

Proračun parametara EM zračenja baznih stanica mobilne telefonije modelom ravanskih talasa

Darko S. Šuka

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

Pero D. Ožegović

JP "Komunalno Brčko"
Brčko distrikt, BiH
pero.ozegovic@komunalno.ba

Sažetak — U radu je ukratko opisan način proračuna parametara elektromagnetskog (EM) zračenja baznih stanica mobilne telefonije u saglasnosti sa direktivama Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja do 300 GHz. Date su osnovne jednačine za predikciju radiofrekventnih (RF) EM polja, čija se vremenska i prostorna raspodjela dobija rješavanjem Maksvelovih jednačina, za odgovarajuće specifične granične uslove. Upotrebom tzv. modela ravanskih talasa rješavanje ovih jednačina je znatno pojednostavljeno. Procjena parametara zračenja urađena je po principu najgoreg mogućeg slučaja.

Ključne riječi — Ravanski talasi, bazna stanica, izloženost EM zračenju, procjena parametara EM zračenja

I. UVOD

Direktive pravilnika o zaštiti od EM polja do 300 GHz [1] definišu granične vrijednosti referentnih veličina za izvore nejonizujućeg zračenja, koji rade u frekventnom opsegu od 1 Hz do 300 GHz. Referentne veličine su: jačina električnog polja E (V/m), jačina magnetskog polja H (A/m), gustina magnetskog fluksa B (μ T), gustinu snage S (W/m^2) i vrijeme usrednjavanja t (minute). Granične vrijednosti referentnih veličina su date za područja profesionalne izloženosti i za područja povećane osjetljivosti. One su bazirane na spoznaji da ljudsko tijelo apsorbira EM energiju na nekim frekvencijama efikasnije nego na ostalim. Eksperimentalno je utvrđeno da je najefikasnija apsorpcija EM energije kompletnog tijela u frekventnom opsegu od 10 MHz do 400 MHz [2]. Na drugim frekvencijama, apsorpcija EM energije ljudskog tijela je manje efikasna zbog čega su granične vrijednosti referentnih veličina manje restriktivne. Sa druge strane, osnovni problem pri proučavanju RF vodova je naći vremensku i prostornu raspodjelu EM polja u vodu, rješavanjem Maksvelovih jednačina za odgovarajuće specifične granične uslove, koji odražavaju stanje i osobine datog medijuma [3]-[6]. Pošto se radi o rješavanju složenog sistema diferencijalnih jednačina često se koristi model tzv. *ravanskih talasa*, kao najjednostavnijeg tipa EM talasa. Inače, u praksi je nemoguće realizovati izvor koji bi zračio čiste ravanske talase. Ipak izučavanje osobina ovog talasa je od velikog teorijskog i praktičnog značaja. Prirodni i vještački izvori zrače slobodne EM talase sferičnog karaktera, ali se na relativno velikim udaljenostima od izvora mogu aproksimirati jednostavnijim ravanskim talasima. Raspodjela „dalekog polja“ na udaljenostima od nekoliko talasnih dužina od antenskog sistema, definisana je jednostavnim relacijama intenziteta

električnog polja, intenziteta magnetskog polja i gustine snage emisije [3]-[6]. Ako se mjerenjem utvrdi samo jedna od ovih karakteristika polja, preostale dvije su jednoznačno određene. Dakle, u zoni dalekog polja predajne antene gdje se vektor električnog polja (E), vektor magnetskog polja (H) i smjer propagacije posmatraju kao međusobno ortogonalni vektori (uslovi ravanskih talasa), uzajamna relacija ovih veličina, u odnosu na prostiranje u slobodnom prostoru (impedansa vazduha $Z_0 = 377 \Omega$), određena je jednačinom:

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

II. DIREKTIVE PRAVILNIKA O ZAŠTITI OD EM POLJA

Pravilnik o zaštiti od EM polja do 300 GHz [1] sadrži dva odvojena područja graničnih vrijednosti izlaganja, koje su zavisne od situacije u kojoj se događa izlaganje i/ili statusa ličnosti koja je subjekt izlaganja. Odluka o tome o kojem tipu izlaganja se radi, u datoj situaciji, se bazira na slijedećem [1], [6]:

a) Područje profesionalne/kontrolisane izloženosti podrazumijeva situaciju u kojoj je izlaganje osoba zračenju, posljedica njihovog posla, pri čemu su ove osobe potpuno svjesne istog i pri čemu mogu pratiti i kontrolisati njihovo izlaganje. Ovo područje graničnih vrijednosti se takođe, primjenjuje tamo gdje je izlaganje nestalne prirode i rezultat je slučajnog prolaska osobe kroz lokaciju, gdje nivo izlaganja prevazilazi granične vrijednosti povećane osjetljivosti, toliko da je izložena osoba potpuno svjesna potencijalnog izlaganja i može kontrolisati svoje izlaganje napuštanjem prostora ili na neke druge prikladne načine. Takođe ovo područje se primjenjuje, u slučaju radio operatora-amatera i neposrednih članova njihovog domaćinstva.

b) Područje povećane osjetljivosti/nekontrolisane izloženosti opšte populacije se primjenjuje u situaciji u kojoj opšta populacija može biti izložena zračenju ili u kojoj su osobe izložene zračenju, zbog prirode njihovog posla, pri čemu nisu svjesne potencijalnog izlaganja i ne mogu isto da kontrolišu. Članovima opšte populacije se uvijek smatraju i osobe čije izlaganje nije posljedica njihovog posla, npr. u slučaju osoba koje stanuju u neposrednoj blizini telekomunikacionih antenskih stubova, itd.

Osnovni cilj primjene ovih definicija je stvaranje svijesti o potencijalnom EM izlaganju na radnom ili sličnim mjestima, koja može da se stekne kroz specifične treninge, koji su dio RF

sigurnosnog programa. Znaci upozorenja i naljepnice mogu, takode, doprinijeti uspostavljanju takve svijesti, sve dok na upadljiv način informišu, o riziku od potencijalnog izlaganja i o instrukcijama i metodama za minimiziranje takvog rizika. Fundamentalni aspekt direktiva izlaganja je da one primjenjuju prostorno usrednjenje gustine snage ili kvadrata jačina električnog i magnetskog polja duž dimenzija tijela. Prostorno usrednjeni nivoi EM polja, koji proističu iz izlaganja i maksimalnog dozvoljenog izlaganja (MPE/*Maximum Permissible Exposure*) datog u Tabelama I i II [1], a najpreciznije se dovode u vezu sa procjenom specifičnog koeficijenta apsorpcije (SAR, *Specific Absorption Rate*), su bazirani na ovom konceptu. Ovo

znači da lokalne veličine izlaganja koje prevazilaze utvrđene MPE nivoe nisu neusaglašene ako prostorno usrednjeni nivoi EM polja duž cijelog tijela ne prevazilaze MPE. Drugo svojstvo direktiva izlaganja je da izlaganja, u slučaju gustine snage, E^2 ili H^2 mogu biti usrednjena unutar izvjesnog vremenskog perioda sa prosjekom koji ne prevazilazi granicu kontinualnog izlaganja. Kao što je prikazano u Tabelama I i II vrijeme usrednjavanja je 6 minuta. Važno je primijetiti da, za nekontrolisana izlaganja opšte populacije, često nije moguće kontrolisati izlaganja u opsegu u kojem mogu biti primijenjena usrednjavanja nivoa polja u toku vremena. U takvim situacijama često je neophodno pretpostaviti kontinualno izlaganje.

TABELA I. GRANIČNE VRIJEDNOSTI MPE ZA PODRUČJE PROFESIONALNE OSJETLJIVOSTI

f	E (V/m)	H (A/m)	S _{ekv} (W/m ²)	t (min)
3 – 100 kHz	87	5	-	*
100 – 150 kHz	87	5	-	6
0,5 – 1 MHz	87	0,73/f	-	6
1 – 10 MHz	87/√f	0,73/f	-	6
10 – 400 MHz	28	0,073	2	6
400 – 2000 MHz	1,375√f	0,0037√f	f/200	6
2 – 10 GHz	61	0,16	10	6
10 – 300 GHz	61	0,16	10	68f ^{1,05}

* Relevantna je maksimalna efektivna vrijednost

TABELA II. GRANIČNE VRIJEDNOSTI MPE ZA PODRUČJE POVEĆANE OSJETLJIVOSTI

f	E (V/m)	H (A/m)	S _{ekv} (W/m ²)	t (min)
3 – 100 kHz	34,8	2	-	*
100 – 150 kHz	34,8	2	-	6
0,5 – 1 MHz	34,8	0,292/f	-	6
1 – 10 MHz	34,8/√f	0,292/f	-	6
10 – 400 MHz	11,2	0,0292	0,326	6
400 – 2000 MHz	0,55√f	0,00148√f	f/1250	6
2 – 10 GHz	24,4	0,064	1,6	6
10 – 300 GHz	24,4	0,064	1,6	68f ^{1,05}

* Relevantna je maksimalna efektivna vrijednost

Relevantni interval za vrijeme usrednjavanja za profesionalno/kontrolisano izlaganje je 6 minuta. Ovo znači, na primjer, da za vrijeme bilo kojih 6 minuta radnik može biti izložen zračenju nivoa dvostruke granične vrijednosti gustine snage tokom 3 minute, ali nije/neće uopšte bio/biti izložen za vrijeme prethodne ili slijedeće 3 minute. Slično, radnik može biti izložen zračenju nivoa trostruke granične vrijednosti gustine snage tokom 2 minute, ali nije/neće uopšte bio/biti izložen za vrijeme prethodne ili slijedeće četiri minute, itd. Ovaj koncept može da se generalizuje razmatranjem jednačine (2) koja omogućuje proračun dopuštenog vremena za izlaganje za dati nivo gustine snage za vrijeme prikladnog intervala vremenskog usrednjavanja, a zadovoljava kriterijume izlaganja u Tabelama I i II. Zbir proizvoda nivoa izlaganja i dozvoljenih vremena za izlaganje mora biti jednak proizvodu odgovarajućeg MPE i odgovarajućeg intervala vremena usrednjavanja. Na primjer, ako je MPE granica 1 mW/cm², desna strana jednačine postaje 6 mWmin/cm² (1 mW/cm²×6 min). Stoga, ako je određen granični nivo izlaganja od 2 mW/cm², dozvoljeno vrijeme za izlaganje, pri ovom graničnom nivou, za vrijeme bilo kojeg

intervala od 6 minuta je ukupno 3 minuta, pošto lijeva strana jednačine mora biti jednaka 6 (2 mW/cm²×3 min). Vrijednosti definisne u Tabelama I i II predstavljaju granične vrijednosti izlaganja, a ne granične vrijednosti emisije, pa se one odnose samo na lokacije koje su pristupačne radnicima ili članovima opšte populacije.

$$\sum S_{\text{exp}} t_{\text{exp}} = S_{\text{limit}} t_{\text{avg}} \quad (2)$$

Takav pristup može biti limitiran ili kontrolisan na prikladan način, korištenjem ograda, znakova upozorenja, itd. U slučaju kontrolisanog profesionalnog izlaganja mogu biti ustanovljene procedure za rad u blizini RF izvora koje će, u slučaju prekomjernih izlaganja, djelovati preventivno. Jedna od njih je na primjer, vremensko ograničenje prisustva osobe u blizini RF izvora ili uvođenje mjere da se rad, na samom RF izvoru ili u blizini izvora, obavlja samo pri isključenom izvoru zračenja. U slučaju radijskih emisionih antenna, prekomjerna izlaganja radnog osoblja, koje radi na ili u blizini položaja glavne antene, mogu da se spriječe korištenjem pomoćnih antenna.

III. JEDNAČINE ZA PROCJENU PARAMETARA EM POLJA

Procjene parametara EM polja se prave kako bi se predvidjela jačina električnog polja i nivoi gustine snage u okolini tipičnih RF izvora zračenja [3]-[6]. Na primjer, u slučaju jedne emisione antene predikcija gustine snage, u zoni dalekog polja antene, vrši se korištenjem opštih jednačina (3) ili (4). Ove jednačine su tačne za slučaj zone dalekog polja antene, dok se u slučaju bliskog polja antene koriste kao najgori mogući slučaj.

$$S = \frac{PG}{4\pi R^2} \quad (3)$$

$$S = \frac{EIRP}{4\pi R^2} \quad (4)$$

gdje su: S - gustina snage (W/m^2); P - ulazna snaga antene (W); G - antensko pojačanje u odnosu na izotropni radijator (dBi); R - rastojanje od centra zračenja antene (m) i EIRP (*Effective Isotropic Radiated Power*) - efektivna izotropna snaga zračenja. U nekim slučajevima se snaga može izraziti u obliku efektivne snage zračenja ili ERP (*Effective Radiated Power*) umjesto EIRP. ERP je snaga u odnosu na polutaladni dipolni radijator umjesto izotropnog radijatora. Koverzija EIRP u ERP se vrši množenjem EIRP sa faktorom 1,64 koji predstavlja pojačanje polutalasnog dipola u odnosu na izotropni radijator. Tako je:

$$S = \frac{EIRP}{4\pi R^2} = \frac{1,64ERP}{4\pi R^2} = \frac{0,41ERP}{\pi R^2} \quad (5)$$

U najgorem mogućem slučaju odnosno pri 100% refleksiji dolazećeg talasa zračenja dolazi do udvostručavanja jačine električnog polja odnosno do učetverostručavanja gustine snage na mjestu posmatranja. Tada se jednačine (3) i (4) modifikuju pa je:

$$S = \frac{4PG}{4\pi R^2} = \frac{PG}{\pi R^2} = \frac{EIRP}{\pi R^2} \quad (6)$$

U slučaju FM radio i televizijskih emisionih antena razvijeni su modeli za predikciju prizemnih nivoa jačine električnog polja i gustine snage. Taj model preporučuje realniju aproksimaciju zbog refleksije talasa od zemlje sadržanu u maksimalnom povećanju jačine polja za faktor množenja od 1,6 tako da je:

$$S = \frac{2,56EIRP}{4\pi R^2} = \frac{0,64EIRP}{\pi R^2} \quad (7)$$

Ako se u (7) koristi ERP umjesto EIRP, tada je gustina snage data izrazom:

$$S = \frac{0,64EIRP}{\pi R^2} = \frac{(0,64)(1,64)ERP}{\pi R^2} = \frac{1,05ERP}{\pi R^2} \quad (8)$$

Ponekad je gustinu snage EM zračenja najpogodnije predstaviti korištenjem jedinice $\mu W/cm^2$ umjesto jedinice mW/cm^2 . U tom slučaju jednačina (8) se znatno pojednostavljuje:

$$S = \frac{33,4ERP}{R^2} \quad (9)$$

gdje su: S - gustina snage ($\mu W/cm^2$); R - rastojanje od centra zračenja antene (m) i ERP - efektivna snaga zračenja (W).

IV. RELATIVNO POJAČANJE I PRORAČUN GLAVNOG SNOPA ZRAČENJA

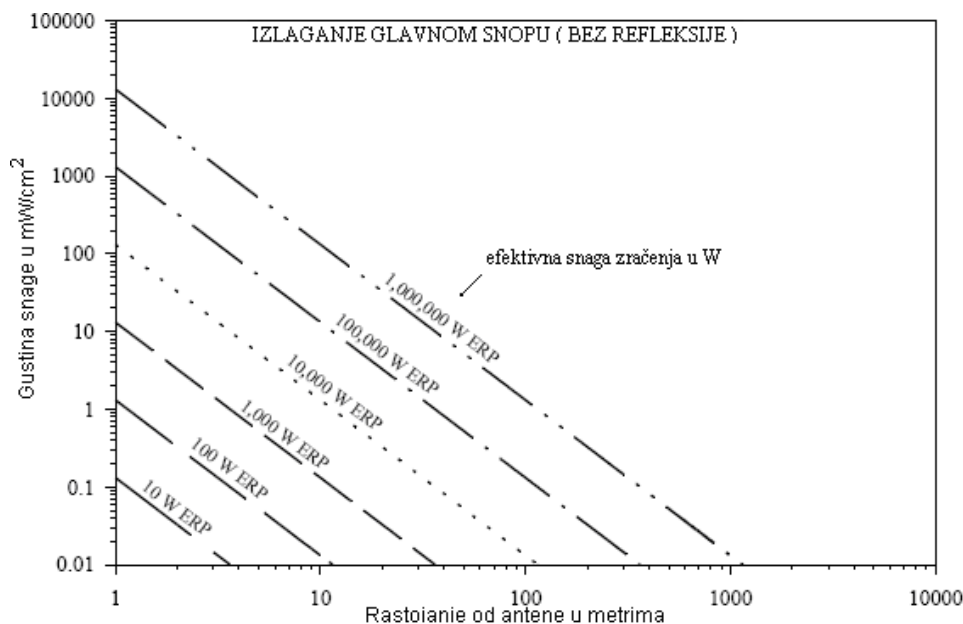
Gore navedene jednačine se koriste za proračun parametara zračenja različitih antena kao što su: omni-direkcionalni radijatori, dipol antene i antene sa refleksionim površinama za usmjeravanje. Međutim, u mnogim slučajevima, korišćenje jednačina kao što su (3) i (4), će rezultovati u previše konzervativnom "najgorem slučaju" predikcije polja u datoj tački. Ako je poznat antenski dijagram zračenja u vertikalnoj ravni, relativni faktor polja (relativno pojačanje) izvedeno iz takvog dijagrama može da doprinese znatno tačnijem proračunu polja u tački posmatranja. Npr., u slučaju antene usmjerene prema horizontu, relativno pojačanje u osi glavnog snopa je 1, dok je u ostalim smjerovima (van te ose) manje od 1. Prema tome, direktno zračenje antene prema zemlji mora biti značajno redukovano i tako može biti dobijena realnija predikcija polja u posmatranoj tački. Uzimajući ovo u obzir jednačina (9) se modifikuje pa je:

$$S = \frac{33,4(F)^2 ERP}{R^2} \quad (10)$$

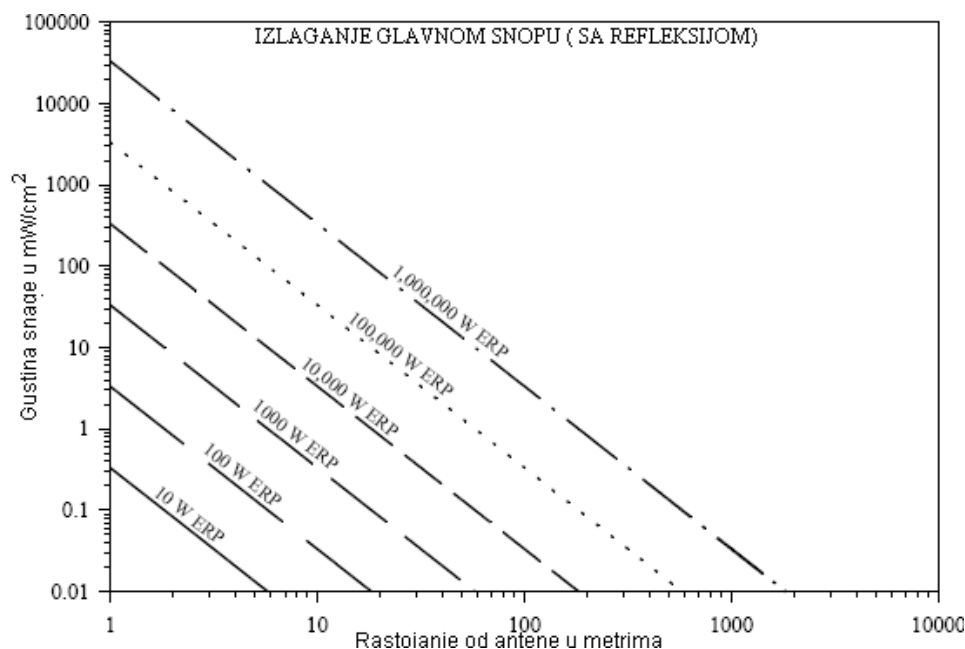
gdje su: S - gustina snage ($\mu W/cm^2$); R - rastojanje od centra zračenja antene (m) i ERP - efektivna snaga zračenja (W) i F - relativni faktor polja (relativno numeričko pojačanje). Ako je tačka posmatranja u blizini ose glavnog snopa zračenja onda se za proračun uglavnom koristi jednačina (3) ili njeni izvodi. U protivnom mora se upotrebiti relativni faktor polja F . Takvi slučajevi su npr. kad je tačka posmatranja u blizini neke građevine ili krova. Za pogodno određivanje izlaganja EM polju u takvim slučajevima jednačina (3) se koristi za izvođenje dijagrama datih na Sl. 1 i 2. Ovi dijagrami omogućuju brzo određivanje gustine snage na datom rastojanju od antene u osi glavnog snopa zračenja za različite nivoje ERP. Međuvrijednosti ERP se mogu procijeniti interpolacijom ili sljedeći najviši nivo ERP može da se koristi kao najgori slučaj aproksimacije. Dijagram na Sl. 1 podrazumjeva da nema refleksije od površine. Međutim, na krovovima, gdje glavni snop može biti usmjeren paralelno i uzduž krova ili samo malo iznad površine krova, moraju postojati reflektovani talasi, koji će doprinijeti povećanju izlaganja [7]. Zbog toga je dijagram na Sl. 2 izveden tako što je korišten refleksioni faktor $(1,6)^2 = 2,56$ i dobijene su realnije vrijednosti. Za svaku posmatranu tačku, razmatranjem postojeće situacije utvrđuje se koji dijagram može da se koristi (Sl. 1 ili Sl. 2) za izvođenje gustine snage zračenja. Važno je primijetiti da izlaganja unutar građevina trebaju biti redukovana najmanje 10-20 dB zbog slabljenja uzrokovanog materijalom u zidovima i krovovima. U [8] se nalaze jednostavne formule za brzo, aproksimativno utvrđivanje referentnih veličina EM zračenja za različite slučajeve.

V. PRORAČUN PARAMETARA EM POLJA BAZNE STANICE MOBILNE TELEFONIJE

Bazna stanica mobilne telefonije tipa RBS 2206 "Ericsson", na lokaciji Veljine konfigurisana je sa tri sektora i dva primo-predajnika po sektoru (konfiguracija 2/2/2).



Slika 1. Gustina snage u funkciji rastojanja od antene (bez refleksije)

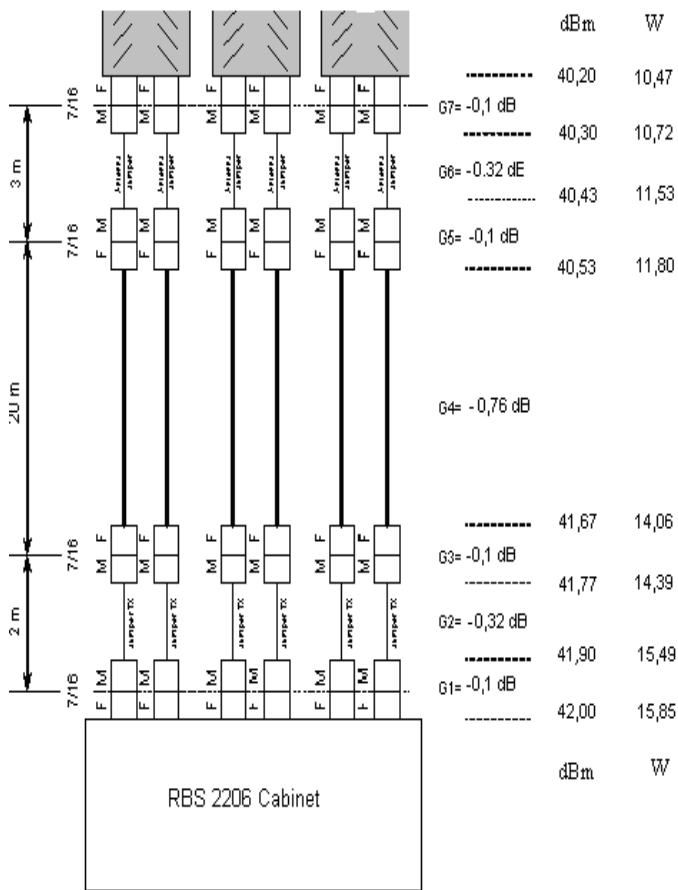


Slika 2. Gustina snage u funkciji rastojanja od antene (sa refleksijom)

Koordinate lokacije su $18^{\circ} 22' 4,04''$ E i $43^{\circ} 49' 30,43''$ N. Za kombinovanje signala iz bazne stanice (BS) na antenu koristi se hibridni kombajner "Duamco 4:2" kojim se signal sa dva primopredajnika (od moguća 4) kombinuje na jednu antenu i omogućuje "synthesized frequency hopping". Za antenski sistem koriste se tri identične X-polarizovane (*cross-polarized*) antene tipa "Kathrein" K739685, montirane na visini $H=20$ m, sa širinom glavne latice od 65° po azimutu, $9,5^{\circ}$ po elevaciji i dobitkom od 16,5 dBi u frekventnom opsegu od 880 do 960 MHz. Usmjerenja antena su 60° , 185° , 305° , a tiltovi 0° , 0° , 0° . Sa kabinetom bazne stanice RBS 2206 antene su vezane 7/8" koaksijalnim kablom-fiderom dužine 20 m. Maksimalna izlazna snaga predajnika je 15,85W odnosno 42 dBm.

Efektivna izračena snaga (EIRP) je snaga koja se zrači iz antena u prostor i razlikuje se od izlazne snage bazne stanice zbog gubitaka u fiderima, džamperima i konektorima, te dobitka antene. Gubici u fiderima zavise od tipa i dužine fidera te u slučaju 7/8" fidera iznose 3,8dB na 100 m dužine. Gubici u džamperima su 0,13dB, gubici na konektorima su 0,1dB. Na Sl. 3 prikazan proračun snage na ulazu u antene uzimajući u obzir sve gubitke [3]-[5]. Pošto se na sve tri antene istih karakteristika dovodi signal maksimalne snage 40,20 dBm odnosno 10,47 W, proračun je isti za sva tri sektora. Snaga signala zračenog u prostor je:

$$EIRP = 40,2 \text{ dBm} + 16,5 \text{ dBi} = 56,7 \text{ dBm} = 467,74 \text{ W} \quad (11)$$



Slika 3. Prikaz gubitaka u fiderima i proračun snage na ulazu u antenu

Dobitak antene je 16,5 dBi odnosno 44,68 puta u odnosu na izotropni radijator. Predajni frekventni opseg (*downlink*) je od 880 do 960 MHz, odnosno talasna dužina se kreće od 0,34 do 0,31 m. Stoga, zona bliskog polja je sve do rastojanja $5\lambda=5\cdot0,31=1,55\text{m}$, a zona dalekog pola je na rastojanju većem od 1,55 m. Maksimalna gustina snage, u osi glavnog snopa, na samoj granici između bliže i dalje zone zračenja je:

$$S_{ff} = \frac{PG}{4\pi R^2} = \frac{EIRP}{4\pi R^2} = \frac{467,74}{4 \cdot 3,14 \cdot (1,55)^2} = 15,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (12)$$

$$S_{ff} \square \frac{925 \text{ MHz}}{1250} = 0,74 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Gustina snage EM zračenja, na samoj granici između zone bliskog i dalekog polja, značajno prevazilazi graničnu vrijednost za područja povećane osjetljivosti od $0,74 \text{ W/m}^2$ datu u [1]. Dalje, može se izračunati na kojem će rastojanju gustina snage EM zračenja u najgorem, samo teoretski mogućem slučaju (100% reflektovani talas i istovremeni rad sva 4 predviđena kanala), biti jednaka graničnoj vrijednosti prema [1]:

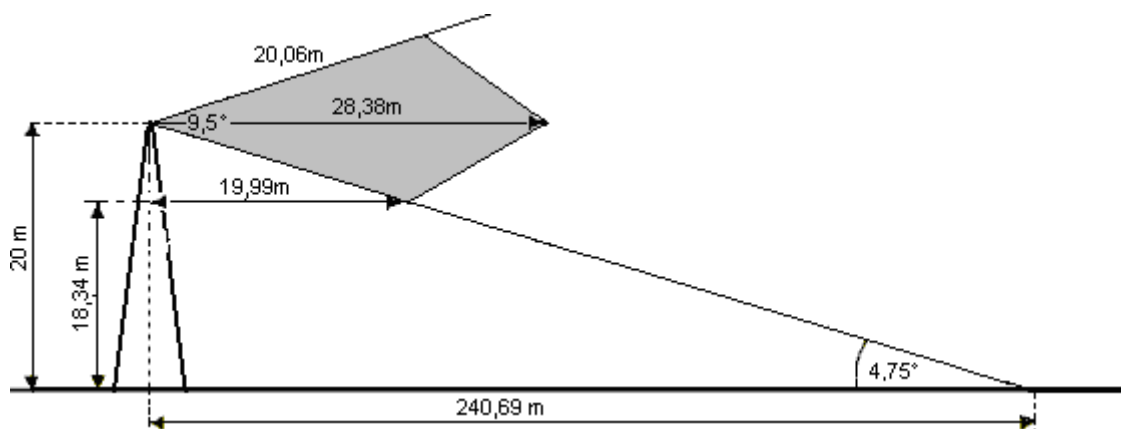
$$0,74 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \frac{4 \cdot 4EIRP}{4\pi R_g^2} \quad (13)$$

$$R_g^2 = \frac{16EIRP}{4\pi \cdot 0,74}, R_g = \sqrt{805,2} \approx 28,38 \text{ m}$$

Dakle, u ovom slučaju na svakoj udaljenosti po osi glavne latice snopa zračenja većoj od 28,38 m nalazi se, prema [1], potpuno sigurna zona sa aspekta uticaja EM zračenja na opštu populaciju. Tamno osjenčena površina na Sl. 4 predstavlja zonu u kojoj ne smije da se pojavljuje opšta populacija. U tom prostoru, gustina snage EM zračenja prevazilazi dozvoljenu vrijednost. Kako je naznačeni prostor na visini većoj od 18,34 metara od zemlje taj uslov će sigurno biti ispunjen, jer se u neposrednoj blizini pomenutog predajnika ne nalazi nijedan objekat te visine. Takođe, rastojanje na kojem će gustina snage EM zračenja bočnog snopa prepolovljene snage u najgorem, samo teoretski mogućem slučaju (100% reflektovani talas i istovremeni rad sva 4 predviđena kanala), biti jednaka graničnoj vrijednosti:

$$0,74 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \frac{4 \cdot 4EIRP}{8\pi R_g^2} \quad (14)$$

$$R_g^2 = \frac{16EIRP}{8\pi \cdot 0,74}, R_g = \sqrt{402,4} \approx 20,06 \text{ m}$$



Slika 4. Prikaz glavne latice snopa EM zračenja

Profesionalno osoblje može da se nađe u ovom prostoru, pri čemu mora strogo da se pridržava svih zakonom propisanih mjera zaštite. Rastojanje na kojem će gustina snage EM zračenja biti jednaka graničnoj vrijednosti za profesionalno osoblje je:

$$R_g^2 = \frac{16EIRP}{4\pi \cdot 4,6}, R_g = \sqrt{129,53} \approx 11,38 \text{ m} \quad (15)$$

Dakle, profesionalno osoblje ne smije da se zadržava u zoni ispod 11,38 m u intervalima dužim od 6 minuta. Ako se uzmu u obzir gore navedeni dijagram zračenja, visina i tilt antena može se izračunati mjesto najbliže antenskom stubu, na kojem će snop EM zračenja prepolovljene snage pasti na zemlju:

$$\operatorname{tg}(4,75^\circ) = \frac{H}{R_z} = \frac{20}{R_z}, R_z = \frac{20}{\operatorname{tg}(4,75^\circ)} = 240,69 \text{ m} \quad (16)$$

Gustina snage EM zračenja na udaljenosti 240,69 m od bazne stanice u najgorem, samo teoretski mogućem slučaju (100% reflektovani talas i istovremeni rad sva 4 kanala), biće:

$$S_{ff} = \frac{8PG}{4\pi R^2} = \frac{8EIRP}{4\pi R^2} = \frac{3741,89}{4 \cdot 3,14 \cdot 240,69^2} \quad (17)$$

$$S_{ff} = 0,0051 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \approx 0,74 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Gornji proračuni nisu uzeli u obzir atmosferske prilike, odnosno predviđeni su idealni uslovi za prostiranje bez bilo kakvih gušenja i apsorpcije

VI. ZAKLJUČAK

Upotrebom modela ravanskih talasa, kao najjednostavnijeg tipa EM talasa, maksimalno je uprošteno rješavanje problema vremenske i prostorne raspodjele EM polja u prenosnom vodu. Na taj način su dobijene proste jednačine koje aproksimiraju vrijednosti jačine električnog polja E (V/m), jačine magnetskog polja H (A/m) i gustine snage S (W/m²) i omogućuju brzu i jednostavnu predikciju potencijalnog izlaganja opšte populacije ili profesionalnog osoblja EM polju. Dobijene vrijednosti se porede sa propisanim graničnim vrijednostima Pravilnika o zaštiti od EM polja do 300 GHz ili drugim relevantnim propisima. Opštoj populaciji, generalno, nije dostupna zona u kojoj gustina snage EM zračenja prevazilazi granične vrijednosti referentnih veličina. Pri ovoj procjeni, proračun je primjenjen na najgori, samo teoretski, moguć slučaj sa 100% refleksijom EM talasa. U realnom okruženju, jačina EM zračenja na mjestu prijema često je rezultat mnoštva signala nastalih zbog

refleksije, cik-cak puteva, rasijavanja ili difrakcije. To dodatno doprinosi smanjenju intenziteta parametara EM zračenja na mjestima na kojima se može naći opšta populacija.

LITERATURA

- [1] Ministarstvo zdravlja i socijalne zaštite, "Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja do 300GHz", Sl. Glasnik Republike Srpske br.112, od 14.12. 2007. god.
- [2] M. A. A. Karunarathna and I. J. Dayawana "Energy absorption by the human body from RF and microwave emissions in Sri Lanka", Sri Lankan Journal of Physics, Vol. 7 (2006), 35-47
- [3] Darko Šuka: „Predikcija gustine snage elektromagnetskog zračenja baznih stanica mobilne telefonije“, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, 2007.
- [4] Darko Šuka: „Analiza elektromagnetske emisije baznih stanica mobilne telefonije u urbanom okruženju“, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, 2012.
- [5] Darko Šuka: „Predikcija gustine snage elektromagnetskog zračenja baznih stanica mobilne telefonije“, INFOTEH-JAHORINA Vol. 7, Ref. B-II-12, Mart 2008. (ISBN 99938-624-2-8)
- [6] Đ. Kolonić, P. Međedović, "Studija o uticaju baznih stanica mobilne telefonije na životnu sredinu", Institut zaštite, ekologije i informatike, Banja Luka, juni 2001 god.
- [7] Petar Međedović, Darko Šuka: „Profesionalna izloženost RF poljima antena BS na krovovima“, INFOTEH-JAHORINA Vol. 9, Ref. B-III-3, pp. 256-260, Mart 2010. (ISBN 99938-624-2-8)
- [8] Robert F. Cleveland, David M. Sylvar, Jerry L. Ulcek; „Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields“, Federal Communications Commission Office of Engineering & Technology; Washington, August 1977.

ABSTRACT

This paper briefly describes calculation of EM radiation parameters from mobile telephony base stations pursuant to the directives of the Rulebook on the Protection of EM fields up to 300 GHz. The basic equations for prediction of radio frequency (RF) EM fields are given as well, and their temporal and spatial distribution is obtained by solving Maxwell's equations for appropriate specific boundary conditions. By using the so-called plane waves model, the solving of these equations has been simplified significantly. The estimation of radiation parameters is made for the worst case scenario.

CALCULATION OF EM RADIATION PARAMETERS FROM MOBILE TELEPHONY BASE STATIONS BY PLANE WAVES MODEL

Darko S. Šuka, Pero D. Ožegović