

Dr Branislav Todorović,
dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

Mr Radiša Stefanović,
potpukovnik, dipl. inž.
Mr Mladen Arnautović,
dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

UTICAJ ZRAČENJA MOBILNIH TELEFONA

UDC: 621.396.21:537.531

Rezime:

U ovom radu ukazano je na delovanje zračenja mobilnih telefona na ljudski organizam. Postojeći standardi zasnivaju se na termičkom efektu elektromagnetskog polja na ljudski organizam. Dopuštene vrednosti iz standarda upoređene su sa proračunskim podacima o jačini polja, izmerenim vrednostima polja i eksperimentalnim podacima iz literature, na osnovu čega je određena bezbedna udaljenost antene. Ukazano je da, pored termičkog efekta, postoji i interferencija i homeopatski efekat čiji uticaji još uvek nisu istraženi. Dato je nekoliko saveta o načinu korišćenja mobilnih telefona, radi smanjenja štetnog zračenja.

Ključne reči: mobilni telefon, radio-talasi, zračenje, jačina elektromagnetskog polja, specifični stepen apsorpcije.

EFFECTS OF MOBILE PHONE RADIATION

Summary:

This paper points out the effects of mobile phone radiation on a human organism. The existing standards are based on electromagnetic field thermal effects on a human organism. The permissible values from the standards have been compared with the calculation results concerning field intensity, measured field values and experimental data from literature. This served as a base for the determination of the antenna safety distance. Besides the thermal effect, there is interference as well as homeopathic effect whose influence has not been investigated yet. Some advice on using mobile phones are given in order to reduce harmful radiation.

Key words: mobile phone, radio waves, radiation, intensity of electromagnetic field, specific absorption rate.

Uvod

Nagli razvoj komunikacione tehnologije u poslednjih nekoliko godina doveo je do masovne primene mobilnih telefona. Početkom 2000. godine broj korisnika mobilnih telefona u svetu procenjuje se na blizu 500 miliona. Samo u Velikoj Britaniji u aprilu 2000. godine registrovano je preko 26 miliona korisnika, što znači da skoro 45% populacije poseduje

mobilni telefon. U nekim zemljama (npr. Finska) ovaj procenat je veći i od 50%. Mnogo je firmi u svetu koje se utrkuju u proizvodnji ovih aparata, što se pre svega ogleda u dizajnu, veličini, te mogućnostima primene, što i uslovljava njihovu cenu. Princip rada mobilnih telefona identičan je bez obzira na proizvođača, a uslovljen je analognim ili digitalnim prenosom. Poslednjih meseci na tržištu su se pojavili i uređaji koji omogućavaju pri-

stup INTERNETU (Mobile IP), a uskoro se mogu očekivati i mobilni uređaji za prenos slike (Mobile Video). Gotovo svi proizvođači reklamiraju mogućnosti rada i prednosti svojih mobilnih telefona, ali gotovo nikako, ili vrlo oskudno govore o njihovom štetnom uticaju na ljudski organizam.

Ovim radom ukazuje se na štetno delovanje električnog polja mobilnog telefona. U vezi s tim date su određene preporuke o načinu korišćenja a ukazano je i na pravce i dalji razvoj mobilnih telefona.

Delovanje elektromagnetskog polja na organizam

Efekti delovanja elektromagnetskog polja (EM) na ljudski organizam zavise od njegovog intenziteta i frekvencije [3]. Radi sagledavanja uticaja frekvencije, delovanje se razmatra preko dva frekvencijska pojasa, i to: do 30 kHz – niskofrekvencijsko polje, od 30 kHz do 300 GHz – visokofrekvencijsko polje.

Niskofrekvencijska polja izazivaju površinske efekte, kao što je nadražaj čula, dizanje kose, poremećaj rada pejsmejkera, slušnih aparata i drugih metalnih implantata u organizmu, a efekat je srazmeran jačini polja. Slabija polja ljudski organizam može da kompenzuje, ali polja većeg intenziteta mogu dovesti do trajnog oštećenja zdravlja.

Visokofrekvencijska polja posebno štetno deluju na ljudski organizam, jer se ova energija raspršuje, reflektuje ili apsorbuje u telo u zavisnosti od jačine i frekvencije polja, od dimenzija tela, položaja tela i električnih osobina tkiva. Najizrazitiji efekat ovog polja je zagrevanje, bilo lokalno, bilo celog tela.

Pošto se zagrevanje generiše u unutrašnjosti tela, ova toplota se ne zapaža ili se zapazi isuviše kasno. Ukoliko organizam nije sposoban da oslobađa ovu toplotu brzinom kojom se ona stvara doći će do porasta unutrašnje temperature tela, što može dovesti do oštećenja tkiva. Ako je povećanje temperature veliko i dugotrajnije, može nastupiti i smrt. Kako se, uglavnom prekomerna temperatura unutrašnjih organa oslobađa putem krvotoka, termalnim oštećenjima najpodložnija su očna sočiva i polni organi, ali i centralni nervni sistem što uzrokuje nervoze, vrtoglavice, povećani zamor, bolove u glavi, gubitak koncentracije, nesаницe, razdražljivost itd.

Štetni uticaj zračenja najviše se ispoljava na plod trudnica i decu, jer rezonantna frekvencija na kojoj se najviše apsorbuje zračenje u glavi čoveka iznosi oko 400 MHz, a kod dece oko 700 MHz [6], što je blizu radne frekvencije današnjih mobilnih telefona od 900 MHz. Treba napomenuti da se veći deo energije zračenja apsorbuje u površinskim tkivima, koži, kostima glave i mišićima, manji u glavi.

Impulsna polja kod digitalnih mobilnih telefona druge generacije imaju veći uticaj na biosisteme nego analogni signali mobilnih telefona prve generacije [6] jer unose dodatno zračenje slično EM zračenju ekstremno niskih frekvencija. Najveće količine energije ljudsko telo može da apsorbuje na frekvencijama od 30 do 300 MHz.

Za radnike profesionalno izložene delovanju EM polja postavlja se granica dozvoljenog zračenja izražena kroz specifični stepen apsorpcije SAR (Specific absorption rate). Navedena veličina predstavlja snagu zračenja absorbovanu u jedinici mase pojedinog tkiva [4], [8]:

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

gde je:

σ – provodnost tkiva izloženog zračenju (S/m),

ρ – specifična gustina tkiva (kg/m^3),

E – električno polje (V/m).

Eksperimentalna ispitivanja su pokazala da kod čoveka koji se nalazi u stanju mirovanja, pri zračenju u trajanju od oko 30 minuta, ako vrednost SAR-a tela iznosi od 1 do 4 W/kg, dolazi do povećanja temperature tkiva koja ne prelazi 1°C . Izlaganje zračenju većem od 4 W/kg može da izazove povećanje temperature tkiva koja daje štetne efekte, jer termoregulatorni mehanizmi ne mogu da savladaju nastalo termičko opterećenje [6]. U odnosu na navedenu vrednost za granicu profesionalnog izlaganja RF (radio-frekvencijskom) zračenju za celo telo uzima se zaštitni faktor 10, a za opštu populaciju i dodatni zaštitni faktor 5 u odnosu na profesionalno izlaganje, što iznosi 0,08 W/kg.

Treba naglasiti da SAR faktor uzima u obzir samo termički efekat zračenja mobilnog telefona na ljudski organizam. Ovaj efekat je najlakše izmeriti, ali pitanje je da li je on dominantan. Uticaj interferencije elektromagnetskih talasa mobilnog telefona i moždanih talasa, koliko je poznato, do danas nije razmatrano. Takođe, do danas nije poznato u kojoj meri elektromagnetski talasi menjaju strukturu molekula. Iskustvo homeopatske medicine [9], dugo više od 200 godina, ukazuje na to da molekuli u magnetskom polju menjaju svoju strukturu, što se može dokazati metodama spektroskopske analize [10].

Karakteristike mobilnih stanica sa stanovišta RF zračenja

Danas se često koriste bežični telefoni koji se mogu podeliti u nekoliko grupa.

Prevozna varijanta telefona, kao i radio-telefoni u automobilima, poseduju antenu postavljenu na krovu vozila, krilu, staklu ili na braniku. Zbog fizičke razdvojenosti antene i korisnika i zaštitne uloge metalne konstrukcije automobila ova grupa telefona nije značajna sa aspekta moguće izloženosti RF zračenju, iako poseduju relativno veliku predajnu snagu reda do 100 W. Prema dostupnim podacima zračenje ove grupe telefona može preći dopušteni nivo na udaljenostima 30 do 50 cm od antene.

Bežični kućni telefoni imaju malu baznu stanicu na fiksnom telefonskom priključku. Uglavnom rade na frekvencijama oko 49 MHz i ne predstavljaju značajan izvor RF zračenja, jer su veoma male snage, reda jednog milivata.

Mobilni telefoni funkcionišu sa snagom reda 1 W, a u toku održavanja veze antena se nalazi u neposrednoj blizini glave. Pored zračenja pojedinačnih, ličnih mobilnih telefona, nivo RF zračenja se može povećati na ograničenom prostoru, kao što su hale, sportski i trgovački centri, veće robne kuće gde se nalazi veliki broj korisnika, ili ako se u njihovoj lokalnoj zoni nalazi bazna stanica. U svetu se sada koriste analogni i digitalni celularni mobilni telefoni. U Jugoslaviji se primenjuju analogni NMT-900 (Nordic Mobile Telephone) i digitalni GSM (Global System for Mobile). Oba sistema rade u frekvencijskom pojasu 890 MHz do 960 MHz, sa snagama od 0,1 W do 1 W kod NMT, te 0,02 W do 2 W kod GSM. U

perspektivi je prelazak sa frekvencije od 900 MHz, na 1800 MHz.

Početak 1998. godine broj pretplatnika u GSM mreži kod nas je iznosio oko 60 hiljada, a u NMT mreži oko 10 hiljada. Sada se broj digitalnih telefona svakodnevno povećava i trenutno se procenjuje na oko 500 hiljada, dok je razvoj NMT mreže zaustavljen.

Iako vrlo malih dimenzija, mase svega 135 grama i debljine oko 2 cm, mobilni telefon je veoma značajan izvor RF zračenja, jer se u toku korišćenja nalazi u neposrednoj blizini glave, uglavnom na udaljenosti 2 do 7 cm. Više od 50% izlazne snage zračenja kod mobilnog telefona apsorbira se u glavi korisnika [6], što je vrlo nepovoljno, pa se očekuju konstrukcije sa manjom snagom i antenom, koja će bolje koristiti energiju. Mala štap-antena stvara jako elektromagnetsko polje, tako da se glava korisnika nalazi u bliskom polju zračenja. Deo energije se apsorbira u tkivu glave, koži, potkožnom tkivu, kostima, očima i moždanom tkivu u blizini uha. Kako su u bliskom polju električno i magnetno polje sinfazni, njihovo merenje je veoma komplikovano i nepouzdan, jer unošenje sonde za merenje dovodi do poremećaja polja. Podaci korišćeni u ovom radu odnose se na proračunate vrednosti.

Zračenje baznih stanica

Antene baznih stanica nalaze se na stubovima visine 15 do 50 m ili na zgradama sa antenskim pojačanjem deset i više puta prema horizontu. Rasipanje zračenja nadole i bočno je relativno malo. Intenzitet zračenja gustine snage u dalekoj zoni opada sa kvadratom rastojanja od antene.

Prema švedskom standardu SS-ENV 50166-2, dopušteni nivo gustine snage zračenja od $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, odnosno jačine električnog polja od 41 V/m, kod GSM sistema na 900 MHz, može biti premašen na udaljenosti do 1 m od antene bazne stanice, u pravcu glavnog snopa. Pomenuti standard donet je na osnovu predstandarda Evropske unije, a odnosi se na opštu populaciju u toku 24 časa, dok je za profesionalne radnike oko 5 puta veća vrednost, ali u vremenu od 8 časova. Dostupni podaci govore da su na tlu neposredno ispod antene, izmerene vrednosti koje su deset puta manje od dopuštenog izlaganja za opštu populaciju.

Prema našem standardu za ovo zračenje gornja dopuštena vrednost intenziteta, kojoj može biti izložena opšta populacija, za frekvencije koje se koriste u mobilnoj telefoniji, iznosi $200 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (27,5 V/m), a za profesionalne radnike $1 \text{mW}/\text{cm}^2$ (61,5 V/m) [5]. Radi upoređenja jačina zračenja nebeskih tela (sunce, zvezde) iznosi $14 \text{pW}/\text{cm}^2$, a ljudskog tela $0,5 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Treba uočiti da je naš standard stroži od švedskog za oko dva puta.

U domaćim publikacijama objavljeno je nekoliko članaka i diskusija u kojima je razmatran problem intenziteta zračenja. Prema dostupnim podacima izmerene jačine električnog polja ispod antene bazne stanice iznose od 1 do 2 V/m, odnosno 0,27 do 1,1 mW/cm^2 . Naime, tipični zidovi zgrada od cementnih blokova, cigle i drveta imaju faktor slabljenja za oko 10 do 100 puta. Nastalo polje može da utiče na elektronske aparate kao što su televizori ili računari.

Proračun jačine električnog polja

Iako je proračun jačine električnog polja u bliskoj zoni nepouzdan, za grubu

procenu pretpostavlja se da važi relacija [1]:

$$E_{\max} = \frac{\sqrt{30P_{pd}g_0}}{d} \quad (\text{mV/m}), \quad (2)$$

gde je:

E – nivo električnog polja u (V/m) na mestu prijema na udaljenosti d od antene mobilne stanice,

P_{pd} – snaga mobilne stanice u [W] kad radi na režimu predaje, tipično iznosi 1 W,

d – udaljenost u (km),

g_0 – dobitak antene mobilne stanice, za štap antenu ($L = \lambda/2$) iznosi 2,15 dB.

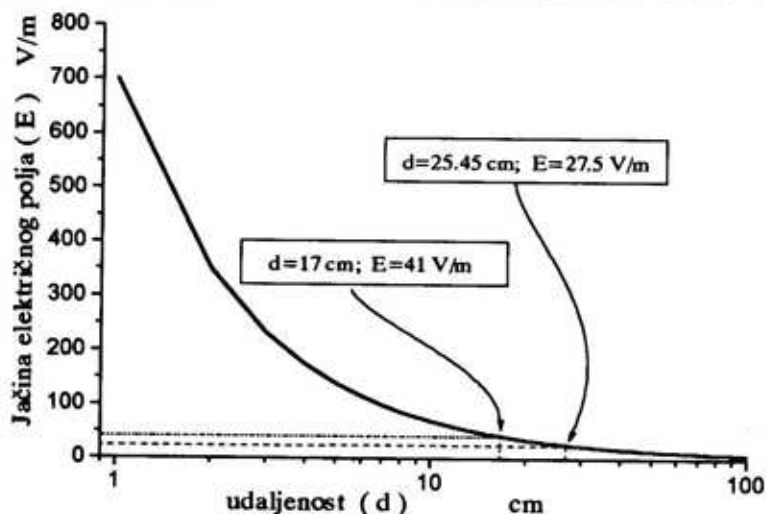
Izračunata vrednost za udaljenost 2 cm od antene je 350 V/m ($32,5 \text{ mW/cm}^2$). Ako se mobilna stanica jače priglomi na uho, na udaljenosti 1 cm od glave, polje dostiže vrednost od čak 700 V/m (130 mW/cm^2). To je potvrđeno i merenjem koje su autori ovog rada obavili u laboratoriji. Za udaljenost 1 cm od antene mobilne stanice Ericsson 868, sa indikacijom prijemnog polja od dva podeoka u

GSM mreži, pri uspostavljanju veze izmerna je vrednost od 680 V/m. Ako se mobilna stanica udalji na dohvat ruke, na oko 70 cm, izračunata vrednost polja je 10 V/m ($26 \mu\text{W/cm}^2$), što je prihvatljivo i bezopasno, za duži period.

Ilustracija odnosa jačine polja i udaljenosti prikazana je dijagramom, za snagu mobilne stanice 1 W i dobitak antene 1,64 puta (2,15 dB).

Sa dijagrama se može videti da je zračenje u granicama dozvoljenog prema navedenom švedskom standardu, na udaljenosti većoj od 17 cm od glave i tela, odnosno dalje od 25 cm po jugoslovenskom standardu. Ovaj podatak upućuje na to da je bezbednije nošenje mobilnog telefona u tašni, sa strane preko ramena ili u ruci, u pregradi najudaljenijoj od tela, a nikako na kaišu pantalona ili u džepu. Zračenje će biti naročito izraženo ukoliko se mobilni telefon nalazi u džepu koji se nalazi u predelu grudnog koša.

Prvi standardi za kontrolu izloženosti zračenju uvedeni su pedesetih godina u SAD i SSSR-u. Po američkom standardu



Dijagram jačine polja u zavisnosti od udaljenosti

smatra se da izloženost gustini snage od $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ($6,2 \text{ V}/\text{m}$) ne predstavlja dodatno toplotno opterećenje, te da je organizam u takvim uslovima u stanju da bez posebnog napora održava toplotnu ravnotežu [7]. Sovjetski standardi su daleko tolerantniji, čak i do 100 puta, ali za vreme izlaganja zračenju u trajanju od jednog časa.

S obzirom na to da postoje komercijalni instrumenti za merenje gustine snage zračenja u mW/cm^2 (npr. Narda), kao i instrumenti za merenje jačine električnog polja u V/m (npr. Anritsu), za pretvaranje jedne veličine u drugu koriste se izrazi:

$$P = E^2/120 \pi \quad (\text{W}/\text{m}^2), \text{ odnosno} \\ E = \sqrt{P \times 120\pi} \quad (\text{V}/\text{m}). \quad (3)$$

Pored poređenja sa bilo kojim standardom, jer se umnogome razlikuju, ovo zračenje uporediće se sa zračenjem koje je svakodnevno prisutno u atmosferi, a odnosi se na zračenje RTV odašiljača i baznih stanica. Jačina polja potrebna za prijem televizijske slike zadovoljavajućeg kvaliteta, prema UIT-R preporuci 417-2 [2], za IV frekvencijski pojas (470–790 MHz), iznosi 70 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$). Kada se ova vrednost izrazi preko jačine polja dolazi se do vrednosti od 3,16 mV/m. U području gde se dobro prima signal od 3 TV stanice, jačina polja iznosi oko 10 mV/m. Navedenom zračenju može se dodati i zračenje od bazne stanice, koje je zbog udaljenosti bezopasno i slabije za oko 100,000 puta od zračenja mobilne stanice. Američka federalna komisija za telekomunikacije (Federal Commision for Communications – FCC) definiše specifičnu vrednost prijemnog polja koja iznosi 39 dB ($\mu\text{V}/\text{m}$), kao granicu zone pokrivanja za analogni sistem, što odgovara vred-

nosti od oko 90 $\mu\text{V}/\text{m}$. Navedeni podaci jasno ukazuju na to da mobilni telefon i na udaljenosti od 70 cm, na dohvat ruke, zrači nekoliko stotina do hiljadu puta jače od polja koje nastaje zračenjem RTV odašiljača, odnosno trideset hiljada puta jače od polja zračenja sa bazne stanice na granici zone pokrivanja.

Perspektive daljeg razvoja uslovljene štetnim zračenjem

Prvobitni mobilni telefoni bili su predviđeni za pokretne sisteme (brodove, automobile, avione, itd.) i radili su sa snagama od 5 W i antenama montiranim na krovu automobila ili vrhu broda. Njihove antene bile su udaljene nekoliko metara od čoveka. U tim uslovima radilo se, ipak, sa manje štetnim jačinama polja zračenja, jer se za snagu od 5 W na udaljenosti od 1 m jačina polja kreće oko 15 V/m.

Budući mobilni telefoni radiće u dual-modu (dual-band), u jednom pojasu sa baznom stanicom na Zemlji i u drugom pojasu sa satelitskom stanicom na malim i srednjim visinama. Već sada neki od satelita kao ARIES na visini 1020 km, GLOBALSTAR na 1400 km, IRIDIUM na 780 km, predstavljaju okosnicu treće generacije komunikacionih sistema. Sistem IRIDIUM će sa svojih 66 satelita na malim visinama (oko 780 km) obezbediti prenos glasa, podataka, faks i pejdžing-poruka [3]. S obzirom na povoljnije prostiranje talasa korišćenjem satelita, treba očekivati i smanjenje snage do reda 100 mW. Površina ćelije će biti daleko manja, a broj ćelija će se mnogostruko povećati. Mobilna jedinica će najpre pretražiti mogućnost uspostavljanja veze preko lokalnog zemaljskog ćelijskog sistema, a zatim, ako ne ostvari vezu, koristiće

satelit. Takođe, frekvencije će se povećati na 1,8 GHz sa tendencijom porasta na 2,5 GHz ili 5 GHz. Antena će se nalaziti u samom kućištu aparata, kao na primer dvostruki kvad, a na strani prema korisniku imaće žičanu mrežicu kao reflektor.

Zaključak

Na osnovu izloženog može se sa sigurnošću tvrditi da mobilni telefoni emituju štetno zračenje. Sve analize u dostupnoj literaturi izvedene su samo na osnovu povećanja telesne temperature, pri čemu nisu uzeti u obzir interferencija i homeopatski efekat. Radi smanjenja štetnog delovanja treba se pridržavati sledećih pravila:

– mobilni telefon treba držati na radnom stolu ili polici nadohvat ruke. Vezu, kad god je to moguće, treba održavati uz pomoć slušalica i mikrofona, koji su izdvojeni provodnikom. Kabl treba postaviti tako da ne bude paralelan sa antenom, a pogotovu da ne bude namotan oko antene;

– kada se mobilni telefon ipak mora koristiti u pokretu, to treba činiti što kraće vreme. Efekti štetnog delovanja izraženiji su kada se duže i češće koristi;

– treba ga držati tako da se prsti šake nalaze između obraza i aparata, čime se povećava minimalno rastojanje;

– mobilni telefon valja koristiti sa pozicije gde je najjače prijemno polje, odnosno treba izbegavati korišćenje u zatvorenom prostoru, već potražiti najpogodniji položaj, izvan objekta gde je prijemno polje veće od dva podeoka. Najveća zračena snaga je u trenutku uspostavljanja veze;

– mobilni telefon treba nositi u torbici sa strane, nikako na kaišu, a posebno ne u unutrašnjem džepu sakoa ili džepu košulje na prsima, jer kad je uključen permanentno zrači, pri promeni bazne stanice;

– kada se mobilni telefon koristi u prostoriji u kojoj se duže boravi (kancelarija, stan) znatno smanjenje polja štetnog zračenja postiže se ako se izvede spoljna antena, preko koje se priključi mobilni telefon. Novije varijante mobilnih telefona imaju ugrađen priključak za spoljnu antenu, čijom se upotrebom štap-antena automatski isključuje;

– ne preporučuje se korišćenje mobilnog telefona trudnicama i deci, zbog štetnog zračenja, posebno izraženog na tkivo u razvoju.

Literatura:

- [1] Zentner, E.: Radiokomunikacije, Školska knjiga, Zagreb, 1980.
- [2] UIT-R (CCIR), Preporuka 417-2, VOLUME V, Internationale Telecommunication Union, Geneve, 1974.
- [3] Šunjevarić, M.: Radio-tehnika 2, predavanje za studente VTA VJ, 1999.
- [4] Kuster, N.; Balzano, Q.: Mobile communication safety, Chamman and Hall, London, 1997.
- [5] JUS N. NO.205. – Radio-komunikacije. Radio-frekvencijsko zračenje. Maksimalni nivoi izlaganja koji se odnose na ljude. 1990.
- [6] Hrnjak, M.: Medicinski aspekt korišćenja mobilne telefonije, Vojnosanitetski pregled br. 1/2000, Sanitetska uprava, GŠ VJ, 2000.
- [7] Rakar-Andrić, M.: Radio-talasno i mikrotalasno zračenje u radnoj sredini i zaštita ljudstva, Naučno-tehnički pregled, Vol. XLII, No. 6, 1992. str. 36-40.
- [8] Bernardi, P.; Cavagnaro, M.; Pisa, S.: Evaluation of the SAR Distribution in the Human Head for cellular Phones used in a Partially closed environment, IEEE Trans. on Electromagnetic compatibility, Vol. 38, No. 3, August 1996, pp. 357-366.
- [9] Vels, H.: Homeopatija za decu, Klio, Beograd, 2000.
- [10] Mikanović, N.; Jeremić, M.: Spektroskopska analiza pojedinačnih molekula, Nauka Tehnika Bezbednost, God. VIII, Br. 2, 1998, str. 59-70.
- [11] World Health Organization, Radiofrequency and Microwaves, Environmental Health Criteria 16, Geneve, 1982, pp. 23-34.