првог века, одвија не баш континуиран, већ перманентно убрзан развој телекомуникационих технологија, које у основи имају пренос информација путем електромагнетних таласа (Ramakrishnan et al. 2016). У року од само неколико година овакве технологије развијене су до комерцијалне употребе, остављајући огроман и економски и социолошки траг. Емитовани електромагнетни сигнали са новијих базних станица улазе у високофреквентни опсег са ограниченом продорношћу, захтевајући емисију додатне снаге. Тиме се повећава ризик од прекомерне оптерећености животне средине електромагнетним зрачењем.

Истовремено са развојем модерних технологија и урбанизацијом јавља се све већа потреба за електричном енергијом. Да би се ове потребе задовољиле, изграђена су електроенергетска постројења: електране, генератори, трафо станице и вишелинијски високонапонски далеководи.

Ово захтева праћење интензитета електричног и магнетног поља, које се јавља као последица нискофреквентног нејонизујућег зрачења из поменутих извора. Према стандардима и законским регулативама, прати се и оцењује

изложеност овим пољима, али не и њихова поларизација, за коју се још не зна поуздано какве ефекте има на људско здравље.

14.2.1. Високофреквентно нејонизујуће зрачење

Ниво електромагнетног загађења праћен је рапидним развојем нових телекомуникационих технологија. Да би се спречила повећана изложеност опште популације дозама изнад граничних за општу популацију, потребна су испитивања антенских система и њихова планска градња. Савременом мерном опремом могуће је прецизно испитати ниво високофреквентног (ВФ) зрачења на свакој локацију у животној средини, и то са великом поузданошћу. Испитивања се врше углавном у кругу базних станица, носилаца телекомуникационих емисионих уређаја. Осим овог, могуће је испитивати и антене телевизијских и радио-станица оперативне у радиофреквентној области.

Електромагнетним смогом посебно су погођене густо насељене урбане зоне, а међу којим је у Републици Српској несумњиво Бања Лука. Места инсталација базних станица према законској регулативи Републике Српске подлежу испитивању нивоа ВФ зрачења. При томе посебна пажња током испитивања обраћа се на места где је могуће присуство и директна изложеност опште популације: шеталишта, школска дворишта, вртићи, болнице, шопинг центри, ђачки домови и друге осетљиве локације. Да би испитивања била валидна, морају да се врше по одговарајућим дефинисаним процедурама и према важећим међународним стандардима. Окружује нас све више извора ВФ електромагнетног зрачења, поготово у градским урбаним зонама, где интензитет зрачења прати рапидни раст комуникационих сигнала (Роровић et al. 2019). Развој нових технологија захтева надоградњу базних станица преко инсталације нових емитера, али не нужно и елиминацију постојећих, што може да резултује повећањем интензитета електромагнетног зрачења.

Све постојеће телекомуникационе технологије коришћене до сада понегде ускоро би могле бити инсталиране широм Републике Српске, па и Босне и Херцеговине. Међу њима су технологије старије генерације GSM 900, GSM 1800, UMTS 900, UMTS 2100, а одавно телекомуникационим дистрибутерима у Републици Српској доступне су и технологије нове генерације (4G), међу којима су LTE 800 и LTE 1800. Емитери новије генерације 4G технологија углавном су инсталирани на подручју западног Балкана, заједно са већ постојећом инфраструктуром базних станица (Роровић et al. 2019). Нове технологије додатно су оптеретиле ове локације и имају

утицај на оптерећеност животне средине. Извештаји о овој појави су и у стручној и у научној литератури још оскудни. Ни ефекти излагања ВФ зрачењу на људско здравље нису у потпуности расветљени (Poljak 2003).

Познато је неколико штетних биолошких ефеката електромагнетног зрачења, а међу њима је најучесталија манифестација загревања изложеног ткива (Poljak 2003; Poljak et al. 2002). Постоје извештаји којима је образложен ефекат РФ зрачења на промену функција неуротрансмитера, морфологије, електрофизиологије, целуларног метаболизма и генских и и на појаву протеинских експресија одређеног типа ћелија, чак и при малим интензитетима (Sivani and Sudarsanam 2012), док су биолошки ефекти ових промена још нејасни. Предвиђен је разорнији утицај РФ зрачења на децу због суспектибилности ткива њиховог нервног система. Дечији мозак има већу проводност него мозак одраслих, тако да електрично поље продире релативно дубље у ткиво у односу на величину детета (Wiedemann and Schütz 2011). Због свега наведеног, Светска здравствена организација истиче важност истраживања утицаја РФ зрачења на здравље људи.

Приликом испитивања нивоа зрачења на датој локацији примењују се методолошки два различита приступа. Један од њих је моделовање интензитета електромагнетних поља у близини извора. Други, класични приступ испитивању подразумева директну детекцију постојања поља, а потом и мерење интензитета калибрисаним инструментима.

Софистицираним прорачунима могуће је предвидети места око базне станице са повећаним интензитетом РФ зрачења, што се даље користи за одређивање релевантних мерних места. Укупна оптерећеност средине прорачунава се под претпоставком емисије максималне снаге (Poljak 2012), чиме се заправо предвиђа најлошији могући сценарио управо да би био избегнут.

Познато је да емисија зрачења базних станица варира са временом и зависи од низа параметара (доба дана, годишње доба). Ако би се испитивање засновало само на мерењима без теоријске процене, то би могло да утиче на слику о потенцијалном ризику у тренутку максималне оптерећености. Прорачуном је могуће одредити које је место, перманентно или привремено насељено општом популацијом, максимално изложено на датој локацији. За израду предикције оптерећености пре изградње новог емитера на некој локацији важно је сазнање о томе где већ постоје базне станице. Интензитет је кумулативна величина као и изложеност, те је важно прекомерну оптерећеност предупредити различитим мерама, које могу да подразумевају избор антена одговарајућих карактеристика, геометрију њиховог постављања (висина и усмерење) и максимално емитовану снагу са будућих извора.

14.2.1.1. Софтверска решења за теоријску предикцију РФ зрачења

Прорачун интензитета електромагнетног зрачења емитованог са базних станица врши се на основу стандардизоване методологије, дате европским Стандардом BAS EN 62232 2017. За секторске или вишесмерне линеарно конфигуриране емитере, произвољне поларизације, често коришћене у телекомуникационим инфраструктурама, пропација зрачења у зони блиског поља антене базне станице може се описати цилиндричним фронтом, који постепено прелази у сферни у апроксимацији далеког поља. Просте формуле могу бити коришћене за процену поља израченог овим линеарним емитерима. Сферне формуле дате Стандардом BAS EN 62232 примењују се у апроксимацији далеког поља за процену пика у простору и просторну расподелу РФ поља, а еквивалентна густина снаге у овој апроксимацији рачуна се преко:

$$S = \frac{\bar{P}_{net} G_{\theta, \varphi}}{4\pi r^2},$$

где је \bar{P}_{net} (јединица [W]) средња вредност временски усредњене снаге трансмитоване у антенски порт, $G_{\theta, \varphi}$ представља модел појачања који зависи од просторних углова θ и φ , а r је растојање од антене (извора зрачења) до тачке у којој се рачуна S . Средњи квадратни корен (r.m.s) интензитета електричног (E) и магнетног (B) поља рачуна се према следећим обрасцима:

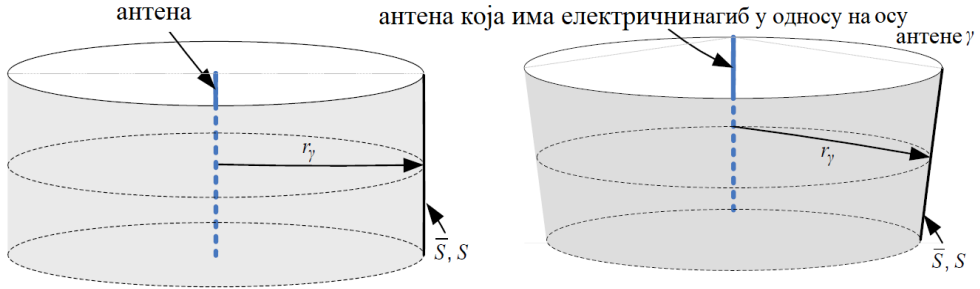
$$E = \frac{\sqrt{30\bar{P}_{net} G_{\theta, \varphi}}}{r} \text{ и } B = \frac{E}{Z_0}.$$

Законитости описане сферним формулама важеће су под условима да је конзервативна процена S , E или B вредности величина $\bar{P}_{net} G_{\theta, \varphi}$ на горњој граници неодређености. Да би дате законитости биле валидне, на правцу где се интензитет поља процењује не смеју да буду уземљене површине нити монтажни објекти. Ако на правцу где се мери поље постоји рефлектујућа уземљена површина, за рачунање S користи се релација:

$$S = (1 + |\Gamma|)^2 \frac{\bar{P}_{net} G_{\theta, \varphi}}{4\pi r^2},$$

где је коефицијент рефлексије $|\Gamma| = 1$ за теоријски најнеповољнији сценарио, када је поље максимално, односно када је зрак рефлектован од савршено проводну површину (нпр. равна метална кров), или $|\Gamma| = 0.6$ за уобичајене рефлектујуће површине. Употреба сферних формула далеког поља у областима блиског поља било би прецењивање интензитета поља зрачења. Законитости емитоване снаге изражене цилиндричним формулама, дате Стандардом BAS EN 62232, могу се користити за опис

ширења РФ зрачења, максималних и средњих вредности поља у цилиндрично симетричном простору антенског низа, непосредно око антене, као што је приказано на Сл. 14.1.



Сл. 14.1. Цилиндрична симетрија коришћена за опис ширења РФ зрачења низа антена базне станице

Fig. 14.1. Cylindric symmetry used for description of spreading RF radiation from base station array

Формуле цилиндричног модела користе се под условом да је угао електричног тилта (γ) линеарног низа антена мањи или једнак 10° , док цилиндричним формулама није могуће предвидети постојање бочних лобова, знатне снаге за углове веће од 10° , те да не постоје рефлектујуће површине или металне конструкције на правцу простирања зрака у ком се процењује интензитет поља.

Прорачун густине снаге једне свесмерне антене (*omnidirectional*) без електричног тилта врши се преко просторно усредњене снаге S , која се добије у релацији:

$$\bar{S}(r) = \frac{\bar{P}_{avg}}{2\pi r L'}$$

а максимум емитоване снаге у простору изражава се преко

$$S(r) = \frac{\bar{P}_{avg}}{\pi r L'}$$

Просторно усмерена или секторска антена (*sector coverage*) емитује просторно усмерену снагу изражену са

$$\bar{S}(r) = \frac{\bar{P}_{avg}}{\phi_{3dB} r L'}$$

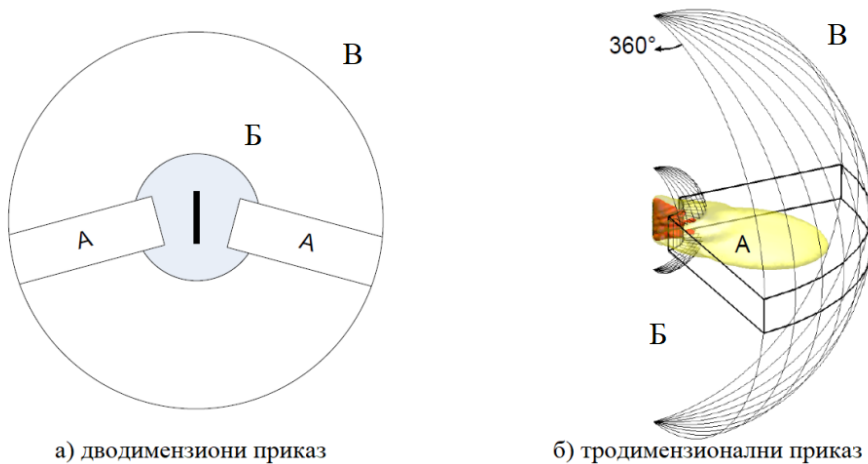
док је максимална снага секторске антене дата преко

$$S(r) = \frac{2\bar{P}_{avg}}{\phi_{3dB} r L'}$$

где су \bar{P}_{avg} средња трансмитована снага дата у W , која улази у конектор умањена за дисипације снаге, ϕ_{3dB} азимут-правац на ком је снага преполовљена у односу на максимум (HPBW) емитоване фреквенције, r

растојање од антене до тачке у којој се врши прорачун и L димензија антене редом. Током имплементације сферних и цилиндричних формула за рачунање интензитета поља и густине снаге неопходно се држати процедуре прописане Стандардом BAS EN 62232 2017. За имплементацију и опис основних алгоритама рачунања густине снаге важно је дефинисати координатни систем и границе зона у којима важе законитости претходно изражене аналитички, у виду сферних и цилиндричних формула за средњу густину снаге у простору \bar{S} и вршну вредност густине снаге S .

Све цилиндричне формуле из којих се добијају густина снаге и интензитет поља аналитички су добијене на основу задатог референтног система у односу на антену, где се сматра да је z -оса Декартовог координатног система постављена дуж антенског низа, односно антена је постављена нормално на x -у раван. Координатни почетак Декартовог координатног система постављен је у средини антене. Разликују се три области (зоне) примене сферних и цилиндричних формула, одређених у складу са анализом неодређености. Ангуларне променљиве аналитичких формула које описују сферне и цилиндричне формуле илустроване су на Сл. 14.2.



Сл. 14.2. а) Партиције простора око антене на зоне А, В и С, поглед одозго. б) Тродимензиони приказ партиција простора око антене на зоне (BAS EN 62232 2017)

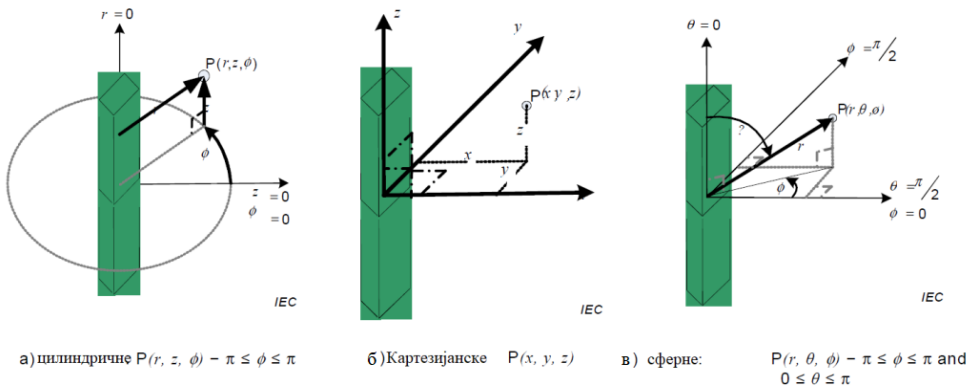
Fig. 14.2. a) Partitions of space around antenna to the zones A, B and C, top view. b) Three-dimensional view of space partitions to the zones (BAS EN 62232 2017)

Код антена са механичким тилтом цео координатни систем заједно са дефинисаним зонама заротиран је за тај одговарајући угао (Сл. 14.3).

Таб. 14.1. Услови избора аналитичких формула на основу дефиниције зона приказаних на Сл. 14.2.

Table 14.1. Conditions for selection of analytical formulas based on the zone definitions shown on Fig. 14.2.

Формуле за детекцију зона помоћу положаја тачака			
	А	Б	В
Метода прорачуна	Максимална/средња За цилиндричне формуле	Максимална/средња Прилагођена сферним формулама	Максимална/средња За класичне сферне формуле
Одређивање границе	Примењиво у правцу висине антене $3.6\lambda \leq r_\gamma \leq \max \left[\frac{2L^2}{\lambda} \right]$ Секторски систем: $-\pi/2 \leq \phi \leq \pi/2$ Вишесмерни систем: $-\pi \leq \phi \leq \pi$	Примењиво изнад и испод висине антене $\frac{L}{2} + 2.5\lambda \leq r \leq 2L^2/\lambda$	$r \geq \max \left[\frac{2L^2}{\lambda} \right]$
У случају електричног даунтилта, услов „правац у висини антене“ је дефинисан као $\frac{-L}{2} - r_\gamma \sin(\gamma) \leq z \leq \frac{L}{2} - r_\gamma \sin(\gamma)$			



Сл. 14.3. Координатни системи у односу на антену преко којих се врши прорачун густине зрачења (BAS EN 62232 2017).

Fig. 14.3. Coordinate systems related to antenna used for calculation of intensity of radiation (BAS EN 62232 2017).

Релација коришћена за процену просторно усредњене густине зрачења у виду пропагирања равних таласа примјењива у зони А (Таб. 14.1) за вишесмерне антене:

$$\bar{S}(r_\gamma) = \frac{\overline{P_{avg}}}{2\pi r_\gamma L (\cos\gamma)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{r_\gamma}{r_0}\right)^2}}, r_0 = \frac{1}{2} D \cdot L \cdot (\cos\gamma)^2,$$

а за секторске антене је дата као:

$$\begin{aligned} \bar{S}(r_\gamma, \phi) &= \frac{\overline{P_{avg}} 2^{-\left(\frac{2\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2}}{\phi_{3dB} \cdot r_\gamma \cdot L \cdot (\cos\gamma)^2 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{r_\gamma}{r_0}\right)^2}}, r_0 \\ &= \frac{1}{12} \phi_{3dB} \cdot D \cdot L \cdot (\cos\gamma)^2, \end{aligned}$$

где је L специфицирана дужина антенског низа, а D максимум усмерености антене, дефинисан као линеарни однос на датој фреквенцији. Ако усмереност није позната, уместо ње се користи појачање антене, G_{side} је ^{Lobe} вертикално појачање, дато као линеарни однос интензитета максимума бочних лобова, r је удаљеност мерена од центра антене, r_γ је удаљеност мерена дуж усмерења антене, γ је угао електричног даунтилта мерена у односу на x - y раван, при чему су вредности угла изнад дефинисане равни негативне док су испод позитивне, λ је таласна дужина ЕМТ, θ је угао од позитивног смера z - ose и линије одређене центром извора зрачења и тачке у којој се рачуна поље (Сл. 14.3), θ_{3dB} је угао правца у вертикалној равни на ком долази до смањења интензитета зрачења за половину, ϕ је угао азимута између позитивног дела x - ose и пројекције линије на x - y раван која спаја центар извора са тачком у којој се рачуна интензитет поља (Сл. 14.3), док су вредности угла ϕ из интервала $-\pi < \phi < \pi$.

Азимут ϕ_{3dB} дат у радијанима представља угао под којим интензитет зрачења опада двоструко у односу на правац усмерења. Законитост коришћена за процену максимума густине зрачења у простору приликом пропагирања равних таласа примјењиве у зони А (Таб. 14.1) за вишесмерну антену је:

$$S(r_\gamma) = \frac{\overline{P_{avg}}}{\pi r_\gamma L (\cos\gamma)^2 \sqrt{1 + \left(\frac{2r_\gamma}{r_0}\right)^2}}, r_0 = \frac{1}{2} D \cdot L \cdot (\cos\gamma)^2,$$

а за секторску антену се максимум интензитета у простору рачуна према релацији:

$$S(r_\gamma, \phi) = \frac{2\overline{P}_{avg} 2^{-\left(\frac{2\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2}}{\phi_{3dB} \cdot r_\gamma \cdot L \cdot (\cos\gamma)^2 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{2r_\gamma}{r_0}\right)^2}}$$

$$r_0 = \frac{1}{12} \phi_{3dB} \cdot D \cdot L \cdot (\cos\gamma)^2.$$

Законитости коришћене за процену просторно усредњене густине зрачења приликом пропагирања равних таласа примјенљиве у зони Б (Таб. 14.1) за вишесмерну антену:

$$S(r, \theta) \approx \overline{S}(r, \theta) = \frac{1,2\overline{P}_{net} G_\theta}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, G_\theta = 1,26 G_{side} + G \cdot 2^{-\left(\frac{\theta - \gamma - \frac{\pi}{2}}{\theta_{3dB}}\right)^2},$$

док се за секторску антену промена просторно усредњеног интензитета рачуна према:

$$S(r, \theta) \approx \overline{S}(r, \theta) = \frac{1,2\overline{P}_{net} G_{\theta, \phi}}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, G_{\theta, \phi} = 1,26 G_{side} + G \cdot 2^{-\left(\frac{\theta - \gamma - \frac{\pi}{2}}{\theta_{3dB}}\right)^2} - \left(\frac{1,9\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2,$$

где су $G_{\theta, \phi}$ и G_θ појачања антена у функцији сферних координата θ и ϕ (Сл. 14.3). Дате адаптиране сферне формуле дају вредности густине снаге зрачења S , на најбољем нивоу поверења за „техничку неодређеност“, при чему законитост важи у комплетној зони Б.

Прорачун просторне дистрибуције изложености (интензитета) високофреквентном електромагнетном зрачењу ради се конзервативним приступом, описаним у Стандарду BAS EN 62232 2017.

Дате сферне и цилиндричне законитости и зоне њиховог важења инкорпорирани су кроз нумерички код програмиран у програмском језику *Wolfram Mathematica*.

Улазни подаци овог софтвера су техничке карактеристике свих емитера (антена и свих технологија) ВФ зрачења на локацији (усмерење, ефективна емитована снага, појачање, хоризонтална и вертикална ширина снопа, електрични и механички тилтови, геометријске карактеристике антена, висина на којој је антена постављена) и карактеристике површине на којој се

прорачунава изложеност (коефицијент рефлексије тла, висина изнад тла и радијус површине са поделом).

Отварају се табеле, са дефинисаном структуром и смештене у одговарајућу фасциклу, које се даље попуњавају карактеристикама свих емитера на локацији, технологијама на свим постављеним секторима.

Први лист садржи карактеристике мапа на којима се пројектује изложеност, а потом се одређују тачке у простору где се врши прорачун изложености (висине и корак) (Сл. 14.4).

Свака следећа страна ексел табеле садржи опис свих појединачних технологија на свим постојећим секторима.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	X	263.65	Дужина очитана на мапи у правцу исток запад дата у метрима						
2	Y	152.71	Очитана дужина на мапи у правцу север југ						
3	Локација	Обудовац	Назив локације						
4	Висине (date u метрима [m]) на којима се пројектује изложеност. Висине раздвајати зarezом!	2,5	Висина на којој се рачуна изложеност изражена у метрима						
5	Радијус круга (u метрима [m]) у чијој површини се приказује изложеност	100	Радијус круга са центром у тачки зрачења на чијој површини се приказује изложеност, задат у метрима						
6	Корак партиционисања простора на тачке (grid) изражен u метрима [m]	1.5	Корак поделе селектоване површине, задат у метрима.						

Први лист

Сл. 14.4. Задавање координата у простору на испитиваној локацији у којима се врши нумерички прорачун изложености

Fig. 14.4. Defining coordinates in space around the investigated location in which the numerical calculation of exposure is performed

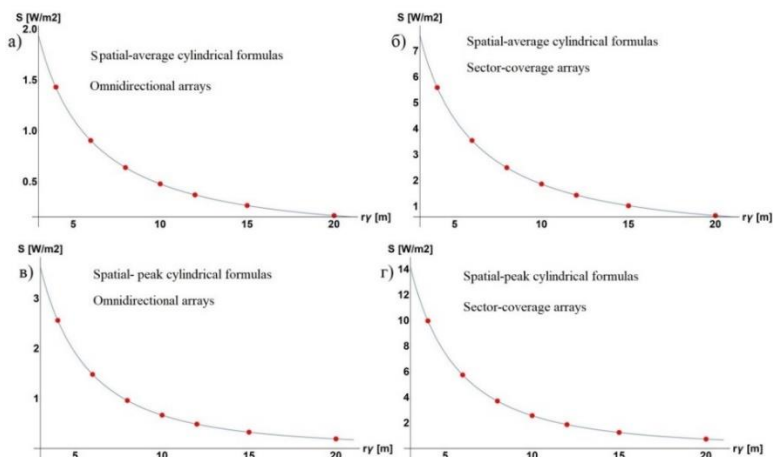
	A	B	
1	Antenna type: sector or omni	Sector	Тип антене: omni или sector
2	Azimuth [°]	30	Угао азимута у степенима
3	Frequency [MHz]	925	Фреквенција зрачења
4	Power [W]	80	Снага ВФ зрачења у W
5	OutputPower [dBm]		Ефективна емитована снага у dBm
6	Array Length [m]	2.158	Димензија антенског низа
7	Number of antenna elements-carriers	2	Број носилаца
8	Gain [dBi]	17	Појачање антене
9	GainLobe [dBi]	-3.6	Бочни лоб
10	Vertical HPBW [°]	8	Вертикална ширина снопа
11	Horizontal HPBW [°]	84	Хоризонтална ширина снопа
12	Electrical downtilt [°]	5	Угао електричног тилта
13	Mechanical downtilt [°]	0	Механички угао тилта
14	Reflection coefficient	0	Коефицијент рефлексије таласа од гло
15	Antenna height [m]	20	Висина на којој се налази антена

Сл. 14.5. Опис присутних технологија по сектору
 Fig. 14.5. Description of present technology per sector

Све инкорпориране функције (субрутине) софтвера тестиране су на валидационим задацима из Стандарда BAS EN 62232 2017.

Тако су помоћу програмских функција цилиндричних формула генерисани референтни резултати валидационих примера илустровани на Граф. 14.1.

Функције зависности средњих (горњи панел слике) и вршних (доњи панел слике) интензитета зрачења од растојања за свесмерне (лева колона на слици) и секторске (десна колона на слици) антене из формула описаних сферним законитостима потпуно су у сагласности са свим датим референтним вредностима валидационих примера важећег Стандарда.

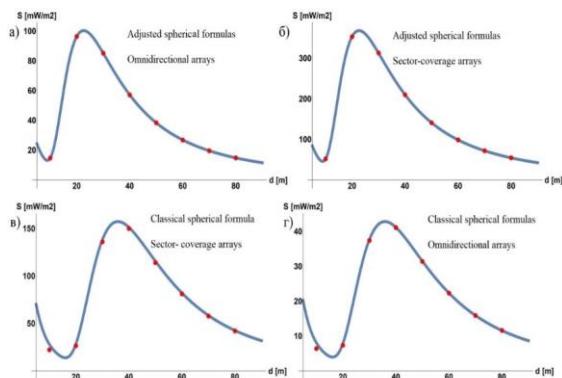


Граф. 14.1. Пуном линијом приказан је усредњени (горњи панел) и вршни (доњи панел) интензитет зрачења вишесмерне (леви панел) и секторске антене (десни панел) у зависности од растојања, генерисан функцијама цилиндричних формула инкорпорираних у програмском коду. Црвеним тачкама дате су валидационе вредности за сва четири типа цилиндричних формула.

Graph 14.1. The solid line shows the average (upper panel) and peak (lower panel) radiation intensity of the omnidirectional (left panel) and sector antenna (right panel) depending on the distance, generated by functions of cylindrical formulas incorporated in the program code. Validation values for all four types of cylindrical formulas are labeled with red dots

Испрограмиране примењене и класичне функције зависности интензитета од растојања, описане сферним законитостима, тестиране су валидационим резултатима из важећег Стандарда. Резултати у виду графика инкорпорираних функција, које у све четири ситуације: прилагођене и класичне свесмерне (леви панел слике) и прилагођене и класичне секторске (десни панел слике) приказани су на Граф. 14.2.

Излаз из програма је контурни дијаграм изложености опште популације, пројектован на сателитску слику локације, добијене са *Google Earth*, и вредности најниже тачка од тла и најудаљеније тачке од извора у којима долази до прекорачења изложености за општу популацију и професионална лица. Осим могућности урачунавања свих емитера на датој локацији који се налазе на истом стубу, постоји могућност калкулације, а потом и пројектовања укупне изложености када на локацији постоји више дистантних места на којима су извори ВФ зрачења.



Граф. 14.2. Пуном линијом приказан је интензитет зрачења вишесмерне (леви панел) и секторске антене (десни панел) у зависности од растојања, генерисан функцијама прилагођених (горњи панел) и класичних (доњи панел) сферних формула инкорпорираних у програмском коду. Црвеним тачкама дате су валидационе вредности за сва четири типа сферних формула.

Graph 14.2. The solid line shows the radiation intensity of the omnidirectional (left panel) and sector antenna (right panel) depending on the distance, generated by the functions of the adjusted (upper panel) and classical (lower panel) spherical formulas incorporated in the program code. Validation values for all four types of spherical formulas are labeled with red dots

14.2.1.2. Гранични нивои и поступак мерења електричног поља радиофреквентног зрачења

Свјетска здравствена организација и Министарство здравља (Влада Републике Српске; Закон 2019) у вези са коришћењем нејонизујућих зрачења саветују опрезан приступ и превентивне мере којима се подразумева:

- примена националних и међународних прописа;
- примена мера заштите од зрачења;
- активно учествовање међународних тела и локалне власти у информисању јавности.

У погледу мерења изложености електромагнетном пољу које потиче од базних станица у складу са Правилником о заштити од електромагнетних поља (Правилник 2021) одређене су три групе изложености:

- подручје повећане осјетљивости, где су дефинисане граничне вредности интензитета ЕМЗ у зависности од фреквенције, препоручене за општу популацију;
- граничне вредности интензитета поља препоручене за јавна подручја;
- подручје професионалне изложености, где су прописане граничне вредности интензитета поља у зависности од фреквенције, за професионална лица.

Таб. 14.2. Границе излагања зрачењу препоручене за подручја повећане осетљивости (општа популација)

Table 14.2 Limit values of exposure recommended for general population

Фреквенција f	Јачина електричног поља E (V/m)	Јачина магнетног поља H (A/m)	Густина магнетног тока B (μT)	Густина снаге (еквивалентног равног таласа) S _{ekv} (W/m ²)
9 – 100 kHz	34,8	2	2,5	–
100 – 150 kHz	34,8	2	2,5	–
0,15 – 1 MHz	34,8	0,292/f	0,368/f	–
1 – 10 MHz	34,8/f ^{1/2}	0,292/f	0,368/f	–
10 – 400 MHz	11,2	0,0292	0,0368	0,326
400 – 2 GHz	0,55 f ^{1/2}	0,00148 f ^{1/2}	0,00184 f ^{1/2}	f/1250
2 – 10 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6
10 – 300 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6

Таб. 14.3. Границе излагања зрачењу препоручене за професионална лица

Table 14.3. Limit values of exposure recommended for workers

Фреквенција f	Јачина електричног поља E (V/m)	Јачина магнетног поља H (A/m)	Густина магнетног тока B (μT)	Густина снаге (еквивалентног равног таласа) S _{ekv} (W/m ²)
9 – 100 kHz	87	5	6,25	–
100 – 150 kHz	87	5	6,25	–
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	0,92/f	–
1 – 10 MHz	87/f ^{1/2}	0,73/f	0,92/f	–
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	1,375 f ^{1/2}	0,0037 f ^{1/2}	0,0046 f ^{1/2}	f/200
2 – 10 GHz	61	0,16	0,20	10
10 – 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Да би се одредила просторна расподјела електромагнетног зрачења, у другој фази спроводи се мерење интензитета електричног поља релевантних извора на великом броју мерних позиција у оквиру значајних зона разматране локације. Одређивање релевантних извора врши се визуелном анализом локације и њене ближе околине узимајући у обзир податке из националне базе радио-предајника и податке добијене од мобилног оператера и претраживањем радио-фреквенцијског спектра на лицу места. За претраживање радио-фреквенцијског спектра у опсегу од 30 MHz до 300 GHz користе се два система за фреквентно селективна мерења која се састоје од спектралног анализатора *Rohde&Schwarz FSH4* или *FSH8* и мерне сонде *Rohde&Schwarz TS-EMF B1* мерног опсега од 1 mV/m до 100 V/m (Сл. 14.6).

Мерење нивоа електромагнетних поља обавља се калибрисаном мерном опремом, чије су две главне компоненте: мерна сонда и мерни уређај. Мерна сонда се користи као мерни елемент за поље и дизајнирана је тако да не утиче на поље које се мери. Мерни уређај обрађује сигнал који долази са мерне сонде и даје вредност мерене величине електромагнетног поља. Мерна сонда је направљена тако да има три међусобно ортогонална мерна елемента који служе за независно мерење три просторне компоненте поља.



Сл. 14.6. Фреквентно селективни мерни систем садржи спектрални анализатор *Rohde&Schwarz FSH8* са изотропном мерном сондом *Rohde&Schwarz TS-EMF B1*

Fig. 14.6. Measurement system worked on frequency selection contains spectral analysator Rohde&Schwarz FSH8 with isotropic measure probe Rohde&Schwarz TS-EMF B1

Ова триаксијална мерна сонда мери интензитет резултантног поља који се добија као корен збира квадрата интензитета три просторне компоненте поља. Према правилу, мерна сонда мора бити постављена на висину од 1,7 m изнад тла на непроводном носачу или, у случају потребе (поседни услови),

на висинама 1,1 m, 1,5 m и 1,7 m. Због утицаја људског тела на поље које се мери, а самим тим и на мерни резултат, чланови мерног тима морају бити удаљени од мерне сонде најмање 1,5 m. Температура при којој се обавља мерење треба да је унутар граничних вредности за мерну опрему да би се постигле што ниже вредности највеће проширене мерне несигурности. Током мерења треба обратити пажњу да се температура битно не мења. Мерења се врше еталонираним фреквенцијски селективним мерним системом. Избор мерних места врши се тако да се налазе унутар зоне далеког поља те да се омогући најбоља оцена нивоа електромагнетног зрачења и утицаја на становништво и животну средину, са нагласком на зоне посебне осјетљивости. Подаци о сваком одабраном мерном месту, као што су азимутна позиција, теренски опис, ГПС координате, висина мерног места, температура, влажност, подручје осетљивости, региструју се и засебно евидентирају. Подаци о мерним тачкама одређују се теренским мерењем удаљености и димензија објеката, мерењем метеоролошких параметара одговарајућим мерним уређајем, идентификовањем географских координата. Сакупљени подаци детаљно се опишу и сниме фото-апаратом. Поступак мерења електромагнетног зрачења унутар фреквентног опсега од 9 до 300 GHz дефинисан је Правилном (Правило 2021) о ограничењу емисије електромагнетног зрачења. Мерни поступак почиње провером глобалног стања радиофреквентног спектра одабране мерне тачке на целом мерном опсегу. Претраживање радио-фреквенцијског спектра врши се анализатором спектра Rohde&Schwarz FSH4 или FSH8 у опсегу од 30 MHz до 300 GHz, на основу чега се добија информација о интензитету емитованог сигнала специфичних технологија (GSM, UMTS, LTE, FM, TV итд.) на датој локацији (Сл. 14.7).



Сл. 14.7. Фреквентни спектар снимљен у околини базне станице на локацији Бијељина - Обарска

Fig. 14.7. Frequent spectrum recorded in vicinity of base station at the location Bijeljina - Obarska

Анализом спектра виде се фреквенције доминантне према интензитету, за које се селекују пакети за даље мерење са временским усредњавањем. Овим се рационализује време мерења, чиме се фреквенције које су уроњене у шум, а нису експлицитно наведене у захтеву за мерење, не обрађују.

Методологија мерења приликом испитивања интензитета електромагнетног зрачења у животној средини подразумева претраживање фреквентно-селективном методом (ускопојасном), а потом адекватном обрадом добијених резултата према важећим домаћим правилницима и међународним стандардима. Приликом мерења примењују се следећи кораци:

- мерење се обавља у зони далеког поља,
- неопходна су изотропна мерења пошто електромагнетно зрачење потиче од више независних извора,
- временски усредњаване измерене вредности су квадрати ефективних вредности електричног поља у временском интервалу мерења које траје шест минута.

Према важећем Стандарду BAS EN 62232 2017, максимална процењена мерна несигурност током обраде мерних резултата високофреквентног зрачења на терену не може да прелази 6 dB.

На основу поменутог стандарда, идентификовани су узроци грешака који се јављају током мерења РФ поља и квантификован је њихов утицај на укупни резултат. Комбинована стандардна мерна несигурност за ВФ зрачење, добијена према важећем стандарду, рачуна се на основу обрасца:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^N (c_i^2 u_i^2)} = \sqrt{0,9191 + 0,2603(u_1^2 + u_2^2) + (u_3^2 + u_4^2)/3}.$$

Фактор покривања за тражени интервал поузданости од 95% износи $k = 2$, на основу ког се добије израз за проширену мерну несигурност:

$$U = k \cdot u_c = 2 \sqrt{0,9191 + 0,2603(u_1^2 + u_2^2) + (u_3^2 + u_4^2)/3}.$$

Вредности фреквенцијски завиних функција $u_1(f)$, $u_2(f)$ и $u_3(f)$ рачунају се из аналитичких израза:

$$u_1(f) = \begin{cases} 1.0dB, f < 3.6GHz \\ 1.5dB, f > 3.6GHz' \end{cases}$$

$$u_2(f) = \begin{cases} 1.5dB, f = 900MHz \\ 1.7dB, f = 1.8GHz \\ 1.8dB, f \text{ су остале фреквенције} \end{cases},$$

$$u_3(f) = \begin{cases} 1.0dB, f = 900MHz \\ 1.7dB, f = 1.8GHz \\ 2.1dB, f \text{ су остале фреквенције} \end{cases},$$

док је функција $u_4(f)$, која представља стандардну несигурност процењену за утицај меритеља на пертурбацију електричног поља дата табеларно (Таб. 14.4).

Таб. 14.4. Стандардна несигурност процењена за електрично поље која се јавља услед утицаја мерача за радио-таласе различитих фреквентних опсега

Table 14.4. The standard uncertainty estimation for the electric field occurs as perturbation of the meter for radio waves in different frequency ranges

Радио-сервис	$u_4[dB]$	$u_c[dB]$	$U = k \cdot u_c[dB]$
MF AM радио 0,55–1,72 MHz	0,7	1,91	3,82
HF радио 3–30 MHz	0,9	1,94	3,88
VHF FM радио 88–108 MHz	0,7	1,91	3,82
VHF TV 54–216 MHz	1,0	1,96	3,91
UHF TV 470–890 MHz	1,4	2,04	4,10
Мобилна телефонија 800–900 MHz	2,6	2,4	4,8
Мобилна телефонија 1800–2100 MHz	2,7	2,43	4,88
Микроталаси и сателитски линкови	2,5	2,43	4,86

За сваку технологију, осим измерене вредности електричног поља (E_{izmj} [V/m]), на датој фреквенцији потребно је одредити екстраполациони фактор (K) за дату технологију, одакле се добија проширена вредност јачине поља на датој фреквенцији (E_{max} [V/m]). Ради адекватне процене интензитета зрачења, проширене вредности поља мултипликују се са мерном несигурношћу. Проширење измерених вредности врши се за сваку технологију (GSM, UMTS и LTE) посебно и у зависности од фреквентног опсега.

Максимално оптерећење (E_{max}) измерених вредности електричног поља E_{BCCH} контролног канала GSM технологија процењује се на следећи начин:

$$E_{max} = E_{BCCH} * \sqrt{n_{TRX}},$$

где је n_{TRX} број канала GSM контролних и прометних канала, а ако овај број није познат, узима се да је његова вредност $n_{TRX} = 4$.

Прорачун поља максималног оптерећења у фреквентном опсегу UMTS технологија преко измереног нивоа поља E_{UMTS} добије се из релације;

$$E_{max} = E_{UMTS} * K_{RBW} * \sqrt{n_{p-cpich}},$$

где је $n_{p-cpich} = 10$, а K_{RBW} корекциони фактор, који се користи када је ширина сигнала већа од резолуције ширине бенда (RBW). Проширење интензитета измереног поља у спектралном опсегу LTE технологије рачуна се тако што се измерена вредност E_{MEAS} помножи фактором максималне екстраполације:

$$E_{max} = E_{MEAS} * K_{RBW},$$

где је $K_{RBW} = \sqrt{(B_{signal}/(1.1 \times 1))}$, корекциони фактор ширине сигнала B_{signal} , чије су вредности 18 MHz и 9 MHz редом за технологије LTE 1800 и LTE 800. Добијени проширени резултати увећавају се за мерну несигурност, која такође зависи од фреквенције и технологије. Густина снаге добија се применом релације:

$$S \left(\frac{W}{m^2} \right) = E \cdot H = \frac{E^2}{Z_0},$$

где је $Z_0 = 377 \Omega$ вредност импедансе слободног простора. Укупна јачина електричног поља рачуна се према изразу:

$$\Sigma E_{uk} = \sqrt{\Sigma_f E_{f,max}^2},$$

где је $E_{f,max}$ вредност јачине електричног поља добијена из измерене вредности, након процене проширења у складу са технологијом и урачунавајући мерну несигурност у складу са фреквентним опсегом. Према националним правилницима и међународним стандардима, процена нивоа изложености врши се према коефицијенту изложености (n).

Објективна слика оптерећености животне средине ВФ зрачењем добија се урачунавањем свих доприноса, као кумулативни допринос укупној изложености електромагнетних поља свих детектованих фреквенција, при чему према важећим прописима мора да буде испуњен следећи услов:

$$n < 1,$$

где је укупан допринос сума свих доприноса појединих фреквенција:

$$n = \sum_f \left(\frac{E_{f,max}}{E_{f,g}} \right)^2,$$

а $E_{f,g}$ је гранична вредност за изложеност на фреквенцији f , дефинисана табелама за општу популацију (Таб. 14.2) и професионална лица (Таб. 14.3).

Инсталација антена телекомуникационих технологија на стубовима је безбеднија из угла нивоа оптерећења животне средине емитовањем ВФ зрачења, првенствено због висине, односно удаљености од извора до места где може доћи до излагања опште популације. У насељу Велика Обарска, у општини Бијељина, смештена је базна станца кодног назива BIJEIJINA_OBARSKA, на висини 25 m изнад тла, чије су географске координате 44°49'10.48"N 19°11'36.77"E, са две технологије GSM 900 и UMTS 900. Ова базна станица власништво је оператера ЈП Хрватске телекомуникације. Карактеристике технологија које функционишу на овој локацији, међу којима су подаци о излазној снази емитера по носиоцу, максималној излазној снази по технологији, о излазној снази радио-јединица, ЕИРП, броју радио-носилаца, емитованој фреквенцији, затим о карактеристикама инсталираних антена (број антена, антенски систем, азимут усмерења, механички нагиб, електрични тилт, добитак, хоризонтална ширина снопа и вертикална ширина снопа) и подаци о каблу, наведени су у Таб. 14.5.

Таб. 14.5. Инсталиране технологије на локацији Бијељина - Обарска

Table 14.5. Installed technologies at location Bijeljina - Obarska

СЕКТОРИ	GSM 900					
	1		2		3	
Максимална излазна снага по носиоцу	30 W		30 W		30 W	
Максимална излазна снага по технологији	60 W		60 W		60 W	
Максимална излазна снага радио-јединица	1x60 W		1x60 W		1x60 W	
EIRP	62,57 dBm		62,57 dBm		62,57 dBm	
Број радио-носилаца	1		1		1	
BCCH број / фреквенција [MHz]	80	951.0	46	944.2	42	943.4
ПОДАЦИ О АНТЕНИ						
Број антена	1		1		1	

Антенски систем	RFS антена APXVE26F-C	RFS антена APXVE26F-C	RFS антена APXVE26F-C
Азимут	125°	215°	295°
Механички тилт	0°	0°	0°
Електрични тилт	1°	1°	1°
Укупни нагиб	1°	1°	1°
Добитак [dBi]	17,8	17,8	17,8
Хоризонтална ширина снопа	61°	61°	61°
Вертикална ширина снопа	7,2°	7,2°	7,2°

UMTS 900						
СЕКТОРИ	1		2		3	
Максимална излазна снага по носиоцу	20 W		20 W		20 W	
Максимална излазна снага по технологији	40 W		40 W		40 W	
Максимална излазна снага радио-јединица	1x80 W		1x80 W		1x80 W	
EIRP	60,01 dBm		60,01 dBm		60,01 dBm	
Број радио-носилаца	1		1		1	
UARFCN број / фреквенција [MHz]	3036	947,2	3036	947,2	3036	947,2
Снага пилот-канала (dB)	34,0		35,0		35,0	
Шифровани код (Scrambling Code)	6		11		12	

ПОДАЦИ О АНТЕНИ						
Број антена	1		1		1	
	RFS антена		RFS антена		RFS антена	
Антенски систем	APX86- 906515S		APX86- 906515S		APX86- 906515S	
Азимут	150°		225°		300°	
Механички тилт	0°		0°		0°	
Електрични тилт	0°		0°		0°	
Укупни нагиб	0°		0°		0°	
Добитак [dBi]	17,0		17,0		17,0	
Хоризонтална ширина снопа	65°		65°		65°	
Вертикална ширина снопа	9,5°		9,5°		9,5°	

Подаци дати у Таб. 14.5. користе се као улазни параметри за теоријску процену, којом се предвиђа најнеповољнији сценарио изложености на локацији (Сл. 14.8), а на основу ког се даље одређују мерне тачке приликом испитивања нивоа електромагнетних поља високе фреквенције.



Сл. 14.8. Расподела укупне изложености нејонизујућем ВФ зрачењу емитованом са базне станице БИЈЕЉИНА_ОБАРСКА по површини круга радијуса 125 m на висини 2 m изнад тла

Fig. 14.8. Distribution of total exposure to the non-ionized high frequency radiation emitted from base station BIJELJINA_OBARSKA over the circle of the 125 m radius, at 2 m above the ground

Од наведених параметара, међу којима су ефективна емитована снага и фундаменталне карактеристике антена, зависи просторна дистрибуција интензитета зрачења. На основу ових параметара врше се систематска испитивања, која подразумевају предвиђање оптерећености локације након планиране инсталације базне станице или неког другог антенског система који емитује нејонизујуће зрачење у области високих фреквенција. Теоријски предвиђени максимум укупне изложености, која је према дефиницији кумулативни допринос свих емитованих зрачења различитих фреквенција, на висини 2 m изнад тла у радијусу 125 m око антене, за општу популацију износи 0,055, што је знасно испод граничне вредности ($n = 1$).

Најнижа тачка у којој је јавља гранична вредност изложености за општу популацију налази се непосредно уз стуб (због бочних лобова патерна антене) на висини 18,4 m, а најудаљенија тачка од антене где је изложеност

према стандардима прекомерна за општу популацију налази се на правцима сектора емитовања на удаљености 24,5 m од антена.

На основу процене дате на Сл. 14.8, одређене су мерне тачке у околини извора приказане на Сл. 14.9. Опис сваке мерне тачке, просторни положај у односу на извор и технологије које га на том правцу покривају дат је кроз: координате мерног места, извор у чијем је захвату (Извор), удаљеност од њега ($l(m)$), угао у односу на извор (Азимут ($^{\circ}$)), технологије које покривају изабрано мерно место (НАЈВЕЋИ ЗАХВАТ СЕКТОРА) (Таб. 14.6).

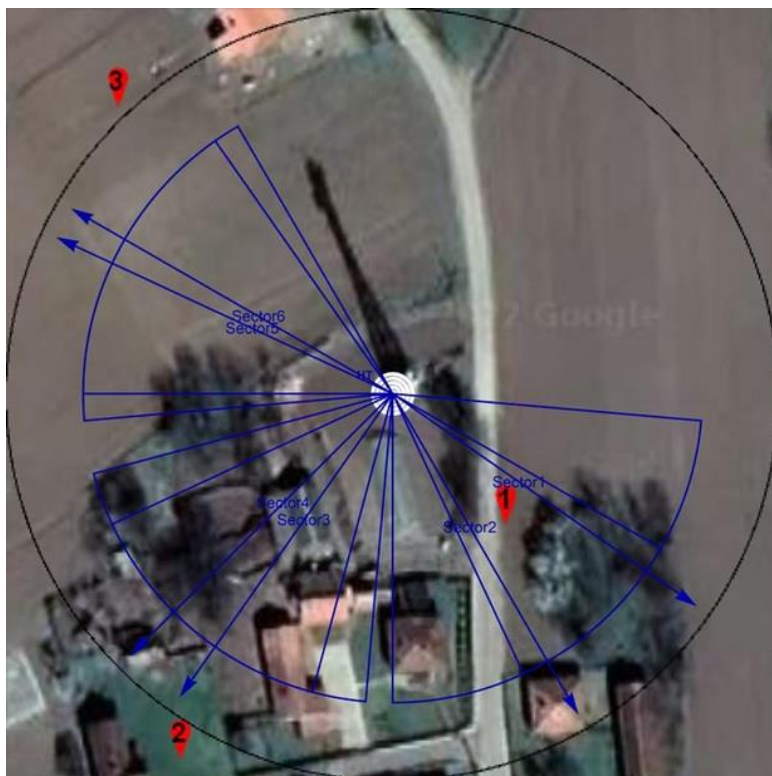
Таб. 14.6. Опис положаја мерних тачака у односу на базну станицу и њен захват инсталираним технологијама

Table 14.6. Description of position of measurement points related to base station and their coverint with appropriate technologies

МЕРНА ТАЧКА 1			
КООРДИНАТЕ			44°49'09.920"N 19°11'37.580"E
Извор	$l(m)$	Азимут ($^{\circ}$)	НАЈВЕЋИ ЗАХВАТ СЕКТОРА
1.	24.8	134°	HT, GSM 900, UMTS 900 – 125° / 150°
МЕРНА ТАЧКА 2			
КООРДИНАТЕ			44°49'08.74"N 19°11'35.28"E
Извор	$l(m)$	Азимут ($^{\circ}$)	НАЈВЕЋИ ЗАХВАТ СЕКТОРА
1.	62.9	211°	HT, GSM 900, UMTS 900 – 215° / 225°
МЕРНА ТАЧКА 3			
КООРДИНАТЕ			44°49'12.02"N 19°11'34.84"E
Извор	$l(m)$	Азимут($^{\circ}$)	НАЈВЕЋИ ЗАХВАТ СЕКТОРА
1.	63.7	318°	HT, GSM 900, UMTS 900 – 295° / 300°

Измерени подаци на испитиваној локацији обрађени су како је већ изложено, извршено је проширење према технологији, а потом и на основу мерне несигурности, што је изложено у Таб. 14.7.

Колоне слева надесно садрже редом: централна фреквенција релевантних извора, број идентификације 3G канала или ћелије за 4G технологију, подаци о власнику базе станице, односно радио или ТВ емитеру, граничне вредности електричног поља на датој фреквенцији (E_{gr} [V/m]), измерене вредности електричног поља на датој фреквенцији (E_{izmj} [V/m]), екстраполациони фактор (K), максималне вредности јачине електричног поља на датој фреквенцији (E_{max} [V/m]), коефицијент изложености рачунат према граничним вредностима за општу популацију на датој фреквенцији ЕМЗ (n) и у последњој колони дате су вредности густине (S [mW/m²]) емитоване снаге на датој фреквенцији.



Сл. 14.9. Распoдела мерних места у околини базне станице БИЈЕЉИНА_ОБАРСКА
Fig. 14.9. Measurement points selected around base station BIJE LJINA_OBARSKA

Екстраполирана, а потом и проширена за мерну несигурност, мерења (Таб. 14.7) у приказаним тачкама (Сл. 14.9) указују да нема прекорачења изложености, што је у складу и са теоријским предикцијама приказаним на (Сл. 14.8).

Изложеност локације у кругу тржног центра Меркатор у Бањој Луци, на ком је постављена базна станица типа DBS3900 HUAWEI, проверена је систематским испитивањем нивоа ВФ електромагнетног зрачења, мерењем интензитета поља инсталираних технологија и прорачуном изложености при максимално предвиђеном оптерећењу према техничкој документацији добијеној од оператора. Ова базна станица налази се у ужем градском језгру, при чему је присуство људи непосредно испод антена вероватно дужи временски период током дана. Осим посетилаца тржног центра, у непосредној близини, на правцу једног од сектора, налази се улаз у студентски кампус, место где је током целог дана могућа изложеност углавном студентске популације.

Таб. 14.7. Резултати мерења по фреквенцијама за све технологије и њихове фреквентне опсеге

Table 14.7. Results of measurement by frequencies for all technologies and their frequency bands

f [MHz]	S_c / Cell Id	Власник	E_{gr} [V/m]	E_{izmj} [V/m]	K	E_{max} [V/m]	n	S [mW/m ²]
МЕРНА ТАЧКА				1				
ТЕХНОЛОГИЈА UMTS								
947,2	11.	HT_9BJOB ARB	16,93	0,0323	10	0,1651	0,0000 95	0,0723
947,2	12.	HT_9BJOB ARC	16,93	0,0323	10	0,1651	0,0000 95	0,0723
947,2	6.	HT_9BJOB ARA	16,93	0,0323	10	0,1651	0,0000 95	0,0723
ТЕХНОЛОГИЈА GSM								
943,4	42.	HT_BJOBA RC	16,89	0,0969	4	0,3134	0,0003 44	0,2605
944,2	46.	HT_BJOBA RB	16,90	0,0747	4	0,2415	0,0002 04	0,1547
951,0	80.	HT_BJOBA RA	16,96	0,2067	4	0,6682	0,0015 52	1,1843
Укупни коефицијент изложености n							0,0023 85	
Укупна густина снаге S [mW/m ²]								1,8164
f [MHz]	S_c / Cell Id	Власник	E_{gr} [V/m]	E_{izmj} [V/m]	K	E_{max} [V/m]	n	S [mW/ m ²]
МЕРНА ТАЧКА				2				
ТЕХНОЛОГИЈА UMTS								
947,2	11.	HT_9BJOB ARB	16,93	0,0560	10	0,286 5	0,00028 6	0,2177
947,2	12.	HT_9BJOB ARC	16,93	0,0560	10	0,286 5	0,00028 6	0,2177
947,2	6.	HT_9BJOB ARA	16,93	0,0560	10	0,286 5	0,00028 6	0,2177
ТЕХНОЛОГИЈА GSM								
943,4	42.	HT_BJOBA RC	16,89	0,0663	4	0,214 2	0,00016 1	0,1217
944,2	46.	HT_BJOBA	16,90	0,2849	4	0,921	0,00297	2,2510

		RB				2	1	
951,0	80.	HT_VJOVA RA	16,96	0,0560	4	0,181 1	0,00011 4	0,0870
Укупни коефицијент изложености n							0,00410 4	
Укупна густина снаге S [mW/m ²]								3,1128

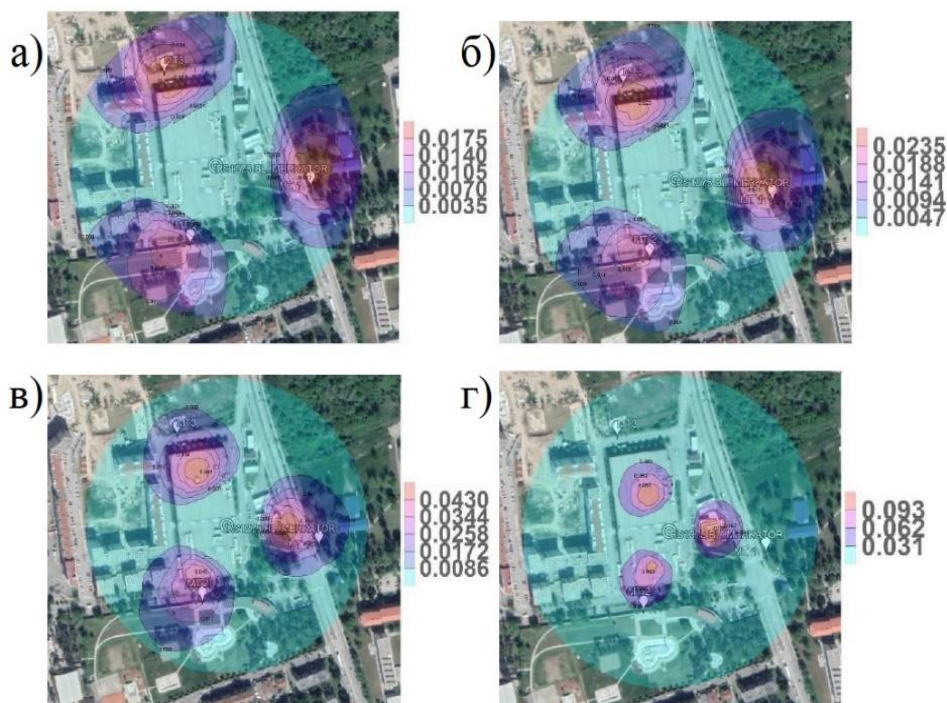
f [MHz]	Sc / Cell Id	Власник	E _{gr} [V/m]	E _{izmj} [V/m]	K	E _{max} [V/m]	n	S [mW/ m ²]
МЕРНА ТАЧКА				3				
ТЕХНОЛОГИЈА UMTS								
947,2	11.	HT_9VJOB ARB	16,93	0,0583	10	0,2978	0,0001 0	0,2352
947,2	12.	HT_9VJOB ARC	16,93	0,0583	10	0,2978	0,0003 10	0,2352
947,2	6.	HT_9VJOB ARA	16,93	0,0583	10	0,2978	0,0003 10	0,2352
ТЕХНОЛОГИЈА GSM								
943,4	42.	HT_VJOVA RC	16,89	0,4933	4	1,5949	0,0089 13	6,7472
944,2	46.	HT_VJOVA RB	16,90	0,2536	4	0,8198	0,0023 53	1,7827
951,0	80.	HT_VJOVA RA	16,96	0,0637	4	0,2060	0,0001 48	0,1126
Укупни коефицијент изложености n							0,0123 44	
Укупна густина снаге S [mW/m ²]								9,3481

Предикција најнеповољнијег сценарија изложености опште популације рађена је за висине 2, 5, 10 и 15 m изнад тла (Сл. 14.10) у сагласности су са мерењима у мерним тачкама MT1, MT2 и MT3, где су мерени нивои зрачења технологија UMTS 2100, UMTS 600, GSM 1800, GSM 900 TV (DVBT_Ch21-66), при чему су редом добијени резултати укупне изложености 0,01, 0,005 и 0,04. Мерна места су одабрана према предикцијама тачака локалног максимума изложености, како је приказано на пројекцијама (Сл. 14.10).

На основу приказаних пројекција изложености у околини локације Меркатор – Бања Лука види се да се једна од тачака са локално максималним вредностима изложености у околини антена налази изнад простора тржном центра, због чега је било неопходно измерити нивое унутар објекта на предвиђеном месту. Пенетрацијом кроз кров објекта интензитет зрачења

рапидно слаби, посебно ако се на том путу јављају металне препреке, што је обавезно проверити мерењем због немогућности предикције у оваквим ситуацијама. На основу свих релевантних метода испитивања интензитета нејонизујућег зрачења, места где је могућ боравак опште популације на описаној локацији изложена су нивоима који су 100 пута мање вредности од граничних (Popović et al. 2019).

Локације на којима се налазе инсталације две или више блиских базних станица морају се објективно третирати, урачунавајући адекватно положај и карактеристике свих антена на локацији, а изложеност у некој тачки простора добије се као сума парцијалних доприноса свих емитера у блиској околини, са реалистично задатим положајем.



Сл. 14.10. Пројекције изложености опште популације ВФ зрачењу са базне станице на тржном центру Меркатор на висинама 2, 5, 10 и 15 m редом су приказане на а), б), в) и г) (Popović et al. 2019)

Fig. 14.10. Exposure of the general population to the high frequency non ionized radiation from base station installed on Merkator at 2, 3, 10 and 15 m altitudes shown on a), b), v) and g) (Popović et al. 2019)



Сл. 14.11 Контуре изложености на висини 2 m изнад тла у односу на граничне вредности за општу популацију у околини базне станице на локацији BIJELJINA_BINGO

Fig. 14.11. Contour plot of exposure related to general population limit values in vicinity of BIJELJINA_BINGO location, at 2 m altitude

Урачунавање појединих доприноса дистантних емитера на некој локацији веома је важно са аспекта планирања покривања сигналом одређене области, потом планирања њеног оптерећења електромагнетним смогом да не би дошло до прекомерне изложености опште популације. Оваква предикција важна је за оператере пре инсталације нових технологија ради унапређивања телекомуникационих услуга. У градским, урбаним срединама Републике Српске потреба за овим испитивањем је све већа, због развоја градова, самим тим повећањем потреба за појачањем сигнала, али и ради побољшања услуга при увођењу нових технологија. Унапређењем постојећег програмског пакета имплементирана је додатна могућност - урачунавање више дистантних извора нејонизујућег зрачења приликом пројекције изложености на некој локацији. Важност овог софтвера је пре свега у објективној процени. Класични, досадашњи софтвери углавном раде на основу претпоставке да се дистантно различити извори преклапају у простору, што може да доведе до појаве прекорачења интензитета. Оваква слика не одговара оператерима јер се ограничавају параметри емитера којима могу да располажу приликом инсталације. Такође, ако се не урачунају доприноси свих емитера, па и оних дистантних, ситуација на локацији поново неће бити објективно процењена, те је могућа прекомерна изложеност на њој, а без објективног презентовања. Да би се избегле све ове необјективне процене, а повећала тачност, адаптиран је софтвер уз помоћ ког је могуће

извршити процену изложености зрачењу из више дистантних извора, а потом добијени резултат пројектовати на 2Д мапу. Једна од градских локација са две базне станице налази се у Бијељини: БИЈЕЉИНА_БИНГО власништво компаније ЈП Хрватске телекомуникације, постављена на висини 20 m, са инсталираним технологијама UMTS 2100, UMTS 900, LTE 1800, GSM 900, док се на удаљености 53 m од ње налази БИЈЕЉИНА_ТОПЛАНА, власништво компаније МТЕЛ, на висини 21 m, са инсталираним технологијама GSM 1800, UMTS 2100, LTE 800 и LTE 1800. Теоријска процена изложености опште популације ВФ зрачењу на овој локацији, на висини 2 m, приказана на Сл. 14.11. и у широј околини креће се између 0,04–0,2.

Измерене кумулативне вредности изложености, проширене у складу са технологијом и проширене за мерну несигурност, у мерним тачкама МТ1, МТ2 и МТ3, приказаним на Сл. 14.12. редом износе 0.05, 0.03 и 0.06, што је у опсегу приказаном на пројекцији (Сл. 14.11) у одговарајућим областима простора ком припадају мерне тачке.



Сл. 14.12. Мерне тачке на локацији БИЈЕЉИНА_БИНГО
Fig. 14.12. Measurement points at location BIJEЉINA_BINGO

Универзитетски клинички центар (УКЦ) Републике Српске је локација са великим дневним протоком људи, а тиме и захтевима за покривеност

телекомуникационим сигналом. На локацији УКЦ постављене су дистантне базне станице оператера МТЕЛ (RS003 BL_PAPRIKOVAC) на висини 34 m са инсталираним технологијама GSM 900, UMTS 900, UMTS 2100 и LTE 800, а на удаљености 40 m од ње базна станица оператера ХТ Еронет (БАЊАЛУКА_ПАПРИКОВАЦ) на висини 20 m са инсталираним технологијама GSM 900, UMTS 2100 и LTE 800.

Вредности изложености опште популације ВФ нејонизујућем зрачењу емитованом из две инсталиране базне станице на отвореном простору у околини УКЦ Републике Српске (Сл. 14.13) указују да ће при најинтензивнијем оптерећењу на висини 2 m изнад тла бити испод граничне, што указује на добро испланирану и конструисану инсталацију. Примена ове технике посебно је важна на градским, густо насељеним зонама, где постоји више инсталираних базних станица, са тенденцијом раста њиховог броја али и технологија у склопу постојећих.



Сл. 14.13. Контуре изложености на висини 2 m изнад тла у односу на граничне вредности за општу популацију у околини базних станица инсталираних на УКЦ Републике Српске

Fig. 14.13. Contour plot of exposure in vicinity of University Clinical Centre of the Republika Srpska at 2 m altitude related to general population limit values

Напредак у теоријским методама испитивања нивоа зрачења постигнут је развојем тродимензионалног (ЗД) приказа нивоа електромагнетног поља свих технологија, па самим тим и укупне изложености. Овај метод је реализован захваљујући техници генерисања ЗД мапе локације, помоћу сателитских снимака са *Google Earth*. Изложеност је приказана у облику

облака у простору око извора (антена), где се различитим бојама означавају тачке са одговарајућим интензитетом. На пример, црвеном бојом обојена је област где је прекорачена изложеност, док су зеленом бојом интензитети до 30% од граничне вредности за општу популацију (Сл. 14.14).



Сл. 14.14. Обојени облак око базне станице позициониране на крову илуструје простор око антене где ниво зрачења досеже 30% од граничног за општу популацију (Popović et al. 2021)

Fig. 14.14. Painted cloud around base station, positioned at roof of the red block, reaches out environmental places with electromagnetic pollution up to 30% of limit value for general population (Popović et al. 2021)

Овакав приказ могуће је преузети и дати слику из различитих углова гледања, чиме је могуће извршити интроспекцију ради анализе стања на местима тешко видљивим на дводимензионалним пројекцијама. Примена овог метода посебно је погодна и пожељна у градским локацијама, са густо постављеним објектима око извора зрачења, а посебно ако на локацији бораве деца. Тако је овај метод примењен при испитивању веома осетљиве локације у Бањој Луци, у близини основне школе и вртића. На овом месту су ризику од изложености високофреквентном зрачењу током целог дана подложна деца школског и предшколског узраста.

14.3. ЗАКЉУЧАК

Анализом нивоа изложености животне средине нејонизујућем високофреквентном зрачењу, која је спроведена у складу са важећим законима и стандардима, уочени су незнатни ризици за општу популацију на

свим испитиваним подручјима, међу којима су биле и локације које обухватају дворишта основних школа и вртића. Нове рачунарске технике реализоване кроз 3Д визуелизације унапређених софтверских решења нуде значајно побољшање у току проучавања просторне дистрибуције изложености зрачењу кроз прецизно мапирање, што омогућава правовремено алармирање и адекватно превентивно деловање. Коришћена софтверска техника за 2Д и 3Д анализу дистрибуције интензитета ВФ нејонизујућих електромагнетних поља омогућила је да се прецизно одреде мерне тачке, потом предвиди постојање места где је потенцијално суперпонирано поље повећаног интензитета те да се предвиде области са изложеношћу изнад граничног у односу на прописане нивое. Инсталиране базне станице, којих је мноштво и чији број непрекидно расте, као и њихови капацитети (број технологија, снага, број оператера), најважнији су извори електромагнетног зрачења у смислу оптерећења, односно загађења животне средине. Сходно овоме, неопходно је непрекидно унапређивати методе испитивања нивоа зрачења кроз развој инструмената за испитивање и мерних техника али и алата за предикцију ширења овог загађивача. Осим наведених мера, а с циљем постизања што квалитетнијих мерења и прорачунавања, биће неопходно вршити и предикције пре инсталације нових станица и технологија или измене карактеристика постојећих капацитета да би се избором оптималних параметара и антена одговарајућих техничких карактеристика предупредила евентуална прекорачења на испитиваним локацијама и избегле оператерове накнадне корекције.

Литература

- Alijagić J, Šajn R (2011) Distribution of chemical elements in an old metallurgical area, Zenica (Bosnia and Herzegovina). *Geoderma* 162(1–2):71–85. doi:10.1016/j.geoderma.2011.01.007
- Аранђеловић М, Јовановић Ј (2009) Медицина рада, Медицински факултет, Ниш, е-књига, стр 275. Доступно на: www.medradanis.rs/docs/knjiga_medicina_rada.pdf, Приступљено: 10. децембра 2022
- BAS EN 50499 (2010) Процедура за процјену излагања радника електромагнетним пољима. Институт за стандардизацију Босне и Херцеговине. Доступно на: <https://isbih.gov.ba/sr/standard/261663>, Приступљено: 10. децембра 2022
- BAS EN 62110 (2009) Нивои електричних и магнетских поља насталих у системима измјеничне струје – Мјерне процедуре у односу на изложеност људи. Институт за стандардизацију Босне и Херцеговине.

- Доступно на: <https://isbih.gov.ba/sr/standard/285402>, Приступљено: 10. децембра 2022
- BAS EN 62232 (2017) Одређивање јачине RF поља, густине снаге и SAR у близини радиокомуникационих базних станица ради процјене изложености људи. Институт за стандардизацију Босне и Херцеговине. Доступно на: <https://isbih.gov.ba/sr/standard/307505>, Приступљено: 10. децембра 2022
- BAS IEC 61786 (2010) Мјерење нискофреквентних магнетних и електричних поља којима су изложени људи – Посебни захтјеви за инструменте и упутство за мјерења. Институт за стандардизацију Босне и Херцеговине. Доступно на: <https://isbih.gov.ba/sr/standard/259496>, Приступљено: 10. децембра 2022
- Белић Д. (1992) Физика и екологија, Универзитет у Београду Физички факултет.
- Božić J, Ilić P, Ilić S (2020) Noise Levels in the Modern Urban Roundabout, Indian J. Environ. Prot. 40(12):1264–1272. Доступно на: www.e-ijep.co.in/december-2020/, Приступљено: 10. децембра 2022
- Божић Ј, Илић П, Стојановић Бјелић Љ (2018) Економски аспекти буке од градског саобраћаја: студија случаја. EMC REVIEW 8(1):134–149. doi:10.7251/EMC1801134B
- Ерић Љ, Тепић С, Илић П, Рачић-Милишић С, Тубин Б (2008) Присуство NO₂ и NO_x на локалитету Центар у Бањој Луци. 5. симпозијум „Хемија и заштита животне средине” са међународним учешћем. Тара, Српско хемијско друштво. Београд.
- Закон о заштити од нејонизујућих зрачења (Службени гласник Републике Српске, бр. 36/19)
- Ilić P, Farooqi ZUR, Stojanović Bjelić LJ (2021) Determining, Mapping and Prediction of Noise Pollution, Indian J. Environ. Prot. 41(4):379–384. Доступно на: www.e-ijep.co.in/41-4-379-384/, Приступљено: 10. децембра 2022
- Ilić P, Ilić S, Nešković Markić D, Stojanović Bjelić L, Popović Z, Radović B, Mrazovac Kurilić S, Farooqi ZUR, Mehmood T, Mohamed MH, Kouadri S (2022) Ecological Risk of Toxic Metal Contamination in Soil around Coal Mine and Thermal Power Plant. Pol. J. Environ. Stud. 31(5):4147–4156. doi:10.15244/pjoes/148071
- Ilić P, Nesković Markić D, Stojanović Bjelić LJ (2018a) Measuring and mapping noise pollution in the City of Banja Luka. Arch. Tech. Sci. 18(1):89–96. doi:10.7251/afts.2018.1018.089I
- Ilić P, Nešković Markić D, Stojanović Bjelić LJ (2018b) Variation concentration of sulfur dioxide and correlation with meteorological parameters. Arch. Tech. Sci. 18(1):81–88. doi:10.7251/afts.2018.1018.081I
- Ilić P, Nešković Markić D, Šobot Pešić Ž (2018c) Analyzing and mapping noise in the city of Banja Luka (Sime Matavulja street). Bus. Stud. 10(19–20):47–53. doi:10.7251/POS18047I

- Ilić P, Nišić T, Ilić S, Stojanović Bjelić LJ (2020) Identifying New 'Hotspot' Heavy Metal Contamination in Industrial Zone Soil. *Pol. J. Environ. Stud.* 29(4):2987–2993. doi:10.15244/pjoes/113095
- Ilić P, Popović Z, Gotovac-Atlagić S (2019) Effects of meteorological variables on nitrogen dioxide variation. *Arch. Tech. Sci.* 20(1):65–72. doi:10.7251/afts.2019.1120.065I
- Ilić P, Stojanović Bjelić LJ, Janjuš Z (2018d) Noise Pollution near Health Institutions. *Qual. Life.* 9(1–2):56–63. doi:10.7251/QOL1801056I
- Ilić P, Nesković Markić D, Stojanović Bjelić LJ (2018e) Traffic noise levels in the City of Banja Luka, *Qual. Life.* 9(1–2):20–26. doi:10.7251/QOL1801020I
- Илић П (2009) Контрола квалитета и истраживање утицаја загађења ваздуха у функцији заштите и унапређења животне средине у Бањој Луци. Докторска дисертација, АЦИМСИ, Универзитет у Новом Саду
- Илић П (2015) Загађења и контрола квалитета ваздуха у функцији заштите животне средине, Независни универзитет, Бања Лука.
- Илић П, Јањуш З (2008) Процјена квалитета ваздуха са аспекта присуства сумпор-диоксида. Зборник радова, Научно-стручни скуп са међународним учешћем „Савремене технологије за одрживи развој градова”, Бања Лука, 14–15. новембар 2008, Институт заштите, екологије и информатике, Бања Лука, стр 281–290
- Илић П, Лакић Н, Тубин Б, Јањуш З (2008) Праћење сумпор-диоксида на локалитету Центар у Бањој Луци. Други међународни конгрес „Екологија, здравље, рад, спорт”, Бања Лука, Бања Лука.
- Илић П, Максимовић Т (2021) Аерозагађење и биодиверзитет. Паневропски универзитет Апеирон, Бања Лука
- Илић П, Марковић С, Јањуш З (2009) Загађивање ваздуха и утицај на екосистеме и вегетацију. Зборник радова, Међународна конференција „Валоризација и очување потенцијала Подунавља”, Бања Лука, Министарство трговине и туризма Републике Српске и Међународно удружење научних радника – AIS, Бања Лука, 168–182
- Илић П, Прерадовић Љ, Дејановић Р, Марковић С, Јањуш З (2010) Употреба факторске анализе при мониторингу загађења ваздуха и метеоролошким параметрима, Зборник радова, 54. Конференције за ЕТРАН, Доњи Милановац, РТ5.5–1–4
- Јањуш З, Богданић Д, Павловић С, Чекрлија С, Илић П (2017а) Генератори буке у општини Котор Варош, Зборник Међународног конгреса о процесној индустрији – Зборник радова стр 270–276
- Јањуш З, Ђетојевић В, Павловић С, Чекрлија С, Илић П (2017б) Утицај буке саобраћаја на животну средину града Бања Лука. Зборник међународног конгреса о процесној индустрији. Зборник радова, стр 264–269
- Крстић Д (2020) Електромагнетна зрачења у животној средини. Факултет заштите на раду, Ниш

- Luković M, Vičić M, Popović Z, Zeković Lj, Kasalica B, Belča I (2018) Two-color pyrometer-based method for measuring temperature profiles and attenuation coefficients in a coal power plant. *Combust. Sci. Technol.* 190(11):2018–2029. doi:10.1080/00102202.2018.1481401
- Poljak D (2003) *Human Exposure to Electromagnetic Fields*, WIT Press, Southampton-Boston.
- Poljak D (2012) Human exposure to the radiation from antenna system of base stations – dosimetry of emitted field, *Sigurnost.* 54(2):173
- Poljak D, Šarolić A, Roje V (2002) Human interaction with the electromagnetic field radiated from a cellular base station antennas, *EMC EUROPE 2002 International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Volume II*, Milan: AEI (965).
- Popović Z, Ilić P, Gotovac Atlagić S, Rikić S, Radović B (2021) Examination along with Precise Mapping of Radio Frequency Pollution over Environment of Elementary School in Banja Luka, *Pol. J. Environ. Stud.* 30(6):5203–5209. doi:10.15244/pjoes/135140
- Popović Z, Ilić P, Mirošljević R, Gotovac-Atlagić S (2019) Exposure to non-ionizing radiation of area in urban zone of the Banja Luka city, *Arch. Tech. Sci.* 20(1):81–86. doi:10.7251/afts.2019.1120.073K
- Правило о заштити од дјеловања електромагнетних поља у фреквенцијском опсегу од 9 kHz до 300 GHz (Службени гласник БиХ, број 76/21)
- Прерадовић Љ, Илић П, Марковић С, Јањуш З (2010) Функционалне зависности загађења ваздуха и азот-диоксида – могућност примјене data mining-а, Зборник радова, 54. конференција за ЕТРАН, Доњи Милановац, VI.2.3–1–4
- Radović B, Ilić P, Popović Z, Vuković J, Smiljanić S (2022) Air Quality in the Town of Bijeljina – Trends and Levels of SO₂ and NO₂ Concentrations. *Qual. Life.* 22(1–2):46–57. doi:10.7251/QOL2201046R
- Radomirović M, Ćirović Ž, Maksin D, Bakić T, Lukić J, Stanković S, Onjia A (2020) Ecological risk assessment of heavy metals in the soil at a former painting industry facility. *Front. Environ. Sci.* 8:560415. doi:10.3389/fenvs.2020.560415
- Ramakrishnan N, Malarkkan S (2016) Radio frequency smog reduction from future heterogeneous base station. *Biomed. Res. An Int. J. Med. Sci. Special Issue.* S38–S45. Доступно на: www.alliedacademies.org/articles/radio-frequency-smog-reduction-from-future-heterogeneous-base-station.html, Приступљено: 10. децембра 2022
- Savić D, Nišić D, Malić N, Dragosavljević Z, Medenica D (2018) Research on power plant ash impact on the quality of soil in Kostolac and Gacko coal basins. *Minerals.* 8(2):54. doi:10.3390/min8020054
- Sivani S, Sudarsanam D (2012) Impacts of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) from cell phone towers and wireless devices on biosystem and ecosystem-a review. *Biol. Med.* 4(4):202–216. Доступно на: www.walshmedicalmedia.com/abstract/impacts-of-radiofrequency-electromagneticfield-rfemf-from-cell-phone-towers-and-wireless-devices-on-biosystem-and-ecosys-19951.html, Приступљено: 10. децембра 2022

- Стојановић Бјелић Љ, Илић П, Нешковић Маркић Д, Поповић З (2022) Бука у животној средини: студија случаја термоелектрана. Актуелности 41:7–18. doi:10.7251/АКТ2241007S
- Tipler AP, Mosca G (2008) Physics for scientists and engineers, Worth Publishers, New York
- Tourab W, Babouri A (2016) Measurement and Modeling of Personal Exposure to the Electric and Magnetic Fields in the Vicinity of High Voltage Power Lines, Saf. Health Work 7(2):102–110. doi:10.1016/j.shaw.2015.11.006
- Ćirišan A, Podračanin Z, Nikolić Bujanović LJ, Mrazovac Kurilić S, Ilić P (2023) Trend Analysis Application on Near Surface SO₂ Concentration Data from 2010 to 2020 in Serbia. Water Air Soil Pollut. 234:186. doi:10.1007/s11270-023-06111-3
- Huremović J, Horvat M, Kotnik J, Kocman D, Žižek S, Ribeiro Guevara S, Muhić-Šarac T, Memić M (2017) Characterization of mercury contamination surrounding a chloralkali production facility in Tuzla, Bosnia and Herzegovina. Anal. Lett. 50(6):1049–1064. doi:10.1080/00032719.2016.1205595
- Штрбац Д, Петровић Гегић А, Миросављевић З (2019) Увод у инжењерство заштите животне средине, Нови Сад, Факултет техничких наука – Графички центар ГРИД.
- Wiedemann P, Schütz H (2011) Children's health and RF EMF exposure. Views from a risk assessment and risk communication perspective, Wien. Med. Wochenschr. 161(9–10):226–232. doi:10.1007/s10354-011-0881-y

Impact of radio-frequent radiation to the environment in Republika Srpska

Zoran P. Popović, Predrag Ilić

Summary

The level of radio frequency radiation is followed by the growth of the new telecommunication technologies and the needs of the user. In order to prevent increasing of exposure over doses of electromagnetic radiation permitted for the general population, it requires to planing the construction of antenna systems and examine the living as well as working environment in their surroundings. City zones are potentially the most vulnerable on the exposure to high-frequency non-ionizing radiation, described below with examples of sensitive locations in Banja Luka such as the vicinity of schools, kindergartens and the hospital center. Review of data and their analysis in order to determine environment contamination level in the Republic of Srpska with non-ionizing electromagnetic radiation is the primary goal of this study. The measurement methods and theoretical assessment tools used for detection and prediction of these physical pollutants, which tend to grow permanently due to lifestyle, are also presented.

Keywords: High and low frequency non-ionized radiation, mapping of exposures, environment protection, exposure