

STANDARDI ZA IZLOŽENOST RF ZRAČENJU U USLOVIMA EKSPANZIJE BEŽIČNIH KOMUNIKACIONIH SISTEMA

Vera Marković¹, Dejan Krstić²

¹Elektronski fakultet u Nišu

²Fakultet zaštite na radu u Nišu

Sadržaj: *U uslovima ekspanzije savremenih telekomunikacionih sistema baziranih na bežičnom prenosu, neophodno je sveobuhvatno sagledati biološke efekte elektromagnetnog zračenja u RF i mirotalasnom frekvencijskom opsegu i kroz zakonsku regulativu obezbediti odgovarajuće mere zaštite svih kategorija stanovništva. U radu je dato stanje na planu standarda kojima se postavljaju limiti za izloženost zračenju, sa posebnim osvrtom na standarde koji važe u EU i u našoj zemlji. Diskutovani su, pored toga, rezultati naučnih istraživanja koji se odnose na netermičke efekte RF zračenja i trendovi u vezi njihovog ugradjivanja u postojeće standarde.*

Ključne reči: standardi, izloženost RF zračenju, bežični komunikacioni sistemi

1. Uvod

Nagli razvoj bežičnih telekomunikacionih sistema i liberalizacija telekomunikacionog tržišta doveli su do postavljanja velikog broja stanica koje emituju elektromagnetne (EM) talase iz RF i mikrotalasnog dela spektra, kao što su bazne stanice sistema za mobilne komunikacije, primopredajne stanice mikrotalasnih linkova, radiodifuzni predajnici itd. Veliki broj ovih stanica postavljen je u okviru ili u blizini naseljenih mesta tako da su RF i mikrotalasnom zračenju izložene gotovo sve strukture stanovništva.

Interakcija elektromagnetskih polja visoke učestanosti i živih organizama i biološki uticaj ovih polja na ljude su već niz godina predmet intenzivnih istraživanja [1], [2]. Na osnovu obimne literature u ovoj oblasti mogu se uočiti dve osnovne grupe efekata elektromagnetnog zračenja na organizme: termički i netermički. Postojanje termičkih efekata elektromagnetnog zračenja visoke učestanosti je u potpunosti dokazano i odgovarajuće mere zaštite ugradjene su kroz odgovarajuće standarde i propise [3]-[8]. Sa druge strane, u naučnoj javnosti već duže vreme postoji pretpostavka postojanja netermičkih efekata kod živih organizama usled dugotrajne izloženosti relativno slabom EM polju visoke učestanosti [1], [9]-[15], [19]. Rezultati istraživanja dugoročnih

posledica ovih efekata na zdravlje ljudi su donekle kontradiktorni, a dalja istraživanja treba da daju potpunije odgovore na ova pitanja. Laboratorijska ispitivanja i dugotrajne epidemiološke studije treba da omoguće potpunije sagledavanje štetnih efekata visokofrekventnog elektromagnetnog zračenja, što je veoma je značajno sa aspekta stalne evaluacije i mogućeg redefinisanja postojećih standarda za maksimalnu dozvoljenu izloženost.

2. Prodiranje EM talasa u organizam i termički efekti RF zračenja

Dokazano je da izlaganje EM poljima na frekvencijama iznad 100 kHz može dovesti do apsorpcije energije u organizmu i do porasta temperature u telu. Prostiranje elektromagnetskih talasa kroz biološka tkiva razlikuje se od prostiranja kroz slobodni prostor. Za opisivanje elektromagnetnih osobina biološkog tkiva koristi se kompleksna dielektrična konstanta tkiva data kao:

$$\underline{\varepsilon} = \varepsilon_r \varepsilon_o + j \frac{\sigma}{2\pi f} \quad (1)$$

gde je ε_r relativna dielektrična konstanta, σ električna provodnost tkiva, a f frekvencija EM talasa.

Terminom dubina prodiranja EM polja, δ , označava se rastojanje od površine tela do dubine na kojoj jačina polja opadne e puta (e je osnova prirodnog logaritma), a to je oko 37% početne vrednosti. U Tabeli 1 prikazane su prosečne vrednosti veličine δ kao i dubine do kojih snaga EM zračenja opadne na 1% početne vrednosti, na nekoliko tipičnih frekvencija [9].

Tabela 1. Dubina prodiranja EM talasa u ljudski organizam na nekoliko tipičnih frekvencija

	FM Radio	TV predajnik	GSM 900	GSM 1800
Frekvencija (u MHz)	100	450	900	1 800
Dubina prodiranja δ (polje opadne e puta)	3 cm	1.5 cm	1 cm	0.7 cm
Dubina do koje snaga opadne na 1%	9 cm	4.5 cm	3 cm	2 cm

S obzirom na jako nehomogen sastav ljudskog organizma, dolazi do neuniformne depozicije i distribucije energije EM polja unutar tela. Zbog toga se najčešće za opisivanje raspodele energije u telu koristi veličina pod imenom SAR (*specific energy absorption rate*) koja se izražava u W/kg i koja karakteriše apsorpciju energije u tkivu. Razvijeni su brojni modeli i metodi za procenu prostorne raspodele i srednje vrednosti SAR-a u ljudskom telu. Jedna od najnovijih tehnika je dobijanje anatomskog modela ljudskog tela uz pomoć magnetne rezonance i primena FDTD (finite-difference time domain) metoda za analizu raspodele energije u telu.

Ustanovljeno je da se sa gledišta apsorpcije postoje razlike u pojedinim frekvencijskim regionima [6]. Na frekvencijama od oko 100 kHz do oko 20 MHz

apsorbicija u trupu rapidno opada sa smanjenjem frekvencije, a do značajne apsorbcije može doći u glavi i ekstremitetima. U opsegu od 20 MHz do oko 300 MHz može se javiti relativno velika apsorbcija u celom telu, a posebno može biti velika u nekim delovima kao što je glava ukoliko dodje do rezonance. Na frekvencijama od oko 300 MHz do nekoliko GHz nastaje značajna lokalna neuniformna apsorbcija. Na frekvencijama iznad 10 GHz do apsorbcije energije mikrotalasnog polja dolazi uglavnom samo uz površinu tela.

Rezultati istraživanja pokazuju da SAR ima najveću vrednost kada je osa tela paralelna vektoru električnog polja, i u okolini rezonantne učestanosti (oko 70-80 MHz za čoveka po ergonomskom preseku, oko 35-40 MHz kada čovek stoji na provodnoj ravni, i oko 100 MHz kada je u sedećem položaju).

Zagrevanje tkiva usled apsorbcije energije RF polja (hipertermija) je značajan efekat, koji je nedvosmisleno dokazan. Blago povećanje temperature tkiva do određene mere može se kompenzovati prirodnim termoregulacionim mehanizmima, ali dalji porast temperature dovodi do oštećenja tkiva. Većina današnjih standarda bazirana je upravo na potrebi zaštite od štetnih termičkih efekata do kojih dolazi usled relativno kratke (akutne) izloženosti jakim RF poljima.

3. Razvoj standarda u oblasti RF zračenja

Standardi u oblasti zaštite od RF zračenja odnose se na propise, preporuke i granične vrednosti kojima se određuju maksimumi izlaganja zračenju u cilju zaštite ljudskog zdravlja.

Prve takve preporuke pojavile su se pre pola veka, tačnije 1953. godine [8],[11]. Njima je za graničnu vrednost gustine snage incidentnog EM talasa postavljena vrednost od 10 mW/cm^2 , kao rezultat eksperimenta na termičkom modelu kod koga je ograničen porast unutrašnje temperature čoveka do najviše 1°C ako je apsorbovana oko polovina upadne energije. Ova vrednost je usvojena i iz razloga što su neke od studija pokazale da RF zračenja gustine snage čak i ispod vrednosti 100 mW/cm^2 mogu izazvati pojavu katarakte oka. U periodu nakon toga došlo je do pojave različitih standarda u pojedinim zemljama. Na primer, 1975. godine postojao je ogroman raspon između granične vrednosti u SAD (10 mW/cm^2) i u tadašnjem Sovjetskom Savezu ($10 \mu\text{W/cm}^2$).

Korišćenje dozimetrijske veličine SAR predloženo je u Americi od strane tela NCRP (National Council of Radiation Protection and Measurements), i usvojeno od strane američkog nacionalnog instituta za standardizaciju, ANSI, 1982. godine [3]. Devet godina kasnije IEEE komitet SCC-28 (Standards Coordinating Committee 28) objavio je novi IEEE C95.1-1991 standard, koji je sledeće, 1992. godine ANSI usvojio za američki nacionalni standard [4].

ANSI/IEEE standard bazirao se na brižljivoj interpretaciji rezultata dotadašnjih naučnih istraživanja, uzimajući u obzir sva laboratorijska, epidemiološka i ostala ispitivanja. Na osnovu ovih procena u opsegu od 100 kHz do 6 GHz usvojena je vrednost za SAR od 4 W/kg , usrednjeno za celo telo, kao radna granica, iznad koje je ustanovljeno da dolazi do štetnih bioloških efekata. Da bi se uzela u obzir potencijalna nepouzdanost naučnih rezultata, kao i biološke različitosti u ljudskoj populaciji, postavljena je bezbednosna margina sa faktorom 50, kako bi bilo sigurno da su postavljene granice daleko ispod nivoa zračenja pri kojima bi se mogle pojaviti štetne biološke reakcije. To znači da je standardom bila postavljena maksimalna dozvoljena

vrednost SAR-a od 0.08 W/kg u 1g tkiva usrednjeno za celo telo, za period 15-30 minuta. Imajući u vidu neravnomernost raspodele SAR-a unutar tela, definisano je da maksimalni lokalizovani SAR može biti 20 puta viši od onog za celo telo, dakle 1.6 W/kg. Za razliku od prethodnih, standard IEEE iz 1991. godine uvodi razliku između kategorija populacije. Tako se za profesionalnu izloženost dozvoljava 5 puta veća vrednost SAR-a, tj. 0.4 W/kg, u odnosu na izloženost opšte populacije. Standard C95.1-1991 dopunjen je od strane IEEE komiteta 1999. godine.

U Evropi su se devedesetih godina takođe intenzivno obavljale aktivnosti na standardizaciji. One su se uglavnom bazirale na preporukama WHO (World Health Organization). 1993 godine objavljen je dokument WHO [5], u kome se ustanovljava da se granica za moguću pojavu bioloških efekata nalazi u oblasti vrednosti SAR-a od 1 do 4 W/kg. I u ovom dokumentu predlaže se bezbednosni faktor od 50 u odnosu na 4 W/kg, uzimajući u obzir mnoge okolnosti koje postoje u realnom životu (starost, stanje organizma itd). Brojna istraživanja pokazala su posebnu osetljivost očnog organa kod izlaganja RF zračenju. Na bazi tih zapažanja CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) je 1995. godine predložio limit od 2 W/kg usrednjeno na 10 g tkiva za parcijalnu izloženost tela [8]. Ovo je ujedno do 1999. godine postao prihvaćeni limit za SAR u području glave kod korisnika mobilne telefonije u većini evropskih zemalja. Isti ovaj limit postavilo je međunarodno telo ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), koje je 1998. godine objavilo značajan dokument o preporukama za ograničavanje izloženosti EM zračenju do 300 GHz [6].

4. ICNIRP standard

Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućih zračenja (ICNIRP) je nezavisna naučna organizacija čiji je zadatak donošenje propisa o rizicima po zdravlje usled izlaganja nejonizujućem zračenju. ICNIRP propisi su usvojeni od strane Saveta Evrope kao važeći standard za sve zemlje članice Evropske unije.

U okviru ICNIRP standarda definišu se, [6]:

1. *Osnovna ograničenja*, koja moraju uvek biti poštovana;
2. *Referentni nivoi*, koji smeju biti prekoračeni ukoliko nisu prekoračena osnovna ograničenja.

Osnovna ograničenja se izražavaju u veličinama koje karakterišu pojave unutar ljudskog tela i ne mogu se direktno meriti, kao npr. SAR. Sa druge strane, referentni nivoi se mogu meriti u odsustvu ljudskih bića, kao npr. električno polje.

4.1 Osnovna ograničenja

Između 1 Hz i 100 kHz osnovna ograničenja se odnose samo na gustinu struje, u cilju zaštite od efekata na nervni sistem. Između 100 kHz i 10 MHz ograničenja se odnose i na gustinu struje i na vrednosti SAR-a.

Najveći značaj sa gledišta savremenih bežičnih sistema ima frekvencijski opseg od 10 MHz do 10 GHz. U ovom opsegu, poštujući pre svega zahtev da porast temperature tkiva ne sme biti veći od 1°C, i uzimajući u obzir bezbednosni faktor, za opštu populaciju se usrednjena vrednost SAR-a za celo telo ograničava na 0.08 W/kg, a za profesionalno osoblje na 0.4 W/kg. Lokalizovana vrednost SAR-a u glavi i trupu,

usrednjeno za bilo kojih 10 g tkiva, ne sme preći 2 W/kg (opšta populacija) odnosno 10 W/kg (profesionalno osoblje). Lokalizovana vrednost SAR-a u ekstremitetima, usrednjeno za bilo kojih 10 g tkiva, ne sme preći 4 W/kg (opšta populacija) odn. 20 W/kg (profesionalno osoblje). Sve vrednosti SAR-a su usrednjene za period od bilo kojih 6 minuta tokom izloženosti. Osnovna ograničenja su sumirana u Tabeli 2.

Tabela 2. ICNIRP osnovna ograničenja za izloženost EM poljima frekvencijskom opsegu od 10 MHz do 10 GHz

	Opšta populacija	Profesionalno osoblje
SAR usrednjen za celo telo	0.08 W/kg	0.4 W/kg
SAR usrednjen za tkivo glave ili trupa mase 10 g	2 W/kg	10 W/kg
SAR usrednjen za tkivo ekstremiteta mase 10 g	4 W/kg	20 W/kg

Za izloženost radio talasima na frekvencijama između 10 i 300 GHz, ICNIRP propisi utvrđuju osnovna ograničenja samo gustine snage u cilju sprečavanja prekomernog zagrevanja tkiva neposredno uz površinu tela. Ova ograničenja su 50 W/m² za profesionalnu izloženost i 10 W/m² za izloženost stanovništva.

4.2 Referentni nivoi

Referentni nivoi su dobijeni iz osnovnih ograničenja matematičkim modelovanjem i ekstrapolacijom rezultata laboratorijskih ispitivanja na pojedinim frekvencijama. Oni su dati za uslov maksimalne sprege između polja i izloženog organizma, obezbeđujući time maksimalnu zaštitu. U tabelama 3 i 4 dati su referentni nivoi za izloženost opšte populacije i profesionalnog osoblja, respektivno, u frekvencijskom opsegu od 10 MHz do 300 GHz. U ovim tabelama frekvenciju (f) treba uneti u MHz.

U oblasti iznad 10 MHz, interakcija energije polja i organizma dostiže maksimum između desetak MHz i nekoliko stotina MHz. To znači da se elektromagnetna energija najviše apsorbuje u telu u ovom opsegu. U tom opsegu izvedeni referentni nivoi imaju minimalnu vrednost. Izvedene vrednosti jačine magnetnog polja H su izračunate iz jačine električnog polja E koristeći poznatu relaciju između ovih veličina u dalekom polju ($E/H=377 \Omega$).

Referentni nivoi za jačinu električnog i magnetnog polja za opštu populaciju su niži u odnosu na nivoe za profesionalno osoblje za faktor 2.2. Ovaj faktor odgovara korenu iz 5, što je bezbednosni faktor kod odgovarajućih osnovnih ograničenja, a ujedno i faktor za referentne nivoe gustine snage.

U Tabeli 5 su, ilustracije radi, date vrednosti ICNIRP referentnih nivoea na frekvencijama emitovanja baznih stanica GSM mobilnih sistema, 900 MHz i 1800 MHz.

Tabela 3. ICNIRP referentni nivoi za izloženost opšte populacije (stanovništva) elektromagnetnom polju za opseg frekvencija od 10 MHz do 300 GHz

Opseg frekvencija	Jačina električnog polja (V/m)	Jačina magnetnog polja (A/m)	Gustina snage (W/m ²)
10-400 MHz	28	0.073	2
400-2000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$f / 200$
2-300 GHz	61	0.16	10

Tabela 4. ICNIRP referentni nivoi za profesionalnu izloženost elektromagnetnom polju za opseg frekvencija od 10 MHz do 300 GHz

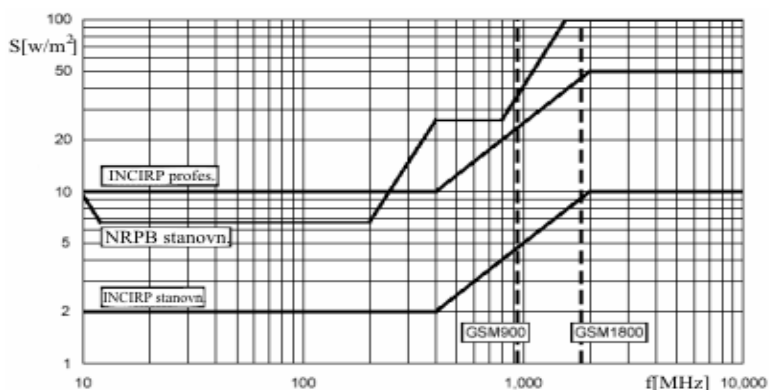
Opseg frekvencija	Jačina električnog polja (V/m)	Jačina magnetnog polja (A/m)	Gustina snage (W/m ²)
10-400 MHz	61	0.16	10
400-2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$f / 40$
2-300 GHz	137	0.36	50

Tabela 5. ICNIRP referentni nivoi na frekvencijama emitovanja baznih stanica

		Jačina električnog polja (V/m)	Jačina magnetnog polja (A/m)	SAR (W/kg)
900 MHz	Profesionalno osoblje	90	0.24	0.4
	Opšta populacija	41	0.11	0.08
1800 MHz	Profesionalno osoblje	127	0.34	0.4
	Opšta populacija	58	0.16	0.08

5. Trenutno stanje na planu standarda za izloženost RF zračenju u Evropi i u našoj zemlji

Mada su ICNIRP preporuke usvojene za Evropsku Uniju, u nekim državama Evrope primenjuju se sopstveni standardi. Tako se, na primer, u UK primenjuje standard NRPB (*National Radiological Protection Board*) koji je sličan ICNIRP standardu, ali se referentni nivoi za maksimalnu izloženost u izvesnoj meri razlikuju. Ilustracije radi, na slici 1 je dato poredjenje ICNIRP i NRPB referentnih nivoa za gustinu snage.



Slika 1. Poređenje ICNIRP i NRPB referentnih nivoa

Medju zemljama u Evropi ima dosta razlika u pogledu limita za RF zračenje koje potiče od GSM mobilne telefonije. Na primer, dok za limit električnog polja za izloženost opšte populacije WHO i ICNIRP preporučuju 41.2 V/m, neke evropske vlade usvojile su niže vrednosti, kao Belgija (20.6 V/m), Italija (20 V/m, i 6 V/m za izloženost od 4 sati ili više), Švajcarska (4 ili 6 V/m), Luksemburg (3 V/m) itd. U pojedinim evropskim gradovima u poslednje vreme limit je još više spušten. Tako na primer u Parizu vrednosti ne električnog polja ne prelaze 1 - 2 V/m, a u Salzburgu samo 0.6 V/m [9].

U Rusiji takodje važe stroži standardi u odnosu na ICNIRP. Oni su ustanovljeni od strane RNCNIRP (Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection) na bazi rezultata brojnih istraživanja od kojih su mnoga obavljena još u bivšem Sovjetskom Savezu.

Kakva je situacija u Srbiji i Crnoj Gori? Prema saznanju autora, u Srbiji je još uvek na snazi standard iz 1990. godine. Na osnovu Pravilnika o jugoslovenskim standardima za radiokomunikacije ("Sl. list SFRJ", br. 50/90) Savezni zavod za standardizaciju ustanovio je jugoslovenski standard o maksimalnim nivoima izlaganja radiofrekvencijskim zračenjima koji se odnose na ljude [7] (JUS N. No. 205-1990: Radio-komunikacije. Radio-frekvencijska zračenja. Maksimalni nivoi izlaganja koji se odnose na ljude). Ovim standardom su utvrđeni maksimalni nivoi izlaganja ljudi radiofrekvencijskim EM poljima u frekvencijskom opsegu od 300 kHz do 300 GHz. Maksimalni nivoi ekspozicije ne odnose se na pacijente podvrgnute radiofrekventnim zračenjima u toku medicinske dijagnostike ili terapije. Standard se, takode, ne primenjuje na frekvencijama nižim od 1 GHz, ako je ulazna snaga antene 7 W ili manja, kao ni na mikrotalasne grejne uređaje.

Kod JUS standarda, za profesionalnu izloženost u području u kome postoji opasnost radiofrekventnog udara ili opekotina primenjuju se zahtevi (a) dati u Tabeli 6, a za profesionalnu izloženost u području u kome ne postoji opasnost radiofrekventnog udara ili opekotina primenjuju se zahtevi (b) dati u Tabeli 7. U obe tabele kvadrati srednjih vrednosti jačine električnog polja (E) i magnetnog polja (H), izračunatih u bilo kom periodu od šezdeset sekundi, ne smeju preći date granice, osim za ograničeno vreme izlaganja. Frekvencija (f) je u MHz, a S predstavlja gustinu snage ravanskog talasa. Pri izlaganju opšte populacije radiofrekventnim poljima kvadrati srednjih vrednosti

električnih i magnetnih polja ne smeju preći 1/5 nivoa u kojima postoji mogućnost radiofrekventnog udara ili opekotina. Ovim standardom se takodje definiše izlaganje zračenju na više frekvencija, izlaganje u ograničenom periodu itd., [7].

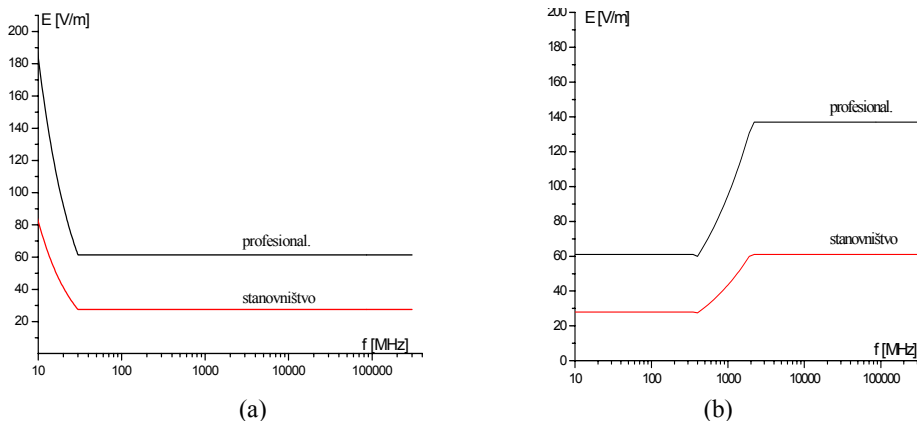
Tabela 6. *Maksimalni nivoi izlaganja zračenih ljudi za 8h, zahtev (a)*

Frekvencijski opseg	Kvadrat srednje vrednosti E polja E^2 (V/m) ²	Kvadrat srednje vrednosti H polja H^2 (A/m) ²	Srednja gustina snage S	
			W/m ²	mW/cm ²
300 kHz-9,5 MHz	$3,77 \times 10^4$	0,265	100	10
9,5 MHz-30 MHz	$3,39 \times 10^6/f^2$	$29,9/f^2$	$9000/f^2$	$900/f^2$
30 MHz-300 GHz	$3,77 \times 10^3$	$2,65 \times 10^{-2}$	10	1

Tabela 7. *Maksimalni nivoi izlaganja zračenih ljudi za 8h, zahtev (b)*

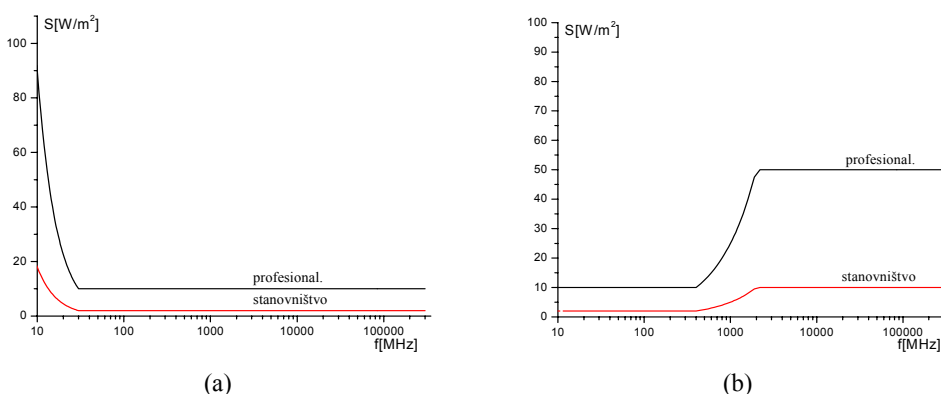
Frekvencijski opseg	Kvadrat srednje vrednosti E polja E^2 (V/m) ²	Kvadrat srednje vrednosti H polja H^2 (A/m) ²	Srednja gustina snage S	
			W/m ²	mW/cm ²
300 kHz-3 MHz	$3,77 \times 10^5$	2,65	1000	100
3 MHz-30 MHz	$3,39 \times 10^6/f^2$	$23,9/f^2$	$9000/f^2$	$900/f^2$
30 MHz-300 GHz	$3,77 \times 10^3$	$2,65 \times 10^{-2}$	10	1

Poredjenjem tabela 6 i 7 sa tabelama 3 i 4 vidi se da postoje razlike izmedju naseg standarda i ICNIRP standarda koji je važeći za EU. Ovo se može videti i sa sledećih slika. Na slici 2(a) dat je grafički prikaz maksimalnih nivoa električnog polja za slučaj profesionalne izloženosti i za opštu populaciju koje propisuje JUS standard. Poredjenja radi na slici 2(b) prikazani su odgovarajući referentni nivoi ICNIRP standarda. I sa ovih slika se uočava da se grafici maksimalnih nivoa u funkciji frekvencije u određenim frekvencijskim oblastima razlikuju. Na primer, maksimalna vrednost električnog polja na GSM frekvenciji od 900 MHz prema JUS standardu je 27.5 V/m (u odnosu na 41.2 V/m koje propisuje ICNIRP).



Slika 2. *Granične vrednosti za električno polje: (a) JUS standard, (b) ICNIRP standard*

Na slici 3(a) prikazana je maksimalno dozvoljena gustina snage za profesionalnu izloženost i izloženost stanovništva prema JUS standardu, a odgovarajući ICNIRP grafici prikazani su na slici 3(b). I ovi grafici pokazuju neusaglašenost našeg standarda sa EU standardom.



Slika 3. Granične vrednosti za gustinu snage: (a) JUS standard, (b) ICNIRP standard

JUS standard definiše maksimalno dozvoljene vrednosti jačine električnog i magnetnog polja, kao i gustine snage, ali ne definiše maksimalne dozvoljene vrednosti SAR-a. S druge strane, u periodu nakon donošenja JUS standarda preovladalo je mišljenje da u mnogo slučajeva jačina spoljašnjeg polja nije pouzdan indikator stvarne izloženosti zračenju, tako da se preporučuje korišćenje drugih metoda za evaluaciju izloženosti, prvenstveno određivanje nivoa apsorpcije u organizmu, tj. vrednosti SAR-a.

6. Netermički efekti usled hronične izloženosti RF zračenju savremenih bežičnih sistema

Pitanje koje poslednjih godina neprestano izaziva pažnju ne samo naučne javnosti već i javnosti uopšte je potencijalan štetan uticaj mobilnih telefona na zdravlje korisnika, pogotovu kod dugotrajnijeg korišćenja i korišćenja od strane dece. Ovaj problem je u fokusu interesovanja ne samo zbog masovnosti korišćenja mobilnih aparata već i zbog specifičnosti u korišćenju. Naime, po prvi put u ljudskoj istoriji kod velikog broja korisnika jedan izvor RF zračenja je lociran neposredno uz glavu korisnika, i premda je nivo predajne snage mobilnog aparata nizak, potencijalna opasnost leži u tome što je rastojanje do moždanog tkiva veoma malo, a lobanja potencijalno predstavlja rezonantnu šupljinu.

Generalno, od uspostavljanja sadašnjih osnovnih standarda, situacija sa izloženošću opšte populacije RF i mikrotalasnom zračenju značajno se izmenila. Postojeće preporuke bazirane su na rezultatima dobijenim za akutno (kratkotrajno), ali intenzivno zračenje. Propisi su u početku bili prvenstveno namenjeni zaštiti profesionalnog osoblja koje bi se moglo naći u zoni radiofrekvencijskog zračenja većeg intenziteta. Međutim, danas je veliki deo opšte populacije hronično izložen RF i mikrotalasnim signalima relativno niskog intenziteta. Izloženost RF zračenju se često ponavlja, ili je dugotrajna, ili je čak neprekidna. Izvori ovog hroničnog zračenja su pored

GSM ili UMTS/3G mobilnih aparata, predajnici baznih stanica mobilnih sistema, DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) bežični telefoni, WLAN (Wireless Local Area Networks) sistemi, WPAN (Wireless Personal Area Networks) sistemi (npr. Bluetooth), i slično. Pored toga sve više se koriste bežični mikrotalasni sistemi za pristup Internetu kao i mikrotalasni linkovi za druge namene, a ne treba zaboraviti ni porast broja radio/TV predajnika. Mnogi od ovih sistema locirani su u gusto naseljenim urbanim sredinama, obično na visokim zgradama. Dugotrajnom zračenju zbog toga je izloženo stanovništvo različitih kategorija uključujući i decu, hipersenzitivne i bolesne osobe.

Postoji rasprostranjeno mišljenje u naučnoj javnosti da pod takvim uslovima može doći do tzv. netermičkih (NT) efekata. Brojna istraživanja posvećena su ovoj temi, pri čemu se mogu uočiti dva glavna pristupa. Prvi je baziran na razmatranju ovih efekata zavisno od različitih fizičkih i bioloških parametara, uzimajući u obzir rezultate brojnih eksperimentalnih studija koji daju evidentne dokaze o njihovom postojanju. Drugi pristup se zasniva na zanemarivanju ili minimizovanju eksperimentalno dobijenih rezultata o postojanju NT efekata, a što je bazirano na činjenici je trenutni nivo razvoja teorijske fizike nedovoljan za sveobuhvatno naučno objašnjenje fizičkih mehanizama ovih efekata. Kao rezultat ove razlike u pristupima, trenutno u svetu standardi za izloženost zračenju variraju i do 1000 puta [10].

Može se uočiti nekoliko osnovnih kategorija rezultata koji daju potvrdu o postojanju NT efekata: promene u odzivu ćelija kod laboratorijskih *in vitro* istraživanja i rezultati nakon hroničnog izlaganja dobijeni u *in vivo* studijama [2],[9-15]; epidemiološke studije koje evidentiraju povećani rizik od tumora mozga i T-ćelijskog limfoma usled prekomerne izloženosti zračenju mobilnih telefona [16-18]; rezultati medicinskih aplikacija RF zračenja koje nisu bazirane na hipertermiji [19]; pojava hipersenzitivnosti na elektromagnetna polja, itd. Mada, za razliku od jonizujućeg zračenja, još uvek nisu definisane "doze" akumulirane mikrotalasne energije, smatra se da hronična izloženost dovodi do neke vrste akumulacije efekata. Diskutabilno je, takodje, do koje mere SAR i gustina snage mogu biti primenjene za karakterizaciju dugotrajne izloženosti niskim nivoima zračenja. To sve ukazuje da će istraživanja u ovoj oblasti u bliskoj budućnosti najverovatnije zahtevati redefinisane postojećih standarda [10].

7. Zaključak

Današnji standardi za maksimalne dozvoljene nivoe izloženosti RF zračenju u većini zemalja bazirani su na eliminaciji rizika od termičkih efekata, koji su uglavnom vezani za akutno izlaganje i relativno visoke nivoe apsorbovane energije EM polja. Međutim, ekspanzija bežičnih komunikacionih sistema, a pre svega mobilnih sistema, dovela je do toga da postoji hronična izloženost stanovništva RF i mikrotalasnim poljima niskog intenziteta. Brojni naučni rezultati govore da se u slučaju takve izloženosti pojavljuju određeni netermički efekti unutar tkiva i organa ljudskog organizma, koji potencijalno mogu biti štetni po ljudsko zdravlje. Da bi se došlo do definitivnih zaključaka o biološkim efektima nakon dugotrajne izloženosti zračenju bežičnih sistema potrebna su multidisciplinarna istraživanja stručnjaka iz oblasti telekomunikacija, elektromagnetike, fizike, biologije, medicine, zaštite čovekove sredine i slično, uz objedinjavanje napora i iskustava naučnih timova u svetu. Od posebnog su značaja dugoročne epidemiološke studije s obzirom na dugu evoluciju nekih oboljenja, pre svega kanceroloških. Ukoliko nauka objasni mehanizme netermičkih efekata i nedvosmisleno

dokaže uzročno-posledičnu vezu ovih efekata sa pojavom oboljevanja kod ljudi, standardi za izloženost zračenju će svakako morati da se modifikuju u smeru daljeg snižavanja dozvoljenih nivoa.

Literatura

- [1] G.J. Hyland, "Non-thermal bioeffects induced by low intensity irradiation of living systems", *Engineering Science and Education Journal*, 1998; 7(6): 261-9.
- [2] J. Lin, "Evaluating Scientific Literature on Biological Effects of Microwave Radiation", *IEEE Microwave Magazine*, Vol. 5., pp.34-37, March 2004.
- [3] *American National Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic fields*, 300 kHz to 300 GHz, ANSI C95.1, 1982.
- [4] *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic fields*, 3 kHz to 300 GHz, IEEE C95.1-1991, 1992.
- [5] World Health Organization, "Electromagnetic Fields (300Hz to 300 GHz), Geneva: WHO, 1993.
- [6] ICNIRP, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (Up to 300 GHz)", *Health Phys.*, Vol.74, pp.494-522, 1998.
- [7] Jugoslovenski standard sa obaveznom primenom, "Radio-komunikacije. Radio-frekvencijska zračenja. Maksimalni nivoi izlaganja koji se odnose na ljude", JUS N.No.205, Pravilnik br. 06-01-93-178 od 1990-08-08, Službeni list SFRJ, br 50-90.
- [8] J. Lin, "Safety Standards for Human Exposure to Radio Frequency Radiation and their Biological Rationale", *IEEE Microwave Magazine*, Vol.4., pp.22-26, December 2003.
- [9] A. Vander Vorst, "Microthermal and Isothermal Biological Effects under Microwave Exposure", *Microwave Review*, Vol.11, No.2, pp. 34-37, pp.2-12, November 2005.
- [10] I. Belyaev, "Non-thermal Biological Effects of Microwaves", *Microwave Review*, Vol.11, No.2, pp. 34-37, pp.13-29, November 2005.
- [11] Dejan Krstić, Vera Marković, Nataša Nikolić, Boris Djindjić, Stojan Radić, Dejan Petković, Milan Marković, "Biološki efekti zračenja bežičnih komunikacionih sistema", *Acta Medica Medianae*, Vol.43, No 4, UDK 61, YU ISSN 0365-4478, pp. 55-63, Oktobar 2004.
- [12] B. Krstić, B. Djindjić, D. Sokolović, V. Marković, "The Results of Experimental Exposition of Mice by Mobile Telephones", *Microwave Review*, Vol.11, No.2, pp. 34-37, November 2005.
- [13] I. Y. Belyaev, V. S. Shcheglov, E. D. Alipov, and V. L. Ushakov, "Non-thermal effects of extremely high frequency microwaves on chromatin conformation in cells in vitro: dependence on physical, physiological and genetic factors," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 48, pp. 2172-2179, 2000.
- [14] A. Y. Matronchik and I. Y. Belyaev, "Model of slow nonuniform rotation of the charged DNA domain for effects of microwaves, static and alternating magnetic fields on conformation of nucleoid in living cells," presented at CEFBIOS-2005 ("Coherence and Electromagnetic Fields in Biological Systems"), Prague, Czech Republic, 2005.

- [15] H. Lai, "Biological effects of radiofrequency electromagnetic field," in *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering*, G. E. Wnek and G. L. Bowlin, Eds. New York, NY: Marcel Decker, in press, 2005.
- [16] M. Kundi, K. Mild, L. Hardell, and M. O. Mattsson, "Mobile telephones and cancer - a review of epidemiological evidence," *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, vol. 7, pp. 351-384, 2004.
- [17] S. Lonn, A. Ahlbom, P. Hall, and M. Feychting, "Mobile phone use and the risk of acoustic neuroma," *Epidemiology*, vol. 15, pp. 653-659, 2004.
- [18] L. Hardell, M. Eriksson, M. Carlberg, C. Sundström, and K. Hansson Mild, "Use of cellular or cordless telephones and the risk for non-Hodgkin's lymphoma," *Int Arch Occup Environ Health*, vol. DOI 10.1007/s00420-005-0003-5, 2005.
- [19] A. G. Pakhomov and M. B. Murphy, "Comprehensive review of the research on biological effects of pulsed radiofrequency radiation in Russia and the former Soviet Union," in *Advances in Electromagnetic Fields in Living System*, vol. 3, J. C. Lin, Ed. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2000, pp. 265-290.

Abstract: *Having in mind the expansion of today's wireless communication systems, it is necessary to consider all biological effects of exposure to RF and microwave radiation and to evaluate existing guidelines for exposure limits. An overview of standards for RF exposure is presented in this paper, with focus on those in EU countries, as well as in our country. The results of research related to non-thermal effects of RF radiation and trends towards the further standards' development are discussed.*

Keywords: *standards, RF exposure, wireless communication systems*

STANDARDS FOR RF EXPOSURE CONCERNING THE EXPANSION OF WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

Vera Marković, Dejan Krstić