

Antene sa aperturom u GSM/UMTS sistemima

Proračun parametara EM zračenja za mini-link parabolične antene

Darko S. Šuka

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

Pero D. Ožegović

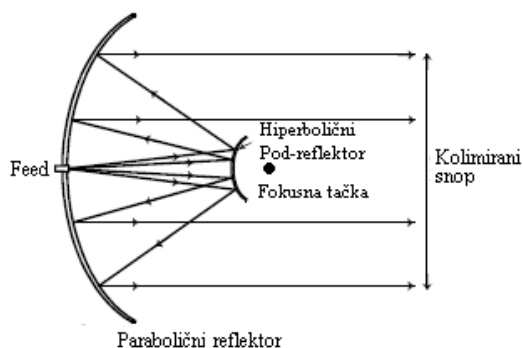
JP "Komunalno Brčko",
Brčko distrikt, BiH
pero.ozegovic@komunalno.ba

Sažetak — U ovom radu se prikazuje postupak izračunavanja parametara EM zračenja koje stvaraju antene sa aperturom u GSM/UMTS sistemima. Na konkretnom primjeru izvršena je uporedna analiza podataka dobijenih procjenom sa vrijednostima datim u Pravilniku o zaštiti od EM polja do 300 GHz. Pokazano je da se te vrijednosti nalaze u granicama dozvoljene količine zračenja. Date su i osnovne jednačine kojima se aproksimira prostiranje EM talasa u bliskoj i dalekoj zoni zračenja.

Ključne riječi — EM zračenje, GSM/UMTS bazna stanica, izloženost EM zračenju, Antene sa aperturom, Procjena izloženosti

I. UVOD

Apertura antene ili efektivna površina je mjera koliko je antena efikasna u prijemu energije radio-talasa. Apertura se definiše kao prostor orijentisan okomito na pravac dolaznog radio-talasa koji će presresti istu količinu energije tog talasa kao što bi je proizvela prijemna antena. Antene sa aperturom se koriste u telekomunikacionim sistemima kao što su stanice satelit-zemlja, mikrotalasni linkovi od tačke do tačke (*point-to-point*), različiti tipovi radara, itd. Generalno, ovi tipovi antena imaju parabolične površine i kružne poprečne presjeke. Karakteristične su po velikom pojačanju što rezultuje u prenosu snage u dobro definisanom kolimiranom snopu sa malom ugaonom divergencijom. Sistemi koji koriste antene sa aperturom rade u mikrotalasnom frekventnom opsegu iznad 900 MHz. Takvi sistemi primjenjeni u telekomunikacionim aplikacijama rade sa nivoima snage koji zavise od rastojanja između predajnih i prijemnih antena, broja potrebnih kanala (opsega) i antenskih pojačanja predajnih i prijemnih antena. Antene koje se koriste tipično imaju kružni poprečni presjek, gdje je antenski prečnik važna karakteristika koja određuje antensko pojačanje.



Slika 1. Cassegrain antena

U slučaju antenskog sistema stanice satelit-zemlja, gdje je kombinacija velike predajne snage i velikog prečnika antene (velikog pojačanja), proizvode se rejoni značajne gustine snage u glavnom snopu, koji mogu da se rašire duž relativno velikog rastojanja. Mnoge antene ovog tipa koriste "Cassegrain" oblik u kojem se napajanje antene snagom ostvaruje preko talasovoda lociranog u centru paraboličnog reflektora. Zračenje iz ovog izvora obasjava hiperbolični pod-reflektor lociran između "feed"-a i fokusne tačke antene, pri čemu se snop reflektuje nazad na glavni reflektor, što rezultuje transmisijom kolimiranog snopa zračenja. Na Sl.1 prikazan je primjer takve antene. Zahvaljujući usmjerenosti ovih i drugih antena sa aperturom vjerovatnoća izlaganja ljudskog tijela RF zračenju je značajno smanjena. Gustine snage koje postoje na lokacijama gdje ljudi mogu biti tipično izloženi zračenju su mnogo manje nego gustine snage u osi glavnog snopa. Faktori koji se moraju uzeti u obzir prilikom procjene mogućnosti izlaganja zračenju su: orijentacija glavnog snopa, visina antena iznad zemlje, lokacije vezane za mjesto gdje ljudi žive ili rade i postupka operativne procedure prilikom instalacije. U radu su analizirane mini-link parabolične antene u GSM/UMTS sistemima, te procjena parametara EM zračenja ovih antena. Procjena je urađena modelom ravanskih talasa [1]-[4]. Generalno, za parabolične antene sa aperturom i kružnim poprečnim presjekom mogu da se koriste jednačine date u [7]. Detaljnije metode analize date su u [5] i [6].

II. PRORAČUN EM PARAMETARA PARABOLIČNE ANTENE

A. Antenska površina

Maksimalna gustina snage direktno na prednjem dijelu antene (npr. na antenskoj površini) može da se aproksimira sljedećom jednačinom:

$$S_{surface} = \frac{4P}{A} \quad (1)$$

gdje su: $S_{surface}$ - maksimalna gustina snage na površini antene, P - snaga napajanja antene i A - fizička površina aperture antene.

B. Zona bliskog polja

U zoni bliskog polja (Frenelova zona) glavnog snopa, gustina snage može dostići maksimum prije nego što počne opadati sa rastojanjem. Oblast zone bliskog polja može da se opiše sljedećim jednačinama (D i λ u istim jedinicama):

$$R_{nf} = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (2)$$

gdje su: R_{nf} - dužina bliskog polja, D - maksimalna dimenzija antene (prečnik ako je krug) i λ - talasna dužina. Veličina gustine snage u osi snopa varira zaviso od lokacije u zoni bliskog polja. Maksimalna vrijednost gustine snage u zoni bliskog polja može da se izračuna pomoću jednačine:

$$S_{nf} = \frac{16\eta P}{\eta D^2} \quad (3)$$

gdje su: S_{nf} - maksimalna gustina snage u zoni bliskog polja, η - efikasnost aperture (tipično 0,5-0,75), P - Snaga napajanja antene i D - prečnik antene. Efikasnost aperture može se dobiti iz odnosa efektivne površine aperture i njene fizičke površine kao:

$$\eta = \frac{\left(\frac{G\lambda^2}{4\pi}\right)}{\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)} \quad (4)$$

gdje su: η - efikasnost aperture za kružne aperture, G - pojačanje snage odnosu na izotropni radijator u posmatranom smjeru, λ - talasna dužina i D - prečnik antene. Ako je nepoznato pojačanje antene treba ga izračunati upotrebom jednačine koja koristi aktuelnu ili procijenjenu vrijednost za efikasnost aperture:

$$G = \frac{4\pi\eta A}{\lambda^2} \quad (5)$$

gdje su: η - efikasnost aperture, G - pojačanje snage odnosu na izotropni radijator u posmatranom smjeru, λ - talasna dužina i A - fizička površina antene

C. Prelazna (tranzitna) zona

Gustina snage u prelaznoj (tranzitnoj) zoni opada inverzno sa rastojanjem od antene dok gustina snage u dalekoj zoni (Fraunhofer zona) antene opada inverzno sa kvadratom rastojanja. U svrhu procjene EM izlaganja, rastojanje do početka zone dalekog polja (najveća dužina prelazne zone) može se aproksimirati jednačinom:

$$R_{ff} = \frac{0,6D^2}{\lambda} \quad (6)$$

gdje su: R_{ff} - rastojanje na početku zone dalekog polja, D - prečnik antene i λ - talasna dužina. Prelazna zona će tada biti zona proširena sa R_{nf} , na osnovu jednačine (2), u R_{ff} . Ako lokacija od interesa pada unutar prelazne zone, u osi snopa, gustina snage može da se odredi iz jednačine:

$$S_t = \frac{S_{nf}R_{nf}}{R} \quad (7)$$

gdje su: S_t - gustina snage u prelaznoj zoni, S_{nf} - maksimalna gustina snage u zoni bliskog polja izračunata na osnovu jednačine (3), R_{nf} - dužina zone bliskog polja izračunata na osnovu jednačine (2) i R - rastojanje do posmatrane tačke.

D. Zona dalekog polja

Gustina snage u zoni dalekog polja (Fraunhofer zona) opada inverzno kvadratu rastojanja i može da se procjeni jednačinom datom u [7]:

$$S_{ff} = \frac{PG}{4\pi R^2} \quad (8)$$

gdje je: S_{ff} - gustina snage u osi glavnog snopa, P - snaga napajanja antene, G - pojačanje snage odnosu na izotropni radijator u posmatranom smjeru i R - rastojanje do posmatrane tačke. U zoni dalekog polja gustina snage je raspodjeljena u seriji minimuma i maksimuma u funkciji od van-osnog ugla (*off-axis angle*), koji se definiše pomoću ose antene, centra antene i specifične posmatrane tačke. Za konstantnu fazu ili uniformno obasjavanje duž aperture, glavni snop će biti mjesto najvećeg od ovih maksimuma. Gustina snage u osi snopa dobijena iz gornjih formula predstavlja maksimalne nivoe izlaganja koje sistem može da proizvede. Gustina snage van ose glavnog snopa biće znatno manja. Za proračune van ose glavnog snopa zračenja, u zoni bliskog polja i prelaznoj zoni, može da se pretpostavi da, ako je posmatrana tačka pomjerena, od centra glavnog snopa zračenja, najmanje za jedan prečnik antene, gustina snage će u toj tački biti najmanje za faktor 100 (20 dB) manja od vrijednosti izračunate za ekvivalentna rastojanja u glavnom snopu [1]. Upotreba envelope dijagrama zračenja antene može biti vrlo praktična za procjenu RF polja u van-osnoj okolini aperture antene. Npr. u slučaju zemaljske stanice u službi fiksnog satelita definisano je maksimalno dozvoljeno pojačanje antenskih bočnih snopova van ravni geostacionarnih satelitskih orbita, onakvih kao na nivou zemlje. U takvim slučajevima, propisi zahtijevaju da pojačanje antena leži ispod envelope definisane sa:

$$\left\{ \begin{array}{l} 32 - \{25 \log_{10}(\theta)\} \text{ dBi}, 1^\circ \leq \theta \leq 48^\circ \\ -10 \text{ dBi}, 48^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \end{array} \right\} \quad (9)$$

gdje su: θ - ugao u stepenima od ose glavnog snopa, dBi - pojačanje u odnosu na izotropni radijator. Upotreba pojačanja dobijenog na ovaj način u prostim proračunima zone dalekog polja, kao npr. jednačina (8), će generalno biti dovoljna za procjenu nivoa EM polja u okruženju, pošto je očigledno da je apertura antene tipično vrlo mala u poređenju sa njenom frontalnom površinom.

III. SPECIJALNI ANTENSKI MODELI

Ima različitih tipova antena za koje drugi modeli i metode predikcije mogu biti korisne za procjenu potencijalnog izlaganja zračenju EM polja. Diskusija modela za svaku od tih mnogobrojnih antena je van opsega ovog rada. Međutim, biće spomenuti neki specifični slučajevi i aplikacije. U prilogu A datog u [7] razmotren je model koji je razvijen za FM radio emisione antene. Razvijene su predikcione metode za neke specijalizovane antene koje su se koristile za pozive preko pejdžera, čelijske radio i personalne komunikacione servise (PCS - *Personal Communications Services*). Već 1995. godine Richard Tell je razvio predikcionu metodologiju za RF polja u blizini takvih antena posebno onih lociranih na najvišim krovovima [8], [9]. Prema toj studiji je, za mala rastojanja od antene, model gustine snage baziran na inverznom rastojanju, tačniji od predikcije zasnovane na tipičnoj jednačini dalekog polja kao što je jednačina (8). Drugim rječima, faktor R^2 se u ovoj jednačini mijenja faktorom R kako bi se dobila realnija aproksimacija gustine snage u blizini antena. Rastojanja za koje ova relacija važi variraju sa posmatranom antenom i mogu da dostignu nekoliko metara prema Tell-ovoj studiji. Tell je shvatio da može biti korisna upotreba cilindričnih modela u procjeni EM polja blizu kolinearnih dipol-antena slično onim korištenim za čelijski, PCS, *paging* i dvosmjerne radio-komunikacije [6].

V. PRORAČUN EM PARAMETARA ZA MINI-LINK ANTENE U GSM/UMTS SISTEMIMA

Na lokaciji Ravna Romanija (18° 41' 0.3" E, 43° 55' 0.5" N) nalazi se BS mobilne telefonije tipa Ericsson RBS 2202. Na antenskom stubu instalirane su dvije antene mikrotalasnog mini-linka tip "RAU1 18/15 MLE 18 Ericsson", istih karakteristika:

- predajna frekvencija: 18716,75 – 19019,00 MHz,
- ulazna snaga: 17 (50,12 mW) - 24 dBm (251,19 mW),
- tip predajne antene: parabolična (60 cm),
- dobitak predajne antene: 38,6 dB (7244,36),
- usmjerenja po azimutu: Antena 1 - 50°, Antena 2 - 240°.

Na osnovu gore datih podataka može se predvidjeti gustina snage u bliskoj i dalekoj zoni zračenja. Bliska zona zračenja je, prema jednačini (2), na rastojanju do:

$$R_{nf} = \frac{D^2}{4\lambda} = \frac{(0,6)^2}{4 \cdot 0,0159} = 5,66 \text{ m} \quad (12)$$

gdje je: $\lambda = 3/188.7 = 0,0159 \text{ m} = 1,59 \text{ cm}$. Maksimalna gustina snage u bliskoj zoni zračenja, prema jednačini (3), je:

$$S_{nf} = \frac{16\eta P}{\pi D^2} = \frac{16 \cdot 0,75 \cdot 50,12}{3,14 \cdot (0,6)^2} = 0,53 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}. \quad (13)$$

gdje su: $P = 50,12 \text{ mW}$, $\eta = 0.75$ i $D = 60 \text{ cm}$. Tranzitna zona je od rastojanja 5,66 m do 13,58 m, jer je prema jednačini (6):

$$R_{ff} = \frac{0,6D^2}{\lambda} = \frac{0,6 \cdot (0,6)^2}{0,0159} \approx 13,58 \text{ m}. \quad (14)$$

Kao što je prethodno rečeno, tranzitna zona se nalazi između zone bliskog i zone dalekog polja. To je zona tranzicije polja od raspodjele polja karakteristične za blisku zonu u raspodjelu polja karakterističnu za daleku zonu, u idealnom slučaju u ravnanske talase. Ova zona je karakteristična za antene sa paraboličnim reflektorom. U ovoj zoni gustina snage EM zračenja opada sa rastojanjem za razliku od zone dalekog polja (Fraunhoferova zona) u kojoj gustina snage opada sa kvadratom rastojanja. Minimalna gustina snage u tranzitnoj zoni, odnosno maksimalna gustina snage u dalekoj zoni zračenja koja se prostire od 13,58 m pa dalje, prema jednačini (7) za $R = R_{ff}$, je:

$$S_t = \frac{S_{nf} R_{nf}}{R_{ff}} = \frac{0,53 \cdot 5,66}{13,58} = 0,22 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (15)$$

Izračunate vrijednosti možemo provjeriti na osnovu jednačine (8) za ravnanski talas u bliskoj zoni zračenja:

$$S_{nf} = \frac{PG}{4\pi R_{nf}^2} = \frac{0,05012 \cdot 7244,36}{4 \cdot 3,14 \cdot (5,66)^2} = 0,902 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}. \quad (16)$$

odnosno u daljoj zoni zračenja:

$$S_{ff} = \frac{PG}{4\pi R_{ff}^2} = \frac{0,05012 \cdot 7244,36}{4 \cdot 3,14 \cdot (13,58)^2} = 0,156 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (17)$$

U ovom slučaju usmjerene veze (*point to point*), radi se o jako koncentrisanom zračenju EM energije, gdje je glavni snop zračenja antene izuzetno uzak i gdje se pretpostavlja optička vidljivost između prijemne i predajne antene.

Ovaj model takođe može da se koristi u procjeni izlaganja u zoni bliskog polja u okolini TV i FM radio emisionih antena, gdje radnici mogu biti prisutni za vrijeme emisije. Uopšte, ovaj model je tačniji za predikciju izlaganja u zoni veoma blizu antene, gdje jednačina dalekog polja, npr. $S = E^2/Z_0$, gdje je $Z_0 = 377 \Omega$ impedansa vazduha, može značajno da premaši realne vrijednosti polja u okolini. Međutim, udaljavanjem od antene cilindrični model postaje previše konzervativan i tada je tačniji model dalekog polja. Tačno rastojanje gdje se ovo dešava (*crossover point*, prelazna tačka) nije jednoznačna veličina, već zavisi od karakteristika antene kao što su dimenzije aperture i pojačanje. Ova tačka se može odrediti proračunom i crtanjem gustine snage upotrebom modela dalekog polja i cilindričnog modela opisanog u nastavku, te nalazeći rastojanje gdje se predikcija podudara. Za Tell-ov cilindrični model, prostorno usrednjeni ravnanski talas ekvivalentne gustine snage, paralelan anteni, može da se procijeni podjelom mrežne ulazne snage antene površinom oblasti imaginarnog cilindra koja obuhvata dužinu emisione antene. Dok će stvarna gustina snage varirati duž visine antene, srednja vrijednost duž njene dužine usko će da slijedi relaciju datu jednačinom:

$$S = \frac{P_{net}}{2\pi Rh} \quad (10)$$

gdje su: S - gustina snage, P_{net} - mrežna ulazna snaga antene, R - rastojanje od antene i h - visina aperture antene. Za antene sektorskog tipa, gustina snage se može procijeniti dijeljenjem ulazne mrežne snage dijelom površine cilindrične oblasti koja odgovara ugaonoj širini snopa antene. Npr. u slučaju širine snopa po azimutu od 120 stepeni, površina oblasti će da odgovara 1/3 ukupnog cilindra. Ovo bi povećalo gustinu snage u blizini antene tri puta za omnidirekcionu antenu. Matematički, ovo se može predstaviti jednačinom (11) u kojoj ugaona širina snopa, θ_{BW} , može biti uzeta kao pogodan azimutni ugao disperzije snage za dati reflektor. Npr. konzervativna procjena može da se obavi upotrebom 3 dB (pola-snage) azimutne širine snopa za datu sektorsku antenu:

$$S = \left(\frac{180}{\theta_{BW}} \right) \frac{P_{net}}{\pi Rh} \quad (11)$$

gdje je: θ_{BW} - širina snopa antene u stepenima. Jednačina (11) može da se koristi za bilo koju vertikalnu kolinearnu antenu čak i omnidirekcionu. Za omnidirekzione antene θ_{BW} je 360 stepeni i jednačina (11) se redukuje u prostiju jednačinu (10).

IV. MJESTA SA VIŠE RF IZVORA I KOMPLEKSNA OKRUŽENJA

Vrlo često se na jednoj lokaciji nalazi više RF izvora istih i različitih karakteristika. Antene različitih RF izvora (FM, TV, mikrotalasni link, itd.) često su grupisane na jednom antenskom stubu. Propisi dati u [10] regulišu sve slučajeve po pitanju izlaganja uzrokovanog emisijom predajnika. Zato, kad su u pitanju položaji sa više predajnika, razmatraju se sve značajne raspodjele u EM okolini, a ne samo polje koje je uzrokovano jednim izvorom zračenja. U tom slučaju je nužno prikupljanje bitnih tehničkih informacija o izvorima kako bi se omogućila kompletna analiza cijele EM okoline proračunom ili kompjuterskim modeliranjem. Ipak, ako to nije izvodljivo, direktno premjeravanje može da bude cjelishodnije za procjenjivanje izloženosti.

TABELA I. NIVOI MAKSIMALNOG DOZVOLJENOG IZLAGANJA 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	68/f ^{1,05}

* Relevantna je maksimalna efektivna vrijednost

TABELA II. NIVOI MAKSIMALNOG DOZVOLJENOG IZLAGANJA 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	68/f ^{1,05}

* Relevantna je maksimalna efektivna vrijednost

Projektovanje ovakog tipa usmjerenih veza vrši se tako da se obezbijedi slobodna tzv. prva Frenelova zona od bilo kakvih fizičkih prepreka. Kako je antena podignuta na visinu od 30 m i s obzirom na gore navedeno, opšta populacija se ne može naći u bliskoj zoni zračenja, ali je moguće da se nađe u dalekoj zoni. Međutim, očekivanja gustina snage u dalekoj zoni zračenja u najgorem slučaju iznosi $S_{ff} = 0,22 \text{ W/m}^2$, što je znatno niže od granične vrijednosti za područja povećane osjetljivosti od $1,6 \text{ W/m}^2$ date u Tabeli I. U bliskoj zoni zračenja eventualno se može naći tehničko osoblje i njihovo izlaganje zračenju je tzv. kontrolisano izlaganje, pa je i dozvoljeni nivo, prema Tabeli II, na bazi šesto-minutnog izlaganja mnogo viši i iznosi 10 W/m^2 . To je znatno više od proračunate vrijednosti $S_{ff} = 0,902 \text{ W/m}^2$, u najgorem slučaju.

VI. ZAKLJUČAK

Antene sa aperturom koje se koriste u sistemima kao što su GSM/UMTS, generalno, imaju parabolične površine i kružne poprečne presjke. Karakteristične su po velikom pojačanju što rezultuje u prenosu snage u dobro definisanom kolimiranom snopu sa malom ugaonom divergencijom. Zahvaljujući usmjerenosti ovih i drugih antena sa aperturom vjerovatnoća izlaganja ljudskog tijela EM zračenju je značajno smanjena. Gustine snage koje postoje na lokacijama gdje ljudi mogu biti tipično izloženi zračenju su mnogo manje nego gustine snage u osi glavnog snopa. Faktori koji se moraju uzeti u obzir prilikom procjene mogućnosti izlaganja zračenju su: orijentacija glavnog snopa, visina antena iznad zemlje, lokacije vezane za mjesto gdje ljudi žive ili rade i postupka operativne procedure prilikom instalacije. Procjena parametara mini-link paraboličnih antena u GSM/UMTS sistemima urađena je modelom ravanskih talasa. Izračunate vrijednosti EM parametara su u skladu sa propisanim

graničnim vrijednostima Pravilnika o zaštiti od EM polja do 300 GHz. Opštoj populaciji, generalno, nije dostupna zona u kojoj gustina snage EM zračenja prevazilazi granične vrijednosti referentnih veličina.

LITERATURA

- [1] Hankin, N., "The Radiofrequency Radiation Environment: Environmental Exposure Levels and RF Radiation Emitting Sources," U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460. Report No. EPA 520/1-85-014, July 1986.
- [2] Darko Šuka: „Predikcija gustine snage elektromagnetskog zračenja baznih stanica mobilne telefonije“, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, 2007.
- [3] Darko Šuka: „Analiza elektromagnetske emisije baznih stanica mobilne telefonije u urbanom okruženju“, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo, 2012.
- [4] 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)
- [5] Lewis, R.L. and A.C. Newell, "An Efficient and Accurate Method for Calculating and Representing Power Density in the Near-Zone of Microwave Antennas." NBSIR Report No. 85-3036 (December 1985).
- [6] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), "A Practical Guide to the Determination of Human Exposure to Radiofrequency Fields," NCRP Report No. 119, 1993. Copyright NCRP, Bethesda, MD 20814. For copies contact: NCRP Publications at: 1-800-229-2652.
- [7] Federal Communications Commission (FCC), "Evaluating Compliance with FCC Guidelines for Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields", OET Bulletin 65, Edition 97-01, August 1997
- [8] Petersen, R. and P. Testagrossa, "Radio-Frequency Electromagnetic Fields Associated with Cellular-Radio Cell-Site Antennas." Bioelectromagnetics, 13:527 (1992).
- [9] Tell, R.A., "Engineering Services for Measurement and Analysis of Radiofrequency (RF) Fields," Richard Tell Associates, Inc., Las Vegas,

NV. Contracted by Federal Communications Commission (FCC), Office of Engineering and Technology, Washington, D.C. 20554. FCC Report No. OET/RTA 95-01, June 1995. NTIS Order No. PB 95-253829.

[10] Ministarstvo zdravlja i socijalne zaštite, "Pravilnik o zaštiti od EM polja do 300 GHz", Sl. Glasnik Republike Srpske br.112, od 14.12. 2007. god.

ABSTRACT

This paper presents methods for calculation of EM radiation parameters generated by aperture antennas in GSM/UMTS systems. For specific example, a comparative analysis between data predicted from the calculation and the values given in the

Rulebook on Protection of EM fields up to 300 GHz has been made. It is shown that predicted values are within permissible levels of radiation. Basic equations that approximate the propagation of EM waves in near and far radiation zone are given as well.

APERTURE ANTENNAS IN GSM/UMTS SYSTEMS (CALCULATION OF EM RADIATION PARAMETERS FOR MINI-LINK PARABOLIC ANTENNAS)

Darko S. Šuka, Pero D. Ožegović