

Pregledni rad

PUTOVI IZLAGANJA I IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA U HRVATSKOJ IZVORIMA ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

Ivica PRLIĆ¹, Marija SURIĆ MIHIĆ¹, Saša SCHMIDT², Mladen HAJDINJAK³,
Tomislav MEŠTROVIĆ¹ i Zdravko CEROVAC⁴

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada¹, Klinička bolnica "Sestre milosrdnice"², Haj-Kom d.o.o.³,
Alara d.o.o.⁴, Zagreb, Hrvatska*

Primljeno u rujnu 2010.
Prihvaćeno u rujnu 2010.

Princip predostrožnosti jedan je od osnovnih principa na kojima počiva politika zaštite okoliša i ljudskog zdravlja Europske Unije. Pojačanu brigu za ljudsko zdravlje izazvao je i progresivni razvoj tehnologija za bežični prijenos telekomunikacijskog signala bez obzira na njihovu očiglednu sociološku i ekonomsku korist društvu. Svjedoci smo i naglog razvoja novih digitalnih tehnologija koje se koriste elektromagnetskim rendgenskim zračenjem u medicinskoj dijagnostici. Iako prirodno elektromagnetsko zračenje iz svemira ne doseže u potpunosti, osim u nekoliko intervala frekvencija, do Zemljine površine, neionizirajuće prirodno zračenje pokriva Zemlju značajno kompliciranije nego što to čini ionizirajuće elektromagnetsko zračenje. U radu su razmatrane vrlo niske i niske doze elektromagnetskoga rendgenskog zračenja koje primaju bolesnici za vrijeme medicinske dijagnostike. Trenutačno nema dovoljno znanstvenih podataka za prihvatljivu evaluaciju rizika od izlaganja ljudi visokofrekventnom elektromagnetskom neionizirajućem zračenju niskih i vrlo niskih doza. Zajedno s naglim razvojem i uporabom elektromagnetskoga rendgenskog zračenja razvijaju se i proizvode izvori neionizirajućeg zračenja utječući na okoliš i biotu na način koji nikako nije zanemariv. Zbog toga se predlaže holistički, specifičniji dubinsko ekološki pristup zaštiti stanovništva Republike Hrvatske od izlaganja ionizirajućem i neionizirajućem umjetnom zračenju.

KLJUČNE RIJEČI: *dijagnostički referentni nivoi doza, efektivna doza, GSM, medicinska dijagnostika zračenjem, mobilna telefonija, procjena doze, radarsko zračenje, rendgenski izvori ionizirajućeg zračenja, specifična apsorbirana snaga - SAR, zaštita od zračenja*

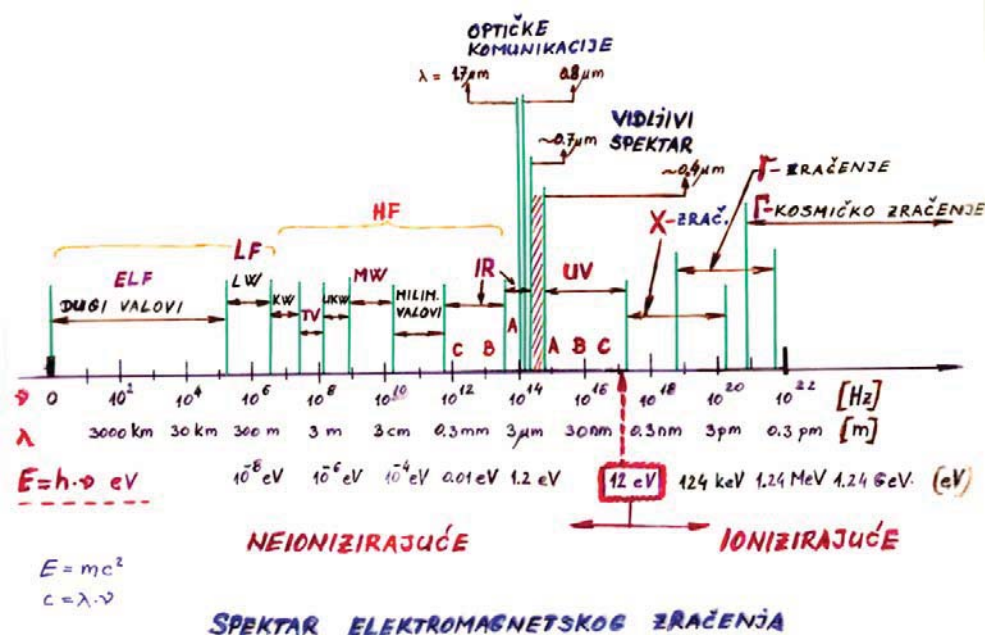
Krajem osamdesetih godina dvadesetog stoljeća dotadašnje doktrine zaštite od ionizirajućeg (1) i neionizirajućeg (2, 3) zračenja naišle su na dva vrlo ozbiljna izazova. Dogodila se černobilska nesreća (4, 5), a strelovit razvoj mikroelektronike omogućio je nevjerovatan procvat novih tehnologija koje proizvode elektromagnetsko (EM) zračenje, koriste se njime za svoj rad i/ili su posljedica samog zračenja.

Sve tehnološke novosti i uređaji u uporabi ionizirajućeg EM zračenja, osim za potrebe vojevanja, svoju su pravu stvarnu civilnu primjenu našle u

medicini, ponajprije u dijagnostici rendgenskim EM zračenjem (CT-tehnologija).¹

Pojavilo se novo, golemo područje ljudske aktivnosti u kojem su se masovno počeli koristiti izvori elektromagnetskog zračenja (EM) u neionizirajućem području frekvencija EM spektra (slika 1) za potrebe bežičnog prijenosa telekomunikacijskih signala i podataka.

¹ CT – Computer Tomography – kompjutorska tomografija; 1976. godine KBC Zagreb započinje s primjenom prvog CT-uređaja u središnjoj Europi, a 2002. i prvog MR - uređaja (magnetska rezonancija) u RH jačine 1,5 T (6).



Slika 1 Spektar elektromagnetskog zračenja (skica: I. Prlić), s naznačenim grupama intervala frekvencija od kojih svaki opisuje pojedino tehnološko područje i označen je kolokvijalnim međunarodnim oznakama (npr. ELF = extremely low frequencies).

U Norveškoj je razvijen NMT² sustav bežičnog prijenosa telekomunikacijskog signala na frekvencijama oko 450 MHz. Istovremeno, sramežljivo



Slika 2 Terenski uređaj za mjerenje usrednjene izračene snage neionizirajućeg EM zračenja u mikrovalnom području RAHAM.

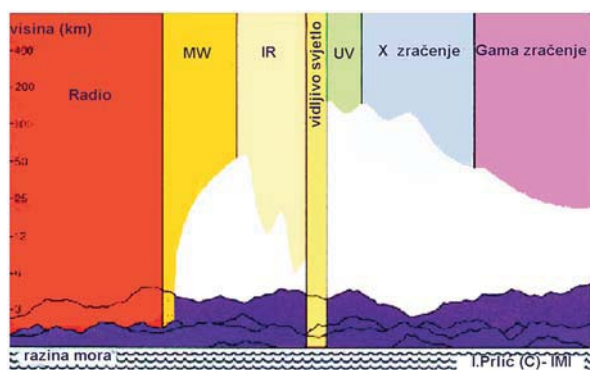
započinju civilni projekti zaštite od neionizirajućeg zračenja, formira se terminologija i stvaraju stručne udruge. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb za potrebe istraživanja nabavlja prvu profesionalnu opremu, terenski uređaj RAHAM³ za mjerenje snage neionizirajućeg zračenja u prostoru (slika 2).

Dotadašnja istraživanja svemira i razvoj tehnologije potrebne za čovjekovo putovanje svemirom u budućnosti dala su i svoj filozofski doprinos zaštiti od zračenja (7, 8). Naime, činjenica da je Zemlja, gibajući se svemirom, izložena i golemoj energiji svemirskog elektromagnetskog zračenja dovela je do preispitivanja pravila o provedbi zaštite od zračenja (9, 10). U misaoni sustav zaštite od zračenja uvodi se osim zaštite ljudi i zaštita biote. Priznavanjem činjenice da čovjek sve više i sve pogubnije utječe na biotu i svoj habitat usmjerilo se istraživanje zaštite od zračenja i u to područje (11, 12). Doktrina da je čovjek najsofisticiranije i time najosjetljivije biološko stvorenje na Zemlji i da će svaki, pa i najmanji utjecaj zračenja, pogotovo ionizirajućeg, biti vidljiv na njegovu biološkom funkcioniranju postala je zapreka istraživanjima. Postoje područja na Zemlji u koja čovjek još nije intervenirao niti je u njih stupio, a koja su sigurno izložena utjecaju umjetne tehnologije koju je stvorio, posebno tehnologije koja proizvodi zračenja

² NMT – Nordic Mobile Telephone System u RH je krajem osamdesetih uveo HPT s pozivnim brojem 099.

³ RAHAM – Radiation Hazard Meter.

kojih u povijesti Zemlje nije bilo na njezinoj površini. Npr. potonućem podmornice “Kursk” (13) pojavila se mogućnost radioaktivnog onečišćenja i elektromagnetskog ozračenja (γ -zračenje) osjetljivog ekosustava Barentsova mora, tj. taj osjetljivi arktički ekosustav bio bi izložen vrsti i kvaliteti zračenja kakvom nikada prije tijekom svoje evolucije nije bio izložen. Moderne bežične komunikacije i informacijski sustavi rabe frekvencijski spektar EM zračenja u mikrovalnom području (MW i milimetarski valovi) koji ne proizvodi nikakav prirodni izvor zračenja na Zemlji. Dugogodišnja istraživanja i mjerenja potvrdila su da do Zemljine površine zbog fizikalnih svojstava i energijske transparentnosti atmosfere dopire samo određeni dio EM energija sadržanih u elektromagnetskom spektru (slika 1) podrijetlom iz svemira, tj. u svemiru postoje EM zračenja frekvencija koje nikada nisu prirodno dospjele do Zemljine površine (slika 3).



Slika 3 Prozirnost Zemljine atmosfere: elektromagnetsko zračenje iz svemira ne dostiže do Zemljine površine, osim u vrlo malom području frekvencija, primjerice frekvencija vidljivog spektra zračenja i nekih radiofrekvencija. Mikrovalno, infracrveno, veći dio ultraljubičastog i rendgenski spektar ne dopiru do površine Zemlje. Prilagođeno prema (92).

To znači da čovjek tijekom svoje evolucije nije bio izložen prirodnom EM zračenju pojedinih intervala frekvencija jednostavno stoga što nisu dopirali do njega iz svemira, a na Zemlji takvih izvora zračenja nije bilo ili su bili prikriveni kao posljedica prirodnih fenomena koji su se događali sporadično (munje, aurora borealis, dinamički procesi u atmosferi, pad meteorita i sl.). Umjetni izvori ionizirajućeg i neionizirajućeg EM zračenja koje se širi našim habitatom sa u prirodi nepostojećim frekvencijama i, posebno, međudjelovanje takvog zračenja s tvari (biotom i abiotom) svakako zaslužuju da budu istraživani (14-17). Zbog toga se sugerira novi, dubinski ekološki

(7, 8) pristup zaštiti Zemlje od prirodi nepoznatog ljudskom rukom stvorenog EM zračenja.

Princip predostrožnosti

Važan mehanizam kojim se u moderno doba štitimo od strelovitog prodora i razvoja novih tehnologija o čijim utjecajima na okoliš, život i na nas same nemamo jasnih, ili čak nikakvih predodžbi i još manje saznanja i znanja jest princip “predostrožnosti” (18-22).

Princip predostrožnosti ugrađen je u sporazumu o ustroju Europske zajednice i jedan je od važnih temelja njezine ekološke politike. Europska komisija izradila je god. 2002. očitovanje o uporabi principa predostrožnosti, navodeći da taj princip treba biti upotrijebljen uvijek kada i gdje postoji razumna sumnja u postojanje zdravstvenog rizika ili rizika za okoliš (23-25). Također se utvrđuje da mjere zasnovane na principu predostrožnosti ne smiju biti usmjerene na potpuno sprečavanje (onemogućavanje) rizika; pretpostavlja se da bi takav napor bio nerealan.

Princip predostrožnosti za rendgensko frekvencijsko područje EM spektra sadržan je u najnovijoj verziji ICRP 103 preporuka (9, 25), dok su frekvencijska područja neionizirajućeg zračenja, tj. EM polja od 0 Hz do 300 GHz obrađena u dokumentu “The Physiological and environmental effects of non-ionizing electromagnetic radiation” (26). U posebnom privitku preporuka EU (CEU)⁴ posebice je istaknuto da bez obzira na to što je definiran faktor sigurnosti od oko 50 između graničnih vrijednosti za akutne efekte i osnovnih ograničenja, preporuke implicitno obuhvaćaju moguće dugotrajne efekte za ljudsko zdravlje u cijelom rasponu frekvencija.

Navedena zabrinutost za ljudsko zdravlje posljedica je činjenice da je moderno društvo vrlo osjetljivo naspram opsežnog rasta uporabe mobilne telefonije i bežičnih komunikacijskih tehnologija izmjene podataka bez obzira na vrlo očitu socijalnu i ekonomsku korisnost te tehnologije. Iako prirodno neionizirajuće zračenje iz svemira ne dopijeva u cijelosti do površine Zemlje (slika 3), postojeće neionizirajuće pozadinsko zračenje prekriva zemaljsku kuglu puno kompleksnijom matricom izloženosti nego što je to slučaj s ionizirajućim pozadinskim EM (X i γ) zračenjem. Toj kompleksnosti pribrajaju se doprinosi umjetno stvorenih izvora EM zračenja. EM oblak oko Zemlje sve je gušći i burniji tako da i životinjski

⁴ Official Journal of the European Communities 1999;L199:59-70.

svijet⁵ koji rabi Zemljina EM polja počinje osjećati međudjelovanja prirodnih i sve brojem prisutnijih umjetnih EM polja visokih frekvencija (17, 27).

U ovom radu raspravljamo o dva EM područja frekvencija koja se jasno raspoznaju na slikama 1 i 3. To su: (I) područje rendgenskih frekvencija (X-zračenje) koje po učincima koje izaziva pri međudjelovanju s tvari pripada ionizirajućem zračenju i (II) područje frekvencija od 300 MHz do 3 GHz koje po učincima dielektričkog zagrijavanja pri međudjelovanju s tvari pripada neionizirajućem zračenju popularno nazvanom "mikrovalno (MW)"⁶ ili populacijski i u negativnom smislu "elektrosmog"⁷ (2, 28).

Tradicionalna zaštita od zračenja razlikuje dva navedena energetska područja zato što je zaštita od zračenja zasnovana na fizikalnim procesima i biološkim učincima međudjelovanja zračenja (vanjskog i unutarnjeg) na biološki materijal – živu stanicu. Ionizacija tvari nastaje zbog međudjelovanja s EM poljima rendgenskih frekvencija, dok dielektričko zagrijavanje tvari nastaje zbog međudjelovanja s EM poljima od 300 MHz do 3 GHz. Suvremena istraživanja mikrovalnog i milimetarskog područja⁸ frekvencija sve se više bave tzv. nelinearnim efektima zbog međudjelovanja EM i tvari, tj. efektima koji posredno utječu na fiziologiju i funkciju pojedinih bioloških cjelina na za sada znanstveno još nedovoljno istraženi način (31-36). Rendgensko zračenje i neionizirajuće mikrovalno zračenje šire se prostorom i ozračuju ponajprije površinu čovječjeg tijela gdje bivaju djelomično reflektirani (radarske frekvencije), a potom ovisno o prodornosti (frekvenciji) EM zračenja ulaze u tijelo i bivaju djelomično ili potpuno apsorbirani deponirajući energiju zračenja u tkivu. Deponiranje energije koju vanjsko zračenje donosi u tijelo najvažniji je proces međudjelovanja zračenja i tvari (tkiva). Da bismo izmjerili tu vanjsku energiju, služimo se fizikalnim metodama mjerenja vanjskog polja EM zračenja, tj. koristimo se dozimetrijskim metodama mjerenja upadnog polja zračenja.

PODRUČJE I - IZLOŽENOST EM IONIZIRAJUĆEMU RENDGENSKOM ZRAČENJU

Ionizirajuće EM rendgensko zračenje tradicionalno mjerimo osobnom filmskom i termoluminiscentnom pasivnom ili modernom elektronskom dinamičkom dozimetrijom. Fizikalna veličina kojom opisujemo maksimalno moguću deponiranu energiju rendgenskog zračenja u tijelu je apsorbirana doza /1/. Ta se veličina originalno dozimetrijski mjeri.

$$D = \frac{E}{m} \left[\frac{J}{kg} = Gy \right] \quad /1/$$

Profesionalna izloženost

Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb već desetljećima tradicionalno provodi istraživanja u području međudjelovanja elektromagnetskoga rendgenskog zračenja i biološkog tkiva na području profesionalne izloženosti ionizirajućem zračenju (37) (tablica 1).⁹ Statistički podatak o područjima profesionalne izloženosti radnika u RH koji rade u dijagnostičkoj radiologiji (i stomatologiji) prikazan je na tablici 2 koja je skraćena verzija tablice objavljene u dokumentu *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR 2008 za RH* (38) (podatke o profesionalnoj izloženosti u medicinskoj dijagnostici u RH dostavio je UNSCEAR-u Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost).

Tablica 3 prikazuje odnos profesionalne izloženosti zračenju radnika koji provode klasičnu dijagnostičku radiologiju i radnika u modernoj intervencijskoj radiologiji koja je dijelom i terapijska disciplina.

Sve prikazane vrijednosti doza u tablicama valja uzimati sa znanstvenom rezervom jer su uprosječene s obzirom na profesiju, tj. ne razlikuju dozimetre s kojih su očitane koji su bili unutar područja profesionalne izloženosti od onih koji su djelomično ili neprekidno bili izvan tog područja.

Izloženost stanovništva (bolesnika)

Krajem 1980-ih u medicinsku su dijagnostiku na velika vrata uvedeni CT-uređaji (kompjutorski tomografi) i moderni dijaskopski rendgenski uređaji koji su zbog intenzivnog razvoja detektora za slikovni

⁵ Ponašanje pčela i ptica selica, pa čak i neobjašnjiva događanja pri ponašanju velikih morskih sisavaca.

⁶ Frekvencije koje rabimo za prijenos bežičnih telekomunikacijskih signala ili podataka.

⁷ "elektrosmog" - zbirna imenica koja opisuje moguće "štetno" djelovanje elektriciteta (EM polja) na okoliš uspoređujući ga s elektromagnetizmu neprimjerenim terminom "smog". Uvriježena je u svakodnevnom govoru, ali je znanstveno neistinita i navodi na pogrešna tumačenja.

⁸ Mikrovalno i milimetarsko područje dobili su naziv prema veličini valne duljine zračenja λ u metrima (milimetrima, mikrometrima) prema jednadžbi zvanom spektar EM zračenja $c = \lambda \cdot \nu$ (m) (slika 1).

⁹ <http://www.imi.hr>

Tablica 1 Dozimetrijski nadzor i vrste profesionalne izloženosti. Prilagođeno prema UNSCEAR-2008 (38) i podacima za RH prikupljenim u Državnom zavodu za radiološku i nuklearnu sigurnost

Država	Zanimanje (struka)	MDL ^a ili MND / mSv	Zabilježena vrijednost manja od MDL / mSv	Dozimetrijski laboratoriji akreditirani za	
				Unutarnju dozimetriju	Vanjsku dozimetriju
Republika Hrvatska	Medicina	0,05	0,001	ne	da
	Industrijsko ozračivanje	0,05	0,001	ne	da
	Industrijska radiografija	0,05	0,001	ne	da
	Proizvodnja radionuklida i njihova raspodjela	0,05	0,001	ne	da
	Istraživanje u bušotinama	0,05	0,001	ne	da
	Veterinarska medicina	0,05	0,001	ne	da
	Ostale naznačene skupine	0,05	0,001	ne	da

^aMDL – Minimal Detection Level - minimalni nivo detekcije (MND)

Tablica 2 Profesionalna izloženost radnika medicinskim izvorima rendgenskog zračenja. Prilagođeno prema UNSCEAR-2008 (38)

Država	Razdoblje	Broj djelatnika pod nadzorom (x10 ³)	Mjerljivo izloženi radnici (x10 ³)	Godišnja kolektivna efektivna doza / čovjek Sv	Godišnja kolektivna efektivna doza / mSv	
					Broj radnika pod nadzorom	Mjerljivo izloženi radnici
Republika Hrvatska	1990.–1994.	2,90	1,80	0,50	0,17	0,28
	1995.–1999.					
	2000.–2002.	2,90	0,82	0,50	0,17	0,61

Tablica 3 Profesionalna izloženost radnika rendgenskom zračenju u dijagnostičkoj radiologiji. Prilagođeno prema UNSCEAR-2008 (38)

Država	Vrsta radiološke pretrage (kategorija zanimanja)	Razdoblje	Broj djelatnika pod nadzorom (x10 ³)	Mjerljivo izloženi radnici (x10 ³)	Godišnja kolektivna efektivna doza / čovjek Sv	Srednja godišnja efektivna doza / mSv	
						Broj radnika pod nadzorom	Mjerljivo izloženi radnici
Republika Hrvatska	Klasična radiologija	2000.–2002.	2,57	0,63	0,28	0,11	0,44
	Intervencijska radiologija	2000.–2002.	0,34	0,19	0,22	0,66	1,16

Tablica 4 Globalna izloženost populacije rendgenskom zračenju u dijagnostičkoj radiologiji i stomatologiji Prilagođeno prema UNSCEAR-2008 (38)

Razina zdravstvene zaštite	Stanovništvo (u 10 ⁶)	Godišnja doza po stanovniku (per caput) / mSv		Godišnja kolektivna efektivna doza / čovjek Sv	
		Medicina	Stomatologija	Medicina	Stomatologija
I	1540	1,91	0,0064	2900000	9900
II	3153	0,32	0,0004	1000000	1300
III	1009	0,03	0,000051	33000	51
IV	744	0,03	0,000051	24000	38
globalno	6446	0,62	0,002	4000000	11000

prikaz dijagnosticiranog tkiva počeli rabiti rendgensko zračenje niskih doza, vrlo brzih pulsova i vrlo visokih doza i ultrakratkih pulsova zračenja. Ni rendgensko

zračenje ni pulsni način ozračivanja nisu prirodni ljudskom tkivu (33, 38). Suвременa tehnološka modernizacija rendgenske slikovne dijagnostike naglo je

Tablica 5 Procjena izloženosti stanovništva RH rendgenskomu dijagnostičkom zračenju u medicini i stomatologiji temeljem pretpostavke da RH stvarno pripada grupaciji zemalja svijeta s II. razinom zdravstvene zaštite. Prilagođeno prema UNSCEAR-2008 (38)

Razina zdravstvene zaštite u RH - pretpostavka	Stanovništvo (u 10 ⁶)	Godišnja doza po stanovniku (per caput) / mSv		Godišnja kolektivna efektivna doza / čovjek Sv	
		Medicina	Stomatologija	Medicina	Stomatologija
II	4,5	0,32	0,0004	1440	1,8
globalno	6446	0,62	0,002	4000000	11000

povećala broj dijagnostičkih pretraga, posebno u pedijatriji (39, 40), i to zbog svoje neinvazivnosti na tijelo bolesnika. U posljednjih dvadeset godina u Republici Hrvatskoj je broj dijagnostičkih rendgenskih pregleda (41) porastao toliko da je postalo epidemiološki i evolucijski važno istražiti, pratiti i konačno utvrditi ne samo utjecaj dijagnostičkog ozračivanja rendgenskim zračenjem opće populacije već i na prihvatljiv način statistički dozimetrijski utvrditi i regulatorno propisati dijagnostičke referentne nivoe doza (hrv. DRND; engl. *Diagnostic Reference Level*; DRL) (10, 42-47) ozračivanja za sve moguće tipove rendgenskih dijagnostičkih pretraga, i to prema vrsti, spolu, građi i dobi bolesnika. DRND bi se slijedom preporuka (10, 43-47) kontrolirali u sklopu redovitih godišnjih procedura osiguranja kvalitete (QA, engl. *Quality Assurance*)¹⁰ programom kontrole kvalitete (QC, engl. *Quality Control*)¹¹ (48) medicinskih dijagnostičkih rendgenskih uređaja i dijagnostičkih procedura koje se njima obavljaju, a u RH se redovito provode zadnjih 20 godina. Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada već dulje vrijeme provodi istraživanja ozračenosti bolesnika pri dijagnostičkom rendgenskom zračenju niskih (dijaskopskih) i vrlo niskih doza zračenja s ciljem formiranja kataloga DRND za RH, posebno u intervencijskoj radiologiji (49-54).

U vrijeme pripreme dokumenta (38) UNSCEAR-u nisu bili dostupni podaci o izloženosti stanovništva RH pri dijagnostičkim medicinskim rendgenskim pretragama, jednostavno stoga što u RH još nema validiranog epidemiološkog i dozimetrijskog istraživanja u tom području. Podaci koji bi dali sliku opće izloženosti stanovništva RH dijagnostičkom rendgenskom EM zračenju moraju, osim već spomenutih podataka o bolesnicima i QC-podataka o rendgenskim uređajima, voditi računa o razini zdravstvene zaštite

u Hrvatskoj. Razina zdravstvene zaštite je parametar koji vodi računa o učestalosti dijagnostičkih rendgenskih pretraga, njihovoj svrhovitosti i potrebnosti te opremljenosti dijagnostičkim uređajima i konačno, daje prikaz ukupnog broja izvršenih pretraga u zemlji zajedno s kvalitetom dijagnostičkog podatka (npr. "b.o." indikaciju). Pretpostavimo li da RH pripada skupini svjetskih zemalja s II. razinom zdravstvene zaštite (najmanje jedan liječnik na 1000 do 2999 stanovnika),¹² tada iz podataka iznesenih u dokumentu UNSCEAR-a (38) (tablica 4) za zemlje slične razine zdravstvene zaštite na temelju vanjske izloženosti opće populacije tih zemalja rendgenskom zračenju možemo procijeniti i vanjsku izloženost stanovništva Hrvatske dijagnostičkom rendgenskom zračenju. Sve te podatke valja uzimati s krajnjim oprezom i treba ih tretirati isključivo kao informativne podatke koji bi mogli biti ulazni parametri u cjelovito epidemiološko istraživanje u RH.

Sasvim je prihvatljiva procjena da je RH negdje između II. i I. razine zdravstvene zaštite (barem po broju raspoloživih liječnika). Takva procjena razine zdravstvene zaštite ne podcjenjuje vrijednost doze po stanovniku RH koju možda prosječni stanovnik RH prima od dijagnostičkih rendgenskih izvora zračenja u medicini i stomatologiji tijekom jedne godine.

Kako je sasvim izgledno da gradske sredine u RH imaju bolju razinu zdravstvene zaštite od ostatka zemlje, ne po broju liječnika, već po raspoloživosti tehnologije za dijagnostiku, prihvatljiva je ocjena da RH nije uz bok zemalja I. razine zdravstvene zaštite kada govorimo o broju dijagnostičkih pretraga uporabom rendgenskog zračenja. Slijedom navedenoga, tablica 5 prikazuje prihvatljivu i nepodcijenjenu iz dokumenta UNSCEAR-a (38) preuzetu vrijednost efektivne doze od 0,32 mSv na god po stanovniku RH koju taj prosječan stanovnik statistički primi

¹⁰ QA – Quality Assurance – osiguranje kvalitete; odnosi se na skup tehničkih i formalnih procedura koje obavezno treba provoditi s ciljem osiguranja cjelovite i neosporne dijagnostičke informacije.

¹¹ QC – Quality Control – kontrola kvalitete; odnosi se na skup tehničkih procedura koje treba svakodnevno provoditi kako bi se osigurala tehnička i dijagnostička ispravnost dijagnostičkih uređaja.

¹² Prema broju liječnika Hrvatska je sa stopom od 259 liječnika na 100.000 stanovnika na 34. mjestu u Europi, a sa stopom od 523,6 medicinskih sestara na 100.000 stanovnika na 30. mjestu (68). Prema navedenom podatku RH bi u stvarnosti bila u I. kategoriji nivoa zdravstvene zaštite po klasifikaciji WHO.

zbog vanjskog izlaganja medicinskom rendgenskom zračenju.

PODRUČJE II. - IZLOŽENOST STANOVNIŠTVA HRVATSKE EM NEIONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU U PODRUČJU MHz DO GHz FREKVENCIJA

Istodobno s naglim prodorom mobilne telefonije u RH (nekako nakon završetka Domovinskog rata) Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada uključio se u neovisna¹³ istraživanja na području neionizirajućih zračenja (55-57), posebno u sklopu projekata COST.¹⁴ Obilno se koristila mogućnost *in situ* mjerenja EM polja od baznih postaja mobilne telefonije koje su se počele masovno postavljati diljem RH. Danas je Institut priznata nezavisna ustanova čiji se istraživački stavovi i rezultati u istraživanjima neionizirajućih zračenja u području mobilnih telekomunikacija (14, 15, 58-64) i javno respektiraju.

Hazard i rizik

Dok su utjecaji nekih vrsta tehnološki proizvedenih zračenja na organizam istraženi i poznati, neki utjecaji i međudjelovanje s tvari organizma i dalje su potpuno nepoznati i nerazjašnjeni, u okvirima fizike, kemije i medicine. Neki su utjecaji dokazano bezopasni, čak poželjni, a utjecaji na tvari ljudskoga najsloženijeg organa - mozga još su dobrim dijelom u domeni spekulacija i intenzivnih istraživanja.

Razmatramo dva važna pojma:

hazard ili pogibeljnost = skup svekolikih okolnosti u okolišu koje mogu uzrokovati loše posljedice i rizik ili opasnost = vjerojatnost pojave loših posljedica uzrokovanih hazardom.

Mjeru kojom pokušavamo ocijeniti potencijalne "štetnosti" (opasnosti) za život biološke jedinice nazivamo procjena rizika (66-70).

Najvažnija zadaća procjene rizika je primjerena jednoznačna definicija rizika.

Procjena rizika je izrada i evaluacija nivoa (razina) mogućeg rizika za ljude i definiranje najnižeg "thresholda"¹⁵ za S ($W m^{-2}$) izračenu gustoću snage

EM zračenja (71-76) iznad kojeg mogu nastupiti potencijalno nepoželjni učinci na zdravlje ljudi.

Granična vrijednost za prosječnu gustoću snage S snopa EM zračenja koji padne na cijelo tijelo je $S=10 W m^{-2}$ ispod koje se vrijednosti nepoželjni učinci ne očekuju. Da bi se osigurala margina sigurnosti granične vrijednosti gustoće snage S , ona se umanjuje za faktor 10 do 50, što dovodi do osnovnih restrikcija od $0,72 W m^{-2}$ za izlaganje kontrolne i opće populacije – okoliš što je prikazano na tablici 6 (74-76).

Iz praktičnih razloga navedene granične vrijednosti nazivamo maksimalno dopušteno izlaganje (MPE, od engl. *maximal permissible exposure*).

Na tablici 7 ukratko je opisan osnovni, jednostavni postupak procjene rizika od izlaganja ljudi EM zračenju podrijetlom iz antenskih sustava mobilnih telekomunikacija.

Da bismo za procijenjeni rizik dobili veličinu s pomoću koje će se procijeniti ukupno opterećenje jedinki i/ili populacije EM zračenjem, unutar promatranog prostora definiramo:

ukupnu mjeru štetnosti, tj. Risk Ratio (RR)¹⁶ kao:

$$(\sum E)^2 / E_{granična}^2 = RR \text{ (66-70)} \quad /2/$$

za svaku pojedinu prisutnu frekvenciju, gdje je $\sum E$ zbroj mjerenih vrijednosti, a

$$E_{granična}^2 = 16,41 V m^{-1} \text{ do } 17,04 V m^{-1} \quad /3/$$

jest vrijednost (75) prema tablici 6 revidirana u skladu s Pravilnikom (75, 76) te ovisi i o stvarnim frekvencijama odašiljanja antena bazne postaje od interesa. Realno, populacija je uvijek izložena ozračenju iz više izvora EM zračenja istodobno, što se mora uzeti u obzir prilikom procjene ozračenosti. Iz svega slijedi da se rezultat naših mjerenja (i procjena temeljem mjerenja) kreće u intervalu od:

RR_f (selektivno po frekvencijama f) = $0,62 V m^{-1}$ do $8 V m^{-1}$ mjereno u zoni dalekog polja.

Treba istaknuti da se od svih oblika izloženosti EM zračenju ima smisla štititi tek onda kada su ona posljedica ljudske djelatnosti, a ne prirodna.

U praksi postoje tri najčešće razlikovana tipa rizika (66-70):

1. rizik koji je jasno identificiran i koji jasno vodi do "štetnosti" (žrtava) koje možemo opisati pouzdanom statistikom (požari, nesreće u tvornicama i sl.)
2. rizici za koje se vjeruje da postoje posljedice od njih, ali kod kojih kauzalna veza s jedinkom

¹³ Operateri mobilne telefonije nerijetko su iskazivali želju za pomaganjem istraživanja radi upravljanja rezultatima, s obzirom na to da su sva istraživanja o utjecaju EM zračenja u MHz području još bila u povojima.

¹⁴ COST je najstariji okvir znanstvene suradnje europskih zemalja u provedbi temeljnih istraživanja od općeg interesa radi stvaranja zajedničkih standarda za cijelu Europu, uspostavljen 1971. godine.

¹⁵ Threshold – riječ označava dogovornu statističku graničnu vrijednost neke veličine.

¹⁶ RR – Risk Ratio: omjer rizika (procijenjeni / prihvatljivi).

Tablica 6 Granične razine električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage ekvivalentnoga ravnog vala za pojedinačnu frekvenciju za područja povećane osjetljivosti. Granične razine dane su za efektivne vrijednosti jakosti nesmetanog polja i gustoće magnetskog toka, a vrijede za jednoliku izloženost cijeloga ljudskog tijela elektromagnetskim poljima. Izvadak iz Pravilnika RH (75).

Frekvencija f^*	Jakost električnog polja $E / \text{V m}^{-1}$	Jakost magnetskog polja $H / \text{A m}^{-1}$	Gustoća magnetskog toka $B / \mu\text{T}$	Gustoća snage (ekvivalentnog ravnog vala) $S_{\text{ekv}} / \text{W m}^{-2}$	Vrijeme uprosječenja t / min
< 1 Hz	5 600	12 800	16 000		*
1 Hz do 8 Hz	4 000	12 800/ f^2	16 000/ f^2		*
8 Hz do 25 Hz	4 000	1 600/ f	2 000/ f		*
0,025 kHz do 0,8 kHz	100/ f	1,6/ f	2/ f		*
0,8 kHz do 3 kHz	100/ f	2	2,5		*
3 kHz do 100 kHz	34,8	2	2,5		*
100 kHz do 150 kHz	34,8	2	2,5		6
0,15 MHz do 1 MHz	34,8	0,292/ f	0,368/ f		6
1 MHz do 10 MHz	34,8/ $f^{1/2}$	0,292/ f	0,368/ f		6
10 MHz do 400 MHz	11,2	0,0292	0,0368	0,326	6
400 MHz do 2000 MHz	0,55/ $f^{1/2}$	0,00148/ $f^{1/2}$	0,00184/ $f^{1/2}$	$f/1250$	6
2 GHz do 10 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6	6
10 GHz do 300 GHz	24,4	0,064	0,08	1,6	68/ $f^{1,05}$

* relevantna je najviša efektivna vrijednost. Vrijednost frekvencije f za proračun efektivnih vrijednosti jakosti električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage ekvivalentnog ravnog vala u pojedinom retku obiju tablica u Pravilniku uzima se u jedinicama za frekvenciju navedenim u prvom stupcu Tablice.

Tablica 7 Postupak procjene rizika izlaganja ljudi EM zračenju podrijetlom iz antenskih sustava mobilnih telekomunikacija

Identifikacija hazarda	Antene, stupovi, građevine, telefoni, zbog pojave nove tehnologije bežičnog telefoniranja na daljinu upotrebom elektromagnetskih polja visokih frekvencija koja do sada nisu postojala kao prirodna u tom intenzitetu
Analiza učestalosti događanja / događaja koje pratimo	Kontinuirano izlaganje telekomunikacijskom EM zračenju iz antena baznih postaja
Analiza posljedica	Potrebno je epidemiološko praćenje kako bi se posljedice izlaganja (dobre i loše) uopće utvrdile i klasificirale s obzirom na potpuno novi agens, stresor u okolišu i habitatu
Proračun rizika – odluka što zapravo pratimo	Pratimo društveni rizik, rizik za urbanu populaciju RH i rabimo rezultat izvršenih selektivnih mjerenja na terenu koja obrađena upućuju na konačan trend vrijednosti za izračene gustoće snage $S = 0,1699 \text{ W m}^{-2} < 0,72 \text{ W m}^{-2}$ (74-76)
Procijenjene i propisane vrijednosti (“threshold” – granične)	$8 \text{ V m}^{-1} < 16,41 \text{ V m}^{-1}$ (74-76)
Procjena rizika	Uspoređujemo dobivenu mjeru štetnosti s već postojećim kriterijima, izvodimo normiranje na granice dopuštenog izlaganja i određujemo mjere smanjenja rizika

nije pouzdano sigurna (kancerogeneza zbog izlaganja zračenju) (69-73)

- rizik koji opisuje najpouzdanije ekspertne procjene vjerojatnosti za događaj katastrofe za koju se vjeruje da se nikada neće dogoditi

Definicija rizika 2. stručno je najčešće i najčvršće vjerovanje. Najčešće su povezani s nekim suptilnim aspektom (problemi ponašanja, alergije) ili s priličnim

vremenskim odmakom od mogućeg inicijalnog uzroka i stvarno uočenog efekta. Opis rizika može počivati na epidemiološkim opažanjima, što je u današnjim istraživanjima i nezaobilazan izvor relevantnih podataka.

Postoje slučajevi dugotrajnih “opasnosti” koje su trajale, ali se odjednom i iznenada prepoznaju kao štetne (npr. izloženost duhanskom dimu). Ondje gdje se veza između uzroka i posljedice (efekta) može

utvrditi s velikim poteškoćama uvijek se pitamo kako netko može definirati (odrediti) “sigurne” doze agensa koji pratimo. Obrađujemo slučaj kada je agens EM zračenje koje odašilju antene baznih postaja mobilne telefonije. Još je uvijek aktualno pitanje štiti li formalna razina, nivo, granica, threshold, dopuštenog zračenja (EIRP-a)¹⁷ iz antenskih izvora EM zračenja svakoga. Ili štiti sve, samo ne one “jako osjetljive” elektrosenzibilne jedinice, ili uopće ne postoji stvarno sigurna zaštitna razina, granica i sl.?

Navedena dilema može biti vrlo točna u slučaju moguće veze kancerogeneze i EM zračenja, osobito zračenja niskih razina energije i nepredvidiva trajanja.

U svakom slučaju, vjerojatno je oportuno i razborito inzistirati na “razumnoj provedbi prakse”, tj. kontroli ozračivanja i izlaganja ispod formalne granice u svim realnim situacijama. To je koncept dozimetrije, mjerenja izlaganja u definiranim uvjetima kako bi se jasno pratili opći trendovi izloženosti EM zračenju. Koncept dozimetrije u području izlaganja EM zračenju frekvencija u intervalu od 300 MHz do 3 GHz bio bi nastavak, očekivano dugotrajniji i interdisciplinarniji projekt od ovog do sada provedenog.

Također je primjereno prilikom procjenjivanja rizika za zdravlje čovjeka od nekoga zadanog agensa usporediti rizike od različitih agensa i različitih ljudskih aktivnosti kako bi se pojedini rizik stavio u primjereni sociološki okvir ljudskog ponašanja.

Pooštrenjem dopuštenih granica izloženosti električnom polju jakosti $E = 16,41 \text{ V m}^{-1}$ (74-76) s nekada pravno važećih $E = 41,2 \text{ V m}^{-1}$ zapravo smo smanjili udaljenost na kojoj se smatra da će boravak ljudi biti neškodljiv za njihovo zdravlje ako se u stvarnosti nalaze u ravnini glavne osi antene bazne postaje i direktno u centralnom snopu.

Zakonom propisana dopuštena granica izlaganja (74-76) pomiče tu sigurnosnu granicu na minimum 8 m od centralne osi antene gdje je $E = 16,41 \text{ V m}^{-1}$, tj. izračena gustoća snage elektromagnetskog vala po svakoj radnoj frekvenciji antene iznosi $S = 0,72 \text{ W m}^{-2}$.

Pomak udaljenosti za “sigurniji” boravak općeg stanovništva u blizini antena baznih postaja zakonodavac RH je ustanovio dijelom u dobroj namjeri vodeći se općim principima predostrožnosti (66-76) pa je preporuke Vijeća Europe ugradio u zakonske propise RH.

Mogući učinci EM zračenja visokih frekvencija na biološki materijal

Potencijalni hazardi prilikom međudjelovanja EM polja i tkiva jesu: električni (učinci koje na tkivu i u tkivu proizvodi tok električne struje i s njime povezani elektromagnetski efekti – indukcija, rubne i vrtložne struje, magnetsko polje, indukcija u materijalu, vodljivost i toplinski kapacitet tkiva itd.); biološki (dielektričko zagrijavanje tkiva – deponiranje EM energije u tkivu) te dodatni inducirani ili nelinearni posredni efekti.

Dozimetrijska veličina kojom opisujemo učinak zagrijavanja tkiva zbog međudjelovanja tkiva s EM zračenjem specifična je apsorbirana snaga (SAR, od engl. *specific absorption rate*).

Električna struja (EM zračenje) pri prolasku kroz živa bića (ili biološki materijal, primjerice tkivo) stvara kemijski i toplinski učinak¹⁸ koji je u stvarnosti mjerljiv (npr. mjerne veličine izražavaju se u jedinicama W, W m^{-2} , V, A, V m^{-1} , A m^{-1}). Geddes i Baker¹⁹ još su 1967. načinili pregled dotadašnjih istraživanja provedenih na izučavanju električkih svojstava raznovrsnih životinjskih tkiva²⁰ i ustanovili da tkiva sastavljena od različitih stanica imaju izrazitu anizotropnost. To se posebice odnosi na vlaknasta tkiva poput živaca i mišića, što znači da mjereni podatak o količini EM zračenja koje dopire na površinu tijela gdje ga mjerimo nikako nije konačna mjera za biološki učinak tog EM zračenja. Međudjelovanje je u stvarnosti opisano količinom energije koju je EM zračenje “donijelo” do tijela, koja je ušla i koja se “deponirala” u tijelu. Mehanizam deponiranja, osjetljivost, ukupna izloženost,²¹ apsorpcija i EM transparentnost biološkog materijala fizikalne su veličine koje se uvijek razlikuju za različite frekvencije (jer ovise o frekvenciji) i za različita tkiva (38, 65, 73, 77-81).

Apsorpcijski presjek (AC) tijela (objekta) koje je izloženo EM zračenju definira se kao omjer ukupne gustoće snage EM zračenja apsorbirane u ozračenom tijelu (objektu) i ulazne gustoće snage (S_{ulaz}) EM zračenja. AC ima dimenziju površine i prikazujemo ga s pomoću srednje specifične apsorbirane snage (SAR) u tijelu:

¹⁸ U novije vrijeme istraživanja upućuju na to da se u tom međudjelovanju pojavljuju i mogući “nelinearni efekti” jednostavno stoga što unutar tkiva ne postoji homogena raspodjela gustoće struje inducirane vanjskim EM poljem.

¹⁹ Izvor podataka osobno dopisivanje.

²⁰ Impedancija (Ω), otpornost ($\Omega \text{ m}$), vodljivost (S m^{-1}) = (1/otpornost x100).

²¹ Ukupna izloženost tkiva zračenju zapravo je mjera “obasjanosti” površine biološkog tkiva EM zračenjem u vremenu trajanja obasjanosti. Primjerice, za radarski puls vrijeme trajanja obasjanosti bit će vrijeme trajanja pulsa tog radarskog zračenja (engl. Duty cycle ili radni faktor) (82, 83).

¹⁷ EIRP – Effective Irradiated Power – efektivna izračena snaga EM zračenja iz izvora tog zračenja.

$$AC = \frac{SAR \cdot m}{S_{ulaz}} (m^2) \quad /4/$$

gdje je m masa tijela (objekta) izloženog EM zračenju, a AC je funkcija koja strogo ovisi o frekvenciji EM zračenja i o geometrijskom obliku tijela.

Relativni apsorpcijski presjek (RAC)²² "ljudskog" tijela definira se kao omjer apsorpcijskog presjeka i geometrijskog presjeka tijela G_t . G_t je površina presjeka tijela koja je projicirana na ravninu okomitu na smjer prostiranja ulaznog EM zračenja. $G_t = \pi r^2$ gdje je r polumjer kugle (kruga kuglaste sjene na obasjanoj površini). RAC je bez dimenzije i mjeri "sposobnost" tijela da apsorbira EM zračenje. Za tijelo općeg oblika (kao što je ljudsko) RAC ovisi o orijentaciji tijela u prostoru s obzirom na polarizaciju EM polja zračenja, što se može izraziti kao

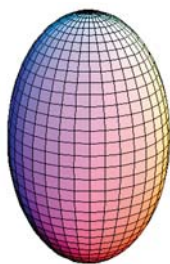
$$RAC = \frac{SAR \cdot m}{S_{ulaz} \cdot G_t} \quad /5/$$

ili u obliku relativnog presjeka raspršenja

$$RAC = \frac{P_{raspršeno}}{S_{ulaz} \times G_t} \quad /6/$$

gdje je $P_{raspršeno}$ ukupna snaga raspršena na tijelu (objektu). RAC opisuje koliko geometrijska površina (presjek) koja je zapreka EM zračenju efikasno raspršuje ulazno zračenje. RAC je funkcija koja također strogo ovisi o frekvenciji EM i o obliku tijela.

Prilikom istraživanja i procjene izloženosti čovjeka vanjskom EM zračenju rabi se danas najprihvatljiviji jednostavni geometrijski model za opisivanje površine ljudskog tijela; elipsoid²³ (slika 4).



Slika 4 Skica elipsoida (produljeni sferoid).

Volumen takvog sfernog elipsoida je $V = \frac{4}{3} \pi ab^2$ i tada je površina ljudskog tijela A_{jt}

$$\pi \left(2a^2 + \frac{b^2}{e} \ln \left(\frac{1+e}{1-e} \right) \right) \cong A_{jt} \quad /7/$$

uz prostorni opis standardnog europskog čovjeka $a=170$ cm, $b \approx 18$ cm do 25 cm i gdje je e

ekscentricitet elipse $e = \left(1 - \left(\frac{d^2}{v^2} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$ (v je prosječna visina, a d je debljina torza).

Najvjerojatnija i najveća moguća apsorpcija EM zračenja u tijelu događa se za \vec{E} polarizaciju zračenja, što je posebno fizikalno izraženo u području frekvencija EM zračenja od 10 MHz do 10⁵ MHz. GSM/UMTS mobilna telefonija i najnoviji radari za praćenje zračnog prostora instalirani u RH (Radar AN/FSP117) zrače EM zračenje upravo u tom području frekvencija.

Kvalitativna dozimetrija EM visokofrekventnoga neionizirajućeg zračenja

SAR²⁴ je fizikalna veličina izražena u W kg⁻¹ kojom opisujemo energiju EM zračenja koja ostaje "deponirana" u biološkom tkivu izloženom tom zračenju i ona je prava dozimetrijska veličina u smislu zaštite od zračenja i pandan je terminu brzina doze za ionizirajuće zračenje (tablica 8). Mjerenje te veličine nije jednostavno pa se njezina vrijednost u praksi određuje posredno mjerenjem gustoće snage S (W m⁻²) ulaznog EM polja i numeričkim proračunima zasnovanim na modeliranju izloženosti.

SAR nikada nije tako velik kao što to proizlazi iz mjerenja gustoće snage ukupnog ulaznog EM zračenja (77, 80, 82-84). Potrebno je napraviti ekstrapolaciju na maksimalnu izlaznu snagu antene i voditi računa da će usrednjavanje mjeriteljskih podataka (npr. pulsnog rada) zapravo računski "smanjiti" izloženost zračenju.

Sljedeća važna fizikalna osobina EM zračenja je prodornost²⁵ pojedine frekvencije u tkivo, transparentnost tkiva. Naime, nije točno da će zračenje dublje prodrijeti u tkivo unoseći "neprirodnu" toplinu od zračenja u njega ako mu je frekvencija viša. Ovisnost prodiranja o frekvenciji EM zračenja mnogo je složeniji fizikalni i biokemijski mehanizam.

Ukupni SAR ovisi o površini tijela izloženog EM zračenju. Stvarni postotak izloženosti tijela rijetko je kada veći od 20 % (vidi G_t) što se pri dozimetriji EM zračenja mora uzeti u obzir (slike 5 i 6).

Mjereći ulaznu snagu EM zračenja u točki površine objekta – tijela i poznavajući biološke podatke nužne za izračun vrijednosti SAR, možemo izvršiti konačnu

²² RAC – Relative Absorption Cross section – relativni apsorpcijski presjek (80).

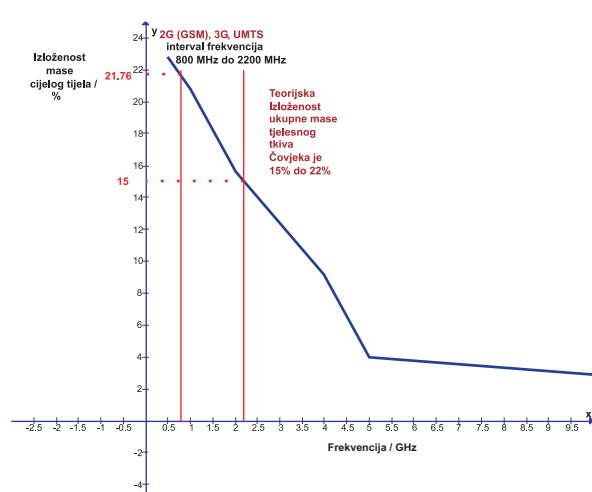
²³ Elipsoid (produljeni sferoid) (slika 4) jest površina dobivena rotacijom elipse oko njezine glavne osi. Opća površina elipsoida je $S = 2\pi \int r(z) \sqrt{1 + [r'(z)]^2} dz$.

²⁴ SAR = $\frac{\sigma E}{m}$ (W kg⁻¹) gdje je σ specifična vodljivost biološkog tkiva (S m⁻¹).

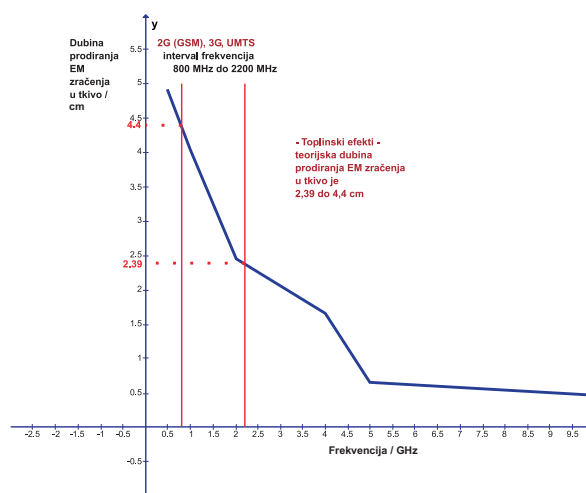
²⁵ Rendgeiške frekvencije EM zračenja su "jako prodorne", za njih su neka tkiva gotovo 100 % transparentna.

Tablica 8 Dozimetrijske veličine. Prilagođeno prema Pravilniku RH (75) i podacima International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (3) za temeljna ograničenja

Interval frekvencija EM polja	Fizikalna Veličina	Usporedba nazivlja s dozimetrijom ionizirajućeg zračenja
1 Hz do 10 MHz	J	A m ⁻² Gustoća struje
1 Hz do 110 MHz	I	A Struja
100 kHz do 10 GHz	SAR	W kg ⁻¹ Brzina doze
10 GHz do 300 GHz	S	W m ⁻² Gustoća snage
Pulsna EM polja:		
300 MHz do 10 GHz	SA	J kg ⁻¹ Doza



Slika 5 Postotak izloženosti površine ljudskog tijela vanjskom EM zračenju frekvencija kojima se koristi mobilna telefonija (GSM/UMTS).



Slika 6 Dubina prodiranja telekomunikacijskih GSM/UMTS energija u tkivo (u cm od površine kože tijela).

dozimetrijsku obradu potrebnu za procjenu rizika ozračivanja tijela od EM zračenja iz antena baznih postaja.

Zaštita od zračenja zahtijeva što točnije poznavanje “sigurne” udaljenosti, tj. granica tolerancije, mjesta gdje, ako se biološko tkivo stalno nalazi (boravak 24 sata-stalni boravak) ne postoji rizik od “oštećenja” kada je tijelo ozraчено.

Različita populistička tumačenja definicije bliskog i dalekog polja zračenja od antenskog izvora EM zračenja uzrokuju neprihvatljiva tumačenja i izračune “sigurne” udaljenosti.²⁶

²⁶ Reaktivno polje zračenja antene, blisko polje zračenja antene i daleko polje zračenja antene jesu područja prostora u kojem se EM polje različito fizikalno ponaša. Daleko polje u kojem se kuglasti val prostiranja EM zračenja iz “točkastog izvora” antene može aproksimirati ravnim valom s obzirom na veličinu mjerne antene mjesto je gdje se prema teoriji EM polja može to polje smatrati dovoljno homogenim, mjesto u kojem su komponente polja E i H međusobno okomite te su mjerenja tih komponenti suvisla. Reaktivno područje, direktno uza samu antenu, tj. izvor jest područje u kojem nema nikakve ovisnosti među komponentama E i H i područje je potpuno nehomogeno. Blisko područje oko izvora je od interesa samo za profesionalno osoblje koje će možda raditi uza same antene.

Za konačnu procjenu rizika (izloženosti) upotrijebljeni su i mjerni podaci iz mjeriteljske arhive Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada i iz drugih mjeriteljskih izvora te dostupni podaci o EM zračenjima iz ostalih usporedivih urbanih i neurbanih te ruralnih cjelina.

Nametnuti ili osobni rizik!

Zbog ozračivanja rendgenom ni jedan bolesnik ne pokreće pitanje odgovornosti niti traži krivca za to što je ozračen. Medicinsko ozračivanje smatra se etički čistim i prihvatljivim jer donosi veću korist od mogućeg rizika nastanka zdravstvene štete zbog ozračivanja, ali se svejedno podvrgavanje bolesnika svakom, pa i najbezazlenijem medicinskom postupku smatra osobnim – individualnim rizikom bolesnika.

Uporaba mobilnih telefona nema tu jasnu odrednicu odgovornosti.

Postojanje pokretne bežične telefonije koja neprekidno emitira neprirodno neionizirajuće EM zračenje u okolišu svakako je hazard za taj okoliš (pa i ljude u njemu).

Tablica 9 Postojeći tipovi sustava bežičnog prijenosa telekomunikacijskog signala i sustavi prisutni u RH

Način prijenosa signala / ETSI standard	Frekvencija nositelja digitalnog signala / MHz	Operateri u RH	Napomena	Operativno u RH od
NMT-450 (099)	450	HT	Analogni signal	1980-tih
PCS (PHS)	1850 do 2010		Digitalni signal pulsirajući sa 217 Hz	Ne postoji u RH
GSM (2G)	900 /1800 1800	HTmobile VIPnet Tele 2	Digitalni signal pulsirajući sa 217 Hz	1995. 1999. 2005.
DECT	1710 do 1880	HT com	Sastavni dio nepokretne mreže digitalni	Od kada se koriste male pokretne kućne centrale
TETRA	370 do 470	Javne službe	Digitalni ali ne pulsirajući signal	Probna uporaba u nekim javnim službama
3G	1800 do 2010 2010 do 2025 2110 do 2170	Koncesija	Digitalni signal pulsirajući sa 100 Hz	Uveden
UMTS	1885 do 2010 2110 do 2170	Koncesija	Digitalni signal pulsirajući sa 100 Hz do 800 Hz	Uveden
IMT 2000	1910 do 2010 2110 do 2170		Digitalni signal pulsirajući sa 100 Hz	Nema u javnoj uporabi u RH
PC- Wireless LAN/WAN	1810 do 3000	Nije pod RH koncesijom	Digitalni prijenos podataka od 2 Mbit s ⁻¹ do Gbit s ⁻¹	Povremeno u privatnim aranžmanima
Bluetooth	2450	Nije pod RH koncesijom	Kratki domet- ad hoc digitalne mreže	Lokalno uveden

Nadalje, uporaba malog pokretnog telefona (DECT-a ili mobitela) koji se rabi za osobne potrebe znači osobni (individualni) rizik. Uporaba tog istog malog telefona koju na bilo koji način nametne poslodavac podliježe drugačijem postupku procjene rizika. Izloženost EM zračenju iz antene službeno nametnutog mobitela postaje u stvarnosti profesionalna izloženost (85). Temeljem Zakona o elektroničkim komunikacijama (86), a posebno njegovih članaka 3. i 4., Republika Hrvatska se obvezuje svojim građanima osigurati temeljnu elektroničku komunikacijsku infrastrukturu i povezanu opremu.²⁷ Tom obvezom RH preuzima i određenu odgovornost za izloženost stanovništva neionizirajućem zračenju koje emitiraju

antene s baznih postaja pokretne telekomunikacijske infrastrukture u RH (tablica 9).

Izlaganje EM zračenju baznih postaja smatra se društveno nametnutim rizikom izlaganja zračenju. Zbog toga se bilo kakav rizik koji donosi postojanje i rad baznih postaja smatra neprihvatljivim ako nije unutar znanstveno-stručno utvrđenih i po mogućnosti zakonodavno propisanih (74-76) ograničenja jačine i trajanja izlaganja zračenju.

Republika Hrvatska je jedna od rijetkih država Europe koja je donijela Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (77) koji svojim pratećim pravilnicima propisuje zakonska ograničenja izlaganja zračenju (tablica 6) (75, 85). Od posebnog interesa javnosti su građevine antenskih stupova, tj. sustavi antena na njima koji emitiraju radiofrekventni signal potreban za normalan i nesmetan rad mobilne radiotelefonije, takozvane "makro" bazne postaje. Postavljanje, puštanje u rad i uporaba odašiljačkih antena, baznih

²⁷ Pripadajuća infrastruktura i oprema povezana s elektroničkom komunikacijskom mrežom i/ili elektroničkom komunikacijskom uslugom, koja omogućuje ili podupire pružanje usluga putem te mreže i/ili usluge, što osobito obuhvaća kabelsku kanalizaciju, antenske stupove, zgrade i druge pripadajuće građevine i opremu te sustave uvjetovanog pristupa i elektroničke programske vodiče.

postaja i ostale infrastrukturne opreme (tablice 10 i 11) pokretne radiotelefonijske podliježe i odredbama Zakona (74) i pratećih podzakonskih akata.

U cilju prikupljanja podataka za daljnju znanstvenu evaluaciju definirali smo i izradili pojamovnik i metodologiju mjerenja vanjskog EM polja u intervalu frekvencija od interesa, mikrovalni pojas frekvencija

koji rabimo za elektronske telekomunikacije i prijenos podataka (82) (400 MHz – 3 GHz), što je prikazano na tablici 11.

Time se ispunjava prvi mjeriteljski uvjet za kasniju numeričku obradu dozimetrije vanjskog (ulaznog) EM polja iz poznatih izvora EM zračenja u ljudski organizam.

Tablica 10 Operateri mobilne GSM telefonije u RH (koncesionari)

Operater	T Mobile d.o.o.	VIPnet d.o.o.	Tele 2 d.o.o.
Naziv mreže	HTmobile	VIPnet	Tele 2
Tip mreže	GSM 900	GSM 900	GSM 1800
Handset Code	HTmobile	HR VIP	HR Tele 2
Mrežni Code	219 01	219 10	210 02
Status mreže	od lipnja 1995.	od lipnja 1999.	od listopada 2005.

Tablica 11 Čemu služe i na kojoj frekvenciji odašilju signale pojedini postojeći civilni odašiljači EM zračenja u RH

Frekvencija odašiljanja i primanja signala / MHz	Pojas frekvencija	Uporabno područje – prijenos signala	Postoji u RH
0,17 do 0,19		VLF radiouređaji	da
0,5 do 1,6		AM radiouređaji	da
27		CB radio primopredajnici	da
49		daljinski upravljači, neki bežični telefoni	da
47 do 68	I	televizija - analogna	da
68 do 87,5	4-m	željeznica, ostale poslovne potrebe	da
87,5 do 108		UKW radio	da
108 do 136	3-m	VHF zračni promet	da
146 do 174	2-m	željeznica, poslovne potrebe, pagerski servisi	da
174 do 230	III	televizija	da
230 do 380	UHF	UHF zračni promet	da
279 do 281		razni radiopozivi – hitna npr.	da
380 do 470	70 cm	TETRA, ostale poslovne potrebe	da
450 do 470		autotel., NMT450 bivša analogna mreža (099)	da
470 do 860	IV/V	televizija, elektroprivreda	da
806 do 860		GSM 900 - NMT, (2G)	da
890 do 960		GSM 900, (2G)	da
1215 do 1400	D**	radarski sustav AN/FPS117	da
1710 do 1880		mobilna mreža GSM 1800 - (3G)	uvodi se, da
1850 do 1990		PCS i DECT mreža	da
1920 do 2170		UMTS mobilna mreža	uvodi se, da
2400 do 2438		amaterski sateliti, mikrovalne pećnice	da
> 2,7 GHz		vojne komunikacije	da
> 2,7 GHz		bežična LAN i WLAN + Bluetooth mreže	exp., da
> 2,5 GHz		meteorološki radarski sustavi i	da
> 2,5 GHz		radarski sustavi za navigaciju na moru	da
> 2,5 GHz		npr. PEREGRINE	da
> 2,5 GHz		ostali radarski sustavi i usmjerene komunikacije	da
2400 do 24250		radionavigacijski sustavi	da

** D (EU i NATO pojas frekvencija) = L (SAD pojas frekvencija)

Zbog kvalitativne razlike u različitom fizikalnom ponašanju EM polja u bliskom i dalekom području promatranja njihovih rasprostiranja razlikujemo dozimetriju vanjskih ulaznih polja u bliskom od dozimetrije tih istih polja u dalekom području promatranja (74, 75). Valja jasno naglasiti da se izloženost stanovništva EM zračenju iz baznih postaja događa u dalekom polju, dok se izloženost pojedinca EM zračenju iz antene malog mobilnog telefona događa u bliskom polju zračenja antena što sigurno unosi kvalitativnu razliku prilikom mjerenja i dozimetrije ulaznih telekomunikacijskih EM polja u tkivo (tablica 6).

Sva profesionalna izlaganja EM poljima događaju se u bliskom polju zračenja antenskih sustava pokretne telefonije i to nevjerojatno otežava mjerenja ulaznog polja (75, 85).

Mjerenja su se provodila na frekvencijama koje rabi telekomunikacijski GSM (globalni sustav mobilnih komunikacija)²⁸ jer je cijelo istraživanje bilo potaknuto krajem devedesetih godina prošlog stoljeća vrlo turbulentnim javnim događanjima vezanim uz fizičko postavljanje baznih postaja pokretnih telekomunikacija po cijeloj Hrvatskoj. Metodologija mjerenja pokušala se uobličiti tako da se uključe mjerenja EM polja koja odašilju bazne postaje i EM polja koja odašilju antene mobilnih ručnih telefona – mobitela.²⁹ Fizikalno su to dva vrlo kompleksna i zahtjevna područja koja nemaju puno zajedničkih opisnih fizikalnih parametara EM polja, ali budući da je metodologiju bilo potrebno razviti kako bi nam bila osnova za sustav odlučivanja (po mogućnosti brzog odlučivanja) o mogućem riziku od izlaganja stanovništva novom stresoru, stvorena je jednostavna pojmovna shema (slike 7 i 8) zasnovana na mjerenjima izračene gustoće snage u $W m^{-2}$ iz izvora (antena) neionizirajućeg zračenja.

Bazne postaje i zračenje njihovih antena pridonose već spomenutom “elektrosmogu”. Bazne postaje, tj. antene na njima, zrače konstantni mješoviti telekomunikacijski signal s tornjeva ili krovova kuća. U urbanim sredinama s gustom mrežom antenskih sustava na baznim postajama, kao što je grad Zagreb, procijenjeni “elektrosmog” iznosi otprilike:

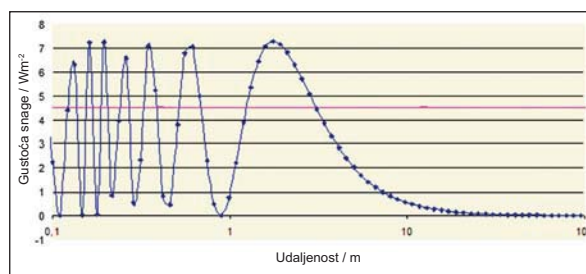
$$E < 100 \mu V m^{-1} \quad (40 \text{ dB } \mu V m^{-1}) \quad /8/$$

Na tablici 12 prikazane su granične razine električnog i magnetskog polja te gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za

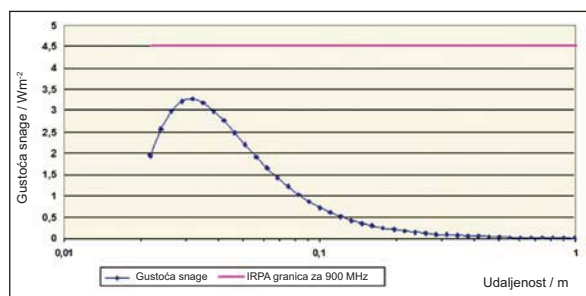
područja povećane osjetljivosti. Čak i u polju vrlo jakog televizijskog signala na frekvencijama 500 MHz i radiosignala na 100 MHz, vrijednost E polja normalno ne prelazi $0,1 V m^{-1}$ ($100 \text{ dB } \mu V m^{-1}$) i najčešće su signali daleko ispod ovih navedenih vrijednosti za električno polje E .

Iznimno, ako bi se nalazili jako blizu antena televizijskog odašiljačkog tornja (primjerice na turističkoj platformi TV tornja), vrijednost E vrlo rijetko prelazi $2 V m^{-1}$ ili $3 V m^{-1}$ ($130 \text{ dB } mV m^{-1}$).

Nivoi bliskog EM polja pokraj uključenog malog mobitela izuzetno variraju, ovisno o dizajnu antene u mobitelu i često mogu biti veći od električnog polja E i gustoće snage S koji su postavljeni u općim standardima o granicama ozračivanja (slika 7).



Slika 7 Izloženost vanjskom EM zračenju u dalekom polju iskazana prikazom mjerene gustoće snage EM zračenja u zadanoj točki ozračenog prostora na definiranoj udaljenosti u metrima od središnje točke na centralnoj osi antene bazne postaje koja zrači (sigurnosna udaljenost je na 6 m do 7 m od centralne osi antene).



Slika 8 Izloženosti vanjskom EM zračenju u bliskom polju iskazana s pomoću gustoće snage EM zračenja u zadanoj točki prostora (tik uz kožu glave korisnika) na definiranoj udaljenosti u centimetrima od središnje točke na centralnoj osi antene malog mobitela (npr. uz uho) koja zrači (sigurnosna udaljenost glave je na 1,5 cm do 2 cm od centralne osi antene u mobitelu).

Dubina prodiranja EM zračenja u tkivo u slučaju simulacije zračenja antene malog mobitela i prodiranja njezina zračenja u tkivo glave korisnika prikazana je na slikama 9 i 10.

²⁸ Međunarodni, europski operativni standard za novu generaciju digitalnih čelijskih komunikacija koji omogućava korištenje mobilnih telefona izvan državnih granica.

²⁹ Mobilni – u RH uvriježen naziv za pokretni, bežični mali ručni telefonski aparat.

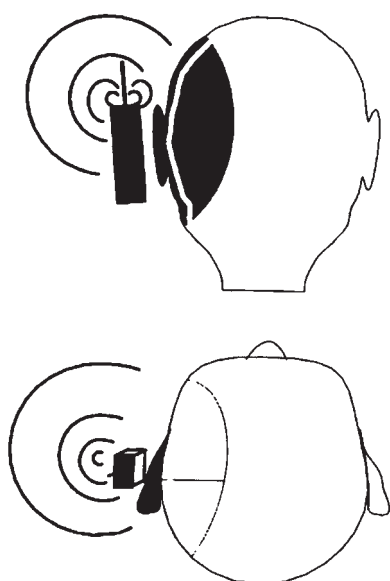
Tablica 12 Granične razine električnog i magnetskog polja i gustoće magnetskog toka za pojedinačnu frekvenciju impulsnog polja za područja povećane osjetljivosti. Granične razine dane su za efektivne vrijednosti jakosti nesmetanog polja i gustoće magnetskog toka, a vrijede samo za jednoliku izloženost cijeloga ljudskog tijela elektromagnetskim poljima.

Frekvencija f	Jakost električnog polja $E / V m^{-1}$	Jakost magnetskog polja $H / A m^{-1}$	Gustoća magnetskog toka $B / \mu T$	Vrijeme uprosječenja t / min
10 MHz do 400 MHz	180	0,46	0,58	trajanje impulsa
400 MHz do 2000 MHz	$8,8 \cdot \sqrt{f}$	$0,024 \cdot \sqrt{f}$	$0,03 \cdot \sqrt{f}$	trajanje impulsa
2 GHz do 300 GHz	390	1,02	1,28	trajanje impulsa

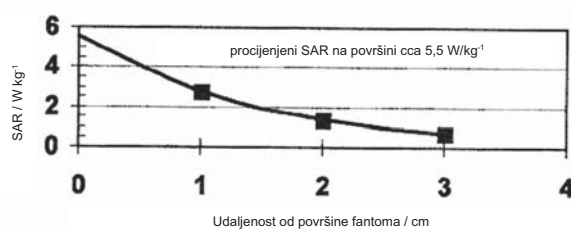
Tablica 13 Prikaz trenda za najgori mogući slučaj koji je mjerenjem pronađen na teritoriju Grada Zagreba za dvije navedene metode mjerenja zračenja telekomunikacijskog signala u području GSM (900 MHz) po frekvencijama odašiljanja antena bazne postaje u trenutku mjerenja. Izvor: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb

Trend – procjena najgorog mogućeg slučaja zračenja					
Redni broj mjerne grupe	METODA ŠIROKOPOJASNOG MJERENJA		dBm radnog kanala*	METODA SELEKTIVNOG MJERENJA	
	Izbor maksimalnih razina postojećih izmjerenih signala / dBm	Gustoća snage $S / W m^{-2}$		Izbor maksimalnih razina postojećih izmjerenih signala / dBm	Rezultirajuća gustoća snage S ekvivalentnog ravnog vala / $W m^{-2}$
1.	<-23,6	<0,0043	f_1	- 26,4	<0,0169
			f_2	- 28,14	
			f_3	- 27,23	
			f_4	- 23,65	
			f_5	- 25,97	
2.	<-7,1	<0,0364	f_6	- 6,05	<0,1699
			f_7	- 17,01	
			f_8	- 14,74	
			f_9	- 5,23	
			f_{10}	- 5,13	

* Radni kanali su bili na frekvencijama rada mjerenih baznih postaja operatera u RH (900 MHz)



Slika 9 Simulacija zračenja u bliskom polju mobilnog telefona. Shema apsorpcije energije izrađene iz mobilnog telefona - antene - u glavu korisnika.



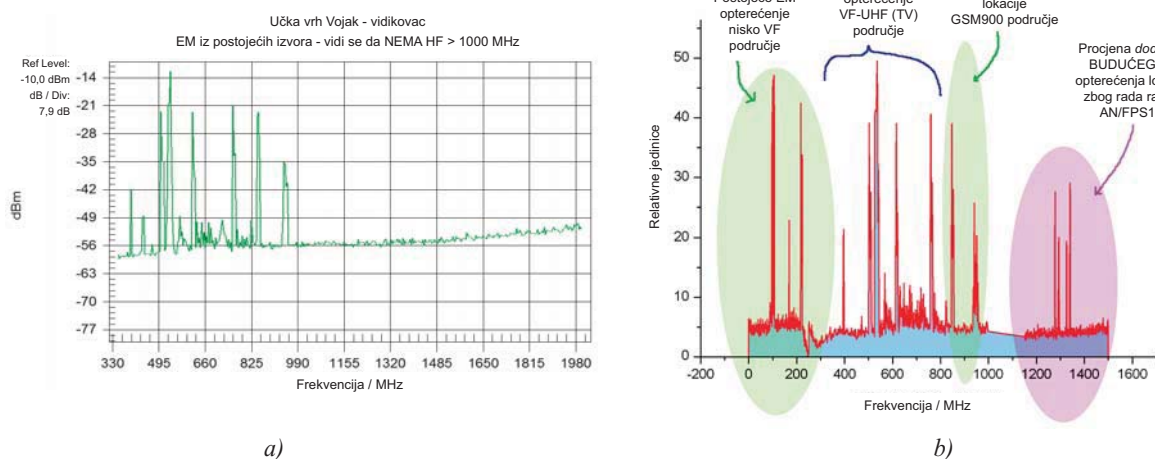
Slika 10 SAR – dubina prodiranja EM zračenja u tkivo glave.

Očigledno je da dubina od 2,5 cm doseže područje moždanog tkiva, što opravdava intenzivna istraživanja utjecaja tog neprirodnog EM zračenja na ljudski organizam i biotu u cjelini.

Najviša vrijednost električnog polja E prirodnoga pozadinskog EM termičkog zračenja u intervalu frekvencija od 900 MHz do 1800 MHz negdje je između $10 \mu V m^{-1}$ i $30 \mu V m^{-1}$ ($20 dB \mu V m^{-1}$ i $30 dB \mu V m^{-1}$). Mjerenje je zasnovano na mjerenju gustoće



Slika 11 Slikovni prikaz postojećih izvora neionizirajućeg zračenja na vrhu Vojak, Učka: a) prije postavljanja radarskog sustava 2007. i b) u rujnu 2010.



Slika 12 Prikaz ukupnog opterećenja vanjskim EM zračenjem zadane lokacije u prostoru (primjer tada postojećeg mjenog stanja ozračenosti (a) te zbrojeno s procijenjenim ubuduće dodatnim EM opterećenjem)



Slika 13 Mobiteli kao elektonički “opasni” otpad. Izvor: UNESCO (93).



Slika 14 Princip predostrožnosti pri uporabi mobilnih telefona. Zbog dubine prodiranja EM zračenja u tkivo glave (slika 10) svakako ga je nužno primjenjivati na djeci i adolescentima. Izvor: UNESCO (93).

snage po jedinici izračenog vala frekvencije od $20 \text{ W cm}^{-2} \text{ MHz}^{-1}$ do $200 \text{ W cm}^{-2} \text{ MHz}^{-1}$.

Magnetsko (daleko) polje H u slobodnome zračnom prostoru jednako je $A \text{ m}^{-1}$ (u točki prostora gdje mjerimo intenzitet zračenja u $V \text{ m}^{-1}$) i mora se množiti sa faktorom 1,26 da dobijemo magnetski tok B u μT .

Primjer 1: Uz televizijski odašiljač (daleko polje) za $E = 3 \text{ Vm}^{-1} \Rightarrow H = 0,008 \text{ A m}^{-1} \Rightarrow B = 10 \text{ nT}$.

Intenzitet zračenja izražavamo ili s pomoću jakosti električnog (magnetskog) polja u $V \text{ m}^{-1}$ (T -tesla), ili kao gustoću snage S u SI jedinicama W m^{-2} ovisno o tome jesu li nastupili uvjeti bliskog ili dalekog polja (daleko polje – uvijek mjerimo u W m^{-2}).

Blisko polje je relevantno za obradu zračenja antena maloga ručnog mobitela i obradu profesionalne izloženosti, dok je daleko polje relevantno za izlaganje stanovništva u okolini baznih stanica. Sve citirane vrijednosti gustoće snage u literaturi su najčešće usrednjene i one su u slučaju GSM/UMTS radnog ciklusa 1/8 najviših izmjerenih vrijednosti (1/8 zato što digitalni signal poštuje binarni kod, tj. 1 bajt = 8 bita).

Neionizirajuće zračenje – moderni stresor u okolišu

Primjer 2: Izloženost okoliša (i ljudi u njemu) EM zračenju iz bazne stanice mobilne telefonije čija je snaga zračenja pojedine antene 100 W (tablica 13).

Primjer 3: Procijenjeno stanje opterećenja EM zračenjem na lokaciji vrha Vojak na Učki 2005. godine prije nego što je na njemu izgrađeno radarsko postrojenje.

Studija utjecaja neionizirajućeg zračenja na okoliš u dometu budućega radarskog sustava na masivu Učka i oko njega - procjena rizika od mogućeg ozračivanja ljudi i okoliša (59) utvrdila je ovo...

“Ukupno buduće opterećenje EM neionizirajućim zračenjem vrha Vojak na Učki i cijele mikrolokacije bit će povećano za doprinos radarskog odašiljača-antene u prostor (slike 11 i 12) kada se radar konačno izgradi na toj lokaciji. Spektri EM zračenja koji će se tada moći izmjeriti (kada radar AN/FPS117 bude stvarno radio na vrhu Vojak) izgledat će kao spektri na slici 12. Uz postojeće izmjerene spektre EM zračenja (četiri glavne grupacije spektara) pojavit će se i četvrta grupacija – radar. Radar će sigurno odašiljati svoj radni signal u pojasu frekvencija koju danas koristi moderna mobilna telefonija, tj. od 890 MHz do 2180 MHz, a koji je posebno obrađen u Zakonu o zaštiti od neionizirajućih zračenja. Svi ti spektri mjeriteljski će se 'vidjeti' u području visokih frekvencija za koje

vrijedi uvjet provedbe zaštite od visokofrekventnih EM polja propisan Pravilnikom ...” (74).

Ukupno moguće buduće opterećenje EM zračenjem prostora vrha Vojak – Vidikovac, Učka (slika 12 b) radarskim EM zračenjem iz radarskog izvora EM zračenja koji bi bio postavljen na vrhu Vojak na Učki pribrojiti će se u prostoru oko vrha Vojak već postojećem opterećenju visokofrekventnim EM ozračenjem iz već postojećih izvora neionizirajućeg zračenja (slika 12 a i slika 11).

Na kraju valja napomenuti da su i iskorišteni, isluženi i zastarjeli osobni mobiteli kao elektronički i kemijski (baterije) otpad zasigurno novo opterećenje, potencijalni tehnološki opasni otpad u okolišu (slika 13). U RH trenutačno je u uporabi više od 6×10^6 malih mobilnih telefona (86, 87), što je više od po jedan na svakog stanovnika uključujući i malu djecu (slika 14). Ukupni broj baznih postaja u RH koje rabe sva tri operatera mobilne telefonije iznosi više od 2300 (i u porastu je). U tu količinu nisu uračunane bazne postaje u posjedu ostalih državnih službi koje rabe tehnološki istovjetne telekomunikacijske sustave za svoje normalno funkcioniranje (npr. Elektra za kontrolu i ukapčanje prijenosa električne energije dalekovodima, Zračna plovidba za navigaciju i komunikaciju sa zrakoplovima itd.) (88-91).

“Primajući daleko manje količine zračenja od baznih postaja GSM, 2G i 3G tehnologije pokretnih radiotelekomunikacija nego od vlastitih mobilnih telefona, zabrinutost pojedinca u javnosti svodi se na paradoks odabira. Pojedinaac može odlučiti hoće li imati i rabiti mobilni telefon, ali će pri tome imati i jako malo utjecaja na odabir lokacije i zračenje iz bazne postaje. Nadalje, ljudi sigurno imaju koristi od uporabe mobilnih telefona -mobitela, dok od baznih postaja ne vide direktnu korist i najčešće nemaju ni direktne koristi od baznih postaja u blizini svojih domova i posla. Često trpe i financijske posljedice zbog smanjenja realne vrijednosti svoje imovine (nagruđujuće antene u blizini zgrada ili imanja) i nikako nisu obaviješteni o mogućim rizicima što zdravstvenim što socijalnim, utjecaju na okoliš...” (31).

LITERATURA

1. International Commission on Radiological Protection (ICRP). ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann ICRP 1991;21:1-201.

2. European Commission (EC). Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), 1999/519/EC.
3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 1998;74:494-522.
4. Dederichs H, Pillath J, Heuel-Fabianek B, Hill P, Lennartz R. [Langzeitbeobachtung der Dosisbelastung der Bevölkerung in radioaktiv kontaminierten Gebieten Weißrusslands – Korma-Studie, in German]. *Schriften des Forschungszentrums Jülich Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment* 2009;31:1-107.
5. Kinley D. Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, The Chernobyl Forum: 2003-2005. Second revised version. Vienna: IAEA; 2006.
6. Klinički bolnički centar Zagreb (KBC Zagreb). O nama. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na http://www.kbc-zagreb.hr/o_nama.
7. Capra F. *The Web of Life: A New Scientific Understanding of Living Systems*. New York: Anchor Books; 1996.
8. Glasser H, urednik. *The Selected Works of Arne Naess*. Volumes 1-10. Heidelberg: Springer; 2005.
9. Valentin J, urednik. *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 103. *Ann ICRP* 2007;37:1-332.
10. International Commission on Radiological Protection (ICRP). *Assessing Dose of the Representative Person for the Purpose of Radiation Protection of the Public*. ICRP Publication 101. *Ann ICRP* 2006;36:1-104.
11. Prlić I, Surić Mihić M, Milković-Kraus S. Nonionizing radiation – a modern stressor to the environment. U: *Proceedings of 11th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity*; 15.-20. lipnja 2008, Bergen, Norway. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://radioecology.info/Bergen2008/proceedings/80.%20PRLIC%20P.pdf>.
12. European Commission (EC). *Report of High Level and Expert Group on European Low Dose Risk Research*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2009. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/hleg_report_-_january_2009.pdf.
13. Bogatov S. Radiation consequences of hypothetical accidents associated with transportation of spent nuclear fuel of nuclear submarines aboard floating technical base. U: *Proceedings of 11th International Conference on Radioecology and Environmental Radioactivity*; 15.-20. lipnja 2008, Bergen, Norway. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://radioecology.info/Bergen2008/proceedings/108.%20Bogatov.pdf>.
14. Prlić I, Hajdinjak M, Radalj Ž, Surić M. Mobilna radiotelefonija i životni okoliš - dubinska ekologija - tema za diskusiju. U: *Krajcar Bronić I, Miljanić S, Obelić B, urednici. Zbornik radova petoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem*; 9.-11. travnja 2003, Stubičke Toplice. Zagreb: HDZZ/CRPA; 2003. str. 380-7.
15. Raos N. *Opasnost od mobitela (što je istina, a što su priče)*. Zagreb: Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada; 2003.
16. Carlo G. *Electromagnetic, Radio Frequency and Microwave Toxins. A summary of the scientific research about the effects of Electro Pollution on living organisms of the Safe Wireless Initiative (SWI)*, 2007. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.rebprotocol.net/EMRFANDMWTOXINS.htm>.
17. Yasuko K, Kinyobi S. *Plants Growing Deformed: Are Electromagnetic Fields the Culprit?* Japan, 2004. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://learnaboutemfs.com/2007/12/20/plants-growing-deformed-are-electromagnetic-fields-the-culprit/>.
18. Goldstein BD. The precautionary principle and scientific research are not antithetical. *Environ Health Persp* 1990;107: A594-5.
19. Foster K, Vecchia P, Repacholi M. Science and the precautionary principle. *Science* 2000;288:979-81.
20. Commission of the European Communities (CEC). *Communication on the Precautionary Principle*. Brussels: CEC; 2000.
21. World Health Organisation (WHO). *Electromagnetic Field and Public Health: Cautinary Polices*. Geneva: WHO; 2000.
22. World Health Organisation (WHO). *Draft for Review 2003. Precautionary Framework for Public Health Protection* [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/Precaution_Draft_2May.pdf.
23. National Radiation Protection Board (NRPB) - National Board of Occupational Safety and Health, National Board of Housing, Building, and Planning, National Electrical Safety Board, National Board of Health and Welfare, Radiation Protection Institute. *Low-frequency electrical and magnetic fields: The precautionary principle for national authorities, guidance for decision-makers*. Stockholm: National Board of Occupational Safety and Health; 1996.
24. European Council (EC) - Council of the European Union. *Amended proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields and waves) SOC 583*. Brussels 2002.
25. International Atomic Energy Agency (IAEA). *Ethical considerations in protecting the environment from the effects of ionizing radiation. A report for discussion*. IAEA -TECDOC-1270. Vienna: IAEA; 2002.
26. Chambers G, urednik. *Directorate General for Research Directorate A – Ecological Footprinting, STOA Panel*. Luxembourg: European Parliament; 2001.
27. Institute of Science in Society (ISIS). *Mobile Phones and Vanishing Bees* [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.i-sis.org.uk/MobilePhonesVanishingBees.php>.
28. Leitgeb N. *Stellungnahme zu den biologischen Wirkungen des Mobilfunks*. Institut für Elektro und Biomedizinische Technik, Technischen Univesität Graz, 2001.
29. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and elektromagnetic fields (up to 300 GHz)*. *Health Phys* 1998;74:494-522.
30. CENELEC ENV 50166-2: *Human exposure to electromagnetic fields – High frequency (10 kHz to 300 GHz)*. Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization; 1995.
31. Independent Expert Group on Mobile Phones (IEGMP). *Mobile Phones and Health*. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm>.

32. Excell PS. Choosing threshold levels for electromagnetic hazards. *IEEE Technol Soc Magazine* 2002/2003;21:32-9.
33. National Radiation Protection Board (NRPB). Health effects from radiofrequency electromagnetic fields. Report of an independent advisory group on non-ionizing radiation. *Documents of NRPB* 2003;14:1-177.
34. Joklea K, Leszczynski D, Paile W, Salomaa S, Puranen L, Hyysalo P. Radiation safety of handheld mobile phones and base stations, STUK-A 161. Helsinki, 1999. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/stuk-a161.html>.
35. Federal Communications Commission (FCC). Information to Human Exposure to Radiofrequency Fields from cellular and PCS Radio Transmitters [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.fcc.gov/oet/rfsafety/cellpcs.html>.
36. Leisenkötter B. Analysis about the contended health risks due to digitally modulated mobile phone radiation [Eine Analyse zur häufig behaupteten Schädlichkeit digital modulierter Mobilfunkstrahlen, in German]. *Z Med Phys* 2002;12:198-203.
37. Institute for Medical Research and Occupational Health Zagreb 1948-2008. Report for 2004-2008, Zagreb, Croatia 2009. [pristup 2. rujna 2010.]. Dostupno na http://www.imi.hr/pdf/report_2004_2008.pdf.
38. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). UNSCEAR 2008 Report: Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York (NY): United Nations; 2010.
39. Kettunen A. Radiation dose and radiation risk to fetuses and newborns during X-ray examinations, STUK-A 204. Helsinki 2004. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.stuk.fi/julkaisut/stuk-a/stuk-a204.pdf>.
40. Kiljunen T. Patient doses in CT, dental cone beam CT and projection radiography in Finland, with emphasis on paediatric patients, STUK-A 232. Helsinki 2008. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/a_sarja/en_GB/stuk-a232/_files/81687574888972836/default/stuk-a232.pdf
41. Klinička bolnica "Sestre milosrdnice". Radiologija [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na http://www.kbsm.hr/klinike_i_zavodi/radiologija.htm.
42. Kiljunen T, Järvinen H, Savolainen S. Diagnostic reference levels for thorax X-ray examinations of paediatric patients. *Br J Radiol* 2007;80:452-9.
43. International Commission on Radiological Protection (ICRP). *Pregnancy and Medical Radiation*. ICRP Publication 84. Oxford: Pergamon Press; 2000.
44. Drexler G, Panzer W, Petoussi N, Zankl M. Effective dose – how effective for patients? *Radiat Environ Biophys* 1993;32:209-19.
45. European Commission (EC). 2000/473/Euratom: Commission Recommendation of June 2000 on the application of Article 36 of the Euratom Treaty concerning the monitoring of the levels of radioactivity in the environment for the purpose of assessing the exposure of the population as whole [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/00473_en.pdf.
46. Leggett RW, Eckerman KF. Dosimetric significance of the ICRP's updated guidance and models 1989-2003, and implications for U.S. Federal Guidance, technical report no. ORNL/TM-2003/207 [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.osti.gov/bridge>.
47. International Commission on Radiological Protection (ICRP). *Radiological Protection in Medicine*. ICRP Publication 105. Ann ICRP 2007;37:1-64.
48. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti. *Narodne novine* 28/2010.
49. Prlić I, Surić Mihić M, Vučić Z. Active electronic personal dosimeter in interventional radiology. *Radiat Prot Dosim* 2008;132:308-12.
50. Surić Mihić M, Meštrović T, Prlić I, Surić D. Importance of quality assurance program implementation in conventional diagnostic radiology. *Coll Antropol* 2008;32(Suppl 2):181-4.
51. Prlić I, Surić Mihić M, Milković-Kraus S, Meštrović T, Vrtar M. Characterization of workplaces in interventional radiology using active dosimeters ALARA OD. *Radiat Prot Dosim* 2007;125:379-82.
52. Prlić I, Radalj Ž, Vrtar M, Gladić J, Terček V, Brumen V, Svrtan Z, Cerovac H, Trošić I. Quality control in diagnostic radiology - patient dosimetry. *Med Biol Engin Comput* 1997;35(Suppl 2):11-5.
53. Prlić I, Radalj Ž, Milković-Kraus S, Cerovac Z. Zona nadzora oko rengen uređaja za kontrolu putničke prtljage i pošiljaka. U: Krajcar Bronić I, Miljanić S, Obelić B, urednici. *Zbornik radova petoga simpozija Hrvatskoga društva za zaštitu od zračenja s međunarodnim sudjelovanjem*; 9.-11. travnja 2003; Stubičke toplice. Zagreb: HDZZ/CRPA; 2003. str. 197-202.
54. Prlić I, Radalj Ž, Vrtar M, Cerovac Z, Gladić J, Cerovac H, Tonković V, Klanfar Z, Terček V. Quality control in interventional diagnostic radiology - external dosimetry - digital dosimeters. U: Obelić B, Ranogajec-Komor M, Miljanić S, Krajcar Bronić I, urednici. *Proceedings of the IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe - Radiation Protection and Health*; 20.-25. svibnja 2001. Dubrovnik. HDZZ/CRPA, 2002. na CD-u.
55. Šimunić D, urednik. COST 244: Biomedical Effects of Electromagnetic Fields: Proceedings of the 7th International Workshop on Delineation of Differences in the Mode of Energy Coupling and Mechanism of Interaction at ELF and RF and Dosimetry, and Meeting on Epidemiological Studies - Radiofrequency Fields (CEC-XIII-WG01/96); Wrocław, Poljska 1996. Wrocław: ICNIRP; 1997.
56. Šimunić D, urednik. COST 244: Biomedical Effects of Electromagnetic Fields: Proceedings of the Round table Comparison of national and EU Standards – State of the Art- Implementation of Measuring Methods, (CEC-XIII-WG07/96); Zagreb 1996. Zagreb: FER Zagreb; 1996.
57. Leitgeb N, editor. COST 244bis, Proceedings from COST 244bis International Workshop on Electromagnetic Fields and Non-Specific Health Symptoms; 19.-20. rujna 1998. Grac, Austrija. Grac: ICNIRP; 1998.
58. Prlić I, Surić Mihić M, Meštrović T, Macan J. Procjena potencijalnih rizika od mogućeg ozračivanja okoliša i pućanstva neionizirajućim zračenjem s obzirom na planirano povećanje broja antenskih stupova pokretne telefonije na području Primorsko - goranske županije. *Istraživački izvještaj IMI-06-1/PGŽ-677/01-2009*; Zagreb 2009.
59. Prlić I. Studija utjecaja neionizirajućeg zračenja na okoliš oko i u dometu budućeg radarskog sustava na masivu Učka - procjena rizika od mogućeg ozračivanja ljudi i okoliša. *Istraživački izvještaj IMI-06-1/RAD-677/01-2005*; Zagreb 2005.

60. Prlić I. Procjena rizika od mogućeg elektromagnetskog ozračivanja stanovništva grada obzirom na očekivano tehnološko povećanje broja baznih postaja GSM pokretne telefonije na teritoriju Grada Zagreba - procjena utjecaja na zdravlje. Istraživački izvještaj IMI-ZG-GSM-1; Zagreb 2003.
61. Prlić I, Radalj Ž. Vještačenje - mjerenja na okolnost utvrđena razine elektromagnetskog zračenja, buke i vibracija privremene transformatorske stanice TS 35/20 (10) kV - Dobri, Studija, Split, 2004.
62. Prlić I, Surić Mihić M. Occupational exposure to EM radiation in the range from 800 to 2500 MHz – What are we really talking about? U: Proceedings of the 12th International Congress of the IRPA - Strengthening Radiation Protection Worldwide; 19.-24. listopada 2008. Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires: IRPA; 2008. str. 330.
63. Trošić I, Mataušić-Pišl M, Brumen V, Radalj Ž, Prlić I, Cerovac H. The relevance of animal bioassays in assessing human health hazards related to occupational and ambient exposures. U: Radačić M, Bašić I, Eljuga D, urednici. Pokusni modeli u biomedicini. Zagreb: Medicinska naklada; 2000. str. 245-9.
64. Prlić I. Okoliš i zdravlje - Neonizirajuća zračenja baznih postaja GSM pokretne telefonije na frekvencijama 900 MHz. Istraživački izvještaj IMI-GSM-01-2002; Zagreb 2002.
65. Broj liječnika i medicinskih sestara u Europi u odnosu na bruto nacionalni proizvod (BNP) i zdravstvenu potrošnju na početku trećeg tisućljeća - 2. dio. HČJZ 2009;5(18) [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.hcjz.hr/clanak.php?id=14018>.
66. DeKay ML, Small MJ, Fischbeck PS, Farrow RS, Cullen A, Kadane JB, Lave L, Morgan MG, Takemural K. Risk-based decision analysis in support of precautionary policies. *J Risk Res* 2002;5:391-417.
67. Kheifets LI, Hester GL, Banerjee GL. The precautionary principle and EMF: implementation and evaluation, *J Risk Res* 2001;4:113-25.
68. Slovic P. Perception of risk. *Science* 1987;236:280-5.
69. Wilson R. Precautionary principles and risk analysis. *IEEE Technol Soc Magazine* 2002/2003;21(4):40-4.
70. Californian Environmental Protection Agency (CEPA). A Guide to Health Risk Assessment. Sacramento (CA): CEPA; 2000. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://oehha.ca.gov/pdf/HRSguide2001.pdf>.
71. Greenbaum B. Editor's note: Reviews of the effects of RF fields on various aspects of human health. *Bioelectromagnetic* 2003;Supplement 6:S1-S2.
72. Rojansky V. *Electromagnetic Fields and Waves*. NEW York: Dover Publications Inc.; 1979.
73. Valberg PA, van Deventer E, Repacholi MH. Workgroup Report: Base stations and wireless networks - radiofrequency exposed and health consequences. *Environ Health Perspect* 2007;115:416-24.
74. Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. Narodne novine 91/2010.
75. Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja. Narodne novine 204/2003, 41/2008.
76. Pravilnik o najvišim dopuštenim snagama zračenja radijskih postaja u gradovima i naseljima gradskog obilježja. Narodne novine 111/2001.
77. Durney CH, Massoudi H, Iskander MF. *Radiofrequency Radiation Dosimetry Handbook*. Final Report for Period 1 July 1984 - 31 December 1985. 4. izd. 1986. [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.slavery.org.uk/RadiofrequencyRadiationDosimetryHandbook.pdf>.
78. Goldsmith JR. Epidemiological evidence of radiofrequency radiation (microwave) effects on health in military, broadcasting, and occupational studies. *Int J Occup Environ Health* 1995;1:47-57.
79. Falzone N, Huysen C, Fourie F, Toivo T, Leszczynski D, Franken D. *In vitro* effect of pulsed 900 MHz GSM radiation on mitochondrial membrane potential and motility of human spermatozoa. *Bioelectromagnetics* 2008;29:268-76.
80. Trošić I, Mataušić-Pišl M, Radalj Ž, Prlić I. Animal study on electromagnetic field biological potency. *Arch Ind Hyg Toxicol* 1999;50:5-11.
81. Bobić J, Goldoni J, Pavičević L. Psychodiagnostic series CRD and EEG findings during five years follow up study on radar technicians. U: Second Congress of the European Bioelectromagnetics Association; Bled, Slovenija 1993. *Transactions* str. 19-20.
82. Širmana JD. Teorijske osnove radiolociranja. Moskva: "Sovjetski radio"; 1970.
83. Goebel G. Introduction to Radar Technology [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.faqs.org/docs/air/ttradar.html>.
84. Prlić I, Hajdinjak M. Mobilna telefonija - kako primjereno izmjeriti i interpretirati gustoću snage. U: Kumerički K, urednik. Knjiga sažetaka 4. znanstvenog sastanka Hrvatskog fizikalnog društva; Zagreb 2003. Zagreb: Hrvatsko fizikalno društvo; 2003. str. 64.
85. Prlić I, Surić Mihić M, Meštrović T. Nedosljednosti pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja. *Sigurnost* 2008;50:167-72.
86. Udruga pokretnih komunikacija Hrvatske (UPKH) [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.upkh.hr/>
87. Peripetuum Mobile [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.mobile.hr>.
88. Zakon o elektroničkim komunikacijama. Narodne novine 73/2008.
89. George C. Electromagnetic, Radio Frequency and Microwave Toxins. A summary of the scientific research about the effects of Electro Pollution on living organisms. The principal mission of the Safe Wireless Initiative (SWI) 2007.
90. Mobile Toxic Waste: Recent Findings on the Toxicity of End-of-Life Cell Phones, A Report by Basel Action Network (BAN), April 2004 [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na http://www.eartoeconomics.org/FileLibrary/file/Reports/Ban/BAN_Mobile_Toxic_Waste.pdf.
91. Pravilnik o procjeni utjecaja na okoliš. Narodne novine 59/2000.
92. NASA [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.nasa.gov>.
93. United National Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) [pristup 1. rujna 2010.]. Dostupno na <http://www.unesco.org/new/en/unesco/>.

Summary

ROUTES AND SOURCES OF EXPOSURE TO ELECTROMAGNETIC RADIATION IN CROATIA

The precautionary principle is explicitly laid down in the EU Treaty and is one of the starting points of the EU environmental policy. The concern over human health has been raised by extended use of mobile and wireless telecommunication technologies, regardless of their obvious economic and societal benefits for the modern society. We are also experiencing a growth in new electromagnetic X-ray technologies for medical diagnostics. Natural electromagnetic radiation from space does not reach the Earth's surface, except at a very few wavelengths, but non-ionising background radiation covers the globe in a much more complex space matrix than background electromagnetic ionising radiation. This article looks into patient exposure to low-dose, high-frequency, non-ionising electromagnetic X-ray radiation from digital diagnostics machines. At present, there are not enough data to assess public health risk.

As man-made ionising and non-ionising radiation sources are expanding enormously, we need to take a holistic as well as a more specific, deep ecology approach to protect Croatian population.

KEY WORDS: *dose assessment, DRL, effective dose, electromagnetic radiation, exposure pathways, GMS, medical diagnostics, mobile phones, radar, radiation protection, SAR, UMTS, X-ray sources*

CORRESPONDING AUTHOR:

Ivica Prlić, dipl. ing. fiz.
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada
Ksaverska c. 2, 10000 Zagreb
E-mail: iprlic@imi.hr