

## ŠTETNI EFEKTI ELEKTROMAGNETNIH POLJA EKSTREMNO NISKIH FREKVENCIJA

Jovica Jovanović<sup>1</sup>, Boris Đinđić<sup>2</sup>, Dušan Sokolović<sup>3</sup>, Dejan Krstić<sup>4</sup>, Dejan Petković<sup>4</sup>, Petar Babović<sup>1</sup> i Ivana Marković<sup>5</sup>

U životnoj i radnoj sredini, pored stalno prisutnog Zemljinog atmosferskog i magnetnog polja, često postoji veoma jako niskofrekventno elektromagnetno polje koje stvaraju energetska postrojenja, aparati na radnom mestu i domaćinstvu, sredstva javnog saobraćaja, radio i televizijski predajnici i aparati i video terminali. U blizini dalekovoda, provodnika visokog i srednjeg napona, u podstanicama i u industriji prisutna su elektromagnetna polja niskih frekvencija (30-300 Hz). Veliki broj osoba koje rade na opsluživanju ovih postrojenja i uređaja profesionalno je izložen ovakvim poljima. U izvesnoj meri može biti izloženo i stanovništvo koje živi i boravi u blizini dalekovoda i transformatora i pri upotrebi električnih aparata u domaćinstvima.

Prema rezultatima savremenih epidemioloških istraživanja, uticaji ovakvih niskofrekventnih elektromagnetnih polja uglavnom su nepoželjni i štetni po zdravlje. Upozorava se na češću pojavu malignih oboljenja, psihičkih poremećaja, oštećenja genetskog materijala, kardiovaskularnog, nervnog, hematopoetskog sistema, metabolizma i pojavu spontanih pobačaja u eksponovanoj populaciji.

Ukazuje se na potrebu daljih istraživanja bioloških efekata ovog zračenja u cilju donošenja jedinstvenih standarda o maksimalno dozvoljenim dozama ekspozicije i zakonskih propisa kojima će se regulisati boravak u zonama sa većim dozama zračenja i izgradnja novih industrijskih postrojenja i stambenih zona. *Acta Medica Medianae* 2010;49(1):54-58.

**Ključne reči:** elektromagnetno polje, maligne bolesti, kardiovaskularni sistem, hematopoetski sistem, metabolizam

---

Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika, Niš<sup>1</sup>  
Institut za patofiziologiju, Medicinski fakultet, Univerzitet u Nišu<sup>2</sup>  
Institut za biohemiju, Medicinski fakultet, Univerzitet u Nišu<sup>3</sup>  
Katedra za elektromagnetna zračenja, Fakultet zaštite na radu, Univerzitet u Nišu<sup>4</sup>  
Centar za radiologiju, Klinički centar, Niš<sup>5</sup>

**Kontakt:** Jovica Jovanović  
Zavod za zdravstvenu zaštitu radnika, Niš  
Vojislava Ilića bb, 18000 Niš  
e-mail: drjovicajovanovic@yahoo.com

### Uvod

Do početka ovog veka ljudski rod je bio izložen samo prirodnim elektromagnetnim (EM) zračenjima i poljima i biološki se prilagodio ovom prirodnom fonu. Teslinim pronalaskom naizmeničnih struja praktično je rešeno dobijanje, prenošenje i korišćenje naizmenične struje u industriji i svim vidovima života i dat je ogroman doprinos daljem razvoju elektrotehnike. Izgrađen je ogroman broj elektrana, a zemljina kugla je praktično pokrivena mrežom dalekovoda i linija visokog napona, kao i mrežom linija srednjeg i niskog napona, koje od transformatora vode električnu energiju do potrošača. Sve ovo je doprinelo daljem napretku, ali je sada čovek izložen daleko većem intenzitetu EM polja koja potiču od brojnih veštačkih izvora. Ovo

pobuđuje interesovanje o mogućim posledicama po zdravlje populacije u celini a posebno osoba koje su profesionalno izložena jakim EM poljima.

### Prirodni izvori EM polja

Prirodno EM polje Zemlje potiče od naelektrisanja Zemlje i njenog omotača i procesa vezanih za to naelektrisanje. Zemlja i njen omotač mogu se smatrati velikim kondenzatorom koga čine površina zemlje i provodljivi slojevi atmosfere. Prosečni potencijal Zemljine površine je negativan a srednja vrednost jačine prirodnog električnog polja pri vedrom vremenu iznosi oko 130 V/m (volti na metar). Električno polje potiče od razlike potencijala između atmosfere i Zemljine površine. Jačina električnog polja se menja u toku dana - jutarnji minimum iznosi oko 120 V/m, a u popodnevnom satima dostiže intenzitet od oko 170 V/m. U toku godine, takođe, dolazi do varijacija prirodnog polja, tako da zimi dostiže nivo od 150 - 200 V/m, dok je u toku leta prosečna jačina polja 100-120 V/m. U toku atmosferskih padavina i grmljavina, jačina električnog polja može da iznosi i 3-20 KV/m. Do promena prirodnih polja dolazi u vreme neposredno pre zemljotresa i u vreme promena na Suncu.

Prirodno magnetno polje potiče prvenstveno od Zemlje kao velikog magneta i od spoljašnjeg

polja, koje nastaje zbog sunčeve aktivnosti, meteoroloških aktivnosti i drugih procesa. Horizontalna komponenta prirodnog magnetnog polja Zemlje je maksimalna na Ekvatoru i iznosi oko 28 A/m (ampera na metar), što odgovara gustini magnetnog fluksa od 35  $\mu\text{T}$  (mikro Tesla) u vazduhu, dok na magnetnim polovima ovo polje iznosi svega nekoliko A/m, što zavisi od kretanja električne struje pod zemljinom korom. Vertikalna komponenta je najizraženija na magnetnim polovima (48-56 A/m) ili 70  $\mu\text{T}$  i opada ka Ekvatoru, gde je skoro jednaka nuli. Jačina Zemljinog magnetnog polja se menja u velikim vremenskim razmacima i opada za 20 nT godišnje. Postoje magnetski mirni i magnetski aktivni dani, što zavisi od sunčevog i mesečevog dana i godine. U vreme magnetskih bura povećava se vrednost horizontalne komponente unutar nekoliko sati za 20-50 nT, a zatim naglo opada ispod normalnih vrednosti i za 100-500 nano Tesla u toku 12 sati, pa se tek posle nekoliko dana vraća na normalu. Ove prirodne promene Zemljinog geomagnetskog polja (mikropulzacije) zavise mnogo od uslova u magnetosferi i jonosferi, obično su malog intenziteta i mogu biti pravilne ili neregularne.

Prirodna EM polja predstavljaju kvalitet čovekove okoline, pa je čovek morao da se prilagodi, zbog čega ona verovatno nemaju primarno štetno dejstvo. Nagle promene i varijacije ovih polja mogu da utiču na zdravlje čoveka, dovodeći uglavnom do fizioloških promena, dok kod osoba sa labilnijim nervnim sistemom, hroničnim oboljenjima i genetskom sklonošću ka nekim bolestima mogu dovesti do ozbiljnijih promena zdravstvenog stanja.

#### Veštački izvori EM polja

Opšta populacija je u najvećoj meri izložena EM poljima mrežne frekvencije (50-60 Hz), poljima koji potiču od sredstava masovnih komunikacija (RTV predajnici 100-500 MHz) i mobilnih komunikacija (800-900 MHz i 1800-2200 MHz). Ljudi su eksponovani ovim poljima u kući, na poslu, u školi i transportnim sredstvima na električni pogon (voz, trolejbus, tramvaj, metro).

#### Izvori EM polja u kući

Merenja intenziteta magnetnih polja u kućnim uslovima su pokazala da ona prosečno iznose oko 0.1  $\mu\text{T}$  i da je najduža ekspozicija u spavaćim sobama. Tipične jačine električnog polja su 1-15 V/m ili prosečno 4,8 V/m (1).

Merenja EM polja u domovima Los Angelesa su pokazala da su stanovnici izloženi visokim dozama ovog zračenja i da su najčešći izvori: električna čebad, električna grejna tela, električno grejani vodeni kreveti, električni satovi (digitalni i sa brojačnikom), mikrotalasne peći, radio i TV uređaji, frižideri, fenovi za kosu, video terminali, monitori, električni kotlovi za grejanje, električno podno grejanje, zamrzivači, električni uvijači kose, uređaji za video igre, kompjuteri, električni šporet, električna mašina za brijanje, električna pegla i električni radijatori. Ovi izvori mogu stalno da generišu polja zračenja koje se menja pri nagloj promeni opterećenja ili prekida u električnoj mreži.

Tipični intenziteti oko električnih uređaja u stanu na udaljenju od 30 cm od izvora su sledeći:	
električna sijalica	2V/m
električni sat	15 V/m
usisivač	16 V/m
fen za kosu	40 V/m
električni mikser	50 V/m
frižider	60 V/m
električni pokrivač	250 V/m
video terminali	74 V/m
kolor televizor	30 V/m

Prosečna snaga magnetnog polja u blizini najčešće korištenih izvora (za kućne aparate na udaljenosti od 30 cm) (2):

frižider	0.25 $\mu\text{T}$
električni šporet	4.0 $\mu\text{T}$
fen za kosu	7.0 $\mu\text{T}$
električna pegla	1-10 $\mu\text{T}$
električni mikser	10 $\mu\text{T}$
električna peć	17 $\mu\text{T}$
usisivač	20 $\mu\text{T}$
električni pokrivač	1.3 - 3.3 $\mu\text{T}$
električni brijač (na 3 cm od izvora)	1500 $\mu\text{T}$
video terminali	0.13 - 0.3 $\mu\text{T}$
kolor televizor	0.1 - 0.5 $\mu\text{T}$

Oko ovih aparata i uređaja javlja se EM polje ekstremno niskih frekvencija (50-60 Hz), dok se u blizini video terminala nalaze EM polja ekstremno niskih frekvencija (50-80 Hz) i EM polja vrlo niskih frekvencija (15-20 KHz) (3). Stanovništvo koje živi u neposrednoj blizini dalekovoda, drugih provodnika visokog napona kao i trafo stanica, takođe je eksponovano EM poljima ekstremno niskih frekvencija (50-60 Hz). Intenzitet električnog polja na udaljenosti od 1,5 m od trafo stanice iznosi 1-5 Kv/m, a magnetnog polja 4-15  $\mu\text{T}$ . Izloženost EM poljima bi bila značajna ukoliko bi se stanovi nalazili ispod ili u neposrednoj blizini trafo stanica i električnih vodova većih napona.

Izvori EM polja u toku rada - profesionalna ekspozicija

EM poljima ekstremno niskih frekvencija su prvenstveno izloženi radnici na održavanju, opravci i kontroli dalekovoda (monteri linija), radnici koji rade u podstanicama (pored transformatora, kondenzatora, oni koji kontrolišu i prate merne instrumente, uključuju, isključuju, nadgledaju, održavaju linije i vodove, održavaju i podešavaju opremu) kao i druga lica koja ovde povremeno borave - inženjeri, pomoćno osoblje, vozači, farbari. Takođe su EM poljima eksponovani radnici pored indukcionih peći za topljenje metala, velikih elektromotora, na održavanju transformatora, radnici u hidro i termo elektranama, elektrovarnici, radnici na održavanju srednje i niskonaponske mreže (monteri, dispečeri, električari) radiomehaničari, radio i TT monteri, elektro i elektronski podešivači, elektro-monteri, elektro i elektronski inženjeri, vozači i kondukteri u tramvajima, trolejbusima, motorovođe i kondukteri u vozovima na električni pogon, kao i radnici koji rade sa elektronskom vojnjom

opremom. Prosečna gustina magnetnog fluksa u industrijskim preduzećima bez jakih izvora iznosi 2-20  $\mu\text{T}$ , dok su monter i linija na dalekovodima ekspozicionovani dozama električnog polja i do 20 Kv/m/h dnevno.

#### Maksimalno dozvoljene doze

U cilju zaštite od neželjenih efekata ovog zračenja, u mnogim zemljama, armijama i asocijacijama koje se brinu o zdravlju ljudi uvedeni su standardi koji definišu maksimalne gustine snage zračenja kojima u određenom vremenskom periodu može biti izložen ljudski organizam. Postoje velike razlike u standardima koje propisuju zapadne i istočnoevropske zemlje, što samo po sebi upućuje na potrebu daljih istraživanja.

Britanski nacionalni savet za radiološku zaštitu National Radiological Protection Board je preporučio za EM polja ispod 100 Hz vrednosti intenziteta E polja od 12 Kv/m i 2  $\mu\text{T}$  za intenzitet magnetne indukcije, kao vrednosti kojima se čovek može trajno izložiti (4).

Internacionalni komitet za nejonizujuće zračenje je preporučio 10 Kv/m i 0,5  $\mu\text{T}$  za radne prostore i 5 Kv/m ili 0,1  $\mu\text{T}$  za javne prostore.

U sedam američkih saveznih država uvedene su sigurnosne zone oko dalekovoda. U zavisnosti od naponskog nivoa i države, ta zona se kreće između 100 i 350 fit-a (od 35 - 115 m). U zapadnoj literaturi je to propisano udaljenje unutar koga ne bi smeli boraviti ljudi označeno skraćenicom ROW (Right Of Way).

U Rusiji postoje propisi koji ograničavaju dužinu boravka u prostorima gde postoji jako niskofrekventno EM polje. Zavisno od jačine polja, dozvoljeno vreme boravka je:

5kv/m	neograničeno
10kv/m	180 min
15kv/m	90 min
20kv/m	10 min
25kv/m	5 min

Međutim, mnogi istraživači smatraju, na osnovu rezultata dosadašnjih istraživanja, da prihvaćeni dopušteni nivoi izlaganja stanovništva nisu ipak dovoljno bezbedna garancija i da je razumno izbegavati nepotrebno izlaganje EM poljima i zračenjima.

#### Biološko dejstvo EM polja

U organizmu čoveka koji boravi u promenljivoj EM polju indukuju se struje, pri čemu E polje indukuje struju znatno jačeg intenziteta od magnetnog. Pod uticajem ovog polja nastaje oscilovanje slobodnih jona i rotacija dipolnih molekula u frekvenciji polja. Jaka EM polja mogu da vrše rotaciju, deformaciju, destrukciju i spajanje ćelija i da poremete membranski potencijal ćelija. Smatra se da biološki efekti ovih polja potiču od indukovanih struja, promena hidrirajućih jona i molekula belančevina na ćelijskim membranama, promena u orijentaciji RNK, DNK, izmene aktivnosti nekih enzima, izmene prenosa elektrona u Krebsovom ciklusu i uticaja na oksidativnu fosforilaciju. Eksperimenti na životinjama su pokazali da su najosetljiviji nervni, endokrini

sistem i čula, da dolazi do aktivacije ose hipotalamus - hipofiza - kore nadbubrega, dejstvo na semenike (pojava magnetske sterilizacije), promene na krvotoku, pojačane propustljivosti kapilara i pojačane koagulabilnosti krvi (5-7). Pod uticajem jakih polja dolazi do izmene u ponašanju, neurofizioloških, hematoloških promena, poremećaja u generativnoj funkciji, embriogenezi i postnatalnom razvoju, citogenetsko i gonadotoksično dejstvo, promene u broju trombocita, sniženje aktivnosti holinesteraze, usporjenje absorpcije radionukleotida, promene u koncentraciji natrijuma i kalijuma u mokraći i promena u efluksiji kalcijuma iz tkiva mozga (8-9).

#### Rezultati kliničkih ispitivanja

Od strane švedskih autora opisuje se pojava "hipersenzitivnosti na elektricitet" i određene neurastenične manifestacije kod osoba koje rade sa video terminalima ili se nalaze u blizini linija električne struje, elektromotora, električnih aparata u domaćinstvima i fluorescentnih lampi. Promene su na koži u vidu rumenila, crvenila ili ružičaste boje lica, osećaja toplote, vibriranja kose i dlaka, svraba ili osećaja kao da koža lica bridi. Smetnje nespecifične prirode slične neurasteničnim manifestovale su se u obliku glavobolje, vrtoglavice, zujanja u ušima, umora, slabosti, osećaja mravinjanja i bridenja na koži ekstremiteta, nedostatka vazduha, palpitacija, muke, poremećaja probave, pojačanog znojenja, razdražljivosti, nesanice, emocionalne nestabilnosti, smanjene intelektualne sposobnosti, depresije, osećaja svetložutog svetlucanja u očima i teškog pamćenja.

Vršena su ispitivanja uticaja EM polja na pojavu malignih bolesti ekspozicionih osoba. Nađena je povećana smrtnost od svih oblika leukemije i akutne leukemije kod odraslih hronično izloženih EM polju preko 0,3  $\mu\text{T}$ .

Utvrđena je veća pojava karcinoma (prevladavaju tumori pluća, faringosa, digestivnog trakta, respiratornih sinusa, tiroidne žlezde, tumori nervnog sistema, limfomi i melanomi očiju i kože) kod radnika čije je zanimanje vezano za rad sa električnom strujom.

Utvrđena je dva do tri puta veća incidenca malignih bolesti kod dece koja su stanovala u kućama u blizini linija koje vode neposredno iz transformatora. Naročito je utvrđena češća pojava leukemije kod dece, tumora mozga i Hodgkin-ove bolesti dece hronično izložene EM polju u stanu, pri čemu su na malignu proliferaciju naročito osetljiva deca sa Down-ovim sindromom. Pretpostavlja se da je uzrok povećane incidence malignih oboljenja kod dece promenljivo magnetno polje u blizini provodnika, koji vode direktno iz transformatora i kućne električne instalacije. Od mogućih mehanizama kancerogenog dejstva, istraživano je i dokazano dejstvo EM polja u pravcu uticaja na ćelijsku membranu i transport kalcijuma kroz membranu, na prekidanje komunikacije među ćelijama, promene u rastu ćelija, na aktivaciju specifičnog redosleda nukleotida gena modulisanom transkripcijom RNK, uticaja na sniženje produkcije melatonina u epifizi, promenu aktivnosti

ornitin dekarboksilaze, na mogući prekid funkcije kontrole antitumorskih mehanizama (4-7).

Izazivanje promena na hromozomima, uticaja na reparaciju DNK i drugih genotoksičnih efekata. Nalaz supresije produkcije melatonina u epifizi pod uticajem EM polja pobudio je interesovanje, jer je poznato da ova supstanca ima indirektan onkostatistički efekat zbog inhibirajućeg dejstva na izazivanje oštećenja DNK od strane slobodnih radikala (8-10). Smanjeni nivo melatonina pod dejstvom EM polja stvorio bi mogućnosti da su DNK vulnerabilnije na dejstvo slobodnih radikala, što bi dovelo do veće mogućnosti započinjanja procesa kancerogeneze. Opisuju se još dva moguća mehanizma kancerogenog dejstva, kao što su uticaj EM polja na sintezu feritina kao značajnog faktora u kancerogenezi i na pojavu posebnih magnetskih kristala u ljudskim ćelijama, naročito u ćelijama mozga.

Utvrđena je korelacija između jačine EM polja i mesta samoubistva, značajno povećan broj samoubistava u području jakih EM polja, kao i značajno češća pojava depresivnog sindroma u populaciji eksponovanoj ovom zračenju (11).

Ispitivanje uticaja ovih polja na kardiovaskularni sistem ukazala su na češću pojavu ventrikularnih ekstrasistola, ventrikularne fibrilacije, poremećaja regulacije krvnog pritiska i cirkulacije, kao i na povećanu produkciju tromboksana B2 i triglicerida u ekponovanoj populaciji.

Snažno elektromagnetno polje može uticati na rad Pace-maker-a. Starija verzija kardiostimulatora (kontinuirani), koji konstantno šalju impulse u srce fiksiranim ritmom, u većoj su meri otporni na pojavu interferencije sa EM poljem, pošto su dobro zaštićeni svojim oklopom, a i tkivom čoveka u kojem su ugrađeni. Novija verzija pacemakera on demand, sa senzitivnom sondom (koja prima povratne električne impulse iz srca i šalje impulse u srčani mišić preko elektrode, samo kada nema odgovarajuće srčane aktivnosti) mnogo su osetljiviji na EM interferenciju. Postoji mogućnost da senzitivna sonda zbog interferencije sa EM poljem primi "lažni" signal kao da srce radi i da prestane spontano da šalje impulse u srčani mišić, što može biti opasno ako je ono tog trenutka u AV bloku. Većina sadašnjih pacemakera je u određenoj meri otporna na EM interferenciju i do poremećaja ritma može doći tek u zoni jakih EM polja. Zbog toga osobe koje imaju

ugrađen pacemaker ne bi trebalo da dolaze u blizinu provodnika vrlo visokog napona.

Utvrđen je značajno veći rizik od pojave spontanih pobačaja i rađanja dece sa kongenitalnim malformacijama kod žena koje su u vreme rane trudnoće koristile električne pokrivače i spavale u električno grejanim vodenim krevetima.

Nađene su promene u perifernoj krvi, leukocitoza, retikulocitoza, inhibicija rasta T limfocita, smanjena sposobnost T limfocita da prepoznaju stranu ćeliju, poremećena funkcija eritrocita i leukocita, oštećenje čula sluha, poremećaj endokrinog i neuromišićnog sistema osoba eksponovanih EM zračenju veoma niske učestalosti (12-19). Treba napomenuti da su slični biološki efekti registrovani i kod izlaganja EM polju visoke učestalosti (20), te je primena preventivnih mera neophodna i kod zaštite od ove vrste zračenja.

## Zaključak

Nivoi izlaganja opšte populacije EM polju za sada ne izgledaju značajno visoki, ali pojedine grupe stanovnika i radnika mogu biti izložene u blizini izvora nešto većim nivoima zračenja. Efekti ovakve ekspozicije se ogledaju u češćoj pojavi subjektivnih tegoba, malignih oboljenja, promena na koži, promena na genetskom materijalu, na kardiovaskularnom, nervnom, hematopoeznom sistemu, metabolizmu i na češću pojavu spontanih pobačaja.

Još uvek ne postoje jedinstveni standardi o maksimalno dozvoljenim dozama ekspozicije ovog zračenja. Zaštita od EM polja praktično ne postoji. U svakom slučaju, trebalo bi izbegavati nepotrebno izlaganje ovom zračenju. Treba raditi na razradi odgovarajućih standarda koji se odnose na ovu oblast i zakonske regulative, u smislu upozoravanja i ograničavanja ulaska i boravka stanovništva u zonama sa većim intenzitetima zračenja i vršiti procenu moguće izloženosti pri postavljanju novih izvora zračenja kao i pri izgradnji stanova.

Osobe sa ugrađenim kardiostimulatorima mogu biti ugrožene u zonama sa većim intenzitetom EM polja, pa treba odgovarajućim propisima obezbediti obavezu postavljanja upozorenja o opasnosti ulaska u zone i raditi na razvoju tehnički zaštićenijih kardiostimulatora.

## Literatura

1. Habash RW, Brodsky LM, Leiss W, Krewski D, Repacholi M. Health risks of electromagnetic fields. Part I: Evaluation and assessment of electric and magnetic fields. *Crit Rev Biomed Eng* 2003; 31(3):141-95.
2. Lacy-Hulbert A, Metcalfe JC, Hesketh R. Biological responses to electromagnetic fields. *FASEB J* 1998; 12(6):395-420.
3. Knave B. Electromagnetic fields and health outcomes. *Ann Acad Med Singapore* 2001;30(5): 489-93.
4. Jones AL, Oatway WB, Hughes JS, Simmonds JR. Review of trends in the UK population dose. *J Radiol Prot* 2007; 27(4):381-90.
5. Hug K, Grize L, Seidler A, Kaatsch P, Schüz J. Parental occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields and childhood cancer: a German case-control study. *Am J Epidemiol* 2010; 171(1):27-35.
6. Pérez-Castejón C, Pérez-Bruzón RN, Llorente M, Pes N, Lacasa C, Figols T, et al. Exposure to ELF-pulse modulated X band microwaves increases in vitro human astrocytoma cell proliferation. *Histol Histopathol* 2009; 24(12):1551-61.
7. Jahandideh S, Abdolmaleki P, Movahedi MM. Comparing performances of logistic regression and neural networks for predicting melatonin excretion patterns in the rat exposed to ELF magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2010; 31(2):164-71.

8. Burdak-Rothkamm S, Rothkamm K, Folkard M, Patel G, Hone P, Lloyd D, et al. DNA and chromosomal damage in response to intermittent extremely low-frequency magnetic fields. *Mutat Res* 2009; 672(2): 82-9
9. Focke F, Schuermann D, Kuster N, Schär P. DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Mutat Res* 2010; 683(1-2):74-83.
10. Ruiz-Gómez MJ, Martínez-Morillo M. Electromagnetic fields and the induction of DNA strand breaks. *Electromagn Biol Med* 2009; 28(2):201-14.
11. Balassa T, Szemerszky R, Bárdos G. Effect of short-term 50 Hz electromagnetic field exposure on the behavior of rats. *Acta Physiol Hung* 2009;96(4): 437-48.
12. Krstić D, Djindjić B, Kocić G, Petković D, Radić S, Sokolović D. Medical Aspects and harmful effects of 50 Hz electromagnetic field on biological systems. *Acta Medica Medianae* 2003; 42(4): 11-15.
13. Morales J, Garcia M, Perez C, Valverde JV, Lopez-Sanchez C, Garcia-Martinez V, et al. Low frequency electromagnetic radiation and hearing. *J Laryngol Otol* 2009; 123(11):1204-11.
14. Budak B, Budak GG, Oztürk GG, Muluk NB, Apan A, Seyhan N. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on distortion product otoacoustic emissions in rabbits. *Auris Nasus Larynx* 2009;36(3): 255-62
15. Reyes-Guerrero G, Guzmán C, García DE, Camacho-Arroyo I, Vázquez-García M. Extremely low-frequency electromagnetic fields differentially regulate estrogen receptor-alpha and -beta expression in the rat olfactory bulb. *Neurosci Lett* 2010; 471(2):109-13.
16. Hernández-Hernández H, Cruces-Solis H, Elías-Viñas D, Verdugo-Díaz L. Neurite outgrowth on chromaffin cells applying extremely low frequency magnetic fields by permanent magnets. *Arch Med Res* 2009; 40(7):545-50.
17. Severini M, Bosco L, Alilla R, Loy M, Bonori M, Giuliani L, Bedini A, Giliberti C, Palomba R, Pesolillo S, Giacomozzi E, Castellano AC. Metamorphosis delay in *Xenopus laevis* (Daudin) tadpoles exposed to a 50 Hz weak magnetic field. *Int J Radiat Biol*. 2010 ; 86(1):37-46.
18. Morabito C, Rovetta F, Bizzarri M, Mazzoleni G, Fanò G, Mariggiò MA. Modulation of redox status and calcium handling by extremely low frequency electromagnetic fields in C2C12 muscle cells: A real-time, single-cell approach. *Free Radic Biol Med* 2010; 48(4):579-89.
19. Cakir DU, Yokus B, Akdag MZ, Sert C, Mete N. Alterations of hematological variations in rats exposed to extremely low frequency magnetic fields (50 Hz). *Arch Med Res* 2009; 40(5):352-6
20. Krstić D, Marković V, Nikolić N, Djindjić B, Radić S, Petković D, Marković M. Biological effects of exposure to mobile communication systems. *Acta Medica Medianae* 2004; 43(4): 55-63..

## THE DAMAGING EFFECTS OF EXPOSURE TO EXTREMELY LOW FREQUENCIES OF ELECTROMAGNETIC FIELDS

*Jovica Jovanović, Boris Đinđić, Dušan Sokolović, Dejan Krstić, Dejan Petković, Petar Babović and Ivana Marković*

In both living and working environment, apart from the ever present Earth's atmospheric and magnetic fields, very often there is an existing very low- frequency electromagnetic field emitted by energy plants, home, radio and TV appliances, public transport vehicles and video terminals. Low-frequency electromagnetic fields (30-300 Hz) are also present in the vicinity of high-voltage transmission lines, high and middle voltage conductors, sub-stations and industry. A large number of people who work on servicing of these plants and devices are exposed to electromagnetic fields. To a certain degree even the tenants who live and even occupy the space near high-voltage transmission lines and converters for a certain period of time as well as those who use electric home appliances in their homes are exposed to the aforementioned.

Taking into consideration the recent results obtained from contemporary epidemiological examinations, the impact of these low-frequency magnetic fields are to a large degree undesirable and damaging to health. As a result, a warning has been issued about the frequent occurrence of malignant diseases, psychological disorders, genetic material damage, cardiovascular, nervous, hematopoietic system, metabolism and the occurrence of miscarriages in the exposed population.

Correspondingly, there is a growing need for further research of biological effects of such radiation with an aim to bring forth both unified standards as well as legal regulation that would regulate maximum allowed time of exposure by which both duration of stay in places with higher radiation and building of new industrial plants and tenements will be determined. *Acta Medica Medianae* 2010;49(1):54-58.

**Key words:** *electromagnetic field, malignant diseases, cardiovascular system, hematopoietic system, metabolism*