

# Radio-frekvencijsko zračenje od mobilne telefonije i uticaj na čoveka

Dr sc. med. Miroslav Hrnjak<sup>1)</sup>  
Dejan Živković, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Mobilni telefoni su danas najmasovniji izvori radio-frekvencijskog (RF) zračenja kojima je izloženo stanovništvo. U mobilnoj telefoniji koristi se RF zračenje frekvencija od 450 MHz do 2200 MHz. Kod mobilnih telefona glava korisnika nalazi se u neposrednoj blizini antene (na 1-7 cm udaljenosti), tj. u bliskom polju zračenja. Oko 50% RF zračenja apsorbira se u tkivima glave korisnika. Za sada nema verodostojnih dokaza da RF zračenje od mobilnih telefona dovodi do oštećenja zdravlja, a ni da ima kancerogeni efekat. Međutim, nema dokaza ni da je mobilni telefon bezbedno sredstvo. Pojava žalbi na zdravstvene tegobe od strane korisnika mobilnih telefona nije dovoljno potvrđena u stručnoj literaturi. U svetu je danas u toku veliki broj istraživanja bioloških efekata RF zračenja od mobilnih telefona.

**Ključne reči:** Radio-frekvencijsko zračenje, mobilni telefoni, zdravstveni efekti.

## Uvod

KADA je Aleksandar Graham Bel u Bostonu 1876. god. patentirao prvi telefon, verovatno nije mogao ni da zamisli da će jednog dana postojati i mobilni telefon, težak svega 90 grama.

Koreni savremenih mobilnih telefona potiču od "voki-to-ki" uređaja iz Drugog svetskog rata. Šezdesetih i sedamdesetih godina ovog veka javljaju se prvi integralni mobilni telefoni koji su bili teški približno 16 kg. Početkom osamdesetih godina, razvoj ide korak unapred – počinju da se koriste RTMS (Radio Telephon Mobile System) telefoni, koji su savršeniji, ali i dalje veliki (6 kg) i skupi. Desetak godina kasnije na tržištu se javljaju prvi portabilni mobilni telefoni u ETACS-u (Extended Total Access Communication System). Godine 1995. u Evropi počinje da se koristi analogni NMT sistem (Nordic Mobile System) i digitalni GSM ili Groupe Systemes Mobiles (Global System for Mobiles) [1-3]. U SAD i drugim zemljama razvijaju se analogni FDMA (Frequency Division Multiple Access) sis-tem (AMPS, NAM PS) i digitalni prenosni modovi TDMA (Time Division Multiple Access) u koji spada: NADC, GSM, US TDMA i CDMA (Code Division Multiple Access) mod [3]. Vodeći sistemi analogne i digitalne mobilne telefonije dati su na tabelama 1 i 2.

**Tabela 1.** Konvencionalni (analogni) celularni mobilni sistemi

Red. broj	Sistem	Zemlja u kojoj se primenjuje	Frekventni opseg MHz	Vršna snaga W	Mod
1.	NMT 450	Skandinavija, Jugoslavija	453-468	2	CW*
2.	NMT 900	Skandinavija, Jugoslavija	890-940	2	CW
3.	TACS	Evropa	890-960	0,6	CW
4.	JTACS	Japan	898-925	0,6	CW
5.	FDMA (AMPS, NAMPS)	Severna Amerika, Južna Amerika, Izrael	825-894	0,6	CW
6.	ETACS	UK, Azija	827-950	0,6	CW

\*CW = kontinualni talasi

**Tabela 2.** Digitalni celularni mobilni sistemi

Red. broj	Sistem	Zemlja u kojoj se primenjuje	Frekventni opseg MHz	Vršna snaga W	Mod
1.	GSM*	Evropa, Azija, Australija	890-960	2	PW
2.	NADC*	Severna Amerika, Hong Kong, Latinska Amerika	824-894	0,6	PW
3.	DCS 1800	Evropa, Azija, Australija	1710-1880	1	PW
4.	CDMA*	Severna Amerika, Azija	824-894	0,2	CW/PW
5.	US TDMA	SAD, Latinska Amerika	806-821	1	PW
6.	ESMR	SAD, Japan	806-821	1	PW
7.	PDC	Japan	810-960	0,6	PW
8.	PHP	Japan	1895-1918	0,01	PW
9.	CT 2	Azija, Evropa	864-868	0,01	PW

\*Predviđeno uvođenje frekvencija: 1850-1990 MHz

PW = impulsna modulacija

CW = kontinualni talasi

Sredinom osamdesetih godina javlja se prva generacija analognih telefona na frekvencijskom području do 1 GHz. U nedostatku globalnih standarda, pojavljuju se razni sistemi analogne telefonije širom sveta. Očekuje se da će njihov razvoj stati i da će početkom novog veka postepeno biti zamenjeni digitalnim celularnim telefonima. Digitalni telefoni su zasnovani na harmonizovanom evropskom standardu GSM. Prvobitna lokacija frekvencija za GSM bila je odmah do onih za analogne telefone, a sada se pomera ka višim frekvencijama. I naredni set frekvencija za digitalne telefonske sisteme, nazvan PCN (Personal Communication Network) se takođe zasniva na GSM standardu. Jedan od njih – DCS 1800 radi na frekvencijama ≈1800 MHz [4].

Prema nekim procenama, u svetu je krajem 1999. god. bilo ≈307 miliona korisnika mobilnih telefona, a 2003. godine ovaj broj korisnika će dostići nivo od 750 miliona.

<sup>1)</sup> Institut za medicinu rada ZPM, Vojnomedicinska akademija, 11000 Beograd, Cmotravska 17

U Finskoj je u julu 1999. god. približno 60% stanovništva imalo mobilne telefone. Prema nekim procenama u Jugoslaviji sada ima više od 600 hiljada pretplatnika mobilnih telefona.

U svetu se danas naglo razvija satelitska mobilna telefonija, koja sigurno predstavlja budućnost u ovoj tehnologiji.

Uobičajeni mobilni telefoni – analogni ili konvencionalni i noviji, ili digitalni, spadaju u grupu ćelijskih mobilnih telefona. Naziv potiče od reči ćelija (celula), jer se razgovor odvija u jednoj geografskoj zoni ili ćeliji, koju pokriva jedna bazna stanica. Na ograničenim manjim prostorima se koristi i bežična mreža u lokalnoj zoni – WLAN (Wireless Local Area Network) koja omogućava komunikacije posebnim mobilnim telefonima u halama, sportskim centrima, na sajmovima i u velikim robnim kućama. Ovi lokalni sistemi mobilne telefonije rade na nešto višim frekvencijama od uobičajenih za mobilnu telefoniju (od 2,45 do 5,8 GHz) [1].

Bežični telefoni se dele na: transportabilne, portabilne, bezgajtanske i mobilne. Transportabilni, ili telefoni u kolima, veće su snage od mobilnih telefona (do 8 W), imaju antenu na krovu vozila, braniku ili staklu. Antena je fizički odvojena od putnika, te mogućnost izlaganja korisnika RF zračenju nije velika. Prenosni telefoni ili telefoni u torbi (snage 5-8 W) imaju antenu uz uređaj, te kada se telefonira, antena može biti u neposrednoj blizini glave. Uobičajeni kućni bežični telefoni ("cordless"), ili telefoni bez gajtana, imaju slušalicu i malu baznu stanicu na fiksnom telefonskom kućištu. Ovi telefoni su veoma male snage (1/600 dela snage mobilnog telefona) i rade na nižim frekvencijama (45-1800 MHz) i nisu značajni sa aspekta izlaganja RF zračenju. Mobilni ili ručni telefoni predstavljaju dvosmerne radio-uređaje, snage do 2 W, kompaktnog oblika koji u sebi integriše slušalicu, mikrofon i antenu. Za vreme korišćenja, antena se nalazi u neposrednoj blizini glave, što je veoma značajno sa aspekta izloženosti RF zračenju [2].

Nova komunikaciona sredstva male snage, uvedena u SAD i Kanadi, u sistemu PCS 1900 (Personal Communication Service) rade na frekvencijama od 1850-2200 MHz [3]. To su lična komunikaciona sredstva malih dimenzija i mogu da prenose glas ili druge podatke, snage od 0,1-2,0 W, i rade na analognom ili digitalnom sistemu [4].

Cilj rada je da se prikaže razvoj uređaja mobilne telefonije kao najbrojnijih izvora RF zračenja za opštu populaciju, da se da pregled dosadašnjih istraživanja biološkog dejstva RF zračenja koje potiče od ovih izvora i navedu mere zaštite. To je urađeno analizom publikovanih rezultata u vezi uticaja elektromagnetnih polja na žive organizme i ljude i tehničko-tehnološkog razvoja mobilne telefonije.

### **Karakteristike RF zračenja od mobilnih telefona**

Bežični mobilni telefoni prenose glasovne poruke šaljući signal preko antene do bazne stanice. Noseći signal prenosi se preko radio-frekvencijskog zračenja. Radio-frekvencijsko zračenje predstavlja elektromagnetnu energiju koja se prenosi u vidu talasa (promenljivog električnog i magnetnog polja) [5]. Za potrebe mobilne telefonije uobičajeno se koristi RF zračenje frekvencija od 450 MHz do 2200 MHz, koje spadaju u oblasti mikrotalasnog zračenja (300 MHz – – 300 GHz). Bazna stanica je povezana preko kablova ili radio-linkova (veze) sa fiksnom

telefonskom mrežom. Stanica pokriva jedno manje geografsko područje, a sve zajedno jednu veću geografsku površinu – pa i celu zemlju, i na taj način omogućavaju razgovor i šetnju ("roaming") i u drugim zemljama.

Kada se telefon uključi, počinje da šalje signale radi uspostavljanja veze sa najbližom baznom stanicom ("traži stanicu"). Posle uspostavljanja veze, telefon prelazi u prazan hod, kada se povremenim ili stalnim signalom održava neophodna veza sa baznom stanicom. Kada korisnik želi da obavi razgovor, uspostavlja se dvosmerna radio-veza sa baznom stanicom koja se odmah svrstava u slobodan radio-frekvencijski kanal. Kod udaljavanja od bazne stanice do granice ćelije signal slabi, pa ga preuzima sledeća bazna stanica iz susedne ćelije i svrstava u svoj slobodni kanal, tako da to korisnik i ne primeti. Mobilni telefon održava vezu sa baznom stanicom sa najmanjom emisijom snagom zračenja neophodnom da se održi dobra veza, odnosno dobro obavi razgovor. Ovo je jedan od načina da se štede baterije telefona. Kada se govori u blizini bazne stanice i u slučaju dobre veze, telefon radi najmanjom snagom, odnosno emituje preko svoje antene zračenje najmanjeg intenziteta [6].

Da bi se prenela glasovna poruka ili neka druga informacija radio-vezom, neophodno je da se noseći RF signal moduliše. Modulacija nosećeg signala može da se vrši amplitudno, frekvencijski i impulsno. Kod amplitudne modulacije (AM) vrši se vremenska promena jačina nosećeg signala, odnosno, vrši se promena jačine signala koji je konstantne frekvencije. Frekvencijska modulacija (FM) karakteriše se vremenskom promenom frekvencije nosećeg signala pri čemu se jačina signala ne menja. Ovaj način modulacije se koristi uglavnom kod analognih mobilnih telefona. Kod impulsne modulacije se noseći signal javlja u vidu kratkih impulsa. Za digitalnu telefoniju karakteristična je tzv. impulsna amplitudna modulacija – pri čemu se govor prenosi preko posebne impulsne modulacije, odnosno u vidu impulsa kratkog trajanja, tako da je ispresecan i komprimovan u vidu paketa. Svaki paket je opet modulisan i u sebi sadrži govornu informaciju. Pri ovome se ne menja frekvencija nosećeg signala ali on poprma karakteristike impulsnog RF zračenja. Svi paketi se na kraju opet pretvaraju u govornu informaciju koja je neprekidnog trajanja, kao što je bila u prvobitnom obliku. Ovakvim načinom modulacije se omogućava da se veći broj telefonskih razgovora u isto vreme prenosi preko jednog istog frekvencijskog kanala. S obzirom da jedan paket ima veoma kratko trajanje, npr. od 0,6 ms (kod GSM telefonije) do 6,7 ms (kod NADC telefonije), to između njih ostaje vremenski prazan prostor u koji se mogu smestiti paketi drugih razgovora. Tako se kod GSM telefonije u jedan isti frekvencijski kanal smešta ukupno 8 istovremenih razgovora [1,5,6]. Da bi bilo jasnije, kod GSM sistema koristi se tzv. TDMA (Time Division Multiple Access) modulacija u kojoj mobilni telefon emituje signal ili impuls jedanput na 4,6 ms u trajanju od 0,6 ms. Tako maksimalni broj impulsa od 217 u sekundi, ima radni faktor 0,125 (radni faktor je broj impulsa pomnožen sa vremenom trajanja), što predstavlja prosečnu predajnu snagu, koja je jednaka osmini vršne predajne snage [7]. NADC (North American Digital Cellular) standard ima 50 paketa u sekundi i koristi se TDMA modulacija (3:1), te postoji radni ciklus od 33% [1].

Frekvencija impulsa ili paketa kreće se, zavisno od sistema mobilne telefonije, u rasponu od 11 impulsa do 217 impulsa u sekundi, što se može videti iz tabele 3. Kod GSM i DCS telefonije postoji, radi štednje baterije u telefonu, i

diskontinualni prenosni mod (DTX), koji redukuje prenosnu frekvenciju impulsa od 217 Hz na mešavinu od 2 Hz i 8 Hz. Kada učesnik ne govori nego sluša sagovornika, frekvencija impulsa se svodi na 2 Hz, dok za vreme pozivanja telefonom ona iznosi 8 Hz [2, 3]. Tako mobilni telefoni u GSM sistemu imaju dva režima rada – jedan od 217 Hz u toku razgovora i kombinaciju od 2 Hz, 8 Hz i 217 Hz [7].

**Tabela 3.** Impulsne frekvencije u digitalnim bežičnim sistemima

Red. br.	Sistem	Impulsna frekvencija (Hz)	DTX (Hz)
1.	GSM	217	2 + 8
2.	DCS	217	2 + 8
3.	NADC	50	-
4.	NADS	22	-
5.	PCS	217	-
6.	US TDMA	11	-
7.	Iridium	11	-

DTX = mod diskontinualnog prenosa

U sistemu celularne digitalne mobilne telefonije koriste se uglavnom dva glavna sistema: TDMA modulacija i CDMA modulacija. Novi US TDMA je kombinacija celularne i trunkalne tehnologije (linije duž glavnih komunikacionih pravaca) i najčešće ih upotrebljava policija, vatrogasna služba i hitna pomoć. CDMA sistem je sve popularniji i za razliku od TDMA, koji ima jednostavan impulsni prenos signala, koristi kompleksan sistem sekvence impulsa. Zavisno od količine glasovnih jedinica koje se prenose, sistem može da angažuje prenos stopom pune snage, polovine, četvrtine ili osmine snage. U toku pune snage postoji konstantni prenos, a pri jednoj osmini snage impulsi su trajanja 1,25 ms u pseudorandomizovanim sekvencama. Randomizacija je urađena prema kodu koji omogućava privatnost razgovora [3]. Digitalni sistem ima, za razliku od analognog, nekoliko prednosti – veći kapacitet, bolju imunost na smetnje, utrošak manje snage i povećanu privatnost [6].

Kod analognih celularnih mobilnih telefona veza se održava preko nosećeg signala u opsegu frekvencija od 450 MHz do 950 MHz, koji je frekvencijski modulisan. Ovde se koristi kategorija FDMA modulacije, pri čemu uređaji imaju snagu od 0,6-3 W [3]. Noseći signal ima oblik kontinualnog talasa ili zračenja. Analiza signala kod nekih od ovih telefona pokazala je da se u toku uspostave veze (dolaska poziva) i u početnoj fazi zvonjenja, kod prekida veze i kod neuspešne veze, a i prilikom prelaska iz jedne ćelije u drugu (kada signal počne da prima druga bazna stanica) javlja određeni broj "rafala" – od jednog do nekoliko u seriji, trajanja do 3,5 s. Rafal (impulsa ili oscilacija) je ograničeni broj odvojenih impulsa u nizu ili niz oscilacija ograničenog trajanja. Pojava rafala ima značenje kod korišćenja analognog telefona od strane osoba koje imaju ugrađeni *pacemaker* jer može da utiče na njegov rad [2,3,8,9].

U tabeli su navedene frekvencije mobilnog telefona koje se koriste u svetu. U nekim zemljama (npr. Nemačka) mreža mobilnih telefona je podeljena u tri osnovne mreže (C, D i E mreža), što je prikazano u tabeli 4. C-mreža ima okvirnu frekvenciju od ≈450 MHz i služi za analognu telefoniju, dok druge dve mreže (900 MHz i 1800 MHz) služe za digitalnu telefoniju [9].

**Tabela 4.** Osnovne karakteristike mreža mobilne telefonije

Red. br.	Parametar	C - mreža	D - mreža	E - mreža
1.	Noseća frekvencija (MHz)	450	900	1800
2.	Informaciono kodiranje	FM	Digitalno	Digitalno
3.	Mod	Kontinualni talasi	Impulsna modulacija	Impulsna modulacija
4.	Maksimalna snaga telefona (W)			
	- ručni (mobilni)	2	2	1
	- portabilni	15	8	-

Iz tabela 1 i 2 se može videti da se predajne snage zračenja mobilnih telefona kreću od 0,01 do 2 W. Jedna od važnih karakteristika mobilne telefonije je adaptivna kontrola snage koja se koristi za prenos. Ovo se koristi tako što se komunikacija odvija na način koji uvek obezbeđuje adekvatan odnos signal – šum, ali bez neophodne upotrebe velike snage koja bi mogla da utiče na susedne signalne oblasti i da tako smanji kapacitet mreže, ali i radi uštede baterije u telefonu. Uglavnom, predajna snaga zračenja je jednaka maksimalno potrebnoj, što se ipak ne postiže u svim situacijama [4]. U toku korišćenja telefona, snaga varira zavisno od kvaliteta veze. Tako će telefoni koji imaju vršnu snagu od 0,6 W, u slučaju najvećeg udaljenja od bazne stanice, vezu da održavaju s maksimalnom snagom, a kod bazne stanice sa samo 0,05 W, pa čak i s nekoliko mW. U toku biranja broja, uspostavljanja veze i kod svakog slabijeg prenosa signala, telefon će da radi s većom snagom [2,3,8,9].

Prema evropskom standardu [11] mobilni digitalni telefoni su svrstani prema snazi u 5 klasa, što se može videti u tabeli 5. Maksimalna dopuštena predajna snaga je data po klasama radi zaštite od zračenja i kreće se 0,8-8 W. Klasa 1, u kojoj telefoni imaju snagu do 20 W, je zabranjena [7]. Iz tabele 4 se tako može da vidi da u mreži C (analogni telefoni) maksimalna dopuštena prenosna snaga za mobilne ručne telefone iznosi 2 W, a za portabilne 15 W, dok u klasama D i E (digitalni telefoni), maksimalna emisiona snaga kod ručnih telefona ne sme da pređe 1-2 W, odnosno 8 W za portabilne telefone [9].

**Tabela 5.** Podela GSM mobilnih digitalnih telefona prema snazi

Red. br.	Klasa	Maksimalno dopuštena vršna predajna snaga	Napomena
1.	Klasa 5	0,8	
2.	Klasa 4	2	
3.	Klasa 3	5	Mogu se koristiti samo na vozilima ili kao portabilni
4.	Klasa 2	8	
5.	Klasa 1	20	Zabranjeni

U NADC telefoniji najjača transportabilna sredstva imaju snagu do 3 W, a u GSM do 8 W [3].

Antena ručnih mobilnih telefona se nalazi u blizini glave i predstavlja značajan izvor RF zračenja. Telefoni imaju kratku štap antenu, dužine desetak santimetara (obično 12 cm), koja se izvlači (1/2 talasni dipol), a kada se ona uvuče (ili je nema kod nekih telefona) onda telefon koristi antenu u obliku spiralne žice smeštene po obodu telefonskog uređaja [8]. Energija zračenja antene se može meriti kao električno (E) i magnetno (M) polje. E polje je uglavnom izraženije na vrhu i na dnu antene, a M polje u sredini. Magnetno polje je biološki značajnije i prodire sa veoma malo gubitaka kroz kožu i kosti glave i indukuje E polje u unutrašnjosti glave. Antena uglavnom emituje simetrično cirkularno polje, od koga se ≈50% zračenja apsorbuje u

glavi (a po nekima mišljenjima 20-80%), a ostatak koristi za održavanje veze, što je veliki gubitak [1,2,11]. Noviji telefoni imaju antenu sa asimetričnim karakteristikama, tako da je veći deo zračenja upravljen od glave, što na određeni način redukuje deo zračenja koje se apsorbira u glavi korisnika [2].

### Bazne stanice

Bazna stanica se nalazi u centru jedne ćelije preko koje se održava radio-veza s mobilnim telefonom. Antene baznih stanica postavljaju se na visokim tornjevima ili na krovovima zgrada, odnosno na fasadama zgrada. Tornjevi sa antenom u ruralnim predelima su visoki 15-50 m kako bi se pokrilo što veće područje na koje se prostire radio-signal. Antene baznih stanica (digitalne telefonije) emituju usmereni snop zračenja – veoma uzak po vertikali ( $7-10^\circ$ ), dok snop po širini zahvata mnogo veći ugao – od  $60^\circ$  do  $120^\circ$ . U analognim sistemima antene su uglavnom neusmerene, ali takođe imaju uzak snop po vertikalnom pravcu. Jedna uobičajena bazna stanica najčešće ima do 12 frekvenzijskih kanala, a izlazna snaga po kanalu iznosi približno do 10 W. Kada radi više kanala istovremeno, tada izlazna snaga zračenja antene bazne stanice dostiže maksimalno 100 W. Naravno da ima i jačih baznih stanica, snage preko hiljadu vati [4]. Izlazna snaga antene baznih stanica najvećim delom varira zavisno od tipa i lokacije stanice. Antene postavljene na zidovima u zgradama rade snagom manjom od 1 W, dok antene postavljene napolju dostižu snagu i nekoliko stotina vati. Kako su antene baznih stanica usmerene, to emitovano zračenje ima najveću snagu u glavnom snopu, nešto manju u bočnim lepezama, dok je zračenje u ostalom prostoru veoma malo [6]. Glavni snop zračenja od antene je u velikoj meri paralelan sa površinom tla i postepeno se širi, tako da može da pada na tlo na udaljenosti 50-300 m od podnožja antene. Tada je zračenje u velikoj meri oslabljeno, pošto intenzitet RF zračenja opada sa kvadratom rastojanja. Dosadašnja merenja su pokazala da intenzitet RF zračenja u glavnom snopu prelazi dopuštene vrednosti na udaljenosti približno 1-6 m od antene, dok je iza usmerene antene gustina snage zračenja manja 100-1000 puta nego u glavnom snopu. Na krovu zgrade, ispod antene, može da se izmeri intenzitet zračenja koji iznosi 1/10 od dozvoljenog, dok je na tlu, u prostoru u kome se kreću ljudi, RF zračenje intenziteta od 1/1000 do 1/40 dela od dopuštenog za ljude. Zidovi i krov zgrade imaju faktor slabljenja zračenja približno 10, što predstavlja veoma dobru zaštitu od RF zračenja koje emituje antena postavljena na krovu zgrade ili na fasadi. Rezultati jednog broja ispitivanja RF zračenja u sobama koje se nalaze neposredno ispod krova sa baznom stanicom ili iza zida fasade na koji je postavljena antena govore, da je intenzitet zračenja u prostorijama 10-100 puta manji od spoljašnjeg [1,4,6,12].

Da bi se obezbedio dobar signal bazne stanice su u gradovima gusto raspoređene, dok se u ruralnim predelima postavljaju na mnogo većem međusobnom rastojanju, većem i od 1 km. Zbog velikog broja korisnika i želje da se obezbedi što bolji prijem signala mobilnim telefonom, mreže mobilne telefonije su sve gušće, a ćelije sve manje. Antene se postavljaju što bliže korisnicima mobilnih telefona na fasadama zgrada, u trgovačkim centrima, u poslovnim zgradama, na aerodromima i na sličnim mestima. U SAD postoji gušća mreža baznih stanica mobilne telefonije nego u Evropi [2]. U 1998. god. u SAD je bilo 52.000 baznih stanica mobilne telefonije, a predviđa

se da bilo potrebno približno 90.000 ovih stanica da bi se pokrila cela teritorija ove države. Gušća mreža baznih stanica omogućava bolji prijem signala i potrebu za manjom predajnom snagom mobilnog telefona, ali u isto vreme predstavlja i veći doprinos ovih izvora radio-frekvenzijskoj okolini. Za sada ovaj doprinos još uvek nije u dovoljnoj meri proučen.

### Izloženost zračenju od mobilnih telefona

Mobilni telefon ima na kućištu postavljenu antenu koja se za vreme razgovora nalazi na nekoliko centimetara udaljenosti od glave (1,5-7 cm), a ponekad je antena prislonjena na kožu glave. Glava korisnika je u toku razgovora u bliskom polju zračenja, odnosno na udaljenosti koja je za red veličine manja od talasne dužine emitovanog zračenja. Talasna dužina RF zračenja frekvencije od 450 MHz, koja se koristi kod analognih telefona, iznosi 60 cm, dok kod frekvencije od 900 MHz (kod digitalnih telefona) iznosi 30 cm, a RF zračenje frekvencije od 1800 MHz ima talasnu dužinu 15 cm. Udaljenost glave od antene je manja od  $2D^2/\lambda$  (gde su  $D$  = najveća dimenzija antene, a  $\lambda$  = talasna dužina zračenja), što je granica bliskog polja. U ovom polju RF zračenje od antene mobilnog telefona ima značajne reaktivne komponente. Oko antene se stvaraju veoma jaka lokalizovana E i M polja. Ovo može da dovede do većeg lokalizovanog oblika apsorpcije zbog rezultirajuće anizotropne prirode polja. [4]. U toku obavljanja razgovora, glava i u ruke korisnika izložene su RF zračenju. Osnovno pitanje koje se javlja kod procene mogućih zdravstvenih aspekata korišćenja mobilnih telefona je – u kojoj meri antena emituje RF zračenje, koliko se ono apsorbira u glavi korisnika ili rukama, u kojoj meri dolazi do zagrevanja tkiva i da li sve ovo izaziva štetne efekte.

U slučaju korišćenja analognih telefona postoji izloženost RF zračenju. Ovo zračenje je kontinualno i ima određenu frekvenciju sa pojavom manjeg broja impulsa ili rafala u toku dolaska poziva, zvonjenja telefona, prekida veze i kod prelaska u toku razgovora u susednu ćeliju. Frekvencija ovog zračenja se kreće u opsegu 450-950 MHz.

Kod digitalnih telefona noseći signal frekvencije od 806 do 1990 MHz, odnosno 1850-2200 MHz kod ličnih komunikacionih sredstava (PCS), je impulsno isprekidan. Impulsna frekvencija je od 2 Hz do 217 Hz, tako da je sada noseće RF zračenje veoma slično RF zračenju ili elektromagnetnim poljima ekstremno niskih frekvencija (ELF-Extremely Low Frequency), što je uobičajeni naziv za elektromagnetna polja u frekventnom opsegu 0-300 Hz. Izloženost RF zračenju ovakvih karakteristika je značajna s aspekta što se biološko dejstvo elektromagnetnih polja ELF opsega razlikuje od RF zračenja viših frekvencija.

Merenje zračenja u prostoru između antene i glave je veoma kompleksno, a naročito je komplikovano odrediti stepen apsorpcije RF zračenja u tkivu glave. Dobijeni rezultati merenja polja nisu pogodni da se pored sa postojećim ekspoziционим standardima. Iz ovih razloga se, pored merenja polja, radi i proračun prostorne depozicije RF zračenja u glavi na odgovarajućem anatomskom fantomu koji ima osobine ljudskih tkiva, te se tako izračunava stepen apsorpcije RF energije u glavi [6]. Radi procene stepena apsorpcije zračenja, određuje se specifična stopa apsorpcije energije zračenja – SAR (Specific Absorption Rate). Ona predstavlja snagu zračenja apsorbovanu po jedinici mase (W/kg). Postojeći normativi za SAR uključuju gornje dopuštene granice za izlaganje celog tela i lokalizovano izlaganje i imaju za cilj da

preveniraju efekat koji nastaje zbog zagrevanja tkiva usled apsorpcije zračenja. Eksperimentalni rezultati su pokazali da izlaganje RF zračenju koje izaziva SAR celog tela od 4 W/kg predstavlja granicu na kojoj može da dođe do zagrevanja tkiva više od 1°C i da može da izazove štetne efekte. Kada je usvojen zaštitni faktor 10 za profesionalno izlaganje, došlo se do gornje dopuštene granice SAR od 0,4 W/kg za izlaganje celog tela. Za opštu populaciju, odnosno stanovništvo, uključuje se i dodatni zaštitni faktor od 5 W/kg, te gornja dopuštena granica SAR iznosi 0,08 W/kg za celo telo. Kod lokalizovanog izlaganja RF zračenju dopušta se veća gornja granica SAR [13].

Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizujućeg zračenja – ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) u preporukama iz 1998. god. je odredila za gornju dopuštenu vrednost lokalizovane SAR 2 W/kg usrednjenu u 10,0 g tkiva za stanovništvo, dok za profesionalno izlaganje ona iznosi 10 W/kg [13]. Prema američkom IEEE (Institut of Electrical and Electronic Engineers) iz 1992. godine, vršna lokalizovana SAR iznosi 8 W/kg usrednjena u 1,0 g tkiva [14].

Frekvencije RF zračenja, koje se koriste u mobilnoj telefoniji, spadaju u oblast frekvencija zračenja koje se veoma dobro apsorbuju u glavi čoveka. Rezonantna frekvencija za glavu odraslog čoveka, ili ona na kojoj se zračenje u najvećoj meri apsorbuje, javlja se na ≈400 MHz, dok za decu iznosi ≈700 MHz. Neočekivana mesta velike lokalne apsorpcije ili zagrevanja u vidu "vrelih" tačaka u glavi čoveka mogu da se jave kod frekvencija u opsegu od 300 MHz do 12 GHz [1,13]. Radio-frekvencijsko zračenje prodire do određene dubine u tkivo jer u toku svoga puta slabi apsorbujući se. Dubina prodiranja RF zračenja u tkivo zavisi od frekvencije zračenja. Zračenje frekvencije od 450 MHz ima dubinu prodiranja 50 mm, a od 2000 MHz prodire 22 mm [2]. Dubina prodiranja talasa je dubina na kojoj se jačina talasa redukuju na 1/e ili približno 37% od prvobitne vrednosti [13]. Depozicija energije u tkivima je veoma kompleksna i neuniformna zbog različitih dieletričnih osobina tkiva, a i refleksije od tkiva različitih gustina. Prilikom korišćenja mobilnog telefona najveća apsorpcija RF zračenja se dešava u tkivu lica i u delu ušne školjke. Prema nekim eksperimentalnim radovima vršna SAR se može očekivati na površini glave, dok će apsorpcija u tkivu mozga biti mnogo manja (i sa faktorom 2 u odnosu na lice). Na prvi santimetar dubine tkiva mozga, apsorpcija je za 20-30% manja nego u tkivu lica, dok na dubini od 5 cm moždanog tkiva iznosi približno 10% od one koja se odvija u tkivu lica. Na suprotnoj strani glave vršna SAR je bila mnogo manja – za približno jednu magnitudu merenja [1,5].

Metalni implantati u glavi, ušima i u ustima (metalna proteza), a i metalni okvir naočara mogu znatno da utiču na raspored RF polja i apsorpciju energije zračenja u glavi [5].

U nekim od istraživanja dobijeni su rezultati koji pokazuju da je lokalna SAR u rukama korisnika mobilnog telefona bila u rasponu 0,09-1,9 W/kg, u glavi 0,16-0,69 W/kg, a u mozgu je iznosila 0,06-0,41 W/kg [5]. Prema rezultatima nekih drugih merenja, vršna SAR na licu je bila 1,1-1,7 W/kg, a proračunata SAR u mozgu približno 0,1 W/kg [4]. Prema drugim nalazima, SAR od 2 W/kg (dopuštena za opštu populaciju) može biti prekoračena kod predajne snage telefona 0,6 W na frekvenciji 900 MHz (kod udaljenosti glave od antene na 1,4 cm) i pri snazi telefona 0,4 W za radnu frekvenciju od 1800 MHz [1]. Navodi se i procena da u slučaju uobičajenog korišćenja telefona limit IEEE od 8 W/kg može biti prekoračen kod izlazne snage

telefona 1-2 W, dok kod portabilnih telefona snage 7 W, SAR može biti znatno veća. Takođe, u literaturi može da se nađe mišljenje, da kod uobičajenih GSM ručnih telefona vršne snage 2 W, a srednje snage ≈0,25 W, uglavnom ne dolazi do apsorpcije zračenja koje prelazi dopuštenu granicu [1,4].

Rezultati dosadašnjih istraživanja su veoma nekonzistentni, a Kuster i sar. [1] daju podatke o rezultatima većeg broja istraživanja raznih vrsta mobilnih telefona dostupnih na tržištu koji govore da, kod ispitivanih telefona, vršna SAR može da dostigne bezbednu granicu SAR i da ona mnogo zavisi od načina držanja telefona, tj. da li se telefon drži u namenskom ili u normalnom položaju ili je antena isuviše blizu glave.

### Zdravstveni efekti

Pored navedenog efekta zagrevanja tkiva koji se javlja kod apsorpcije RF zračenja termičkih intenziteta (izlaganje zračenju upadne gustine snage veće od 10 mW/cm<sup>2</sup>) postoje i netermički efekti, odnosno dejstvo izlaganja niskim intenzitetima RF zračenja.

Lokalno zagrevanje tkiva, izazvano većim termičkim intenzitetima RF zračenja, može da prouzrokuje opekotine kože i mišića, oštećenja unutrašnjih organa, zagrevanja polnih organa (testisa i ovarijuma) i očnog sočiva (pri čemu dolazi do pojave katarakte ili zamućenja sočiva), a i porasta temperature u moždanom tkivu. Evidentno oštećenje se javlja kod porasta temperature u moždanom tkivu za 4,5°C [15].

Netermički efekti nisu tako dobro definisani, a rezultati dosadašnjih istraživanja nisu konzistentni. U jednom broju eksperimentalnih studija na životinjama nađeni efekat uticaja na regulaciju imunološkog sistema, na modulaciju funkcija mozga (između ostalog, i na produkciju melatonina koji reguliše dnevni ritam), na hormonske mehanizme, na regulaciju receptorskih formacija za hormone na grudnoj žlezdi, dejstvo na regulaciju ćelijskog rasta, na ćelijske membrane itd. RF zračenje može da bude promotor (da pomaže razvoj) kod karcinogeneze (razvoj tumora) izazvane hemijskim štetnim faktorima, ali ne i da samo izazove pojavu tumora. U većem broju radova nisu dokazani navedeni efekti, čak su dobijeni suprotni efekti. Dosadašnja istraživanja nisu pokazala da RF zračenje predstavlja mutageni faktor, tj. da može da izazove maligna oboljenja. Pregled bioloških efekata RF zračenja može se naći u literaturi [16]. Epidemiološke studije na ljudima, i pored jednog broja istraživanja u kojima je nađen povećan rizik pojave malignih oboljenja, nisu mogle da ukupno potvrde da izloženost niskim intenzitetima RF zračenja može da izazove pojavu malignih oboljenja kod osoba izloženih zračenju [1,4,13,16].

Poznato je da se neki korisnici mobilnih telefona žale na glavobolju, gubitak koncentracije, zaboravnost, nesanicu, nervozu, umor, zujanje u ušima, osećaj peckanja i žarenja po koži i druge slične tegobe. Međutim, u stručnoj literaturi se teško može naći potvrda ovih tegoba [17,18]. Mild i sar. [19] su uradili jednu od retkih studija na korisnicima mobilnih telefona, upoređujući tegobe kod ljudi koji koriste analogne i digitalne telefone u Švedskoj i Norveškoj. Ispitali su žalbe korisnika telefona na glavobolju, osećaj diskomforta, toplote po koži oko ušiju i na ušima, teškoće u koncentraciji i umor. Našli su značajnu vezu između dužine razgovora i broja razgovora telefonom u toku dana i pojave osećaja toplote u ušima i oko njih, glavobolja i umora. Ovoj studiji se pripisuje nedostatak što nije imala kontrolnu grupu korisnika fiksnih telefona [15].

Do sada nije urađena dobra obimna epidemiološka studija na korisnicima mobilnih telefona koja bi mogla da u određenoj meri odgovori da li postoje štetni efekti na korisnike mobilnih telefona.

### Uticaj na elektronska sredstva

Mobilni telefoni mogu da ometaju rad elektronski kontrolisanih uređaja zbog elektromagnetne interferencije (EMI). Rizik od EMI zavisi od intenziteta RF zračenja, odnosno od prenosne snage, frekvencije RF zračenja, tipa modulacije i mnogih drugih faktora. Da bi se EMI izbegla, postojeći standardi i preporuke definišu imunost uređaja na EMI i dopuštene jačine elektromagnetne emisije koje uređaji mogu da generišu, odnosno regulišu elektromagnetnu kompatibilnost (EMC). Na mogućnost uticaja mobilnih telefona na rad drugih električnih uređaja indirektno se odnosi *Direktiva Saveta EEC Evropske zajednice* (EMC 89/336/EEC), čl. 4., vezana za zaštitu uređaja od elektromagnetnih smetnji [1]. Ovo je naročito značajno sa aspekta mogućnosti ometanja uređaja u bolnicama (dečiji apnea monitori, aparati za praćenje vitalnih funkcija, aparati za veštačko disanje, električna kolica), a i uređaja u avionu [1].

Mobilni telefoni mogu da utiču na rad pejsmejkera (ugrađenih kardiostimulatora), slušnih implantata, aparata za pojačanje sluha i sl. Pejsmejker je medicinski implantat koji šalje impulse u srce koje je obolelo i koje ima poremećeni ritam ili on nedostaje. Ugrađuje se preko kože u predeo grudnog mišića, duboko u mišić ili u predeo trbuha. Noviji uređaj koji se ugrađuje na sličan način je implantabilni kardioverter defibrilator i služi za automatsko prekidanje opasnih srčanih aritmija i uspostavljanje normalnog rada srčanog mišića [20, 21].

Analogni telefoni su bezbedniji za nosioce pejsmejkera nego digitalni. Ovi telefoni mogu da ugroze rad ugrađenog pejsmejkera u većoj meri uglavnom samo pri pojavi, kako je to već ranije navedeno, rafala u fazi uspostave razgovora, a u toku zvonjenja, prekida veze i kod prelaska u drugu ćeliju. Digitalni telefoni su mnogo opasniji za nosioce kardiostimulatora zbog impulsnog režima rada. Stariji tipovi pejsmejkera su osetljiviji na dejstvo mobilnih telefona nego noviji tipovi, koji imaju tehnički bolje rešenu zaštitu od EMI. Pacijenti sa ugrađenim pejsmejkerom treba da konsultuju svog lekara ako žele da umesto analognog koriste digitalni telefon [3]. Elektromagnetna interferencija, odnosno ometanje rada pejsmejkera se javlja, kako su pokazali rezultati većeg broja istraživanja, većinom na udaljenostima manjim 10-25 cm od pejsmejkera. Nađeno je da su pejs-mejkeri u većoj meri osetljivi na frekvenciju mobilnog telefona od 900 MHz, nego na frekvenciju od 1800 MHz. Najznačajnija mera zaštite je da se uobičajeni mobilni telefon (snage do 2 W) drži na udaljenosti većoj od 20 cm od levog grudnog mišića (od srca) dok je za portabilne telefone, koji su veće snage (7 W) bezbedna udaljenost od približno 40 cm. Jedno drugo istraživanje je pokazalo da je 2/3 svih pacijenata sa ugrađenim pejsmejkerom moglo bezbedno da koristi mobilni telefon [2, 3, 7, 8, 9, 21]. U Japanu su donete preporuke po kojima je bezbedna udaljenost mobilnog telefona od pejsmejkera 22 cm, a u Kanadi se preporučuje da se mobilni telefon ne drži u levom gornjem džepu odeće [1]. Zaštitni prsluci (od tanke tkanine sa finom metalnom žicom) za nosioce pejsmejkera (kojih ima na tržištu) mogu da predstavljaju dobru zaštitu od mobilnog telefona [9]. Mobilni telefoni kod korisnika mogu da ugroze rad ranije navedenog ugrađenog aparata, ali stepen osetljivosti ovih uređaja još

uvek nije u dovoljnoj meri sagledan [3, 20].

Mobilni telefoni mogu da ometaju funkcionisanje slušnih pomagala – aparata za pojačanje sluha koji se nosi spolja i implantata koji se ugrađuje u uvo. Smetnje u toku korišćenja mobilnog telefona se manifestuju u obliku pojave zujanja, brujanja i pucketanja. Slušni implantat je u većoj meri otporan na ometanje od aparata za pojačanje sluha koji se nosi spolja. Digitalni telefoni, zbog impulsnog zračenja koje emituju, u većoj meri vrše ometanje navedenih aparata. Korišćenje uva suprotno od onoga sa slušnim pomagalom omogućava da se u velikoj meri spreči ometanje. Najbolja mera za sprečavanje ometanja rada aparata je korišćenje slušalica i mikrofona koji su odvojeni od mobilnog telefona. Novi međunarodni propisi koji se odnose na EMC slušnih aparata i telefona povećavaju otpornost slušnih pomagala na ometanje od mobilnog telefona [6, 15].

### Mere zaštite

U toku razgovora mobilni telefon treba držati u normalnom ili namenskom položaju, onako kako to proizvođači preporučuju, tako da antena ne bude uz glavu. Antena telefona treba, kad god je to moguće, da bude izvučena i da se vodi računa da ne dodiruje kožu glave ili lica. Telefon treba koristiti na suprotnoj strani glave od ugrađenog pejsmejkera ili slušnog pomagala. Treba imati uvek na umu da telefon radi većom snagom kada je veza slabija, u zatvorenim prostorijama (naročito ako zidovi sadrže armirani beton), u podrumskim prostorijama, u kolima i pri uspostavljanju veze. Iz ovih razloga treba težiti da se razgovor, kad god je to moguće, iz zatvorenih prostorija obavlja preko fiksnog telefona. Ne treba bespotrebno voditi duge razgovore. Mnogi stručnjaci preporučuju da se posle nekog vremena (3 minuta) prebaci telefon na drugo uvo. "Handsfree" oprema (mikrofon i slušalice odvojene od telefona) može da bude značajan izvor zračenja zbog indukcije u kablovima kada su oni u blizini antene mobilnog telefona. Na tržištu se pojavljuje tzv. „zaštitna sredstva“ (apsorbirajuće futrole, štitnici i sl.) koja nemaju efekat zaštite od zračenja, te ih *Svetska zdravstvena organizacija* ne preporučuje za korišćenje.

Nije uputno dozvoljavati deci da koriste mobilni telefon bez nadzora. Telefon ne treba uključivati u avionu i bolnicama, osim u zato određenoj zoni. Korišćenje telefona u prostorijama sa gasovitim zapaljivim materijama i na drugim mestima u kojima se javljaju zapaljive supstance može da bude opasno.

Telefon je u kolima najbolje priključiti na spoljašnju antenu. U slučaju korišćenja telefona u unutrašnjosti automobila, RF zračenje od antene telefona može da se pojačava zbog odbijanja od metalnih zidova kabine i da korisnik na taj način bude u većoj meri izložen RF zračenju. Mobilni telefon može da utiče u kolima na rad ABS sistema (sistem protiv blokiranja kočnica), sistema sa vazдушnim jastucima, a i da nepovoljno utiče na rad pojedinih uređaja u kontrolnoj tabli.

Neophodno je da se onemogućiti prilaz krovu zgrade na kojoj je postavljena antena bazne stanice, što se odnosi i na tornjeve i na druge antenske stubove. U blizini antene treba da se nađu samo obučena lica koja održavaju bazne stanice.

Postavljanje antena baznih stanica u naseljenim mestima, a naročito u neposrednoj blizini stambenih zgrada, obdaništa i škola, kao i terena za igru dece, zahteva posebnu pažnju sa aspekta mogućeg uticaja na životnu sredinu.

### Zaključak

Mobilni telefoni su danas najbrojniji izvori RF zračenja na stanovništvo. Za sada nema dokaza da upotreba mobilnog telefona izaziva oštećenje zdravlja, ali ni da je to bezbedan uređaj. Zbog toga se nastavljaju intenzivna laboratorijska istraživanja biološkog dejstva RF zračenja i epidemiološke studije. Istraživanja u tehničko-tehnološkom pravcu idu u dva smera: razvoj uređaja mobilne telefonije manje snage zračenja i razvoj satelitske telefonije, što će smanjiti potrebu za širenjem mreže baznih stanica.

### Literatura

- [1] KUSTER,N, BALZANO,Q, LIN JC (eds). *Mobile Communication Safety*. London: Chamman and Hall, 1997.
- [2] IRNICH,M. Mobile Telephones and pacemakers. *PACE* 1996; vol.19, no.10, p.1407-1409.
- [3] HAYES,DL, CARRILLO,R.G., et all. State of Science: Pacemaker and Defibrillator Interference from Wireless Communication Devices. *PACE* 1996; vol. 19, no.10, p.419-430.
- [4] ...ICNIRP Statement. Health issues related to the use of hand-held radio telephones and base transmitters. *Health Phys* 1996; vol.70, no.4, p.587-594.
- [5] ROTHMAN,KJ, CHOU,C-K, et all. Assessment of Celular Telephone and Other Radio Frequency Exposure for Epidemiologic Research. *Epidemiol Res* 1996, vol.7, no.3, p.291-298.
- [6] ...*Health and Safety in Mobile Telephony*. Stocholm: Ericsson Radio System AB; 1997.
- [7] SPARKS,P.B., MOND,H.G., et all. The Sa-fety of Digital Mobile Cellular Telephones with Minute Ventilation Rate Adoptive Pacemaker. *PACE* 1996, vol.19, no.10, p.419-430.
- [8] BARBARO,V., BARTOLINI,P., et all. Electromagnetic Interference of Analog Cellular Telephones With Pacemakers. *PACE* 1996; vol.19, no.10, p.1410-1418.
- [9] ...*Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz), Environmental Health Criteria 137*. Geneva: UNEP/WHO/IRPA; 1993.
- [10] IRNICH,W., BATZ,L., et all. Electromagnetic Interference of Pacemakers by Mobile Phones. *PACE* 1996; vol.19, no.10, p.1431-1446.
- [11] ...*European Telecommunication Standard ETS 300 504, 2nd Ed.*, Sept. 1995 and ETS 300 579, 3rd ed., Sept. 1995, F-06921 Sophia Antipolis, Cedex, France.
- [12] PETERSEN,R.C., TESTAGROSSA,P.A. Radio-frequency electromagnetic fields associated with cellular - radio cell - site antennas. *Bioelectromegnetics*, 1992; vol.13, no.6, p.527-542.
- [13] ...ICNIRP Guidelines. Guidelines for limiting exposure to time-varying electirc, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 1998; vol.74, no.4, p.494-522.
- [14] ...IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency elctromagnetic fields 3 kHz to 300 GHz. Institute of Electrical and Electronic Engineers, *IEEE C95.1-1991*, New York: IEEE; 1992.
- [15] ALOE,A.M., CAROLI,L. *Review on possible effects of the exposure of biological systems to electromagnetic fields emitted by cellular phones*. Romma: Telecom Italia Mobile; 1998.
- [16] MOULDER,J.E., ERDREICH,L.S., et all. Cell Phines and Cancer:What is the Evidence for Conection, *Rad Res*,1999, vol.151, p.513-531.
- [17] FREY,A.H. Headaches from Cellular Telephones: Are They Real and What Are the Implications? *Environmental Healt Perspectives*, 1998, vol.106, no.3, p.101-103.
- [18] BRAUNE,S., WROCKLAGE,C., et all. Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet* 1998; vol.35, no.9119, p.1857-1858.
- [19] MILD,K.H., OFTENDAL,G., et all. *Comparison of analogue and digitalmobile phone users and simptoms. A Swedish-Norwegian epidemiological study*. In: Aloe AM, Caroli L. *Review on possible effects of the exposure of biological systems to electromagnetic fields emitted by cellular phones*. Romma: Telecom Italia Mobile; 1998. p.39-44.
- [20] HAYES,D.L. Wireless Phones and Pacemaker Interaction. *PACE* 1996, vol.19, no.10, p.1405-1406.
- [21] NOWAK,B., ROSOCHA,S., et all. Is There aa Risk for Interaction Between Mobile Phones and Single Lead VDD Pacemakers? *PACE* 1996, vol.19, no.10, p.1447-1450.

Rad primljen: 10.7.2000.god.

