

N. Pejnović\*

# UTJECAJ BEŽIČNIH TEHNOLOGIJA NA LJUDSKO ZDRAVLJE

UDK 621.39:613.64  
PRIMLJENO: 25.5.2009.  
PRIHVAĆENO: 15.6.2009.

**SAŽETAK:** U radu su prikazani štetni utjecaji bežičnih tehnologija na zdravlje korisnika. Istraživan je širok spektar načina na koji zračenje može štetno utjecati na korisnika s težištem na štetno djelovanje neionizirajućeg zračenja. S pomoću načela rada bežičnih uređaja objašnjeni su termički i netermički učinci neionizirajućeg zračenja. U cilju zaštite zdravlja potrebno je provesti odgovarajuću zaštitu da bi se ta opasnost uklonila ili svela na najmanju moguću mjeru.

**Ključne riječi:** bežične tehnologije, neionizirajuća zračenja, radni okoliš, zaštita zdravlja

## UVOD

Prema Zakonu o zaštiti od neionizirajućeg zračenja, neionizirajuća zračenja jesu elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 3.000.000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz, a koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione. Takva vrsta zračenja je svuda oko nas, od sunčevog zračenja do kućanskih aparata, antena, dalekovoda i radiokomunikacijskih sustava. U neionizirajuća zračenja ubrajamo radiodifuzijsko razaslanje (TV i radio), mobilne komunikacije (bazne stanice, mobilni uređaji), bežični LAN i bluetooth.

U novoj telekomunikacijskoj eri sve češće se postavlja pitanje o sigurnosti ili štetnosti i nepoželjnim učincima neionizirajućeg zračenja mobilnih uređaja i baznih stanica (*Chou i sur., 1992.*). Izrađene su brojne studije na temu štetnosti neionizirajućeg zračenja, no ni jedna studija do sada nije definitivno dokazala štetnost,

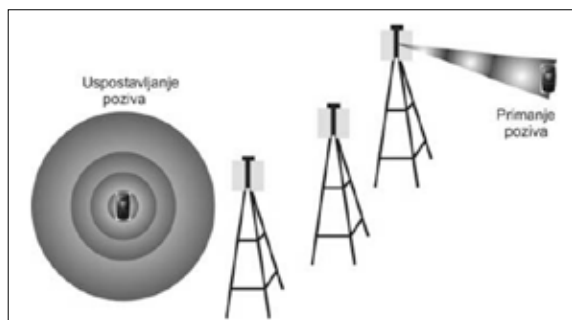
a niti jedna sa sigurnošću nije potvrdila da je neionizirajuće zračenje bezopasno (*Gandhi, 2009.*). Unatoč svemu, broj korisnika mobilnih uređaja i dalje raste. Stoga će se utjecaj zračenja mobilnih uređaja na ljudski organizam (posebno mozak) statistički sve lakše uočavati. Upotreba mobilnih uređaja u svakodnevnom životu postaje neizbježna, kako u poslovnom životu tako i u privatnom. No, i prije potpune analize ostaje pitanje: "Jesu li korisnici mobilnih uređaja i ostali građani dužni dokazivati štetan utjecaj zračenja ili su proizvođači mobilnih uređaja i pružatelji usluga mobilne telefonije dužni dokazati potpunu sigurnost uporabe mobilnih uređaja i odašiljača postavljenih po naseljima i stambenim zgradama?" U ovome radu analizirat će se dio mogućih opasnosti potvrđen studijama na temu neionizirajućeg zračenja mobilnih uređaja. Bez obzira kada studije dokažu ili ne prijeti li opasnost od zračenja mobilnih uređaja, uvijek će se zbog pojave novih tehnologija pojavljivati neki novi fenomeni potencijalno opasni za sigurnost i zdravlje ljudi. Pitanje sigurnosti i zaštite zdravlja postaje vrlo bitno u modernom svijetu, a takav svijet donosi i nove opasnosti, no ne obraća se dovoljno pozornosti na njegovo štetno djelova-

\*Natalija Pejnović, dipl. ing., Hrvatski zavod za zaštitu zdravlja i sigurnost na radu, Ul. R. Cimermana 64a, 10020 Zagreb (hzmr@hzmr.hr).

nje (Novaković, 2003.). Da bismo uspješno zaštitili svoje zdravlje, prvo moramo znati od čega ga štitimo, pa tek onda naučiti kako se zaštititi. Dakle, edukacijom dolazimo do prevencije.

## ZRAČENJE BEŽIČNIH UREĐAJA

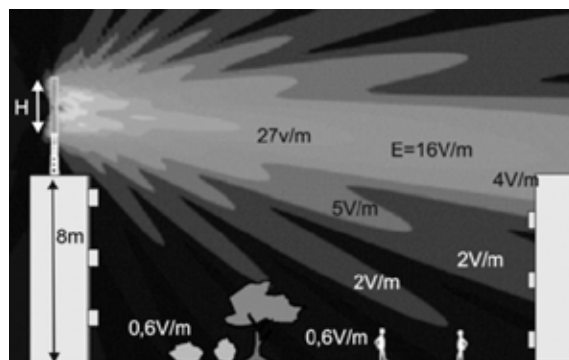
Kod uspostave poziva šalju se radiosignali s pokretnog telefona do najbliže bazne stanice koja ih prenosi prema drugim pokretnim telefonima ili u fiksnu mrežu (slika 1). Pokretni telefoni i odašiljači koji se postavljaju na bazne stanice proizvode radiovalove (RF), slične onima koja emitiraju TV-odašiljači i radiouređaji. Mobilni telefoni za vrijeme razgovora "komuniciraju" s baznim stanicama. Govor i podaci pretvaraju se preko mobilnih telefona u signale i prenose elektromagnetskim valovima do baznih stanica, potom do druge bazne stanice koja "komunicira" s mobilnim telefonom na koji je upućen poziv. Bazna stanica sastoji se od antene, nosača i elektronskog sklopa koje su međusobno raspoređene na način da svaka bazna stanica pokriva određeni dio teritorija. Ono što odašilje elektromagnetske valove jest antena, naprava smještena na vrhu nosača. Valovi se odašilju pravocrtno u prostor. Kako bi se uspostavila komunikacija, mobilni uređaj također odašilje svoj signal kojim onda uspostavlja "dijalog" s baznom stanicom. Stanice mogu biti velike ili male, a uglavnom se postavljaju na udaljenostima od 200 do 500 metara u gradovima te na 2 do 5 kilometara u ruralnim područjima. Broj baznih stanica ovisi o okolini i broju veza koje je istovremeno potrebno ostvariti.



Slika 1. Uspostava poziva s mobilnog telefona do najbliže bazne stanice

Figure 1. Call connection between the mobile phone and the nearest base station

Osim mobilnih uređaja, koji moraju prenijeti signal do bazne stanice, zrače i same bazne stanice i to nekoliko puta jačom snagom od mobilnog uređaja (ipak, mora se uzeti u obzir da je mobilni uređaj potrebno držati prislonjen na glavu za vrijeme razgovora, a bazna stanica se uglavnom nalazi na stotinjak metara dalje). Što je veća udaljenost od određene bazne stanice, manje je elektromagnetsko zračenje (slika 2). Za vrijeme komunikacije između mobilnog uređaja i bazne stanice mobilni uređaj mora koristiti puno veću snagu kako bi se uspostavio signal. To znači, ako su bazne stanice gusto postavljene, unatoč činjenici da ih ima više, one će uglavnom zračiti manjom energijom jer moraju pokriti manji prostor, a i mobilnom uređaju će trebati manja izlazna energija kako bi se uspostavila komunikacija, samim time će i izloženost zračenju biti manja. Zabrinutost zbog ozračivanja može postojati ako su antene usmjerene s puno RF energije na vrlo malu površinu tijela korisnika. Potencijalno opasna količina zračenja nije usmjerena prema dolje. Dio zračenja koji je usmjeren prema dolje je manje snage, jer ga zastupljaju zidovi zgrade tako da ne predstavlja opasnost za zdravlje ljudi.



Slika 2. Domet i smjer zračenja bazne stanice postavljene na zgradu

Figure 2. Range and direction of radiation from a base station mounted on a building

## Specifičnosti postavljanja antena u naseljenim područjima

Republika Hrvatska ima više od 3.000 baznih stanica. Broj baznih stanica ovisi o okolini i broju veza koje je moguće ostvariti. Bazne stanice postavljaju se na krovove stambenih i ostalih

objekata (slika 3). Mobilni radiokomunikacijski sustavi koriste se frekvencijama od 800 do 900 MHz u radiovalnom spektru i odašiljačima frekvencijskog područja od 1.850 do 1.990 MHz. Antene su obično postavljene u tri skupine, a svaka skupina se sastoji od tri antene, pri čemu jedna antena emitira signale mobilnim jedinicama. Druge dvije antene u svakoj skupini služe za primanje signala od mobilnih jedinica. Antene odašilju signale na različitim frekvencijama, u ovisnosti o kanalu, od 550 kHz za AM radijske do 800 MHz za UHF televizijske stanice. Operativna snaga je oko nekoliko stotina vata (W) za radiostanice do milijun vata za određenu televizijsku stanicu.



Slika 3. Primjer postavljanja bazne stanice na krovu stambene zgrade

Figure 3. An example of placement of a base station on top of a building

Intenzitet elektromagnetskog polja koje se stvara pri odašiljanju signala ovisi o više čimbenika: tip stanice, dizajn antene koja se upotrebljava, snaga odašiljanja prema anteni, visini antene i udaljenosti od antene. Zračenje ovih antena je znatno veće u njezinoj bližoj okolini. Pri višim frekvencijama ljudsko tijelo apsorbira više energije zračenja i time se potencijalna opasnost za zdravlje ljudi povećava (Chou i sur., 1992.).

Dopuštena količina gustoće snage (ekvivalentnog ravnog vala) kreće se prosječno oko  $2,0 \text{ W/cm}^2$  za uređaje koji rade na 10-400 MHz, a  $10,0 \text{ W/cm}^2$  za uređaje koji rade na 2-300 GHz prema Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja. Da bi nastala opasnost od zračenja za pojedinca, izvor zračenja trebao bi se povećati na razinu na kojoj antena odašilje signale na udaljenosti od pola metra. Do takvih izvora je inače ulaz nedostupan (osim za djelatnike).

## ZRAČENJE MOBILNIH TELEFONA I REGULATIVA ZAŠTITE

Prilikom usmjeravanja zračenja baznih stanica davatelji usluga moraju uzeti u obzir dopuštene propisane količine zračenja s obzirom na pravne propise koje propisuju pojedine države. U Republici Hrvatskoj na snazi je više pravnih propisa koji reguliraju dopuštene količine neionizirajućeg zračenja, i to: Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja i Pravilnik o najvišim dopuštenim snagama zračenja radijskih postaja u gradovima i naseljima gradskog obilježja. Sve bazne stanice u RH koje emitiraju radiovalove znatno su ispod normi postavljenih međunarodnih smjernica.

### Specifična apsorbirana snaga - SAR vrijednost

Specifična apsorbirana snaga (*engl. Specific Absorption Rate - SAR*) je mjera brzine apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva, a izražava se u vatima po kilogramu ( $\text{W/kg}$ ). Međunarodna ograničenja zbog izlaganja zračenju temelje se na termalnim učincima elektromagnetske radijacije, a RF frekvencije se određuju sa specifičnom apsorpcijom - SAR vrijednost. Taj dobiveni parametar je odabran, jer predstavlja disipaciju energije po jedinici mase i vremena. On uzima u obzir vrstu izvora, frekvenciju rada i vremensko trajanje izlaganja. Za izlaganja poljima velikog dometa mora se voditi računa o lokaciji antene izvora i dielektričnoj strukturi ljudskog tijela. Također, mora se voditi računa o učincima poput stojnog vala, fokusiranja elektromagnetskih polja i prirode elektrostatičkih

i vodljivih polja. Informacije o maksimalnim i prosječnim specifičnim apsorpcijama cijelog tijela izračunavaju se preko SAR vrijednosti prema jednadžbi:

$$SAR = E^2 \cdot \sigma / \rho \text{ [W/kg]}$$

gdje su  $SAR$  [W/kg] specifična apsorbirana snaga,  $E$  [W/m] snaga električnog polja,  $\sigma$  [S/m] električna vodljivost tkiva,  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] gustoća tkiva.

Američka savezna komisija za telekomunikacije prihvatila je 1,6 W/kg za prihvatljivu mjeru SAR razine, a naravno, što je SAR razina niža, opasnost (makar i teoretska) je manja. Prema Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja, dopuštena apsorbirana snaga uprosječena po cijelom tijelu je 0,08 W/kg, glavu i trup je 2,0 W/kg. Prema Tablici 1 dobiva se da granična SAR razina pokazuje Bosch World model 718 i on iznosi od 0,28 do 0,33 W/kg. Najnižu prikazanu SAR razinu daje Motorola Star TAC70 od 0,01 do 0,02 W/kg. Taj podatak govori isključivo o toplinskim učincima na tkivo ljudske glave kod maksimalne snage emitiranja mobilnog uređaja, ali ništa ne kazuje o drugim mogućim učincima. Opće prihvaćena granična vrijednost za cijelo tijelo iznosi 0,08 W po kilogramu, odnosno za neke dijelove tijela do 2 W po kilogramu, ali na masu od 10 grama.

**Tablica 1. Specifična apsorbirana snaga nekih tipova mobitela**

**Table 1. Specific absorption rates of some mobile phone types**

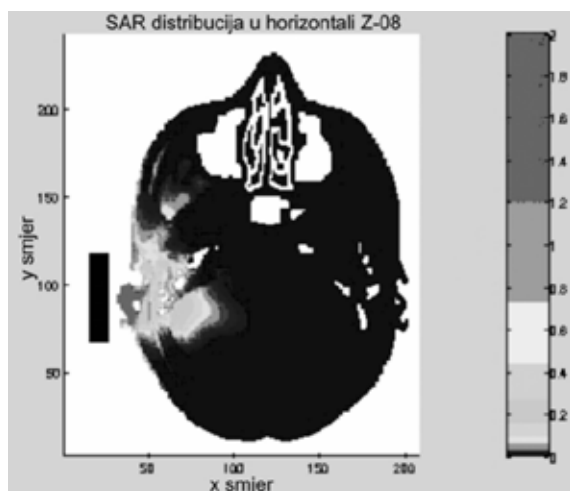
Model mobitela i proizvođač	SAR (W/kg)
Sony Ericsson T650	1,80
Nokia E51	1,40
Sony Ericsson K550i	1,25
LG KG130	0,52
Nokia 8800i	0,50
Samsung U600	0,48
Nokia 6290	0,47
Bosch World 718	0,28 do 0,33
Samsung F210	0,20
Motorola Star TAC70	0,01 do 0,02

Učinci niskofrekvencijskih polja do 100 kHz su iritacija mišićnog tkiva, poremećaj rada srca, poremećaj rada centralnog živčanog sustava, poremećaj rada metabolizma (sprečava se proizvodnja melatonina koji je zapreka stvaranju kancerogenih stanica) i promjene u sintezi DNK i proteina. Učinci viskofrekvencijskih polja od 100 kHz do 300 GHz su lokalno zagrijavanje tijela (mobilni telefon) i cijelog tijela (radari, antene jače snage), glavobolja, ubrzano treptanje očima i gubitak koncentracije, a pulsirajuće zračenje (radari, mobilni telefon) utječe na biosustav oštećujući membrane stanica.

### Termički učinci

Pregrijavanje je posljedica apsorpcije i akumulacije mikrovalne energije u vodenom mediju živih tkiva. Termički učinak mikrovalnog zračenja u neposrednoj je povezanosti s jakošću mikrovalnog zračenja. Iako jakost zračenja pri uporabi mobilnih uređaja neće dovesti do oštećenja organizma, ipak moramo biti pažljivi, jer se fiziološke promjene tkiva pri pregrijavanju događaju već pri promjeni temperature za 1°C, osobito kod očiju i testisa koji su slabo prokrvljeni organi (što znači da imaju slabu sposobnost učinkovite autoregulacije temperature, odnosno samoohlađivanja). Kod uporabe mobilnih uređaja najugroženiji dio ljudskog tijela je glava zbog izrazite blizine izvora zračenja (antene) što uzrokuje zagrijavanje tkiva u glavi. Većina energije zračenja mikrovalova mobitela apsorbira se unutar 3 do 4 cm mozga, odnosno u neposrednoj blizini gdje se drži mobitel prilikom razgovora.

Slika 4 prikazuje termalnu sliku ljudske glave s vrha i porast temperature izražen u SAR ekvivalentnoj skali. Neki ljudi osjećaju to zagrijavanje, pa instinktivno promijene stranu na kojoj drže mobilni uređaj prilikom razgovora. Savjet je da se strana mijenja nakon dvije minute razgovora, a razgovori ne traju dulje od pet minuta. Treba obratiti pozornost i kod kupovine novog uređaja na količinu zračenja koje je iskazano u njegovim specifikacijama te po mogućnosti kupiti uređaj koji zrači manjom vrijednošću.



Slika 4. Veličina zagrijavanja glave prilikom uporabe mobitela

Figure 4. Heating effects on the head during the use of a mobile phone

### Netermički učinci

Elektromagnetsko zračenje ima i druge učinke na žive organizme, a oni nisu neposredno povezani s njegovom jakošću. Svako živo biće i svaka živa stanica u njemu je precizno kalibriran elektrokemijski mehanizam visoke osjetljivosti. Žive stanice djeluju kao primopredajnici elektromagnetskih valova, kao biološki oscilatori različitih tipova, koji djeluju na različitim vlastitim frekvencijama, od kojih neke iznenađuju i blizu su frekvencijama mobilnih uređaja. Tako se može dogoditi da endogene bioelektrične aktivnosti organizma interferiraju sa zračenjem egzogenog izvora (mobilnog uređaja). Stanična frekvencija je osobito važan dio jedinstvenog komunikacijsko-informativnog spleta življenja na vrhu kojeg stoji neuroendokrini sustav. Uvjet za prijenos informacija je da je zračenje koherentno. Učinci mobilne telefonije mogu izazvati smetnje informativnog spleta življenja, i to tako da se neke funkcije u krivom trenutku uključe ili otkažu u najkritičnijem trenutku. Elektromagnetsko zračenje mobilnog uređaja u fazi emisije djeluje s frekvencijom 8,34 Hz, što je prirodni ritam theta i alfa moždanih valova, dakle osnovnog moždanog ritma pri budnom čovjeku. Postoji velika vjerojatnost da interferencija elektromagnetskih valova uzrokuje psihičke smetnje kod

čovjeka koje su dokazane. Kod mnogih korisnika mobilnih uređaja, osobito onih osjetljivih, pojači se smetenost, slabo se osjećaju, bezvoljnost i slične tegobe. Tijekom primanja mobilni uređaj djeluje na nižoj frekvenciji (2 Hz), a to je endogena frekvencija delta moždanih valova koja se pojavljuje u trenutku dubokog sna u REM fazi za koju je karakteristično brzo kretanje očnih jabučica. Ta frekvencija, također, uzrokuje smetnje kod čovjeka: jaki osjećaj umora i zbunjenosti. Kod utjecaja obje frekvencije na djelovanje ljudskog mozga jakost zračenja nije važna, već su to rezonancija i interferencija.

### Zaštita od zračenja bežičnih uređaja

Uporabom različitih štitova (od različitih materijala) dovoljne debljine može se smanjiti zračenje iza štitova na dovoljno nisku razinu tako da više ne ugrožava zdravlje korisnika i okolinu. Zaštitna odjeća od nikla ili s primjesama olova i zaštitne naočale koji odbijaju zračenje moraju uvijek biti na raspolaganju korisnicima. Drugi način zaštite je biti što udaljeniji od izvora zračenja (jakost snopa zračenja pada s kvadratom udaljenosti od izvora) i treći što manja izloženost zračenju. Dakle, skraćivanjem vremena izloženosti zračenju, također, se može štititi od zračenja. Svi ovi načini služe za zaštitu pri radu s radioaktivnim izvorima, a vrijede i za ostale manje štetne vrste zračenja. Ako je dokazano ili se čak sumnja da neki uređaj štetno djeluje na okolinu, a time i na zdravlje ljudi koji ga upotrebljavaju ili se nalaze u njegovoj blizini, potrebno je provesti odgovarajuću zaštitu da bi se ta opasnost uklonila ili svela na najmanju moguću mjeru.

Neke od mjera koje se mogu poduzeti za zaštitu od neionizirajućeg zračenja jesu ove:

- propisivanje graničnih razina i nadzor nad izloženosti ljudi neionizirajućim zračenju
- proračun i procjena razine zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
- mjerenje razine zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
- smanjivanje razine zračenja u okolišu, vremensko ograničavanje izloženosti ljudi

- prikladno označavanje prostora, izobrazba i stručno usavršavanje zaposlenih glede zaštite od neionizirajućeg zračenja.

## ZAKLJUČAK

Cjelokupna zabrinutost oko baznih stanica i lokalnih bežičnih mreža odnosi se na moguće dugotrajne zdravstvene probleme koji mogu nastati pri njihovoj izloženosti. Svi uređaji pogonjeni bilo kojom energijom imaju neki štetni utjecaj na zdravlje ljudi, i to od buke, vibracija, zračenja, kemijskih štetnosti itd. Ako se neki uređaj nedovoljno vremena upotrebljava da bi se otkrile njegove štetnosti i kod zračenja nisu vidljive golim okom, a te štetnosti postoje i u opasnim količinama za zdravlje radnika, nažalost današnji sustav pronalazi načine da uspori i ospori rezultate studija koje pokazuju te štetnosti jer bi donijele financijske gubitke proizvođačima mobilnih uređaja i davateljima usluga.

Već je prošlo dovoljno vremena da postoje i neke statističke naznake o štetnosti elektromagnetskog zračenja mobilnih uređaja te postoje savjeti za njihovu sigurnu uporabu kako bi se spriječila potencijalna opasnost za zdravlje korisnika. Iako smo možda već previše navikli na uporabu mobilnih uređaja, potrebno je dvaput promisliti i pokušati se držati savjeta za njihovu uporabu u cilju prevencije posljedica koje se mogu pojaviti za neko određeno vrijeme. Vjerojatno će pitanje štetnosti bežičnih uređaja postati i pitanje sigurnosti i zaštite na radu i pitanje sigurnosti i zaštite uopće. Problem je jedino kratko vrijeme njihove uporabe, tj. nedovoljno je vremena prošlo da bi statistički pokazatelji dokazali pravo stanje i utjecaj štetnosti mobilnih uređaja na zdravlje ljudi. Do tada treba s mobilnim uređajima postupati oprezno i poštovati savjete za njihovu sigurnu uporabu.

Prije svega potrebno je voditi evidencije o zračenju korisnika uređaja tijekom razdoblja koje odredi zakonodavac, a koje će postupno dati spoznaje o rizicima neionizirajućeg ozračivanja na temelju velike kontrolne (statističke) skupine. Slijedit će promjene navika pri primjeni

neionizirajućeg zračenja u smislu dosadašnjeg nekritičkog izlaganja korisnika. Sustavna edukacija svih korisnika bežičnih tehnologija na suvremenim spoznajama o štetnom utjecaju neionizirajućeg zračenja, uz međunarodne preporuke, ostaje kao mogući ključ rješenja. Koliko god bežični uređaji bili korisni i pomažu nam u poslu i svakodnevnom privatnom životu, zaštita našeg zdravlja i sigurnosti mora biti na prvom mjestu.

## LITERATURA

Chou, C. K., Guy, A. W., Kunz, L. L., Johnson, R. B., Crowley, J. J., Krupp, J. H.: Long-term, low-level microwave irradiation of rats, *Bioelectromagnetics*, 13, 1992., 469-496.

Dirk, Vermeulen, dostupno na: <http://www.geopathologie-bargtheide.de>, posjećeno: 15. ožujka 2009.

Environmental education centre, India, dostupno na: [http://cpreec.org/04\\_phamplets](http://cpreec.org/04_phamplets), posjećeno: 15. ožujka 2009.

Jurić, G.: Magazin Mobil, br. 34 (prosinac 2002/siječanj 2003), dostupno na: [www.infomob.com/slike/clanci/zracenje2.gif](http://www.infomob.com/slike/clanci/zracenje2.gif), posjećeno: 15. ožujka 2009.

Institut für Mobil und Satellitenfunktechnik - IMST, dostupno na: <http://www.istm.de/>, posjećeno: 15. travnja 2009.

Novaković, M.: Zaštita od zračenja – stanje u radiologiji, *Radiološki vjesnik*, 2, 2003., 30-33.

Gandhi, O.: *Antennas and Propagation Magazine*, dostupno na: <http://www.live-care.net/cellular-cancer.htm>, posjećeno: 15. ožujka 2009.

*Pravilnik o najvišim dopuštenim snagama zračenja radijskih postaja u gradovima i naseljima gradskog obilježja*, N.N., br. 111/01., 7/02.

*Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja*, N.N., br. 204/03., 15/04. i 41/08.

*Bazne stanice i bežične mreže: Izloženost i zdravstvene posljedice*, Udruga pokretnih ko-

munikacija Hrvatske, dostupno na: <http://www.upkh.hr/>, posjećeno: 15. ožujka 2009.

U.K. Sunday Mirror, <http://www.emfsafety.net>, posjećeno: 15. ožujka 2009.

*Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja*, N.N., br. 105/99.

Zirdum, H.: *Neionizirajuće zračenje*, dostupno na: <http://www.zpr.fer.hr/static/erg/2001/zirdum/index.htm>, posjećeno: 15. ožujka 2009.

Web stranice sveučilišta Colorado, dostupno na: <http://www.colorado.edu/physics>, posjećeno: 15. ožujka 2009.

### **IMPACT OF WIRELESS TECHNOLOGIES ON HUMAN HEALTH**

*SUMMARY: This paper explores adverse impacts of wireless technologies on user health. A wide range of situations in which radiation may influence the user was investigated. Emphasis was placed on the adverse impact of non-ionizing radiation. Thermal and non-thermal effects of non-ionizing radiation were explained in accordance with the operating principle of wireless devices. It is necessary to implement appropriate forms of protection in order to eliminate health risks or reduce them to the lowest possible level.*

**Key words:** *wireless technologies, non-ionizing radiation, work environment, health protection*

*Professional paper  
Received: 2009-05-25  
Accepted: 2009-06-15*