

Pregledni rad

## ZDRAVSTVENI UČINCI RADIOFREKVENTNOG ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

Jelena MACAN i Rajka TURK

*Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada, Zagreb, Hrvatska*

Primljeno u svibnju 2010.

Prihvaćeno u rujnu 2010.

Svjedoci smo sve veće uporabe uređaja u čijoj je osnovi emitiranje, prijenos i primanje neionizirajućih elektromagnetskih valova tzv. radiofrekventnog (RF) područja frekvencije 300 kHz do 300 GHz. Cilj ovog rada je prikazati najnovije stavove međunarodne znanstvene i stručne javnosti o zdravstvenim učincima RF zračenja, temeljene na recentnoj publikaciji Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). Jedini dokazani učinak RF zračenja na ljudski organizam je termički, tj. učinak zagrijavanja tkiva bliže ili dalje od površine kože koje može dovesti do razvoja zdravstvenih poremećaja ponajprije na koži (opekline), oku (opekline, razvoj katarakte) i reproduktivnim organima (oštećenja testisa, razvoj neplodnosti, nepovoljni učinci na fetus u trudnoći). Termički učinak RF zračenja ovisan je o dozi te se pri vrijednosti specifične apsorbirane snage uprosječene na cijelo tijelo ispod  $4 \text{ W kg}^{-1}$  ovi učinci ne očekuju. Temeljna ograničenja izloženosti za stanovništvo, unutar kojih se ne očekuju štetni zdravstveni učinci u ljudi, izračunana su na temelju ove vrijednosti uz uključene faktora sigurnosti 10 za profesionalno izloženu te faktora sigurnosti 50 za opću populaciju. Potencijalni zdravstveni učinci netermičkih razina RF zračenja intenzivno se istražuju i za sada nema konzistentnih dokaza o uzročnoj povezanosti ovih razina RF zračenja i poremećaja zdravlja. Međutim, imajući u vidu načelo opreza nužno zbog sve veće izloženosti stanovništva RF zračenju, učinaka dugogodišnje izloženosti te nedovršenih znanstvenih studija, osobito u pogledu učinaka kod djece, potrebno je praćenje izloženosti i zdravstvenog stanja stanovništva. Zajedno s rezultatima novih istraživanja, to će po potrebi rezultirati i izmjenom temeljnih ograničenja izloženosti ovoj vrsti zračenja.

**KLJUČNE RIJEČI:** mobilna telefonija, netermički učinci, termički učinci, visokofrekventno neionizirajuće zračenje

Zadnjih desetljeća svjedoci smo i sudionici sve većeg uporabe uređaja u čijoj je osnovi emitiranje, prijenos i primanje neionizirajućih elektromagnetskih valova tzv. radiofrekventnog (RF) područja frekvencije 300 kHz do 300 GHz. Uređaji koji su sveprisutni i značajno pridonose veličini ukupne izloženosti RF zračenju u našem svakodnevnom okolišu ponajprije su radijski i televizijski komunikacijski sustavi. Satelitski komunikacijski sustavi, kao i sustavi mobilne telefonije također su sveprisutni u našem neposrednom okolišu, ali je njihov udio u ukupnoj izloženosti RF zračenju ipak značajno manji. Međutim, uporaba modernih komunikacijskih izvora sve je češća uz stalne pro-

mjene korištenih frekvencija i načina primjene. Prvi mobilni telefoni bili su analogni i koristili frekvencije 450 MHz i 900 MHz. U ranim 1990-ima dominiraju digitalni sustavi koji se koriste modulirajućim tehnikama i rade na višim frekvencijama (1800 MHz do 1900 MHz). U današnje vrijeme uvode se sustavi treće generacije (3G) koji rade na frekvencijama 1900 MHz do 2200 MHz (1, 2).

Posebnu kategoriju izloženosti RF zračenju čine profesionalno izloženi radnici u brojnim industrijskim procesima, osobito pri primjeni industrijskih indukcijskih grijača i dielektričnih grijača (na primjer za laminaciju drva, lijepljenje plastike, sušenje ljepila).

Relativno visoke razine izloženosti RF zračenju javljaju se i u radnika u transportnoj i komunikacijskoj industriji (na primjer na radiju i televiziji) te u vojsci, ali samo u slučajevima kada osobe rade u neposrednoj blizini antena i odašiljača RF valova ili radarskih sustava. Budući da se svojstvo zagrijavanja RF valovima koristi i u medicinskoj dijagnostici i terapiji, izloženost ovoj vrsti zračenja javlja se pri upotrebi medicinskih dijatermijskih aparata za fizikalnu terapiju boli i upalnih stanja, aparata za hipertermijsku antitumorsku terapiju, elektrokirurških aparata za rezanje tkiva te dijagnostičkih aparata kao što je aparat za medicinski magnetski prikaz (engl. *medical resonance imaging*, krat. MRI) (1, 3).

Svakodnevnom uporabom navedenih te dodatnih komunikacijskih i drugih uređaja u privatnim i javnim unutarnjim prostorima (bežični telefoni, internet, daljinski upravljači, fluorescentna rasvjeta, mikrovalne pećnice i drugo) postajemo objekti sve veće izloženosti ovoj vrsti elektromagnetskoga neionizirajućeg zračenja i potencijalnih zdravstvenih učinaka ovakve izloženosti. Naime, biološki procesi u ljudskom organizmu uključuju mnoge interakcije električnih naboja na ionima, molekulama, proteinima i membranama te se može pretpostaviti da izloženost elektromagnetskom polju ima potencijal moduliranja staničnih funkcija (4).

Prepoznavanje sveprisutne izloženosti ovom, za ljudsko zdravlje potencijalno štetnom okolišnom čimbeniku dovelo je do provođenja brojnih eksperimentalnih i epidemioloških znanstvenih studija s ciljem utvrđivanja vrste zdravstvenih učinaka izazvanih izloženosti RF neionizirajućem zračenju te razina izloženosti rizičnih za njihov nastanak. Cilj je ovog rada prikazati najnovije stavove međunarodne znanstvene i stručne javnosti o zdravstvenim učincima RF zračenja, temeljene na recentnoj publikaciji Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, ICNIRP) (1).

## TERMIČKI UČINCI RF ZRAČENJA

Ako sažmemo dosadašnja znanstveno utemeljena saznanja, onda je jedini dokazani učinak RF zračenja na ljudski organizam onaj termički, tj. učinak nespecifičnog zagrijavanja tkiva bliže ili dalje od površine kože u ovisnosti o fizikalnim karakteristikama zračenja. Prema tome, akutni učinci izloženosti RF zračenju u ljudi svode se na termoregulatorne odgovore kardi-

ovaskularnog sustava na grijanje, pojačano gubljenje topline kožom putem povećanog protoka krvi u koži te pojačano znojenje. Pri tome treba imati na umu da isti termoregulacijski mehanizmi postoje i u djece i u odraslih osoba, ali su djeca značajno osjetljivija na dehidraciju, pa tako i na izloženost RF zračenju s termičkim učinkom. Iako utjecaj zagrijavanja tijela RF zračenjem u smislu pojave toplinskog stresa nije do sada istraživano u ljudi, vjerojatno se u takvim slučajevima može očekivati učinak koji je opisan pri toplinskom stresu nastalom zagrijavanjem tijela iz drugih izvora (fizička aktivnost, topli okoliš) (5, 6). Rezultati studija na dobrovoljcima sugeriraju da toplinski stres cijelog tijela može utjecati na kognitivne funkcije izazivajući češće neprikladno i nesigurno ponašanje te slabiju izvedbu zadanih zadataka (7), ali učinak RF zračenja s termičkim djelovanjem na kognitivne funkcije u ljudi do sada nije ispitivan. Laboratorijske životinje pokazuju slabiju izvedbu naučenih obrazaca ponašanja kada im RF zračenje povisi tjelesnu temperaturu za 1 °C ili više (1, 8). Takvo zagrijavanje tijela izaziva i značajno povišene razine kortikosterona i kortizola u plazmi glodavaca i primata te prolazne promjene imunskih i hematoloških parametara sukladne akutnom nespecifičnom odgovoru na stresore (1, 9).

Zagrijavanje tkiva uzrokovano djelovanjem RF zračenja može dovesti do razvoja zdravstvenih poremećaja ponajprije na koži (opekline), oku (opekline, razvoj katarakte) i reproduktivnim organima (oštećenja testisa, ometanje procesa proizvodnje, aktivnosti i sazrijevanja spolnih stanica u oba spola, tj. razvoj neplodnosti, promjene razina spolnih hormona, nepovoljni učinci na fetus u trudnoći u obliku fetalnih malformacija i anomalija povezanih s ranim ili kasnim pobačajima). Termički učinak RF zračenja ovisan je o dozi te se pri poljima gustoće snage (S) ispod 10 mW cm<sup>-2</sup>, tj. pri specifičnoj apsorbiranoj snazi (engl. *specific absorption rate*, krat. SAR) uprosječnoj na cijelo tijelo ispod 4 W kg<sup>-1</sup>, ovi učinci ne očekuju. Pri izračunu temeljnih ograničenja izloženosti za profesionalno izložene osobe uključen je faktor sigurnosti 10 zbog mogućih učinaka dugotrajne izloženosti te je razina SAR-a uprosječenog na cijelo tijelo od 0,4 W kg<sup>-1</sup> općeprihvaćena kao temeljno ograničenje izloženosti za profesionalno izloženu populaciju. Pri izračunu temeljnih ograničenja izloženosti za opću populaciju uključuje se dodatni faktor sigurnosti 5. ICNIRP je 1998. g. predložio temeljna ograničenja izloženosti na razini polja gustoće snage 4,3 W m<sup>-2</sup> do 10 W m<sup>-2</sup>, a ova temeljna ograničenja prihvatilo je i

uklopilo u svoju legislativu više od 30 zemalja svijeta, uključujući Republiku Hrvatsku (2, 3, 6).

Važeći hrvatski propisi u području zaštite stanovništva od neionizirajućeg zračenja usklađeni su sa spomenutim međunarodnim prijedlozima te propisuju temeljna ograničenja izloženosti neionizirajućem zračenju profesionalno izložene populacije na polja gustoće snage  $50 \text{ W m}^{-2}$  te SAR uprosječen na cijelo tijelo od  $0,4 \text{ W kg}^{-1}$ . Temeljna ograničenja izloženosti opće populacije u tzv. područjima povećane osjetljivosti (područja stambenih zona u kojima se osobe mogu zadržavati do 24 sata na dan, škole, ustanove predškolskog odgoja, rodilišta, bolnice, smještajni turistički objekti, dječja igrališta te površine neizgrađenih parcela namijenjenih za iste svrhe) propisana su na polja gustoće snage  $10 \text{ W m}^{-2}$  te SAR uprosječen na cijelo tijelo od  $0,08 \text{ W kg}^{-1}$ . Zaštita od potvrđenih zdravstvenih štetnih učinaka neionizirajućeg zračenja zahtijeva da ova temeljna ograničenja ne budu prekoračena, tj. samo pri izloženosti unutar temeljnih ograničenja ne očekuju se štetni učinci na zdravlje ljudi. Pri izračunu navedenih temeljnih ograničenja primijenjeno je načelo opreza i uključeni su čimbenici sigurnosti. Granice sigurnosti su za neprofesionalnu izloženost smanjene 50 puta u odnosu na razine zračenja pri kojima nisu utvrđeni zdravstveni učinci, a zbog svakodnevnih i dugotrajnih (cijeloživotnih) izloženosti ovoj štetnosti te mogućih znanstveno još nepotvrđenih štetnih zdravstvenih učinaka neionizirajućeg zračenja (10-12).

Vezano uz očekivane zdravstvene učinke RF zračenja potrebno je napomenuti i moguće interferiranje s elektroničkim uređajima ugrađenim u tijelo (npr. srčanim "pacemakerom") i posljedično ometanje njihova rada, kao i djelovanje na druge feromagnetske implantate.

## NETERMIČKI UČINCI RF ZRAČENJA

Dio znanstvene javnosti već se godinama intenzivno bavi proučavanjem mogućih netermičkih zdravstvenih učinaka izloženosti niskim razinama RF zračenja vezanih najviše uz upotrebu mobilnih telefona. Eksperimentalna istraživanja provode se na pokusnim životinjama i dobrovoljcima i najčešće imitiraju upotrebu mobilnih telefona što uključuje samo lokaliziranu izloženost RF zračenju dijela glave. Epidemiološka istraživanja provode se na skupinama profesionalno ili neprofesionalno izloženih ljudi i do sada su vrlo rijetko uključivala djecu.

## Kancerogenost

Epidemiološka istraživanja usmjerena su ponajprije na povezanost niskih razina RF zračenja s pojavom tumora glave i vrata, iako je istraživana povezanost i s tumorima testisa, dojke, pluća, očnim melanomom te leukemijama i limfomima. Do sada, epidemiološke studije ne daju dovoljno dokaza koji bi konzistentno govorili u prilog kancerogenom potencijalu ove vrste zračenja s obzirom na bilo koji spomenuti tumor (1, 13).

Pregled brojnih studija koje pokušavaju povezati izloženost mobilnoj telefoniji s pojavom tumora glave pokazuje proturječne rezultate s većinom studija koje ne nalaze takvu povezanost te manjim brojem studija koje nalaze blago povećan rizik od pojedinih tumora glave. Sumiranjem rezultata dosadašnjih originalnih studija ne nalazi se značajno povišen rizik od pojave glioma, meningeoma, akustičkog neurinoma te tumora žlijezda slinovnica tijekom 10-godišnje uporabe mobitela. Dakle, dosadašnje studije ne daju podatke dovoljne za potvrdu kauzalne povezanosti mobilne telefonije s pojavom brzorastućih tumora mozga kao što je maligni gliom u odraslih i drugi tumori s kratkim indukcijskim periodom. Za spororastuće tumore kao što su meningeomi ili akustički neurinomi učinci RF zračenja se, bez obzira na dosadašnje većinom negativne rezultate, još ne mogu adekvatno procjenjivati zbog prekratkog perioda izloženosti koji je analiziran ili za sada može biti analiziran. Pregled dosadašnjih istraživanja ne daje podataka o kancerogenosti RF zračenja u djece i adolescenata (1).

Eksperimentalne studije na životinjama vezane uz genotoksičnost i kancerogenost niskih razina RF zračenja konzistentne su i pokazuju da takvi učinci nisu vjerojatni u glodavaca pri razinama SAR-a do  $4 \text{ W kg}^{-1}$ . *In vivo* i *in vitro* studije genotoksičnosti u većini slučajeva ne upućuju na učinke. Pri raspravama o mogućem mehanizmu oštećenja DNA djelovanjem RF zračenja najčešće se spominje stvaranje slobodnih radikala (14). Studije nekih negenotoksičnih učinaka kao što su promjene u staničnom signaliziranju, ekspresiji gena i proteina pokazuju proturječne rezultate. Novije studije utvrdile su učinak RF zračenja na ekspresiju stresnih proteina te određene promjene u ekspresiji većeg broja gena i proteina bilo da se radi o povećanoj ili smanjenoj ekspresiji gena ili promjenama u ekspresiji i fosforilaciji proteina. Međutim, razmjernost ovih promjena vrlo je malen i vjerojatno nije povezan s funkcionalnim poremećajima, a navedeni učinci mogu biti vezani i uz učinak zagrijavanja tkiva.

Rezultati studija o utjecaju RF zračenja na staničnu proliferaciju i diferencijaciju, apoptozu i staničnu transformaciju većinom su negativni (1, 15).

## NEUROLOŠKI I BIHEVIORALNI POREMEĆAJI

Drugi dio istraživanja usmjeren je prema neurološkim poremećajima i poremećajima ponašanja kao što su poremećaji spavanja, umor, tremor, vrtoglavica, poremećaji koncentracije, svrbež kože te depresija. Široki spektar navedenih i sličnih subjektivnih simptoma povezuje se s različitim izvorima RF zračenja u životnom okolišu (na primjer, stanovanje u blizini baznih stanica za mobilnu telefoniju) ili na radnome mjestu, međutim, rezultati dvostruko slijepih studija za sada govore da tako iskazani simptomi nisu uzročno povezani s izloženosti elektromagnetskom zračenju (1, 16). Određene osobe smatraju se posebno osjetljivim na izloženost RF zračenju te je uveden zasada klinički nedovoljno definiran pojam „elektromagnetske preosjetljivosti” kao novoga zdravstvenog poremećaja povezanog s izloženošću elektromagnetskom zračenju (17). Ovaj poremećaj bazira se isključivo na postojanju subjektivnih simptoma i kognitivnih poremećaja vezanih uz izloženost RF zračenju i usporediv je s drugim sličnim poremećajima vezanim uz izloženost niskim razinama bioloških ili kemijskih štetnosti u okolišu kao što su sindrom bolesnih zgrada ili višestruka kemijska osjetljivost. Studije ovih stanja u pravilu ne nalaze povezanost subjektivnih simptoma s funkcionalnim ili organskim poremećajem na sluznicama i organima, a sugerira se povezanost iskazanih simptoma s individualnim psihološkim parametrima kao što je, na primjer, stupanj neurotizma (18).

Nekoliko studija na odraslim dobrovoljcima govori da izloženost GSM-tipu signala ima učinak na pojačanu aktivnost alfa i beta-valova u spontanom EEG-u (19, 20). Postoje sugestije o promjenama u regionalnome cerebralnom krvnom optoku koje koreliraju s promjenama u aktivnosti neurona, ali ti podaci nisu konzistentni. Nije jasno jesu li te male promjene moždane aktivnosti značajne funkcionalno, a nisu nađeni ni poremećaji kognitivne funkcije u istraživanjima na dobrovoljcima, uključujući i djecu. Nekoliko studija na životinjama sugerira promjene kolinergičke aktivnosti u mozgu nakon relativno intenzivne izloženosti RF zračenju koje se, međutim, nisu očitovale jasnim funkcionalnim posljedicama, kao što je poremećena izvedba naučenih zadataka (1, 21, 22).

## OSTALI ISTRAŽIVANI NETERMIČKI UČINCI

Nema jasnih dokaza da RF zračenje djeluje na frekvenciju srca ili krvni tlak u mirovanju u ljudi, niti da utječe na razinu serumskog melatonina ili pituitarnih hormona. Neke studije zabilježile su male i nekonzistentne promjene varijabilnosti srčanog ritma. Ni u životinja nije zabilježen efekt pulsnog RF zračenja karakterističnog za mobilne telefone na serumske i druge tjelesne razine melatonina. Kratkotrajna izloženost signalu mobilnih telefona nema negativnih utjecaja na sluh i osjet ravnoteže, niti kod ljudi, niti kod laboratorijskih životinja, iako se neke razine pulsog zračenja slušno percipiraju (radar).

Iako RF zračenje s termalnim učinkom može izazvati poremećaj plodnosti u muškaraca i žena te uzrokovati povećan broj pobačaja i fetalnih malformacija i anomalija, takvi učinci nisu potvrđeni na razinama RF zračenja koje ne povisuju temperaturu tijela za 1 °C i više. Za sada nisu utvrđeni učinci prenatalne ekspozicije niskim razinama RF zračenja na postnatalni razvoj i ponašanje (1).

## NEDOSTACI DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Rezultati dosadašnjih studija, osobito epidemioloških, ne daju konzistentnih dokaza o uzročnoj povezanosti netermičkih razina RF zračenja i poremećaja zdravlja. S druge strane, studije imaju značajnih nedostataka koji dovode u pitanje njihov negativan rezultat.

Osnovni problem epidemioloških studija je procjena izloženosti RF zračenju. Komunikacijski izvori bazirani na RF zračenju sve su češći zadnjih godina i postoje stalne promjene u frekvencijama i načinima primjene. Unatoč brzu porastu novih tehnologija, malo je toga poznato o izloženosti populacije RF zračenju iz tih novih izvora, a još manje se zna o razlikama u razinama izloženosti iz različitih izvora. Daljnja provedba epidemioloških studija nema svrhe ako nije utvrđena izloženost unutar analiziranog područja, tj. ako nisu dostupne izmjerene razine RF zračenja. Optimalnim se smatra korištenje mjera individualne kumulativne izloženosti, kao što je SAR, uprosječen na cijelo tijelo te specifičan za anatomska mjesta od interesa. Prema tome, za buduća istraživanja treba razviti metode koje će dati podatke o izvorima i razinama izloženosti te lokaciji ljudi u odnosu na izvore zračenja.

Drugi je problem u, za sada, neprepoznatim i nedefiniranim netermalnim biološkim učincima RF zračenja što otežava dizajniranje epidemioloških studija, tj. nije jasno koji bi aspekt izloženosti i mogući učinak trebalo uključiti u hipotezu. Zbog toga se hipoteze pri epidemiološkim istraživanjima postavljaju uglavnom na temelju općenitih sumnji da bi RF zračenje moglo izazivati nepoznate i neprepoznate učinke, što umanjuje vjerojatnost uočavanja povezanosti izloženosti i zdravstvenog učinka.

Važno pitanje pri razmatranju valjanosti studija o mobilnoj telefoniji jest da su analizirana razdoblja izloženosti još uvijek prekratka, tj. tek u nekoliko studija analizirano je razdoblje izloženosti od 10 godina. Moguće je da je za pojavu zdravstvenih učinaka potreban duži period izloženosti, pa učinci iz tog razloga nisu utvrđeni u provedenim studijama. Treba napomenuti da postoje valjano dizajnirane i provedene studije na profesionalno izloženim kohortama koje su uključivale duže periode izloženosti (više od 10 godina) (1, 23). Ni ove studije ne potvrđuju povezanost izloženosti RF zračenju s poremećajima zdravlja, ali imaju već naveden problem neadekvatne procjene razine izloženosti, što otežava interpretaciju negativnih rezultata. Imajući u vidu porast uporabe mobilne telefonije uz uporabu novih tehnologija, potrebno je istraživanja planirati tako da obuhvate što duži period izloženosti i poremećaje zdravlja koji nisu uključeni u dosadašnja istraživanja.

Još jedan nedostatak dosadašnjih epidemioloških istraživanja jest što studije rijetko uključuju djecu. Djeca se naveliko koriste mobilnim telefonima, a moguće je da su posebno osjetljiva na štetne učinke koje će akumulirati tijekom života (1).

## ZAKLJUČCI

Jedini dokazani učinak RF zračenja na ljudski organizam je termički, tj. učinak nespecifičnog zagrijavanja tkiva bliže ili dalje od površine kože ovisno o fizikalnim karakteristikama zračenja. Zagrijavanje tkiva uzrokovano djelovanjem RF zračenja može dovesti do razvoja zdravstvenih poremećaja ponajprije na koži, oku i reproduktivnim organima. Termički učinak RF zračenja ovisan je o dozi te se pri vrijednosti SAR-a uprosječenog na cijelo tijelo ispod  $4 \text{ W kg}^{-1}$  ovi učinci ne očekuju. Temeljna ograničenja izloženosti za stanovništvo izračunana su na temelju ove vrijednosti uz uključenje faktora sigurnosti 10 za profesionalno izloženu populaciju te faktora sigurnosti 50 za opću

populaciju. Tako su važećim hrvatskim propisima u području zaštite stanovništva od neionizirajućeg zračenja propisana temeljna ograničenja izloženosti SAR-u uprosječenom na cijelo tijelo od  $0,4 \text{ W kg}^{-1}$  za profesionalno izložene osobe, tj. od  $0,08 \text{ W kg}^{-1}$  za opću populaciju. Zaštita od potvrđenih zdravstvenih štetnih učinaka neionizirajućeg zračenja zahtijeva da ova temeljna ograničenja ne budu prekoračena, tj. samo pri izloženosti unutar temeljnih ograničenja ne očekuju se štetni učinci na zdravlje ljudi. Potencijalni zdravstveni učinci netermičkih razina RF zračenja intenzivno se istražuju i za sada nema konzistentnih dokaza o kauzalnoj povezanosti ovih razina RF zračenja i poremećaja zdravlja. Međutim, imajući u vidu načelo opreza u sadašnjem trenutku sve veće izloženosti stanovništva neionizirajućem elektromagnetnom zračenju iz brojnih privatnih i javnih izvora te neadekvatno izvedenih i nedovršenih znanstvenih studija, osobito u pogledu učinaka kod djece te učinaka višegodišnje izloženosti stanovništva, nužno je budno praćenje izloženosti i zdravstvenog stanja stanovništva. Zajedno s rezultatima novih istraživanja, to će po potrebi rezultirati i izmjenom temeljnih ograničenja izloženosti ovoj vrsti zračenja.

Do tada, svaku izloženost RF zračenju unutar temeljnih ograničenja propisanih gore navedenim važećim propisima Republike Hrvatske (RH) smatramo izloženošću bez štetnih zdravstvenih učinaka za ukupno stanovništvo RH.

## LITERATURA

1. Vecchia P, Matthes R, Ziegelberger G, Lin J, Saunders R, Swerdlow A, urednici. Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz-300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection 2009 [pristup 16. svibnja 2010.]. Dostupno na <http://www.icnirp.de/documents/RFReview.pdf>.
2. Valberg PA, van Deventer E, Repacholi MH. Workgroup Report: Base stations and wireless networks - radiofrequency exposure and health consequences. *Environ Health Perspect* 2007;115:416-24.
3. Knave B. Radiation, non-ionizing. U: Mager Stellan J, urednik. *Encyclopaedia of occupational health and safety*. Vol II. 4. izd. Ženeva: International Labour Office; 1998. Chapter 49, str. 49.0-49.31.
4. Funk RH, Monsees T, Ozkucur N. Electromagnetic effects – From cell biology to medicine. *Prog Histochem Cytochem* 2009;43:177-264.
5. Valić F, Beritić-Stahuljak D. Toplinski okoliš. U: Šarić M, Žuškin E, urednici. *Medicina rada i okoliša*. Zagreb: Medicinska naklada; 2002. str. 314-8.

6. Brumen V, Garaj Vrhovac V. Neionizirajuća zračenja elektromagnetnog spektra. U: Šarić M, Žuškin E, urednici. *Medicina rada i okoliša*. Zagreb: Medicinska naklada; 2002. str. 283-96.
7. Hancock PA, Vasmatzidis I. Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. U: *Proceedings of a WHO workshop "Adverse Temperature Levels in the Human Body"*; 21.-22. ožujka 2002. Geneva, Švicarska. *Int J Hyperthermia* 2003;19:355-72.
8. D'Andrea JA, Adair ER, de Lorge JO. Behavioural and cognitive effects of microwave exposure. *Bioelectromagnetics* 2003;6:39-62.
9. Black DR, Heynick LN. Radiofrequency (RF) effects on blood, cells, cardiac, endocrine and immunological functions. *Bioelectromagnetics* 2003;6:187-95.
10. Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. *Narodne novine* 105/1999.
11. Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja. *Narodne novine* 204/2003.
12. Pravilnik o minimalnim zdravstvenim i sigurnosnim zahtjevima koji se odnose na izloženost radnika rizicima koji potječu od elektromagnetskih polja. *Narodne novine* 38/2008.
13. Verschaeve L. Genetic damage in subjects exposed to radiofrequency radiation. *Mutat Res* 2009;681:259-70.
14. Phillips JL, Singh NP, Lai H. Electromagnetic fields and DNA damage. *Pathophysiology* 2009;16:79-88.
15. Leszczynski D, Meltz ML. Questions and answers concerning applicability of proteomics and transcriptomics in EMF research. *Proteomics* 2006;6:4674-7.
16. Abdel-Rassoul G, El-Fateh OA, Salem MA, Michael A, Farahat F, El-Batanouny M, Salem E. Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. *Neurotoxicology* 2007;28:434-40.
17. Fox E, Eltiti S, Wallace D, Russo R. Health effects of mobile phone base-stations: studies of electromagnetic hypersensitivity. U: Repacholi M, van Deventer E, Ravazzani P urednici. *International Workshop on Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences*; 15.-16. lipnja 2005. Ženeva, Švicarska. Ženeva: World Health Organization 2007. str. 59-68.
18. Gomzi M, Bobić J, Radošević-Vidaček B, Macan J, Varnai VM, Milković-Kraus S, Kanceljak-Macan B. Sick building syndrome - psychological, somatic and environmental determinants. *Arch Environ Occup Health* 2007;62:147-55.
19. Croft RJ, Hamblin DL, Spong J, Wood AW, McKenzie RJ, Stough C. The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 2008;29:1-10.
20. Curcio G, Ferrara M, Moroni F, D'Inzeo G, Bertini M, De Gennaro L. Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness. *Neurosci Res* 2005;53:265-70.
21. Lai H, Carino MA, Horita A, Guy AW. Low-level microwave irradiation and central cholinergic activity: a dose-response study. *Bioelectromagnetics* 1989;10:203-8.
22. Testylier G, Tonduli L, Malabiau R, Debouzy JC. Effects of exposure to low level radiofrequency fields on acetylcholine release in hippocampus of freely moving rats. *Bioelectromagnetics* 2002;23:249-55.
23. Berg G, Spallek J, Schüz J, Schlehofer B, Böhler E, Schlaefer K, Hettlinger I, Kunna-Grass K, Wahrendorf J, Blettner M. Interphone Study Group, Germany. Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and risk of brain tumors. *Am J Epidemiol* 2006;164:538-48.

### *Summary*

#### HEALTH EFFECTS OF NON-IONISING RADIOFREQUENCY RADIATION

There is a global boom in equipment that uses non-ionising electromagnetic waves for emitting, transmitting, and receiving signals in the so called radiofrequency (RF) spectrum from 300 kHz to 300 GHz. This paper looks into the issue of health effects caused by RF radiation addressed in a recent publication by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection and reviews the latest related research findings. The only verified effect of RF radiation on the human organism is the thermal effect, i.e. heating of the tissue at or beneath the skin surface that can affect the skin (burns), eyes (burns, cataract formation), reproductive organs (testicle damage, sterility, sex hormone misbalance), or the foetus during pregnancy. The thermal effect of RF radiation is dose-dependent and is not expected to occur at specific absorption rate (SAR) below  $4 \text{ W kg}^{-1}$ . This threshold is the basis for reference levels for public exposure that are believed to prevent adverse health effects in humans and which include the safety factor of 10 for occupational and 50 for general exposure.

Research of RF radiation at non-thermal levels is rather intensive, but there is no consistent evidence about causal relationship between RF radiation and health impairment. However, because of the growing use of RF radiation, long-term exposure, and unknown effects in children, the precautionary principle requires that human exposure and health effects are closely monitored for new findings.

**KEY WORDS:** *mobile telephony, non-thermal effects, public exposure, specific absorption rate, SAR, thermal effects*

#### CORRESPONDING AUTHOR:

Jelena Macan  
Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada  
Ksaverska c. 2, 10000 Zagreb  
E-mail: [jmacan@imi.hr](mailto:jmacan@imi.hr)