

Mjerne procedure i zakonske regulative za procjenu izlaganja nejonizujućem elektromagnetskom zračenju

Procjena za GSM/UMTS bazne stanice

Darko S. Šuka

Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo,
Republika Srpska, BiH
darko.suka@etf.unssa.rs.ba

Mirjana I. Simić, Predrag V. Pejović

Elektrotehnički fakultet u Beogradu,
Republika Srbija
mira@etf.rs, peja@etf.rs

Sažetak — U ovom radu su analizirani aspekti prostiranja EM polja u kompleksnom okruženju u blizini GSM/UMTS baznih stanica i zahtjevi koji su neophodni za standarde vezane za procjenu izlaganja EM zračenju. Analizirani su utjecaji okoline, mjerne opreme i određenih procedura u vidu zakonskih uslova. U tom smislu, napravljen je presjek stanja u svijetu, a obrađene su i postojeće procedure za procjenu izloženosti u Bosni i Hercegovini i Srbiji.

Ključne riječi — EM zračenje, GSM/UMTS bazna stanica, izloženost EM zračenju, standardi za zaštitu od EM zračenja

I. UVOD

Uvođenje digitalnih GSM 900/DCS 1800 sistema u 1990-im dovelo do značajne upotrebe mobilnih telefona. Danas više od 90 % stanovništva svijeta koristi mobilne telefone, dok je taj procenat u Evropi i Sjedinjenim Američkim Državama (SAD) znatno veći. U Bosni i Hercegovini taj procenat iznosi oko 83%, dok je u Srbiji oko 87%. Povećana upotreba mobilnih telefona tokom poslednjih godina, posebno nakon pojave „pametnih telefona“ (*smart phones*) izazvala je značajan porast instaliranja novih GSM/UMTS baznih stanica. Broj baznih stanica u zemlji zavisi od nekoliko faktora kao što je broj operatera mrežnih usluga, broj pretplatnika i topografija. Bazne stanice se često nalaze u blizini stanova ili kuća i postale su razlog za zabrinutost opšte populacije u poslednjih nekoliko godina. Procjena o izloženosti stanovništva u blizini baznih stanica mobilne telefonije je potrebna zbog zahtjeva datih u međunarodnim i nacionalnim direktivama, zakonima, pravilnicima, uredbama i drugim dokumentima. Metode koje opisuju procjenu nivoa izloženosti su date u nekim smjernicama i standardima. Na evropskom nivou CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*) [1] i ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) [2] su razvile adekvatne procedure. Međutim, metode opisane u postojećim dokumentima nisu u potpunosti usklađene, nego su djelimično bazirane na različitim metodološkim principima. Stoga, i dalje postoji potreba da se učine dodatna naučna istraživanja o fizičkim svojstvima prostorne raspodjele EM polja da bi se dala dobra naučna pozadina za optimizovanje i harmonizaciju procedura u jedan jedinstveni protokol za procjenu izloženosti EM poljima. Stoga se, poslednjih godina, intenzivirala diskusija o adekvatnom načinu kako da se reguliše izloženost stanovništva koje živi u

okruženju takvih stanica. Modeli procjene i mjerenja EM zračenja koji se iz predostrožnosti provode i u BiH i Srbiji, uključujući i procjene za neke druge bežične tehnologije (DECT, WiFi, WiMax, TV) pokazuju da su nivoi EM zračenja nekoliko redova veličine ispod granica preporučenih od strane Evropske unije, Svjetske zdravstvene organizacije WHO (*World Health Organization*), te regulatornih tijela u BiH i Srbiji [1]-[10]. Tim povodom je objavljeno više naučnih radova. Ni u jednom od njih, vrijednost električnog polja nije prelazila granične vrijednosti sigurnosnih standarda. Rezultati pokazuju da je EM emisija, u trenucima mjerenja, bila u skladu sa [1]-[10].

II. ZAKONSKA REGULATIVA

Ovo poglavlje daje pregled o zakonskim regulativama i preporukama vezanim za mjerenja parametara EM zračenja prilikom procjene izloženosti opšte populacije u blizini GSM/UMTS baznih stanica. Razmatrane su zakonske regulative SAD, Evropske unije, te BiH i Srbije.

A. Zakonska regulativa u SAD

U SAD, Federalna komisija za komunikacije FCC (*Federal Communications Commission*) [9] odobrava i licencira uređaje, predajnike i objekte koji proizvode radio-frekventna i mikro-talasna zračenja. FCC ima nadležnost nad svim službama koje emituju EM zračenje, osim onih kojima posebno upravlja Savezna vlada. FCC je usvojila smjernice koje su razvili eksperti nevladine organizacije, kao što su ANSI/IEEE (*American National Standards Institute/Institute of Electrical and Electronics Engineers*) [10] i NCRP (*National Council on Radiation Protection and Measurements*) u cilju procjene izloženosti usljed zračenja RF predajnika, licenciranih od strane FCC. FCC ograničenja za maksimalno dozvoljenu izloženost MPE (*Maximum Permissible Exposure*) su navedena u smislu gustine snage i jačine električnog i magnetskog polja za predajnike koji rade na frekvencijama između 300 kHz i 100 GHz. Ograničenja su takođe navedena za izloženost cijelog tijela i pojedinih dijelova tijela. Ograničenja za izloženost pojedinih dijelova tijela se prvenstveno koriste za procjenu izloženosti zbog upotrebe uređaja kao što su mobilni telefoni. FCC ograničenja su objavljena u broju 47 Kodeksa o Federalnim propisima, odjeljci 1.1307 (b), 1,1310, 2,1091 i 2.1093 [11]. Dodatne informacije o usaglašenosti sa FCC ograničenjima mogu se naći u FCC OET biltenu 65 [12].

B. Zakonska regulativa u Evropskoj uniji

Preporuka Savjeta EU 1999/519/EC [3] o ograničenjima za izlaganje opšte populacije EM poljima je osnovni dokument koji članicama EU nudi okvir za procjenu izlaganja. Njime se državama članicama preporučuje da uvedu sistem osnovnih ograničenja i referentnih nivoa. Preporuke ICNIRP iz 1998. godine [2] su razvijene u saradnji sa Svjetskom zdravstvenom organizacijom i čine osnovu za preporuke Savjeta EU. Za poštovanje mjera o bezbjednosti proizvoda u oblasti radio-frekvencija u upotrebi je i R&TTE (*Radio&Telecommunication Terminal Equipment*) direktiva 1999/5/EC Evropskog Savjeta i parlamenta [13]. Ova direktiva je objavljena u službenom časopisu Evropske zajednice (*Official Journal of European Communities*), još u aprilu 1999. R&TTE propisuje procedure za radio opremu i opremu za telekomunikacione terminale. Svrha ove direktive je da se uspostavi regulatorni okvir za plasiranje proizvoda na tržište, slobodno kretanje i stavljanje u službu radio-uređaja i telekomunikacionih terminala u EU. Zdravstvena zaštita i bezbjednost korisnika ili bilo kojih drugih osoba je jedan od bitnijih zahtjeva R&TTE direktive. Samo se proizvodi iz R&TTE direktive mogu naći na evropskom tržištu i staviti u funkciju, ako su u skladu sa odgovarajućim osnovnim zahtjevima. Države članice će osigurati da proizvođač ili lice koje je odgovorno za stavljanje proizvoda na evropskom tržištu daje informacije za korisnike, zajedno sa deklaracijom o usaglašenosti sa osnovnim zahtjevima. Proizvodi koji ispunjavaju sve relevantne osnovne zahtjeve nose CE oznaku. CENELEC je već usvojila usklađene standarde koji pokrivaju aspekte emisije EM polja od 0 Hz do 300 GHz [1], [13]. Ovi standardi opisuju test metode za testiranje opreme i metode izračunavanja potrebne kako bi se odredili zahtjevi proizvoda pri ograničavanju izloženosti EM poljima. Navedeno je da treba koristiti referentne nivoe i osnovna ograničenja po preporukama savjeta Evropske unije 1999/519/EC [3]. Usklađenost proizvoda sa granicama emisija datim u standardima EU obezbjeđuju da izloženost ljudskog tijela koja potiče iz tih proizvoda neće, uz normalno korišćenje, prelaziti granične vrijednosti date u preporuci Savjeta 1999/519/EC. Sve do sada, standardi za mobilne telefone su usklađeni sa R&TTE direktivom. Za ostale proizvode kao što su GSM/UMTS bazne stanice, CENELEC je, u procesu izrade odgovarajuće procedure usvojio osnovne standarde EN 50383 [14] i standarde za proizvode EN 50384 [15] i EN 50385 [16] u vezi sa fiksnim baznim stanicama i bežičnim telekomunikacionim terminalima. Ovi standardi definišu usklađenost udaljenosti i količine zračenja oko antena baznih stanica. O zahtjevima za stavljanje baznih stanica u operativno okruženje, tehnički komitet CENELEC 106x je usvojio standarde o kumulativnoj ekspoziciji, prema kojima se u obzir mora uzeti i uticaj zračenja iz drugih izvora. Detaljniji podaci o aktivnostima standardizacije o emisijama baznih stanica mogu se naći u [17].

C. Zakonska regulativa u Bosni i Hercegovini

Regulatorna agencija za komunikacije RAK (Zakon o komunikacijama BiH, Službeni glasnik BiH, broj 31/03), usvojila je referentne propise i standarde u cilju ograničavanja izlaganja ljudi EM zračenju (Preporuka Vijeća EU 1999/519/EC o ograničavanju izlaganja EM poljima (0 Hz-300 GHz)). Vijeće RAK-a donijelo je i „Pravilo 37/2008 o ograničavanju emisija EM zračenja“ (Službeni glasnik BiH, br. 80/08 od 06.10.2008. god.) [4]. Ovim pravilom su propisane gotovo iste granične

vrijednosti kao u „Pravilniku o zaštiti od EM polja do 300GHz“, u Republici Srpskoj (Sl. glasnik RS broj 112/05) [5]. Razlika je samo u formi tabela i što [4] ne propisuje granične vrijednosti za frekventni opseg od 1Hz do 9KHz. Takođe, [4] propisuje vrijednosti osnovnih ograničenja za SAR, što nema u [5]. Pravilnici propisani u BiH i RS su za referencu imali sljedeće standarde [18]: BAS EN 50364:2002, BAS EN 50385:2005, BAS EN 50360:2005 i BAS EN 62479:2012.

D. Zakonska regulativa u Srbiji

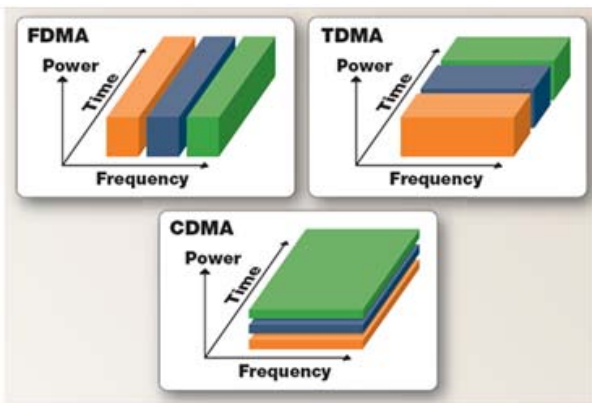
Zakon o zaštiti od nejonizujućih zračenja ("Službeni glasnik RS" broj 36/2009) [6] i Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima ("Službeni glasnik RS" broj 104/2009) [7], propisuju granice izlaganja EM zračenju u zonama povećane osjetljivosti (područja stambenih zona u kojima se osobe mogu zadržavati i 24 sata dnevno, škole, domovi, predškolske ustanove, porodilišta, bolnice, turistički objekti, dječija igrališta, itd. Polazeći od preporuke Saveta Evrope da se mogu primijeniti i strožiji standardi, Srbija je u skladu sa [8] odredila normu za maksimalni dozvoljeni nivo električnog polja za izlaganje stanovništva od 27,5 V/m umjesto 41,25 V/m koji propisuje SZO. Ova norma je novim podzakonskim aktom koji je donesen na osnovu [6] pooštrena i razvijena na širi spektar RF izvora u zavisnosti od frekvencija (12 do 24 V/m).

E. Preporuke o mjernim procedurama u svijetu

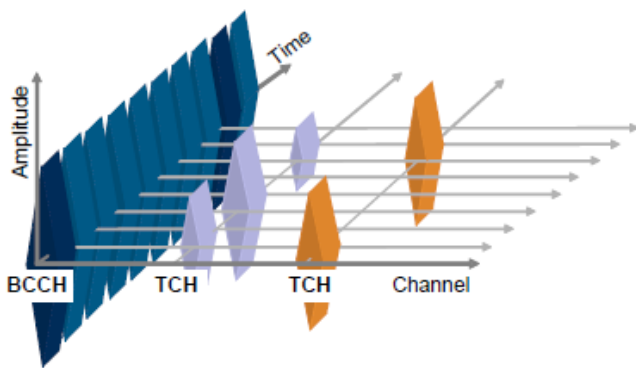
Tokom proteklih godina organizacije u Evropi i SAD su izdale mnogo korisnih dokumenata u cilju da daju smjernice za procjenu usklađenosti standarda sa zakonskim odredbama. Evropski komitet za elektrotehničku standardizaciju CENELEC i Evropski institut za standarde u oblasti telekomunikacija ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) usvojili su dokumente koji opisuju mjerne metode za procjenu izloženosti u blizini fiksnih baznih stanica (EN 50383 i ETSI TR 101 870). Standard EN 61566 o mjerenju izloženosti od EM polja u frekventnom opsegu 100 kHz do 1 GHz postoji još od 1997. U Njemačkoj je Elektrotehnička komisija DIN (*Deutsches Institut für Normung*) i VDE (*Verband der Elektrotechnik*) izdala standard o bezbjednosti od EM polja koji sadrži postupke za mjerenje i proračun. Francuska agencija za frekvencije izdala je protokol za „in situ“ (*on-site*) mjerenja još 2001. godine sa ciljem da pruži metode o provjeri da li su nivoi izlaganja pored fiksnih EM predajnika u frekventnom opsegu od 9 kHz do 300 GHz u skladu sa ograničenjima datim u preporuci EU. Dokument obuhvata i metodologije za procjenu mjerne lokacije i procjenu nivoa izlaganja. U SAD, dokumenti koji sadrže praktične smjernice i informacije za vršenje mjerenja na terenu i u drugim sredinama su OET Bilten 65, NCRP izveštaj br. 119 i ANSI/IEEE standardi C95.1- 1999 i C95.3-1992. OET Bilten 65 daje dodatne smjernice za vrednovanje usklađenosti sa novim FCC praksama, smjernicama i mjernim metodama.

III. RAZMATRANJA U VEZI SA MJERENJIMA

Ovo poglavlje opisuje osnove GSM signala i zahtjeve koji se odnose na mjernu opremu i kalibraciju. Opisane su i promjene EM polja u vremenu i prostoru i uticaj tih promjena. GSM koristi RF-modulisane, impulsne signale za komunikaciju. GSM sistem koristi tri standardne tehnologije za prenos informacija: (a) FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)



Slika 1. FDMA, TDMA i CDMA princip prenosa informacija



Slika 2. Primjer GSM downlink signala sa 3 kanala u vremenskoj domeni

ili višestruki pristup na bazi frekvencijske raspodjele kanala; (b) TDMA (*Time Division Multiple Access*) ili višestruki pristup na bazi vremenske raspodjele kanala i (c) CDMA (*Code Division Multiple Access*) ili višestruki pristup na bazi kodne raspodjele kanala, Sl. 1. Dodatne funkcije GSM sistema mogu se detaljnije pročitati u [19]. U vremenskoj domeni, svaki kanal se može posmatrati kao uključen RF signal konstantne amplitude u vremenskom okviru (*slot*) radio-difuznog kontrolnog kanala za emitovanje BCCH (*Broadcast Control Channel*) i promjenljivih amplituda saobraćajnih kanala TCH (*Traffic Channels*) u određenim vremenskim okvirima, Sl.2. Širina opsega svakog kanala u TDMA je 200 kHz. Za GSM 900 sistem obično postoje 124 kanala za *uplink* (890 - 915 MHz) i za *downlink* (935 - 960 MHz). Preko BCCH kanala BS emituje informacije o parametrima koji su potrebni mobilnoj stanici da se identifikuje i pristupi mreži (informaciju o identitetu BS, dodjelu frekvencije i naloge za frekvencijske skokove).

A. Mjerne metode

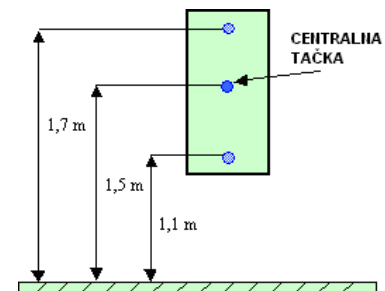
U literaturi je opisano nekoliko metodologija za procjenu izloženosti. U okviru ovog rada biće opisan samo postupak za frekventno-selektivnu procjenu izloženosti. U principu, inženjer može ručno da premješta antenu u zoni interesa, dok analizator spektra ili mjerni prijemnik ne zabilježi izmjerene nivoe polja. Varijacije takvih postupaka opisane su detaljnije u [4], pri čemu je u oba slučaja neophodno je da se koristite tzv. „*max hold*“ režim rada mjernog uređaja i „*panning approach*“ pristup, koji predstavlja nalaženje maksimalne vrijednosti polja u svim pravcima. Drugi pristup se zasniva na ispitivanju nivoa polja u

nekoliko tačaka u oblasti interesovanja. U suštini, adekvatna antena se montira na stativ i nivoo polja se mogu zabilježiti pomoću izotropne antene, mjerenjem polja u tri ortogonalna pravca. U tom slučaju, minimalno rastojanje između inženjera i/ili drugih lica koje obavljaju mjerenje i antene mora da iznosi oko 2 metra kako bi se izbjegle distorzije polja usljed prisustva njihovih tijela. Antena je u ovom slučaju povezana sa analizatorom spektra ili mjernim prijemnikom preko RF kabla. Detaljniji opis ove metodologije može se naći u [4]. Prvi metod ima prednosti, jer ne zahtijeva mnogo vremena i daje dobar pregled scenarija izloženosti u ispitivanom području. Međutim, jak uticaj tijela inženjera na rezultate mjerenja se ne može isključiti. Drugi pristup garantuje preciznije rezultate pod kontrolisanim uslovima, ali u ovom slučaju može se ispitati samo mali broj pozicija u razumnom vremenskom periodu. Metodologije mjerenja opisane u [4] kombinuju prednosti oba pristupa.

B. Mjerenje jačine električnog polja i gustine snage u blizini GSM/UMTS baznih stanica

Precizno mjerenje jačine el. polja i gustine snage u složenom i dinamičnom okruženju je težak zadatak. To je uglavnom zbog refleksije, apsorpcije i interferencije EM talasa. Stoga, različita mjerenja mogu dovesti do vrlo različitih rezultata zbog ovakvih uslova [4]. U nastavku je ukratko opisan postupak mjerenja u skladu sa Slučajem 2 (skeniranje promjenljivog frekventnog opsega po određenim frekvencijama u dalekoj zoni zračenja) Pravila 37/2008. Postupak mjerenja se treba odvijati u sljedećim koracima:

1) **Mjerna tačka.** Mjerenja treba obaviti u jedinstvenoj tački na visini od 1,5 m od nivoa zemlje (ili nivoa poda), Sl.3.



Slika 3. Centralna mjerna tačka u zoni dalekog polja

2) **Frekventni opseg.** Mjerni postupak iz Slučaja 2 se koristi za frekventni opseg „9 kHz – 3 GHz“.

3) **Podšavanje analizatora spektra.** Usljed različitih RF izvora, širina mjernog opsega trebala bi biti kompromisna veličina. Unutar spektra postoji mješavina uskih/širokih, analognih/digitalnih i kontinualnih/impulsnih izvora zračenja. Preporučuje se za analizatore spektra da koriste sljedeću širinu opsega/vrijeme ispitivanja (konkretno za posmatrani opseg u Slučaju 2, 9 kHz – 3 GHz): RBW = 100 kHz, VBW = 300 kHz sa vremenom ispitivanja od 700 ms – 1 s ili prema preporukama proizvođača. Prag osjetljivosti od -40 dB (može do -70 dB) se odnosi na usvojeni nivo iz smjernica. Antena treba biti korištena u oba, horizontalnom i vertikalnom položaju. Takođe, trebaju biti korišteni „*max-hold*“ i „*peak*“ način rada (za detektor).

4) **Obrada podataka.** Imajući u vidu da se razmatra slučaj mjerenja u dalekoj zoni zračenja, mag. polje H ili gustina snage

S mogu se, u odnosu na prostiranje u slobodnom prostoru (impedansa vazduha $Z_0 = 377 \Omega$), prema poznatoj vrijednosti el. polja, izračunati prema (1) ili (2):

$$S = EH = E^2 / Z_0 = H^2 Z_0. \quad (1)$$

$$S = \frac{10^{\left(\frac{p-G}{10}\right)}}{1000} \cdot \frac{4\pi}{\lambda^2} \quad (2)$$

gdje je S gustina snage (u W/m^2), p je izmjerena snaga (u dBm), G je faktor pojačanja antene u odnosu na izotropni radijator (u dBi) i λ je talasna dužina izvora (u metrima).

5) **Provjera koeficijenta ukupne izloženosti.** Za frekvencije iznad 100 kHz moraju biti ispunjeni određeni zahtjevi, kako ne bi došlo do prekoračenja dozvoljenih vrijednosti el. polja. Prema [4], koeficijent ukupne izloženosti za el. polja iz više izvora računamo prema relaciji:

$$\sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (3)$$

gdje su: E_i intenzitet el. polja na frekvenciji i , $E_{L,i}$ referentni nivoi el. polja dati u [4] u odnosu na ICNIRP standard.

C. Zahtjevi za mjernu opremu

Potrebna oprema za obavljanje frekventno-selektivnih mjerenja je mjerni prijemnik ili analizator spektra, antena, RF-kabl i softver za efikasno upravljanje uređajem i obradu rezultata mjerenja. Važni zahtjevi za analizatore spektra su mogućnost da napravi dobro frekventno razdvajanje pojedinih kanala prilikom mjerenja snage u širem frekventnom opsegu. Za preciznija mjerenja veoma je važna i rezolucija propusnog opsega RBW (*Resolution Bandwidth*) koja mora biti podesiva da odgovara opsezima odgovarajućih kanala (npr. 200 kHz za GSM, opciono 5 MHz za UMTS opseg). Ukupna amplitudna tačnost, linearnost RF komponenti na putu signala i VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) na ulazu moraju biti dobri, jer su ove karakteristike od suštinske važnosti za proračun mjerne nesigurnosti. Nizak nivo šuma omogućava visok dinamički opseg i preciznija mjerenja. Mogućnost detekcije efektivne vrijednosti signala RMS (*Root Mean Square*) predstavlja osnovni zahtjev za ispravne rezultate, kao i „*max-hold*“ funkcija za zapisivanje maksimalnih zabilježenih rezultata mjerenja. Dobre karakteristike su brzo prebrisavanje frekventnog opsega (*frequency sweep*) i mala težina prenosnog uređaja. Ovo je veoma korisno za obavljanje mjerenja na različitim lokacijama. Ukoliko se vrši mjerenje u sredinama sa jakim signalima izvan mjernog opsega, potrebno je korišćenje dodatnih atenuatora. Naravno, atenuatori smanjuju i GSM signal, pa se uticaj na osjetljivost mora uzeti u obzir. Za antenu su najvažniji zahtjevi precizna kalibracija, uključujući i faktor antene, simetriju antene i VSWR. Posebno se u naseljenim područjima mogu očekivati određeni uticaji između antene i okoline, što se u nekim slučajevima mjerenja mora uzeti u obzir. Ovi uticaji su uzrokovani malim rastojanjima između antene i objekata i mogu dovesti do dodatnih grešaka u mjerenju. Ovaj problem obično nije uzet u obzir u procesu kalibracije, ali može biti znatno smanjen korišćenjem antene sa fiksnom ulaznom impedansom. Dobra simetrija i VSWR imaju prednost, jer oni imaju direktan uticaj na mjernu nesigurnost. Kabl treba da bude fleksibilan i robusan za česte upotrebe.

Posebno se moraju periodično provjeravati gubici u kablju, jer ovaj parametar može da se mijenja usljed upotrebe kabla. Redovna kalibracija mjerne opreme se preporučuje periodično. Tipičan kalibracioni interval iznosi jednu godinu.

D. Promjene EM polja u vremenu

Obzirom na gustinu saobraćaja, može se posmatrati kontinuirana varijacija broja saobraćajnih kanala i njihove amplitude, dok su BCCH kanali stalno prisutni sa konstantnom snagom. Ovaj signal se obično koristi za ekstrapolaciju najgoreg slučaja izloženosti na predajnoj lokaciji. Međutim, BCCH kanali nisu vremenski nezavisni. Značajne razlike su uzrokovane prenosnim putem (medijumom), višestrukim prostiranjem signala, promjenama snage zračenja BS, te nepouzdanostima monitoring sistema. Na Sl. 4, Sl.5. i Sl. 6 prikazane su promjene EM polja u vremenu za GSM900, DCS1800 i UMTS opseg, respektivno. Broj mjernih uzoraka je iznosio 500 dnevno, tokom 7 dana u sedmici. Period mjerenja je odabran u vremenu „*peak*“ saobraćaja (od 13-14h). Varijacija jačine el. polja za pojedine opsege je: (a) GSM900 od 9 mV/m do 33 mV/m; (b) DCS1800 od 76 mV/m do 184 mV/m i (c) za UMTS od 16 mV/m do 79 mV/m. Svi rezultati mjerenja su u skladu sa [1]-[10].

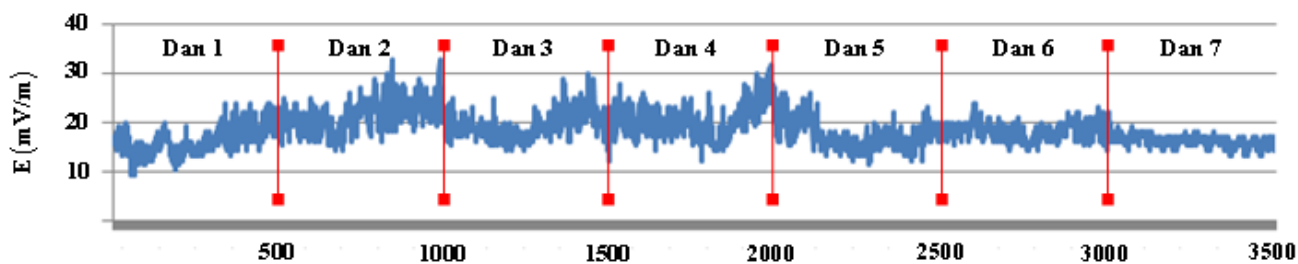
E. Promjene EM polja u prostoru

Procjena izloženosti u blizini BS zahtijeva adekvatne procedure mjerenja. Jedan pristup je da se traga za maksimalnim nivoom izloženosti u odabranim oblastima. Ako je izabran takav postupak, mora se uzeti u obzir da promjena nivoa polja može biti značajna unutar obredjene oblasti [20]. Nekoliko smjernica i standarda na osnovu utvrđenih, zdravstvenih efekata, jasno ukazuju da izmjerene jačine polja treba prostorno usrednjavati prije poređenja sa graničnim nivoima [2], [10]. U [10] su data dodatna ograničenja za jačine polja ili gustine snage kako bi se izbjeglo izlaganje iznad lokalnih SAR granica. Neke smjernice za mjerenje [21], takođe opisuju metode kako da se izvrši usrednjavanje jačine polja u određenim oblastima ili zapremeni sličnoj ljudskom tijelu. Međutim, o razlozima za pokretanje ovih metoda se i dalje raspravlja. Veoma važna osnovna ograničenja u takvim dokumentima data su preko SAR vrijednosti za cijelo tijelo i pojedine dijelove tijela. Međutim, pošto parametar SAR nije lako utvrditi i izmjeriti, dati su tzv. referentni nivoi. Ako su referentni nivoi dati u smislu električnog i magnetskog polja i gustina snage zadovoljeni, onda osnovna ograničenja neće biti prekoračena u bilo kom slučaju. Izloženost iznad referentnih vrijednosti ne mora da znači da su prekoračena osnovna ograničenja. Međutim, potrebna su dodatna mjerenja koja će pokazati usklađenost sa osnovnim ograničenjima. Odnos jačine polja i SAR vrijednosti zasnivaju se na proračunima i mjerenja koja se obavljaju u zoni dalekog polja. Dodatna mjerenja su potrebna i da se ispita povezanost prostorne raspodjele polja i SAR vrijednosti u oblastima sa veoma kompleksnom raspodjelom polja, kao što je to slučaj u blizini baznih stanica.

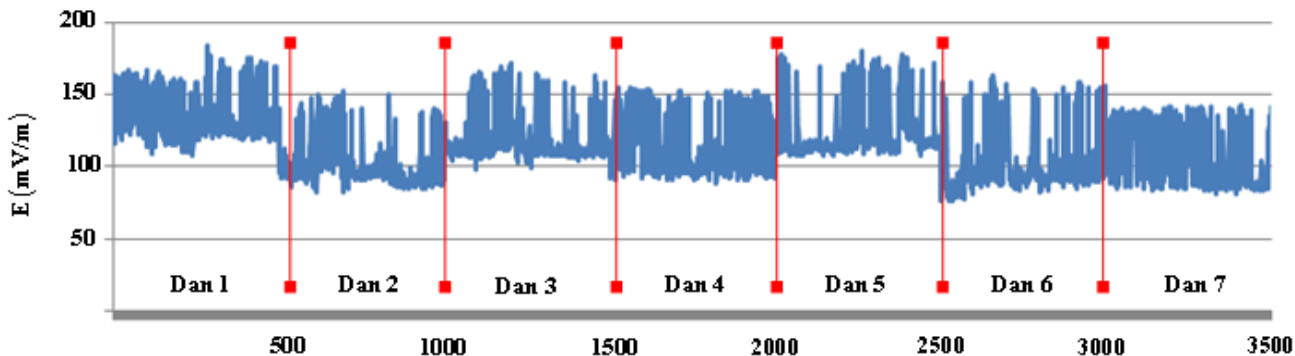
IV. MJERNA NEPOUZDANOST I PONOVLJIVOST MJERENJA

A. Nepouzdanost mjerne opreme

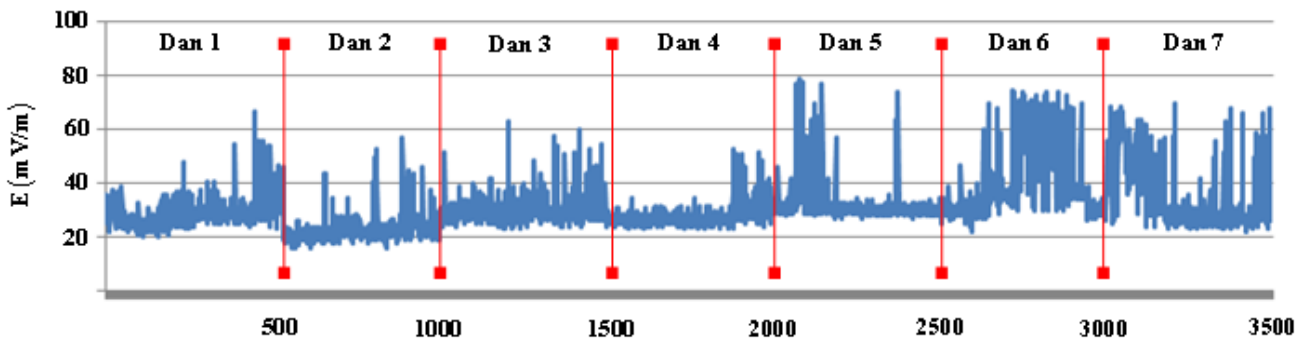
Da bi se odredila ukupna nepouzdanost mjerne opreme, postoji nekoliko vrsta nepouzdanosti koje treba razmotriti..



Slika 4. Promjena jačine el. polja u vremenu, GSM900 opseg (N 43°49.243', E 018°21.769')



Slika 5. Promjena jačine el. polja u vremenu, DCS1800 opseg (N 43°49.243', E 018°21.769')



Slika 6. Promjena jačine el. polja u vremenu, UMTS opseg (N 43°49.243', E 018°21.769')

Prvi tip nepouzdanosti čine doprinosi analizatora, antene, kabla i dodatnih pojačavača. Detaljnija analiza u [22]-[24]. Često je moguće smanjiti nepouzdanost koristeći kalibrisane atenuatore od 6 dB između kabla i antene. Ovo smanjuje neslaganje, naročito ako VSWR antene nije dovoljno dobar. Druga mogućnost je da smanji frekventni opseg prebrisavanja (*sweep*) analizatora spektra koliko je to moguće (npr. da se koristi samo *downlink* frekventni opseg). Za sam proračun neophodne informacije o anteni, kابلu i atenuatorima treba da budu dio kalibracionog certifikata. Za analizator spektra, informacije su obično date u tehničkom opisu.

B. Ponovljivost mjerenja

Proračun ponovljivosti mora da uzme u obzir ponovnu montažu (npr. konektora), upotrebu mjerne opreme i samu proceduru mjerenja. Ponovno mjerenje se može provjeriti pažljivim test mjerenjem parametara poznatog referentnog izvora. Vrijednosti za ukupni proračun nepouzdanosti mogu se dobiti statistički. Procedura mjerenja treba da bude jasno definisana, ponovljiva i naučno utemeljena. U principu, ponovljivost predstavlja dio proračuna mjerne nepouzdanosti.

C. Uticaj okoline

Složenost prostiranja EM polja u blizini BS uzrokovana je uticajem okoline što dovodi do višestrukog prostiranja EM talasa koji izazivaju efekte fedinga (*fading*) kao posljedicu višestrukih refleksija signala na različitim objektima, npr. zgradama, zemlji ili drveću. Neki objekti mijenjaju svoj položaj u vremenu što izaziva složeniju procjenu prostiranja EM talasa i izloženosti tim talasima. Takve prepreke (*moving scatterers*) mogu biti lica, vozila i sl. Osim uticaja takvih prepreka, treba uzeti u obzir i uticaje sezonskih varijacija (npr. lišća) i vremena. Raspodjela polja može varirati zbog snijega, kiše i drugi uslova okoline, npr. mokro vs. suvo zemljište, vlažnost vazduha i sl. U [25] su istraživani efekti prostiranja EM talasa na različitim površinama pri frekvenciji 1,625 MHz. Uočeno je da kapljice vode na travi povećavaju koeficijente refleksije talasa za 50%, dok voda na asfaltu gotovo da nema uticaja na prostiranje. Različite vrste površina dovode do rasipanja signala na koherentne i difuzne komponente. Posebno zabrinjava činjenica da inženjer koji vrši mjerenje nema mogućnost da kontroliše uticaj okoline i to predstavlja najteži dio u proračunu greške. U ovoj oblasti je potrebno uraditi još mnogo dodatnih istraživanja da bi se dobile pouzdane procjene izloženosti EM poljima.

V. ZAKLJUČAK

Uspjeh koji su izazvale mobilne komunikacije doveo je, a i dalje vodi povećavanju broja baznih stanica širom svijeta. Međutim, činjenica je da eventualni negativni efekti po zdravlje ljudi u pogledu izlaganja, zbog prostiranja EM polja koje emituju takve instalacije, dovode do rasprava o sigurnosnim standardima, kako na nacionalnom, tako i na međunarodnom nivou. Upravljanje izlaganja EM poljima zahtijeva odgovarajuće metodologije koje su konstantno u procesu razvoja na međunarodnom nivou standardizacije. Na nacionalnom nivou, neke zemlje posjeduju sopstvene standarde i uvode odgovarajuće redukcijske faktore. Najčešće metode za mjerenje EM polja su metode na osnovu kojih se vrši mjerenje EM polja u tri ortogonalna pravca. Prilikom mjerenja nivoa EM polja u oblastima od interesa mora se uzeti u obzir da tijelo inženjera može, na značajan način, uticati na raspodjelu EM polja. Takvi efekti mogu dovesti do nerealnih nivoa izlaganja (povećanih ili umanjanih). Stoga se vrši usrednjavanje rezultata mjerenja. Međutim, nekoliko naučnih pitanja o fizičkim aspektima prostiranja EM polja u vremenu i prostoru još uvijek trebaju da se riješe, npr. uticaji faktora okoline, tip okoline i sl. Ishod tekućih i budućih istraživanja treba da se ugradi u postojeće i buduće metodologije procjene, razvijene od strane nadležnih institucija i različitih tijela za standardizaciju.

LITERATURA

- [1] European Committee for El. Standardization www.cenelec.com
- [2] ICNIRP Guidelines (1998). "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Phys., vol. 74.
- [3] Council Recommendation 1999/519/EC of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), Official Journal L 197 of 30 July 1999.
- [4] Vijeće Regulatorne agencije za komunikacije, „Pravilo 37/2008 o ograničavanju emisija elektromagnetskog zračenja“ (Službeni glasnik BiH, broj 80/08 od 06.10.2008. god.).
- [5] Ministarstvo zdravlja i socijalne zaštite, "Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja do 300GHz", (Sl. Glasnik RS br.112/05).
- [6] Zakon o zaštiti od nejonizujućih zračenja ("Službeni glasnik Republike Srbije" broj 36/2009)
- [7] Pravilnik o granicama izlaganja nejonizujućim zračenjima ("Službeni glasnik Republike Srbije" broj 104/2009)
- [8] Standard za proizvode za pokazivanje usaglašenosti radio-stanica i fiksni priključni stanica za bežične telekomunikacione sisteme sa osnovnim ograničenjima ili referentnim nivoima koji se odnose na izlaganje ljudi radiofrekvencijskim elektromagnetskim poljima (od 110 MHz do 40 GHz) — Profesionalna upotreba (SRPS EN 50384) i Opšta upotreba (SRPS EN 50385)
- [9] Federal Communications Commission www.fcc.gov
- [10] ANSI C95.1 (1982). American National Standard safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 300 kHz to 100 GHz. IEEE
- [11] 47 CFR, Code of Federal Regulations, Title 47 – Telecommunication, Part 1 and 2, published by the Office of the Federal Register, National Archives and Records Administration, October 2001, <http://www.gpo.gov/nara/cfr>
- [12] OET Bulletin 65, Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, Edition 97-01, FCC, Washington, USA, August 1997, <http://www.fcc.gov/oet/rfsafety>
- [13] Directive 1999/5/EC of the European Parliament and of the Council of 9 March 1999 on radio equipment and telecommunications terminal equipment and the mutual recognition of their conformity, Official Journal L91/10-L91/28, 7.4.1999
- [14] EN 50383, European Standard, Basic standard for the calculation and measurement of electromagnetic field strength and SAR related to human exposure from radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems (110 MHz – 40 GHz), CENELEC, Brussels, August 2002.
- [15] EN 50384, European Standard, Product standard to demonstrate the compliance of radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems with the basic restrictions or the reference levels related to occupational exposure to radio frequency electromagnetic fields (110MHz - 40GHz), CENELEC, Brussels, August 2002
- [16] EN 50385, European Standard, Product standard to demonstrate the compliance of radio base stations and fixed terminal stations for wireless telecommunication systems with the basic restrictions or the reference levels related to general public exposure to radio frequency electromagnetic fields (110MHz - 40GHz), CENELEC, Brussels, August 2002
- [17] Dale, Ch.; Wiart, J.; Wong, M.-F.: EMF Exposure Regarding Base Station, Sixteenth International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility, June 25-28, 2002, Proceedings pp 343-346
- [18] www.bas.gov.ba
- [19] Sigmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant, "An Introduction to GSM", Boston, Artech House, 1995
- [20] Lehmann, H.; Fritschi, P.; Eicher, B.; Knafl, U.: Measurements of the Electric Field in Rooms near Mobile Phone Base Stations, 5th International Congress of EBFA, Helsinki, Proceedings, pp 124 –126, 6-8 September 2001
- [21] Safety Code 6, Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz, ISBN 0-662-28032-6, Health Canada, Minister of Public Works and Government Services, Canada 1999
- [22] Taylor, B. N.; Kuyatt, C. E.: Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297, 1994 Edition, National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD 20899-0001, September 1994
- [23] EA-4/02, Expression of Uncertainty of Measurement in Calibration, European co-operation for Accreditation, December 1999
- [24] LAB 34: The Expression of Uncertainty in EMC Measurements, Edition 1, UKAS, August 2002, <http://www.ukas.com>
- [25] Pettersen, M.; Stette, G., Noll, J.: Characterisation of Natural Surface Scattering for 3 D Channel Modelling, 4th European Mobile Communications Conference in Vienna, February 20th- 22nd 2001, Proceedings Session 19.2

ABSTRACT

In this paper the emphasis of the analysis is on the aspects of electromagnetic fields propagation in complex environment near GSM/UMTS base stations vicinity and requirements which are essential for the estimation of exposure to electromagnetic radiation standard. The influence of the environment, measuring equipment and specific procedures in the form of legal requirements have been analyzed as well. In that sense, an overview of the situation in the world is discussed, together with the existing procedures for exposure estimation in Bosnia and Herzegovina and Serbia.

MEASUREMENT PROCEDURES AND LAW REGULATIONS FOR NON- IONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION ESTIMATION

Darko S. Šuka, Mirjana I. Simić, Predrag V. Pejović