

PROFESIONALNA IZLOŽENOST RF POLJIMA ANTENA BAZNIH STANICA NA KROVOVIMA PROFFESIONAL EXPOSURE TO RF FIELDS FROM BASE STATION ANTENNAS ON ROOFTOPS

Petar Međedović, *Elektrotehnički fakultet Banja Luka*
Darko Šuka, *Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo*

Sadržaj – Profesionalno osoblje se često izlaže zračenju predajnih antena baznih stanica mobilne telefonije, jer prilikom instalacije ili održavanja, mora da pride veoma blizu istih. U ovom radu je procjenjena profesionalna izloženost radiofrekventnim poljima antena baznih stanica na nekoliko krovova. Mjerenja su obavljena u skladu sa propisanim metodama mjerenja elektromagnetskog zračenja (Službeni glasnik BiH broj 80, Prilog 2), opremom koja je omogućila potpuno mapiranje gustine snage oko tretiranih antena. Dobijeni rezultati su upoređeni sa referentnim nivoima veličina elektromagnetskog polja u Tabeli 4, Priloga 1 već pomenutog službenog glasnika. Rezultati pokazuju da referentni nivoi, za profesionalno osoblje i opštu populaciju, mogu biti prekoračeni ispred predajnih antena, na udaljenostima do 1 i 2 m, respektivno.

Abstract - Professional staff are often exhibited radiation transmitting antenna base stations of mobile telephony, because during the installation or maintenance, they must approach very close to them. In this paper, occupational exposure to RF fields of antenna base stations in several roofs is estimated. Measurements were performed in accordance with the prescribed methods of measuring electromagnetic radiation ("Službeni glasnik BiH broj 80, Prilog 2"), equipment that enabled complete mapping of the density of power around the treated antenna. The results were compared with reference levels of electromagnetic field quantities in Table 4, Appendix 1, but said the official gazette. Results show that the reference levels for professional staff and the general population, may be exceeded in front of the transmitting antenna, at distances up to 1 and 2 m, respectively.

Ključne riječi – Bazna stanica. Profesionalna izloženost. RF polja. Predajne antene.

Key words – Base station. Professional exposure. RF fields. Transmitting antennas.

1. UVOD

Problem elektromagnetske kompatibilnosti i uticaja elektromagnetske energije na životnu sredinu, predmet je izučavanja već nekoliko posljednjih decenija. Međutim, u zadnje vrijeme su istraživanja u ovoj oblasti u svijetu znatno intenzivirana, s obzirom na činjenicu da nagli razvoj elektronskih uređaja i opreme, a naročito drastično povećanje broja baznih stanica i mobilnih telefona, dovodi do toga da ljudi žive i tehnički uređaji funkcionišu, u sredini u kojoj je elektromagnetska interferencija sve izraženija. Ovo je izazvalo zabrinutost među opštom populacijom i radnicima, zbog radiofrekventnih (RF) elektromagnetskih polja, koja emituju antene baznih stanica. Javna izlaganja obično su zanemarljiva, jer su predajne antene smještene na takav način da se ljudi obično ne nalaze blizu antena. Međutim, radnici prilikom instalacije, održavanja bazne stanice i obavljanja građevinskih poslova na krovu, rade veoma blizu antena gdje granične vrijednosti izloženosti mogu biti prekoračene. Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućih zračenja (ICNIRP) je propisala, a usvojio Evropski parlament, ograničenja i smjernice u Direktivi 2004/40/EC o minimalnim zdravstvenim i bezbjednosnim zahtjevima u vezi sa izloženošću radnika EM poljima [1,2]. Ministarstvo zdravlja i socijalne zaštite Republike Srpske, je propisalo "Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja do 300GHz"; (Službeni Glasnik Republike Srpske br.112, od 14.12. 2007. god.), [3]

Vijeće Regulatorne agencije za komunikacije BiH je na osnovu Zakona o komunikacijama BiH 2008 godine donijelo Pravilo 37/2008 o ograničavanju emisije elektromagnetskog zračenja, [4].

Direktive oba pravilnika definišu i propisuju:

1. Granične vrijednosti referentnih veličina, za izvore nejonizujućeg zračenja u frekventnom opsegu do 300 GHz, u svrhu zaštite ljudi od štetnog djelovanja elektromagnetskog polja. Referentne veličine su jačina električnog polja E (V/m), jačina magnetskog polja H (A/m), gustinu snage (W/m²) ekvivalentnog ravnog talasa.
2. Metode mjerenja i proračuna potrebne da bi se izvršila procjena stvarnih nivoa elektromagnetskog zračenja na određenim lokacijama od interesa.
3. Obaveze označavanja i upozoravanja za područja oko antenskih sistema u kojima se boravak ljudi ne preporučuje ili zabranjuje bez upotrebe zaštitne oprema.

Pravilnik sadrži dva odvojena područja graničnih vrijednosti izlaganja, koja su zavisna 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:

- a) Područje profesionalne / kontrolisane izloženosti (Tabela 1.) podrazumjeva situaciju u kojoj je izlaganje osoba zračenju, posljedica njihovog posla, pri čemu su ove osobe potpuno svjesne istog i mogu pratiti i kontrolisati njihovo izlaganje. Ovo područje graničnih

vrijednosti (GV) 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.

- b) Područje povećane osjetljivosti / nekontrolisane izloženosti opšte populacije (Tabela 2.) 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...

f	E V/m	H A/m	$Sekv$ W/m ²
(3 – 100) KHz	87	5	/
(100 – 150) KHz	87	5	/
(0.5 – 1) MHz	87	0.73/f	/
(1 – 10) MHz	87/f ^{1/2}	0.73/f	/
(10-400) MHz	28	0.073	2
(400-2000) MHz	1.375f ^{1/2}	0.0037f ^{1/2}	f/200
(2-10) GHz	61	0.16	10
(10-300) GHz	61	0.16	10

Tabela 1. Granične vrijednosti za područje profesionalne / kontrolisane izloženosti

Osnovni cilj, primjene ovih definicija, je stvaranje svijesti o potencijalnom RF izlaganju na radnom ili sličnom mjestu, koja može da se stekne kroz specifične treninge, koji su samo dio RF sigurnosnog programa. Znaci upozorenja i naljepnice mogu, takođe, doprinijeti uspostavljanju takve svijesti, sve dok na upadljiv način informišu o riziku od potencijalnog izlaganja, i o instrukcijama i metodama za minimiziranje takvog rizika..

f	E V/m	H A/m	$Sekv$ W/m ²
(3 – 100) KHz	34.8	2	/
(100 – 150) KHz	34.8	2	/
(0.5 – 1) MHz	34.8	0.292/f	/
(1 – 10) MHz	34.8/f ^{1/2}	0.292/f	/
(10-400) MHz	11.2	0.0292	0.326
(400-2000) MHz	0.55 f ^{1/2}	0.00148f ^{1/2}	f/1250
(2-10) GHz	24.4	0.064	1.6
(10-300) GHz	24.4	0.064	1.6

Tabela 2. Granične vrijednosti za područje povećane osjetljivosti

Podaci o EM mjerenjima u vezi sa profesionalnim izlaganjem veoma blizu antena baznih stanica na krovovima su veoma oskudne [5, 6]. Većina prethodnih studija je fokusirana na

javno izlaganje daleko od antena, [7-9]. Osim toga, dostupni su neki radovi koji se fokusiraju na teorijska izračunavanja nivoa izloženosti, [10-12].

Cilj ovog rada je da se procjene nivoi izloženosti radnika kada rade u blizini antena baznih stanica i da pruži podatke o stvarnim radnim uslovima u blizini antena. Takođe, cilj je bio da se obezbijede informacije za profesionalne grupe koje rade u blizini predajnika, ali čiji rad nije u direktnoj vezi sa baznim stanicama, kao što su radnici na krovovima, spasioци i svi oni koji rade na održavanju zgrada.

Opšti pristup za utvrđivanje bezbjednih udaljenosti od bazne stanice, sa aspekta izlaganja zračenju RF polja, je da se izmjeri ili izračuna gustina RF snage oko antene. Većina antena su sektorske antene, koje emituju signale samo u određenom pravcu, ostavljajući nivo RF polja sa strane i iza antene relativno niskim. Obično su prijemne i predajne antene pozicionirane jedne pored drugih i izgledaju slično. Pošto prijemne antene ne emituju signale nisu predmet ovog razmatranja.

Bazne stanice su različitih dimenzija, snaga i frekvencija. Izbor bazne stanice zavisi od toga koju površinu treba pokriti RF signalom iste. Veličina ćelija bazne stanice zavisi od raznih faktora, kao što je okolni teren, dijagram usmjerenja i snaga antene, frekvencija signala, položaj antene, itd...

Što se tiče radnika na krovovima, od najvećeg interesovanja su bazne stanice srednje veličine, jer su one obično smještene na krovovima. Snažnije antene su generalno smještene na visokim metalnim stubovima gdje je pristup ograničen. Antene male snage emituju veoma slabe signale koji obično ne prelaze čak ni referentne nivoje za opštu populaciju.

2. MJERNA OPREMA I METODE

U ovo istraživanje je uključeno 7 objekata u Banjaluci i po jedan objekat u Čelincu, Mrkonjić Gradu, Kneževu i Ugljeviku, na čijim krovovima su postavljeni antenski sistemi GSM900 baznih stanica mobilne telefonije. Informacije o lokacijama i tehničkim parametrima su date od mrežnih operatera. Na dva posmatrana krova su, na tri različita stuba, postavljeni antenski sistemi tri operatera, na dva krova dva antenska stuba od dva operatera i na ostalih sedam krovova po jedan stub sa antenskim sistemom od jednog operatera. Pošto antene nisu bile označene, nije bilo moguće identifikovati koje su čije antene. Na tri krova su antene postavljene na visinu do maksimalno dva metra, tako da radnici mogu stajati ispred antena, tokom obavljanja nekih radnih zadataka. Na ostalim krovovima su antene postavljene na visinama od 3.5 metra do 5 metara. Prema informacijama od operatera, izračunata ukupna izračena snaga iz antena je bila u rasponu od 5 do 20 W (antene instalirane na većim visinama).

Korištene mjerne metode su u skladu sa preporukama u *Prilogu 2, Pravila 37/2008* o ograničavanju emisije elektromagnetskog zračenja i takve su da se mogu koristiti za procjene profesionalnog rizika na mjestu svake antene. Mjerna mjesta su izabrana tako da su merenja izvršena na različitim visinama tijela. Mjerenja su izvršena pomoću širokopojasnog i frekventno selektivnog mjerača elektromagnetskog polja, prenosivog analizatora spektra *Spektran HF 4040* firme *Aaronia AG*. Širokopojasni mjerač je korišten da mapira jačine polja u okolini antene na različitim rastojanjima i visinama, uzimajući u obzir moguća radna područja. Određivanje bezbjednih zona za radnike je bazirano

na širokopojasnom mjerenju. Rezultati spektralnih snimaka su korišteni za određivanje koeficijenta izlaganja u pojedinačnim mjernim tačkama i za provjeru frekventnog opsega emitovanih signala. Prilikom mjerenja je korištena sljedeća oprema: „Hyper Log” Antena 4040, SMA štap antena, 4m koaksijalnog kabla sa muškim SMA konektorima, SMA konektor muški-muški, drveni stativ i metar. Analizator spektra SPECTRAN HF 4040 je postavljen u radni mod: „Exposure limit calculation“, koji omogućuje da na displeju budu istovremeno prikazani gustina elektromagnetskog zračenja i jačina električnog polja (može se izabrati jačina magnetskog polja) i „hold“ mod u kojem se mjere samo maksimalne vrijednosti. „Hyper Log” antena je usmjeravana u tri ortogonalna pravca., pri čemu su na displeju ostajale zamrznute samo izmjerene maksimalne vrijednosti gustine snage i jačine električnog polja. Kod svih rezultata mjerenja je uzeta u obzir mjerna netačnost instrumenta od ± 3.0 dB. Takođe, mjerenja su izvršena na različitim visinama da bi se ustanovilo kako gustine snage variraju u vertikalnom pravcu. Cijelo vrijeme je korišten „hold“ mod, jer bi bez njega procedura mapiranja bila neizvodljiva, zbog dugog vremena mjerenja. Proces mjerenja je kontrolisan pomoću računarskog programa „PC Analyzer Software LCS 1999E”, koji je automatski mjerio maksimalne jačine polja za frekventni opseg od 100 MHz – 4 GHz, uz maksimalno korišćenje podešavanja analizatora. Ako izvor signala na određenoj frekvenciji, nije bio operativan prilikom skeniranja tog opsega, onda on nije bio uključen u procjenu izlaganja. Slično tome, ako su signali bili emitovani povremeno ili sa promjenjivim snagama, samo su maksimalni nivoi snage, tokom vremena skeniranja, bili zabilježeni, pa je, za određene frekvencije signala, izlaganje moglo biti precjenjeno. Zato rezultati mjerenja analizatora predstavljaju maksimalno izlaganje, koje se povremeno dešava na mjestu mjerenja. Nije bilo moguće da se mjerni sistem postavi na svim mjestima. Zbog toga su korištene mjerne antene pričvršćene na drveni stativ i povezane sa analizatorom, pomoću kalibrisanog kabla.

3. REZULTATI MJERENJA

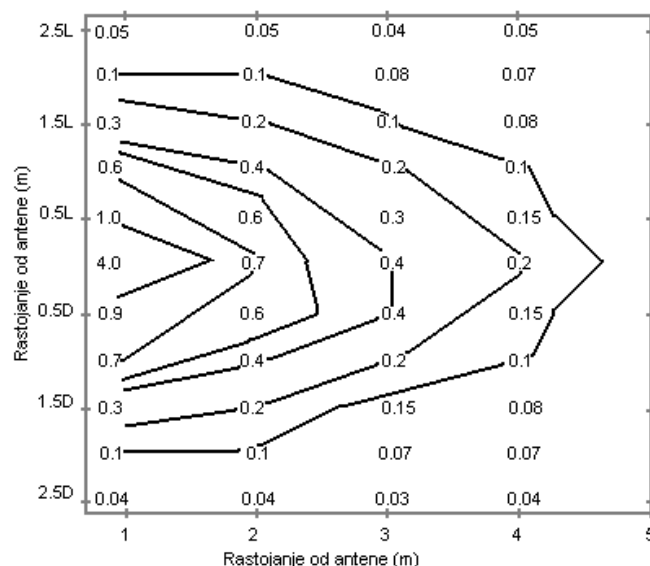
Na devet, od jedanaest posmatranih krovova sa instaliranim GSM900 antenama, gustine snage RF polja su bile ispod graničnih vrijednosti, propisanih za opštu populaciju „Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja do 300GHz“. U ovim slučajevima, antene su uglavnom postavljene tako da nije bio moguć namjerni pristup glavnom snopu, jer su se nalazile na visinama preko 3.5m iznad nivoa krova. Na tri krova, sve antene su bile smještene u nivou tijela (Slike 1., 4. i 5.), tako da su na dva krova referentni nivoi gustine, za opštu populaciju, bili prekoračeni. Staze na krovovima su bile praćene antenama, a znaci upozorenja nisu bili ni na jednom mjestu. U ovim slučajevima, granične vrijednosti su bile prekoračene direktno ispred antene, u glavnom snopu. Rezultati mjerenja za antenu GSM900 na Slici 1., dati su na Slikama 2. i 3. Iscrtane konture na Slici 2. pokazuju kako je usmjeren glavni snop, dok Slika 3. označava gustine snaga u pravcu glavnog snopa. Profesionalni referentni nivoi su bili prekoračeni na rastojanju od oko 0.5 m ispred antene, a nivoi za opštu populaciju na rastojanju od 2 metara.

U slučajevima gdje su se antene nalazile visoko, na visinama preko 3.5m, nivoi izloženosti su bili relativno niski. Na Slici 6. su prikazane tako instalirane GSM900 antene, a

na Slici 7. su snimljene mape gustine snage elektromagnetskog zračenja na istom krovu, na visinama 2.5m i 1.7m.



Slika 1. Tipični položaj antene na krovu (GSM900)



Slika 2. Gustine snage u W/m^2 oko antene bazne stanice GSM900 izmjerene na visini od 1.7 m. Konturne linije su iscrtane pri gustinama snage od 1, 0.7, 0.5, 0.4, 0.2 i 0.1 W/m^2

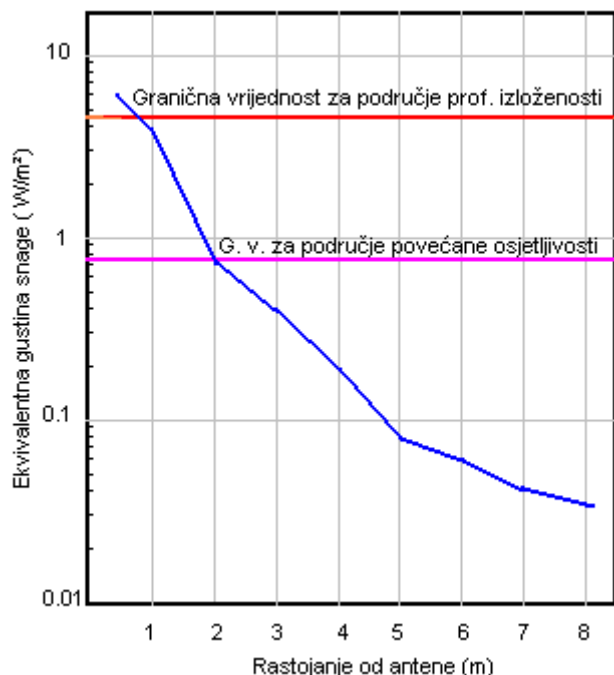
Očigledno su gustine snage, u oba slučaja, znatno ispod referentnih nivoa propisanih pravilnikom, pri čemu su gustine snage na visini od 2.5m za oko 3 dB veće. Nivoi RF polja su bili niži bliže antenama, zbog usmjerenog dijagrama antena. Može se reći da su ove vrste lokacija baznih stanica uglavnom bezbjedne u smislu sigurnosnih preporuka za profesionalnu i opštu populaciju.

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Prema ovoj studiji, glavni snopovi antena baznih stanica su uglavnom dobro usmjereni i RF polja su niskih nivoa, ispod propisanih graničnih vrijednosti, osim u dva slučaja. Rezultati mjerenja su pokazali da su gustine snage u drugim pravcima, ispod, iznad ili iza antena, znatno ispod referentnih vrijednosti za opštu populaciju.

Rezultati RF mjerenja su maksimalne vrijednosti gustine snage, tokom 15 sekundi umjesto 6-minutnog prosjeka, definisanog direktivama Pravila 37/2008. Kraće vrijeme mjerenja i maksimalna jačina polja su bili neophodnost za ovu studiju, kako bi mjerenja bila izvršena u razumnom roku.

Takođe, duga vremena mjerenja su mogla uticati na konačne vrijednosti gustine snage, pošto se saobraćaj mobilne telefonije mijenja tokom vremena. Prema tome, ovaj metod mjerenja daje konzervativne rezultate pogodne za procjenu opasnosti.



Slika 3. Trenutne, maksimalne gustine snage u glavnom snopu antene na visini od 1.7 metara

zračenja. Kada je mjerno mjesto veoma blizu antene, ne može se koristiti aproksimacija za daleko polje. U slučaju velikih antena ($L > \lambda$), granica bliskog i dalekog polja je na udaljenosti od antene $r = 2D^2 / \lambda$, gde je λ talasna dužina, a D je dužina antene.



Slika 5 GSM antene instalirane na krovu u visini tijela



Slika 4. GSM900 antene instalirane na krovu u visini tijela

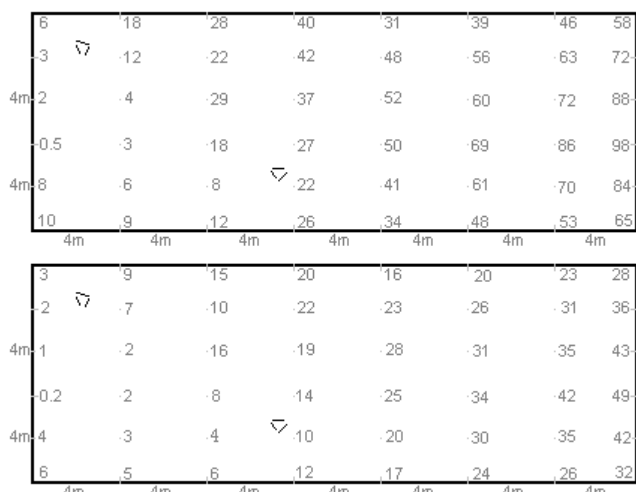
Na osnovu izmjerenih RF polja se može konstatovati, da su rastojanja na kojim referentne vrijednosti mogu biti prekoračene, u glavnom snopu ispred antena GSM900, oko 0.5 m za radnike i oko 2 m za opštu populaciju. Prema mrežnim provajderima, ukupna izračena snaga, kada su u pitanju instalacije antena na krovu, je obično manja od 10 W. Takođe, poznato je da se u specifičnim situacijama koriste snažnije bazne stanice (20W). Prema tome, ovi rezultati se odnose samo na antene sa malim i srednjim snagama



Slika 6. GSM900 antene instalirane na krovu, na visini preko 3.5 m

Na ovoj udaljenosti, maksimalna razlika faze elektromagnetskih talasa, koja potiče od različitih tačaka antena, je 22.5° . Što se tiče zdravstvenih procjena, veće fazne razlike i samim tim kraće rastojanje za oblast dalekog polja, daju prihvatljive greške u proračunima. U ovom slučaju, rastojanje dalekog polja počinje na dužini $r = 2D^2 / \lambda$. Dužine GSM900 antena su uglavnom bile reda 0.5 metara, što rezultuje rastojanjima dalekog polja od 0.38 metara. Na kraćim rastojanjima od antene, talasi koji potiču od različitih dijelova antene imaju veću faznu razliku koja će

proizvesti nepravilne oscillacije električnog polja. Zbog oscilatornog polja, mjerenje u jednoj tački, u bližoj oblasti, ne mora dati pouzdan prikaz ljudskog izlaganja.



Slika 7. Gustine snage u mW/m² oko antena bazne stanice GSM900 izmjerene na visinama od 2,5 m i 1,7 m.

U [7] je predstavljeno rješenje problema mjerenja prosječne gustine snage prema visini antene. Ovaj pristup se može koristiti ako je rastojanje od antene veće od $\lambda/2$, a mjerenja su prosječna prema visini jednako najmanje polovini dužine antene.

Antene, posmatrane u ovom radu, su smještene na krovovima u urbanim sredinama, (Banja Luka, Čelinac, Mrkonjić Grad, Knežev, Ugljevik). Dobijeni rezultati su uporedivi sa rezultatima kampanja odvijanim u drugim evropskim zemljama [5, 6, 9, 13]. U principu, kampanje mjerenja mogu biti podjeljene u dvije kategorije: (a) mjerenje na udaljenosti od antena, gdje su pokazatelji izloženosti decenijama ispod dozvoljenih i (b) mjerenja u blizini antena, gdje je moguće da se prekorače profesionalne referentne vrednosti. Daleko od antena, mogu biti korištene sofisticirane spektralne metode mjerenja, uzimajući u obzir različite frekvencije, izvore, itd..., [6, 9, 13]. Ove metode imaju ograničene mogućnosti prijema snage, što obično ograničava mjerenja RF talasa u blizini izvora.

Cilj ovog istraživanja je bio da se definiše bezbjedna udaljenost, na određenim lokacijama baznih stanica. Iako opisana širokopojasna mjerenja obično prave konzervativnije procjene, to je još prihvatljiv metod za procjenu opasnosti. Poređenje različitih kampanja ukazuje na sličnost, da će opšte profesionalne referentne vrijednosti biti prekoračene na rastojanju do 1m. Kao rezultat kontinuiranog razvoja telekomunikacionih tehnologija, broj antena baznih stanica će se povećati u bliskoj budućnosti. Adekvatnim pozicioniranjem antena, može se izbjeći pretjerano izlaganje radnika i opšte populacije RF poljima. U praksi, to može biti realizovano postavljanjem antena na zidovima zgrada ispod nivoa krova, na visokim stubovima ili na ivicama krova usmjerenim od krova. Antene ne treba da budu smještene na niskim postoljima na sredini krova, jer staze za hodanje mogu da prolaze blizu antena. Međutim, trenutna izloženost RF poljima koja blago prelazi referentni nivo neće prelaziti 6-minutne prosječne vrijednosti. Štaviše, čak i ako su referentne vrijednosti prekoračene, osnovna ograničenja ne moraju biti dostignuta. Numeričko modeliranje je često potrebno da se riješi ovakva situacija. Tokom određenih

radnih zadataka, radnici mogu biti u obavezi da pristupe antenama baznih stanica. Ove situacije obavezno su tipične za vatrogasce, perače prozora i konstruktore zgrada. Radnici treba da budu informisani o prisustvu predajnih antena, kako bi se izbjegao rad u blizini antene. Ovo je naročito važno kod antena, koje je teško otkriti, jer su kamuflirane tako da liče na okolne strukture.

LITERATURA

- [1] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Phys 74:494–522.
- [2] Directive 2004/40/EC of the European Parliament and of the Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields). Brussels: EC, 2004.
- [3] Ministarstvo zdravlja i socijalne zaštite, "Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja do 300GHz", Sl. Glasnik Republike Srpske br.112, od 14.12. 2007. god.
- [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] Gajsek P, Simun D (2006) Occupational exposure to base stations compliance with EU directive 2004/40/EC. Int J Occup Saf Ergon 12:187–94.
- [6] Cooper TG, Mann SM, Khalid M, Blackwell RP (2004) Exposure of the general public to radio waves near microcell and picocell base stations for mobile telecommunications, NRPB report W62.
- [7] Keow MA, Radiman S (2006) Assessment of radiofrequency/ microwave radiation emitted by the antennas of rooftop-mounted mobile phone base stations. Radiat Prot Dosimetry 121:122–127.
- [8] Henderson SI, Bangay MJ (2006) Survey of RF exposure levels from mobile telephone base stations in Australia. Bioelectromagnetics 27:73–76.
- [9] Mann SM, Cooper TG, Allen SG, Blackwell RP, Lowe AJ (2000) Exposure to radio waves near mobile phone base stations. NRPB report R321.
- [10] Martinez-González AM, Fernandes-Pascual A, Reyes E, Van Loock W, Gabriel C, Sánchez-Hernández D (2002) Practical procedure for verification of compliance of digital mobile radio stations to limitations of exposure of the general public to electromagnetic fields. IEE Proc Mic Ant Propagation 149:218–228.
- [11] Danestig J Analysis of RF exposure from radio base station antennas in operating environments. MCs. Thesis, Chalmers Institute of Technology, Sweden, February 2004.
- [12] Bitz A, Alaydrus M, Streckert J, Hansen VW 2002 Safety assessment for multi-band base station antennas: SAR inside human bodies. Proc EMC Europe, Sorrento Italy 747–750, September 2002.
- [13] AFNR, L'Agence nationale des fréquences, <http://www.anfr.fr/index.php>.