

RADIOTALASNO I MIKROTALASNO NEJONIZIRAJUĆE ZRAČENJE

Jovica Vukašinović, Marko Zeljković
Elektrotehnički fakultet Banja Luka

I UVOD

Nejonizirajuća zračenja su elektromagnetska polja i elektromagnetni talasi frekvencije niže od 3.000.000 GHz, pa do ultrazvuka frekvencije niže od 500 MHz, a koji u međudjelovanju sa supstancom ne stvaraju jone (tj. nemaju dovoljnu energiju da potpuno izbace elektrone iz njihove orbite i tako uvjetuju nastanak jona.

U područje nejonizirajućeg zračenja spada:
optičko zračenje

- ultraljubičasto zračenje (Ultra-violet – UV)
- infracrveno zračenje (Infra-red – IR)
- vidljivi spektar (visible light)

radiotalasi (RF), mikrotalasno zračenje (MW)
električna i magnetna polja ekstremno niske frekvencije (Extremely-low-frequency ELF)

II RADIOTALASNO I MIKROTALASNO ZRAČENJE

Radiotalasno i mikrotalasno zračenje su elektromagnetna zračenja frekventijskog područja od 3 kHz do 300 GHz. Obično se mikrotalasno zračenje smatra dijelom radiotalasnog zračenja iako alternativna konvencija smatra radiotalasno i mikrotalasno zračenje kao dva zasebna spektralna područja. Mikrotalasi su u spektralnom području između 300 GHz i 300 MHz, dok su radiotalasi između 300 MHz i 3 kHz.

Mnogi od ovih izvora nisu pod kontrolom jer radiotalasno zračenje se ne smatra opasnim, iako opasnost postoji, u ovisnosti o frekvenciji, snazi izvora i vremenskom periodu izlaganja izvoru.

Za razliku od optičkog zračenja (UVZ, infracrveno, vidljiva svjetlost) mikrotalasno i radiotalasno zračenje prodire dublje i može djelovati na unutarnje organe.

Problemu izlaganja ljudi RF poljima može se prići ispravno, uzimajući u obzir frekvenciju, modulaciju, usmjerenost i relativnu lokaciju izvora.

Eksplozivni rast u uporabi osobnih komunikacijskih tehnologija posljednjih godina izazvao je interes i zabrinutost nad izlaganjem relativno slabim radio-frekvencijskim (RF) radijacijama. Utjecaji radijacijskih izvora na ljudsko tijelo, priroda i posljedice upijanja snage u ljudsko tijelo su vrlo važne teme koje bi se trebale analizirati. Osnovni fizikalni zakoni i efekti pomažu u popunjavanju informirajućih dokumentacija o izlaganju i procjeni informacija izloženih u naučnim i masovnim medijima.

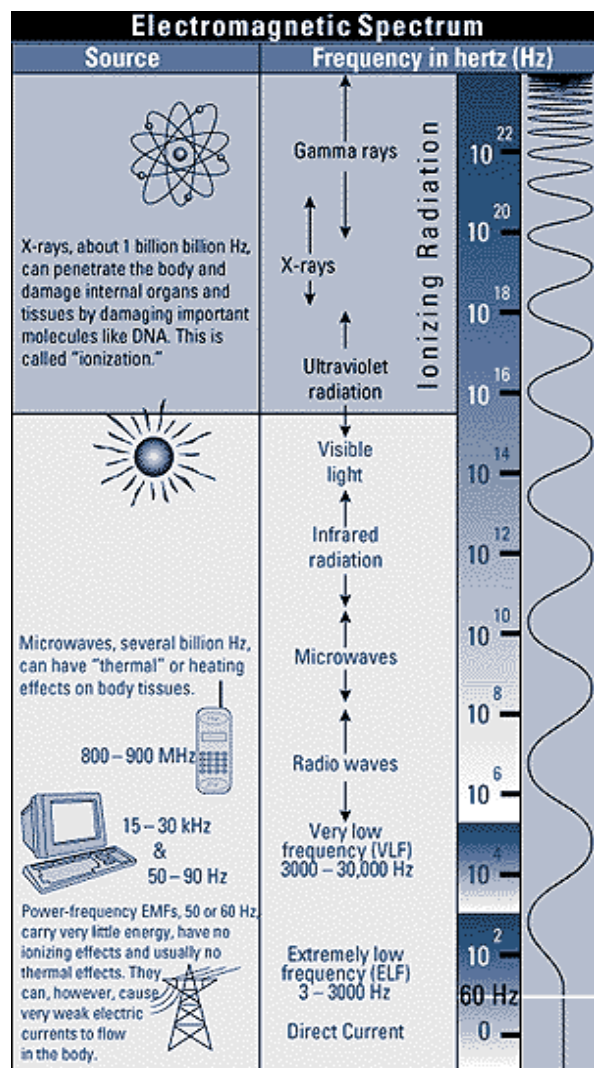
III IZVORI RF I MW ZRAČENJA

1) Mobilni telefoni

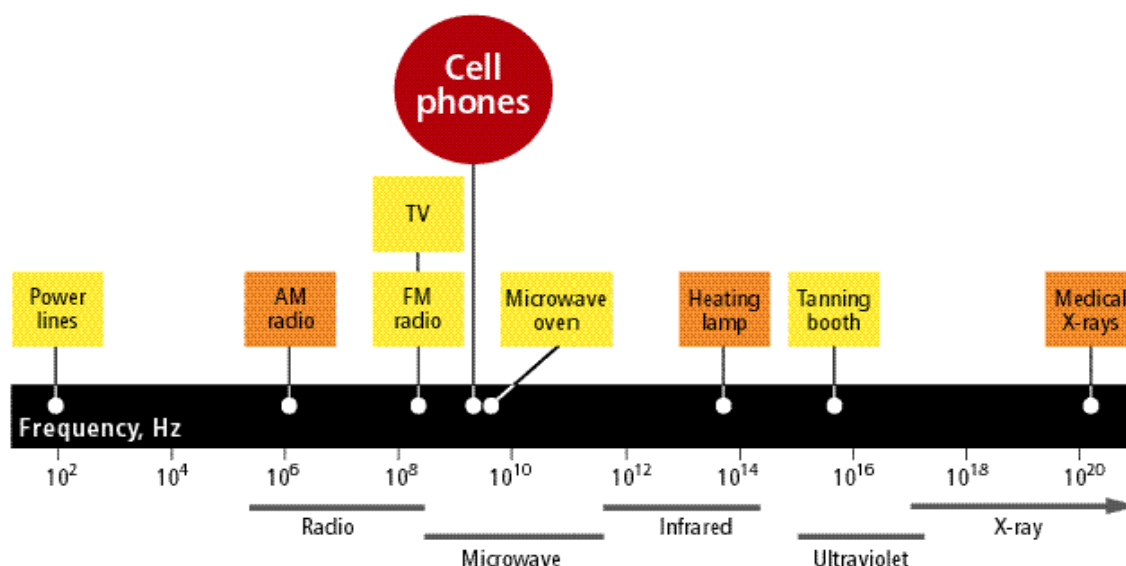
Bežični komunikacijski sistemi rade na nekoliko frekvencija elektromagnetnog spektra (Slika 2).

U SAD-u mobilni telefoni rade na dvije osnovne frekvencije 850 MHz i 1900 MHz. Evropski mobilni telefoni koriste GSM (drugačija tehnologija od većine telefona u SAD-u), frekvencije blizu 900 MHz i 1800 MHz. Zabrinutost zbog zračenja ovih mobitela je zbog pretjeranog grijanja tkiva.

Federal Communications Commission (FCC) je postavila maksimalno ograničenje za izloženost koja iznosi prosječno 1.6 W/kg tkiva preko bilo kojeg grama tkiva. Evropska ograničenja specificiraju prosječno 1.6 W/kg preko 10 grama tkiva.

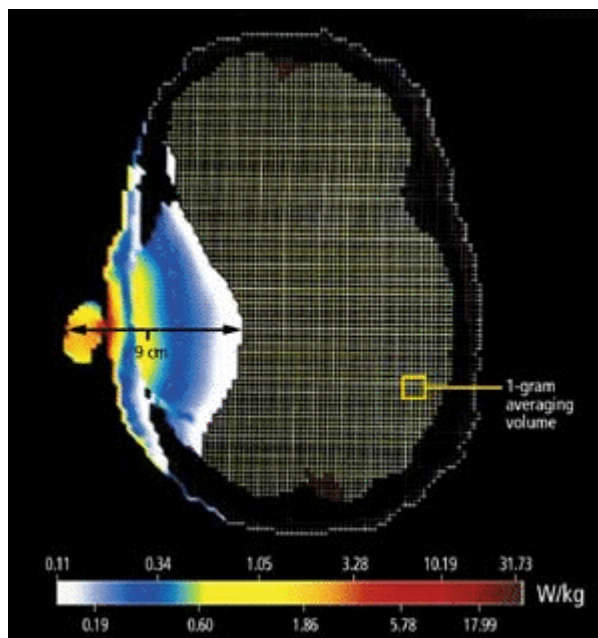


Slika 1.



Slika 2.

Mobilni telefoni rade na niskim iznosima energije, ali antena koja zrači oko 600 mW za analogni mobilni telefon i 125 mW za digitalni, je smještena obično blizu glave, te nivoi zračenja dolaze blizu zahtjevanih. Izloženost ovisi o točnom položaju slušalice u odnosu na glavu, točnom obliku i električnim karakteristikama glave (zbog toga se mjerenja teško izvode direktno; mjerenja se vrše pomoću kompjuterskih modela ili posuda s vodom u obliku glave -- Slika 3).



Slika 3.

Ovaj kompjuterski model presjeka ljudske glave pokazuje raspodjelu apsorbirane energije mobilnog telefona uz zračenje od 600 mW pri 835 MHz. Većina energije je apsorbirana unutar prva dva centimetra ispod površine lubanje.

Proizvođači mogu smanjiti izloženost zračenju mijenjajući dizajn slušalice. Bitno smanjenje u snazi, stvara potrebu za bližim odašiljačima.

2) Antene mobilnih telekomunikacija



Slika 4.

Mobilni radiokomunikacijski sistemi koriste frekvencije 800 – 900 MHz u radiotalasnom spektru, i odašiljače koji koriste frekvencijsko područje od 1850 – 1990 MHz. Antene za radiokomunikaciju se obično postavljaju na tornjeve, vodene cisterne i druga visoka mjesta kao što su krovovi zgrada itd. Antene su obično postavljene u tri grupe po tri antene gdje jedna antena u svakoj grupi emitira signale mobilnim jedinicama (telefonima u autu,

mobitelima). Druge dvije antene u svakoj grupi se koriste za primanje signala od mobilnih jedinica. Zračenje ovih antena je znatno samo u njenoj bližoj okolini (desetak centimetara). U najgorem slučaju količina zračenja se kreće oko $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (dozvoljena količina zračenja se kreće prosječno oko $580 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ za period izlaganja od 30 minuta. Da bi došlo do opasnosti od zračenja za pojedinca, on bi se trebao popeti na razinu na kojoj antena odašilje signale na udaljenosti oko pola metra. Do takvih izvora je inače ulaz nedostupan (osim za radnike).

3) Radio i TV odašiljačke antene

Signali radio i tv antena je bitan izvor zračenja u okolišu. Količina zračenja kojoj može biti izložen radnik ili ovisi o frekvenciji zračenja. Antene odašilju na različitim frekvencijama, u ovisnosti o kanalu, od 550 kHz za AM radijske do 800 MHz za UHF televizijske stanice. Operativna snaga je oko nekoliko stotina vata za radio stanice do milijun vata za određenu televizijsku stanicu. Intenzitet elektromagnetskog polja koje se stvara pri odašiljanju signala ovisi o više faktora : tip stanice, dizajn antene koja se upotrebljava, snaga odašiljanja prema anteni, visini antene i udaljenosti od antene. Pošto ljudsko tijelo više apsorbira energiju pri određenim frekvencijama, opasnost od zračenja će ovisiti o frekvenciji i intenzitetu odašiljanog signala.



Slika 5.



Slkia 6.

Obično je pristup takvim antenama zabranjen, da neko ne bi bio izložen poljima velike jačine koja postoje oko antene. Mjerenja koja su obavljena oko takvih antena u nastanjenim područjima pokazuju da nivo zračenja je tipično dosta ispod onoga koji se smatra opasnim. Radnici koji popravljaju ili vrše određene radove na antenama su izloženi poljima velike jačine. Da ne bi do toga došlo trebalo bi osigurati da se radi na antenama kada ne odašilju signale i da se specificira minimum udaljenosti na kojoj je radnik zaštićen.

4) Radari

Tu su uključeni radari svih vrsta : radari za prognozu vremena, vojni radari, radari za nadzor i kontrolu zračnog prometa... Količina zračenja ovisi o više faktora, uključujući frekvenciju emitiranog zračenja, karakteristike korištenog izvora, širina pulsa i stopa ponavljanja i udaljenost od izvora. Radnici na aerodromu mogu biti ozračeni ukoliko stoje blizu jednog od izvora dok emitira signal.



Slika 7.

5) Mikrotalasne pećnice

U.S. Food and Drug Administration (FDA) regulirala je emisije zračenja mikrovalnih pećnica. Po standardu se zahtjeva da pećnice imaju dva unutrašnja sistema za zaključavanje koji sprečavaju da pećnica proizvodi mikrovalove kada se vrata pećnice otvore. Standard dopušta curenje zračenja oko 1mW/cm^2 (mjereno 5 cm od pećnice) pri proizvodnji i maksimalni nivo od 5mW/cm^2 . Nakon ispitivanja i mjerenja došli su do zaključka da su pećnice sigurne za kućnu i industrijsku upotrebu.

Tijekom zadnjih par godina postavljalo se pitanje da li signali uređaja koji odašilju radiovalove da smetaju rad elektroničkih pacemaker-a i drugih medicinskih uređaja.

Neka pitanja su se baš odnosila i na zračenje mikrovalne pećnice. No, nikad nije bilo pokazano da bi signali mikrovalne pećnice bili dovoljno jaki da bi uzrokovali smetnje pri radu medicinskih uređaja.



Slika 8.

6) Point-to-point mikrovalne antene



Slika 9.

Point-to-point mikrovalne antene odašilju i primaju mikrovalne signale preko relativno malih udaljenosti. Ove antene imaju široku upotrebu kao npr. odašiljači glasovnih i podatkovnih poruka ili služi kao veza između kablovskih TV studija i odašiljačkih antena.

Mikrovalni signal ovih antena putuje kao direktna zraka od odašiljačke antene do primajuće sa minimalnim, gotovo beznačajnim rasipanjem mikrovalne energije. Ove antene pri odašiljanju koriste vrlo male nivoe energije (nekoliko vata i manje), što je mnogo manje nego radiostanica. Mjerenja su pokazala da je gustoća energije na nivou zemlje tisuću puta manje od normale. Da bi došlo do zračenja opasnog za čovjeka, on bi morao stajati direktno ispred takve antene jedan duži period.

7) Velike satelitske antene



Slika 10.

Tipične ovakve antene se sastoje od paraboličnih antena, veličine od 10 do 30 metara u promjer, koje se koriste za odašiljanje i primanje signala os satelita u orbiti oko

zemlje. Neke od ovih satelitskih antena služe samo za primanje radiosignala. Budući da one ne odašilju nikakve signale nema nikakve opasnosti od zračenja od njih.

Satelitske antene odašiljači zbog odašiljanja na velike udaljenosti (do određenog satelita) koriste relativno ogromnu energiju za razliku od mikrovalnih point-to-point antena. Zrake koje se koriste za odašiljanje signala sa zemlje ka satelitima su relativno uske i visoko usmjerene što znači da vjerovatnost većeg izlaganja tom zračenju je značajno smanjena. U najgorem slučaju ,pri direktnom izlaganju zračenju , nivo zračenja bi bio sto puta manji od dozvoljene. Pristup tim antenama je također zabranjen.

8) Bežični prenosivi radio uređaji (dvosmjerna komunikacija)



Slika 11.

Bežični prenosivi radio uređaji, npr. walkie-talkies su uređaji male snage koji se koriste za slanje i primanje poruka preko relativno male udaljenosti. Zbog korištenja niskih energetske nivoa (obično nekoliko vata ili manje) ovi radio uređaji se normalno ne bi smatrali kao mogući izvori opasnog zračenja. Laboratorijska mjerenja su provedena korištenjem bežičnog radio uređaja na različitim frekvencijama da se odredi količina radiovalne energije koja bi mogla biti apsorbirana u glavu pojedinca koji koristi jedan od ovih uređaja. Nisu pronađeni nikakvi dokazi da bi izlaganje odnosno korištenje tih uređaja bilo opasno, a ni da nije opasno, jer se istraživači nisu još jasno izrazili o vezi ovih uređaja i opasnosti koje nastaju uz njih.

IV IZLAGANJE ZRAČENJU

1) Smjernice o izlaganju

Smjernice o izlaganju postoje da bi se zaštitilo potrošače i općenito ljude od kratkoročnih ili dugoročnih zdravstvenih tegoba povezanih s izvorima RF radijacije. Na primjer, u Velikoj Britaniji, Nacionalni Radiološki Zaštitni Odbor (National Radiological Protection Board - NRPB) smatra se odgovornim za postavljanje i nadopunjavanje izlagajućih standarda , koji su osnovani na trenutnim i prošlim sakupljenim znanstvenim dokazima, te međunarodnim vodičima osiguranim od strane Europske

unije, Međunarodne Komisije Zaštite od Neionizirajuće Radijacije (International Commission on Non-ionizing Radiation Protection – ICNIRP) i Svjetske Zdravstvene Udruge (World Health Organization (WHO)).

Trenutno, međunarodna i narodna ograničenja zbog izlaganja se temelje na termalnim efektima elektromagnetske radijacije, a RF frekvencije se određuju sa specifičnom apsorpcijom (**Specific absorption rate , SAR; Wkg⁻¹**). Taj dobiveni parametar je odabran, jer predstavlja disipaciju energije po jedinici vremena i mase, te uzima u obzir vrstu izvora, frekvenciju rada i vremensko trajanje izlaganja. Nekoliko puta je pokazano da su poznati biološki efekti proporcionalni uklanjanju energije. Ograničenja SAR se dijele na prosjek cijeloga tijela i na maksimalne vrijednosti; to utječe na kompliciranu prirodu bioelektromagnetskih međudjelovanja. Procjena specifične apsorpcije, razina polja, i uvjeti izlaganja su složeni, i tema su značajnim naprednim istraživanjima. Za izlaganja sa poljima velikog dometa postoji eksperimentalni i teoretski dokaz dovodi do dogovora oko količine **slučajne snage (Pd, Wm⁻²)** koja je potrebna da bi stvorila granične nivoe maksimalnih i prosječnih vrijednosti specifične apsorpcije. Za izlaganje poljima kratkog dometa kao što su slušalice mobilnih telefona, ideja o količini snage je neodgovarajuća, te istražitelj mora voditi računa o lokaciji izvorne antene, karakteristike antene i detaljnu dielektričnu strukturu ljudskog tijela. Sa načinima prilaza toj temi se osigurava da se podrazumijevaju efekti poput stojnog vala, fokusiranja elektromagnetskih polja i prirode elektrostatičkih i vodljivih polja. Trenutna međunarodna granica zanimanja za prosjek specifične apsorpcije cijelog tijela je 0.4 Wkg⁻¹. To se zasniva na pretpostavci da 4 Wkg⁻¹ uzrokuje porast tjelesne temperature za 1°C (zaštitni faktor 10); poslije te razine termoregulacijskog sustava unutar tijela dolazi do stresa i s vremenom su neizbježna potencijalna oštećenja tkiva. Za pojedince koji nisu upoznati s tim izlaganjima predstavljen je daljnji faktor 5 koji vodi do granice od 0.08 Wkg⁻¹ tj. 2% od nivoa termalnih efekata. Detaljne informacije o maksimalnim i prosječnim specifičnim apsorpcijama cijelog tijela mogu se izračunati poznavanjem prijenosa električnih polja unutar tijela (mjerenje unutar zamjenskih tkiva ili numeričkom simulacijom).

To prikazuje odnos gubitka energije uključujući električnu vodljivost σ (Sm⁻¹) tkiva, gdje je E – snaga električnog polja (Wm⁻¹) i ρ koji označava količinu mase tkiva (kgm⁻³).

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \text{ (W kg}^{-1} \text{)}$$

2) Primjer vodiča za zaštitu od radiovalnog zračenja

(Radio Frequency Protection Guides (RFPG), po regulacijama definiranim za neionizirajuće zračenje, New Jersey) :

Svrha ovog vodiča je zaštita i sprečavanje štetnih efekata koje može prouzročiti izlaganje radiovalnom zračenju pri korištenju uređaja koji zrače u frekvencijskom području od 300 kHz do 100 GHz.

a) za uređaji koji zrače radiovalove, isključujući mikrovalne pećnice, vrijedi da

1. nijedna osoba ne bi trebala patiti, uzrokovati i dozvoliti korištenje uređaja koje zrače radiovalove i izlažu ili mogu izložiti bilo kojeg radnika (ili bilo koga drugog) tom zračenju čija je količina veća od dopuštene (Tablica 1) .

2. na frekvencijama između 300 kHz i 100 GHz, zračenja mogu biti pretjerana ako se za određene uvjete izlaganja laboratorijskim metodama pokaže da su nivoi apsorpcije prosječno ispod 0.4 W/kg po grama tkiva.

b) za mikrovalne pećnice vrijedi da

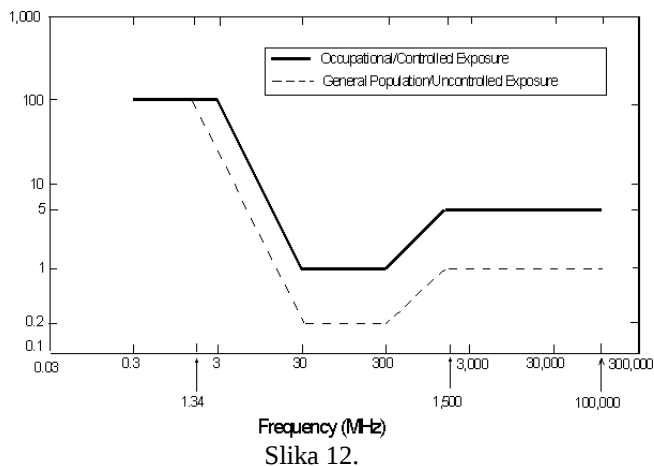
1. nijedna osoba ne bi trebala patiti, uzrokovati i dozvoliti korištenje mikrovalnih pećnica proizvedenih poslije 6.10.1971 čije zračenje prekoračuje 5 mW/cm² u bilo kojoj točki na udaljenosti 5 cm ili više od vanjske površine pećnice.

2. nijedna osoba ne bi trebala patiti, uzrokovati i dozvoliti korištenje mikrovalnih pećnica proizvedenih prije 6.10.1971 čije zračenje prekoračuje 10 mW/cm² u bilo kojoj točki na udaljenosti 5 cm ili više od vanjske površine pećnice.

3. mjerenja će se izvršiti sa mikrovalnim pećnicama pri radu sa maksimalnim izlazom i sa posudom od 275+/- 15 ml vode (iz slavine, pri inicijalnoj temperaturi od 20+/- 5° C) smještenoj na nosećoj podlozi.

Maksimalno dopuštena izlaganja zračenju (ekvivalentna snaga ravnog vala u mW/cm²), slika 12.

Figure 1. FCC Limits for Maximum Permissible Exposure (MPE)
Plane-wave Equivalent Power Density



Slika 12.

Profesionalna/Kontrolirana (Occupational/Controlled Exposure) ograničenja se odnose na situacije kada su ljudi na poslu (ili općenito) svjesni opasnosti od zračenja i poduzimaju određene mjere pri izlaganju tom zračenju.

Za sveukupno stanovništvo/Nekontrolirano (General Population/uncontrolled) izlaganje se odnosi na situacije kada bi stanovništvo bilo izloženo zračenju na radnom mjestu, a da nisu svjesni te opasnosti (da ne znaju za moguća zračenja koja ih okružuju na poslu), te ne mogu poduzimati određene mjere za što manjim izlaganjima tom zračenju.

Tablica 1. Maksimalno dopušteno izlaganje zračenju

(A) ograničenja za Profesionalna/Kontrolirana (Occupational/Controlled) izlaganja zračenju

Frekvencijski Spektar (MHz)	Jačina Električnog Polja (E) (V/m)	Jačina Magnetskog Polja (H) (A/m)	Gustoća snage (S) (mW/cm ²)	Prosječno Vrijeme Izlaganja (minute)
0.3-3.0	614	1.63	(100)	6
3.0-30	1842/f	4.89/f	(900/f)	6
30-300	61.4	0.163	1.0	6
300-1500	--	--	f/300	6
1500-100,000	--	--	5	6

(B) ograničenja za Sveukupno Stanovništvo/Nekontrolirana (General Population/Uncontrolled) izlaganja zračenju

Frekvencijski Spektar (MHz)	Jačina Električnog Polja (E) (V/m)	Jačina Magnetskog Polja (H) (A/m)	Gustoća snage (S) (mW/cm ²)	Prosječno Vrijeme Izlaganja (minute)
0.3-1.34	614	1.63	(100)	30
1.34-30	824/f	2.19/f	(180/f)	30
30-300	27.5	0.073	0.2	30
300-1500	--	--	f/1500	30
1500-100,00	--	--	1.0	30

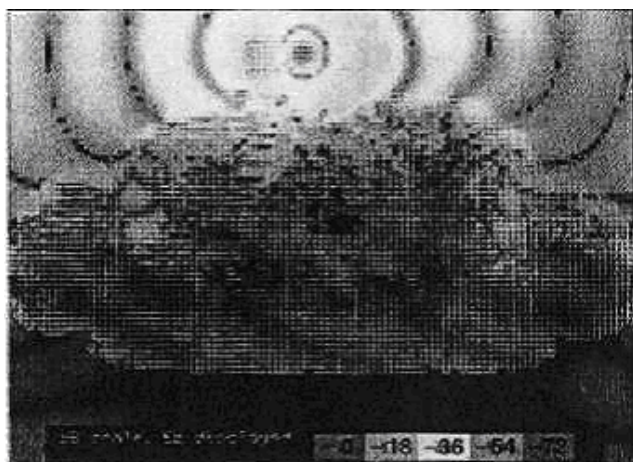
f ----> radna frekvencija izvora u MHz

2) Utjecaj polja kratkog dometa

Na jako malim udaljenostima od RF izvora elektromagnetska polja se mogu podijeliti na tri osnovne podjele : elektrostatika, vođenje i zračenje. Komponente elektrostatike i vodljivih polja imaju veliku magnitudu blizu izvora, ali naglo opada sa udaljenošću. Takva polja ne zrače energiju ali ju sadrže unutar prostora koje okružuje izvor. Suprotno, polja radijacije opadaju linearno s udaljenošću (što dovodi do obrnuto – kvadratnog zakona snage) i kombinacija je električnog i magnetskog polja u fazi (kad je električno i magnetsko polje u svom maksimumu), ali osobito da su pod pravim kutovima, te okomiti smjeru propagacije. Bliska polja se mogu definirati kao područja koja okružuju izvor, i gdje dominiraju komponente elektrostatskih i vodljivih polja. Praktičnu procjenu granice polja kratkog dometa je teško odrediti, i taj prostor može biti povećan zbog pojave metalnih i dielektričnih objekata (kao što je ljudsko tijelo). To je važno kao što su komponente polja kratkog dometa važne za procjenu izlaganja, ali ipak njihove amplitude mogu biti magnitude ili više nego što se očekuje ovisno o prirodi spajanja. Najvažnija izlaganja poljima kratkog dometa na radio frekvencijama pojavljuju se pri upotrebi uređaja za osobnu komunikaciju kao što su prijenosni telefoni, bežični telefoni za kućanstvo i drugi

sustavi korišteni u industriji, hitnim uslugama (policija, hitna pomoć...), te postrojbama za zaštitu. Uređaji za kratke udaljenosti kao što su bežični telefoni rade na razinama snage puno manjim od 100 mW; no ipak zaštita i drugi osobni odašiljači mogu raditi sa snagama čak i do 10 W. Trenutna ljudska zabrinutost je sa [mobilnim telefonima](#), osobito digitalne varijante (900 MHz i 1800/1900 MHz). U tom slučaju snaga odašiljača varira (čak i do 1W) i ovisi o karakteristikama prijenosa između bazne stanice i telefona. Posljednja proučavanja pokazuju da ti telefoni rade blizu granica izlaganja kada se drže blizu glave te zahtijeva još istraživanja. U razini glave korisnika izlaganje poljima kratkog dometa će dovesti do lokaliziranog uzorka apsorpcije koja ovisi o radnoj frekvenciji, dizajnu slušalice, te geometriji i sastavu glave. To je dovelo do zabrinutosti u svezi nivoa apsorpcije u mozgu djece koja su bila izložena za vrijeme rada mobilnih telefona. Dječja glava ne samo da je manja već ima smanjen sloj zaštite između mozga i mobilne antene. No ipak numeričke analize izlaganja poljima kratkog dometa koristeći anatomske realistične slušalice pokazuju da nema značajne razlike između odraslih i djece.

Slika 13. pokazuje kako numeričko modeliranje (ovaj primjer koristi komercijalni software: XFDTD iz Remcoma) može biti korišteno za određivanje prijenosa električnih polja unutar tijela i okružujući tijelo za vrijeme izlaganja poljima kratkog dometa. Stoga se specifična apsorpcija unutar malih elemenata tkiva može jednostavno odrediti. Po prikazanom primjeru odašiljač (vanjski rub kućišta je razmaknut) je pričvršćen blizu prsa sa izvorom 2.45 GHz koji odašilje preko monopolne antene. Cijeli 3D model odašiljača i tijela je korišten; jedan isječak je prikazan, horizontalno kroz gornji dio prsa gdje svaki kvadratić predstavlja 5mm². Na toj frekvenciji prodiranje unutar tijela je otežano, te su nakon nekoliko centimetara polja smanjena više od 18 dB, što odgovara smanjenju snage od 1.6% maksimalne snage koja okružuje antenu. Područja duboko unutar prsa (uključujući pluća i srce) podvrgnuta su relativnim poljima nižim od -72 dB (6.3 x 10⁻⁶ %); To znači da na tim višim frekvencijama vanjska tkiva više su opterećena elektromagnetskim poljima, dok su unutrašnje strukture tijela prirodno zaštićene.



Slika 13.

3) Utjecaj polja velikog dometa

Udaljavajući se od izvora RF signala, elektrostatska i vodljiva polja se znatno smanjuju sa udaljavanjem, te prevladava polje zračenja (gdje električno i magnetsko polje imaju 1/r ovisnost). Udaljenost na kojoj se to događa ovisi o efektivnom razmaku antene i radne valne dužine; tada sferna valna fronta počinje prilaziti čistom uniformiranom faznom valnom frontom do udaljenog promatrača. Ljudsko izlaganje poljima velikog dometa pojavljuje se s izvorima kao što su [televizija i radioodašiljači](#), [mobilne bazne stanice](#), te odašiljači s hitnih servisa. Ovdje je cijelo tijelo ozračeno i vodljivo spajanje s izvorom se ne pojavljuje uz pretpostavku da poremećaji zračenih polja imaju zanemariv utjecaj na sam izvor, koji je ekvivalentan podrazumijevajući radijaciju od izvora ka beskonačnoj udaljenosti. Elektromagnetski val je efektivno izazvan od glave do pete sa pojedinačnom količinom snage. Ljudsko tkivo će dio snage upijati , a dio odbijati ovisno o tipu tkiva i frekvenciji vala. Rezonantna apsorpcija će se pojaviti kada veličini tijela priđe osmina valne duljine. Izračunate rezonantne frekvencije (kada se pojavi maksimalna apsorpcija npr. prosječne specifične apsorpcije cijelog tijela) za različite visine tijela su prikazane u Tablici 2.

Opis	Visina (m)	Izolirana f_{res} (MHz)	Uzemljena f_{res} (MHz)
Odrasla osoba	1,76	65	35
10 godina	1,38	80	55
5 godina	1,1	105	70
1 godina	0,75	150	100

Tablica 2. Proračunate rezonantne frekvencije za uzemljene i izolirane zračne uvjete, zasnivane na prosjeku SAR cijeloga tijela

Kao što je prikazano u tablici 2. pod izlaganjima pod poljima velikog dometa rezonantne frekvencije će se najčešće pojaviti kod odraslih i djece unutar VHF frekvencija (30 – 300 MHz) što podrazumijeva odašiljanje radio i drugih narodnih usluga. Prodiranje unutar tijela se povećava s frekvencijom.

Frekvencija (MHz)	Dubina prodiranja (mm)	Pd na 1 cm	Pd na 10 cm
100	49,0	67%	2%
950	9,4	13%	6x10 ⁻⁸ %
1,800	5,2	2%	4x10 ⁻¹⁶ %

Tablica 3. Proračunate razine snage (jednako količini snage) u dielektričnoj polubeskonačnoj plohi

Tablica 3. uspoređuje prodiranje unutar srži mišića radioodašiljanjem i frekvencijama prijenosnih telefona. Na 100 MHz val nije jako upijen u vanjskim dijelovima, ali će prodrijeti duboko u tijelo. Na 900 MHz i 1800 MHz, to se neće dogoditi već će snaga težiti upijanju u vanjskim dijelovima kože, masti, a u češćim slučajevima mišića. Suprotno izlaganju poljima kratkog dometa Tablica 3. prikazuje kako signal pomičnih telefona s frekvencijom 1800 MHz je manje prodirajući (te je manja vjerojatnost da će prouzročiti ozbiljni poremećaj) nego li 900 MHz signal. To ukazuje da polja niže frekvencije više prodiru uzrokujući više nivoa unutarnjih polja u mozgu i drugim organima povezanim sa ozbiljnom opasnošću od obolijevanja. podrazumijevajući da rezonancija cijelog tijela nastupa na frekvenciji 100 MHz pomične bazne stanice (koje rade sa ekstremno niskim stupnjem snage) predstavljaju puno niža izlaganja nego drugi uslužni odašiljači. Procjena izlaganja poljima velikog dometa zahtjeva proračun ili mjerenje snage polja ili količine snage u referentnoj točki. Granična specifična apsorpcija za ljudsko izlaganje je povezana sa količinom snage, koja ovisi o frekvenciji; za opseg 400 MHz – 2 GHz granica količine snage (mWcm^{-2}) iznosi $f/2000$ gdje je f -radna frekvencija u MHz. Tako za frekvenciju 900 MHz granica iznosi 0.45 mVcm^{-2} , te 0.9 mVcm^{-2} pri frekvenciji od 1800 MHz.

4) Termički efekti

Snaga akumulirana zbog RF polja u ljudskom tijelu može prouzročiti povećanje temperature, a to dovodi u vezu frekvenciju valova i prirodu tkiva. Ovaj termalni efekt je dobro poznat, razumljiv i sveopće prihvaćen. Povećanje temperature tkiva može izazvati različite psihološke i termološke odgovore kod pojedinaca. To uključuje smanjivanje odgovornosti za izvršavanje mentalnih ili psihičkih zadataka kada tjelesna temperatura poraste. Sličan efekt dobijemo kod pojedinaca u drugim oblicima toplinskog stresa, taj efekt predočuje rad u vrućim prostorijama. Kod visokih razina izloženosti (većoj od 100 Wkg^{-1}) termičko opterećenje postaje prekomjerno i dolazi do direktnih i indirektnih šteta. Zbog toga se događa termoregulacijski efekt ovisan o prirodi rizika. Na staničnu biokemiju se može utjecati visokom temperaturom i mora biti razmatrana kod procjene izvještaja “efekt razine snage manje od termalne granice”. Da bi se osigurali od RF izlaganja mnogo stvari se mora dobro razumjeti, a posebno kod razmatranja izlaganja bližim poljima. Međutim to je različito od razine SAR potrebne za tako visoko izraženi efekt kod individualaca pod utjecajem telekomunikacija ili druge radioopreme, uključujući mobilne telefone. Kod istraživanja mogući termalni efekt (od okolne topline ili neke druge) mora biti odbačen, prije smatranja nekog efekta kao netermičkog. To je posebno važno za izlaganje poljima kratkog dometa gdje magnituda od komponenti reaktivnog polja može biti nepoznata.

5) Problemi rizika

Prije bilo kakvog zaključivanja bilo bi prigodno razmotriti problem rizika i njegovo zamjećivanje. WHO

međunarodni EMF projekt izvještava da većina javnosti prekomjerno riskira u elektromagnetskom izlaganju :

“Ljudi sa malo ili ništa razumijevanja za zdravlje, riskiraju od elektromagnetskog polja, njima na pogled nepoznatu štetu, tako oni imaju mnogo veću razinu rizika nego oni koji su s njima prisni.

Priprema i lako razumijevanje informacija smanjuje rizik po zdravlje i izloženosti tom polju, umjesto toga u perspektivi su ostali rizici i razjašnjenje kako je rizik određen, volja pomaže u olakšavanju ljudskih problema.”

Istraživanja se nastavljaju, ali znanstveni principi drže da se negativni odnosi ne mogu ukloniti. WHO preporuča istraživanja na mozgu i drugim tumorima na glavi (umirivanje korisnika mobilnih telefona) te, leukemiji i limfomima. Osim toga oni pozivaju na istraživanje “drugih zdravstvenih efekata” uključujući istraživanja o glavobolji i vrtoglavici. O tim pojavama koje su nastale u laboratorijskim istraživanjima ne može se reći je li odašiljač kriv ili ne. To ukazuje da psihologički faktor može biti isključen.

Kod izlaganja poljima kratkog dometa važna je potreba za određivanjem vršne, te prosječne specifične apsorpcije cijeloga tijela za značajne situacije. To može biti obavljeno eksperimentalno s visokim cijenama ili može biti ustanovljeno korištenjem primjerenih modela, kao FDTD. Što se tiče izlaganja u poljima velikog dometa jednostavni proračuni mogu brzo odrediti količinu snage na pojedincu, iako se u nekim slučajevima mogu uzeti u obzir učestali i ostali efekti. Primijetili bi da je izlaganje zajedničko pojavljivaćih odašiljača kao što su [mobilni telefoni](#), [bazne stanice](#), i odašiljači se nalaze nekoliko redova ispod međunarodno propisane izloženosti. Izvještaj ne termalnog efekta kod emitiranja odašiljača ukazuje se na zaključak i upućuje na vezu tumora s blizinom odašiljača. Ovdje je zamjećivanje rizika veće jer pojedinci nemaju izbora što se tiče izloženosti. To upućuje na zaključak da svako sljedeće istraživanje ima na umu veliku zdravstvenu štetu zbog izlaganja poljima kratkog dometa. WHO tvrdi da je za upoznavanje javnosti potrebna visoka kvaliteta istraživanja

Neki od izvora radiovalnog i mikrovalnog zračenja su : **aeronautički radio, različite odašiljačke antene, mobilni telefoni, grijače peći, indukcijski grijači, mikrovalne peći, radarski odašiljači, komunikacijski odašiljači, pojačala snage, dielektrični grijači...**

V ZAKLJUČAK

Biološki efekat EM polja je svaka fiziološka promjena na živom organizmu, nastala dejstvom tih polja. Produženo dejstvo bioloških efekata može da dovede do trajnih oštećenja zdravlja čovjeka. Prema podacima koji su mi bili dostupni, biološki efekti, koji su povezani sa negativnim posljedicama po zdravlje, ispitivani u laboratorijskim studijama, se dešavaju pri jačinama polja koje su znatno veće od onih jačina polja sa kojima se susrećemo u normalnom okruženju. Međutim, ono što upozorava na uticaj EM polja jesu epidemiološka istraživanja koja

ukazuju da EM polja imaju uticaj na žive organizme i pri vrijednostima koje se susreću u svakodnevnom (normalnom) okruženju. Ovo je glavna kontroverza ovog pitanja, zato bi smo svi trebali posvetiti više pažnje ovoj problematici, naročito danas kada su mobilne komunikacije i razne TV i radio stanice doživjele pravi “bum”. Njihovi odašiljači postavljaju se po svim mogućim mjestima, bez ikakvih studija o uticaju na one koji žive u njihovoj blizini. Iako još niko nije dokazao štetan uticaj ovih nejonizirajućih polja, jer se radi o relativno novim tehnologijama, ne smijemo ih zanemariti.

VI LITERATURA

[1] Vrste nejonizirajućeg zračenja

www.full-point.hr/fp-1/op-zracenja.htm

[2] Mobilni telefoni i zračenje

www.radres.org/toc99.htm

www.spectrum.ieee.org/publicfeature/aug00/prad.html

www.seas.upenn.edu/~kfoster/phone.htm

[3] Izvori RF i MW zračenja

www.state.nj.us/dep/rpp/ber/nrs/index.htm

www.osha-slc.gov

www.columbia.edu/cu/healthwise/0700.html

www.cdc.gov/niosh/emf.html

[4] Izlaganje i zaštita od zračenja

<http://www.state.nj.us/dep/rpp/nrsregs.htm>

<http://www.fcc.gov/oet/rfsafety>