

BIOLOSKA DEJSTVA ELEKTROMAGNETSKIH POLJA EKSTREMNO NISKIH FREKVENCIJA

M. Hrnjak i Z. Radojković

*Institut za medicinu rada Zavoda za preventivnu medicinu Vojnomedicinske
akademije, Beograd*

(Primljeno 1. VIII. 1986)

Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija (30—300 Hz) javljaju se u blizini provodnika dalekovoda i drugih provodnika visokog i srednjeg napona, u podstanicama i u industriji. Veliki broj osoba koje rade na opsluživanju ovakvih postrojenja i uređaja je profesionalno izložen ovakvim promenljivim poljima. U izvesnoj meri može biti izloženo i stanovništvo koje živi i boravi u blizini dalekovoda i transformatora, a i pri upotrebi električnih aparata u domaćinstvima. Problem biološkog dejstva promenljivih elektromagnetskih polja još uvek se ne može potpuno sagledati, a naročito posledice dugotrajnog profesionalnog izlaganja.

U nekim zemljama su kod radnika opisane funkcionalne promene na nervnom, kardiovaskularnom, hematopoetskom i gastrointestinalnom aparatu. Međutim, veći broj autora nije mogao da nađe ovakve promene. Uglavnom, nisu nađeni specifični simptomi, ni organske promene. Smatra se da intenziteti električnog polja do 20 kV/m ne predstavljaju opasnost po zdravlje i da nema potrebe ograničavati ekspoziciju poljima do 10 kV/m.

Teslinim pronalaskom polifaznih struja, 1887. godine, praktično je rešeno dobijanje, prenošenje i korišćenje naizmjenične struje u industriji i svim vidovima života i dat 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. Eksperimentalnim dokazivanjem prostiranja elektromagnetskih (EM) talasa, čime je 1888. godine dokazana Maksvelova teorija EM talasa, otvoren je put razvoju radiofonije, televizije i radarske tehnike. Sve ovo je doprinelo daljem napretku, ali se čovek koji je do tada boravio okružen prirodnim fonom EM polja i zračenja, na koje se tokom evolucije prilagodio, sada našao izložen daleko većem intenzitetu ovih faktora koji potiču od brojnih veštačkih izvora. Razumljivo je da ovo pobuđuje interesovanje o mogućim štetnim posledicama po zdravlje populacije u celini i osoba koje su profesionalno izložene jakim EM poljima.

Prirodno Zemljino električno i magnetsko polje se sastoji od statičke i promenljive komponente. Jačina statičkog električnog (E) polja iznosi oko 130 V/m* i menja se u toku godine, tako da zimi ima maksimum od 150 do 200 V/m, a ljeti iznosi oko 100-120 V/m (1). E polje potiče od razlike potencijala između atmosfere i Zemljine površine. U toku vremenskih nepogoda dostiže jačinu i do 1,5 kV/m, a navodi se da se u toku grmljavine javljaju i polja jačine od 3 do 20 kV/m (2). Promenljiva komponenta E polja ima razne frekvencije, potiče uglavnom od grmljavina i drugih pražnjenja u atmosferi i teluričnih struja pod površinom Zemlje, a intenzitet varira od 10^{-6} do 1000 V/m (3). Jačina promenljivog unutrašnjeg magnetskog (M) Zemljinog polja se kreće od 23 A/m na ekvatoru do 50 A/m na polovima, što potiče od kretanja električne struje pod Zemljinom korom, dok je jačina spoljašnjeg M polja koje potiče od Sunčevih bura, teluričnih struja i pražnjenja u atmosferi podložna daleko većim promenama (3).

Gustina snage prirodnog EM zračenja koje potiče od Sunca i drugih nebeskih tela je reda veličine od 10 pW/cm² i menja se u toku godine, a naročito za

Tabela 1.
Korištene veličine i merne jedinice

Veličina				
Naziv	Oznaka	Naziv	Oznaka	Definicija
Električni naboj (količina elektriciteta)	Q	Coulomb	C	A · s
Električni napon, električni potencijal, elektromotorna sila	U	Volt	V	W/A
Električna provodljivost	G	Siemens	S	1/Ω
Specifična električna provodljivost		Siemens po metru		S/m
Električna otpornost	R	Ohm	Ω	V/A
Impedancija	Z	Ohm	Ω	V/A
Električna kapacitivnost	C	Farad	F	C/V
Jačina električne struje	I	Amper	A	
Gustina električne struje	J	Amper po kvadratnom metru		A/m ²
Jačina električnog polja	E	Volt po metru		V/m
Magnetska indukcija (gustina magnetskog fluksa)	B	Tesla	T	N/m · A /Wb/m ² /
Magnetski tok (fluks)	Φ	Weber	Wb	T · m ²
Jačina magnetskog polja	H	Amper po metru		A/m
Snaga	P	Watt	W	J/s
Frekvencija	f	Hertz	Hz	1/s
Gustina snage zračenja		Wat po kvadratnom metru		W/m ²

* Veličina i merne jedinice navedene su tabelarno radi lakše orijentacije.

vreme Sunčevih bura. Gustina snage EM zračenja porekla iz veštačkih izvora je daleko veća u odnosu na prirodni fon, pa se smatra da je opšta populacija u industrijskim zemljama izložena zračenju reda veličine od nekoliko $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, a stanovnici u zgradama pored jakih radiostanica mogu biti izloženi gustinama snaga i od nekoliko mW/cm^2 (4). Poseban problem je svakodnevno profesionalno izlaganje jakim EM poljima i zračenju.

Boravak i rad u blizini dalekovoda i razvodnih postrojenja vrlo visokog i visokog napona, transformatora i druge razvodne mreže i uređaja dovodi do izlaganja EM poljima ekstremno niskih frekvencija. U Evropi se ekstremno niskim frekvencijama — extremely low frequency (ELF) — smatraju one od 30 do 300 Hz, a u SAD one od 0 do 100 Hz. Činjenica da veliki broj ljudi održava ovakva postrojenja ili stanuje u neposrednoj blizini pobudila je interesovanje o mogućim štetnim efektima, te se poslednjih 20-ak godina ovom problemu pridaje sve veća pažnja. Svetska zdravstvena organizacija je poslednjih godina izdala dve publikacije (2, 3) posvećene ovom problemu.

Električna energija se proizvodi u elektranama, transformiše i prenosi preko mreže pod visokim ili vrlo visokim naponom do naseljenih mesta i velikih industrijskih potrošača. Dalekovodi u svetu prenose naizmjeničnu trofaznu električnu struju pod naponom od 100 do 765 kV, a u SSSR-u su izgrađeni i oni pod naponom od 1,1 MV. U bliskoj budućnosti se predviđa prenošenje električne energije pod naponom i do 1,2 MV (3). Uobičajena frekvencija naizmjenične struje je 50 Hz osim u Severnoj Americi gde se koristi 60 Hz. Dalekovodi na visokim metalnim stubovima obično imaju 3 gola bakarna provodnika od kojih svaki nosi po 1 fazu, a visina provodnika od tla u zavisnosti od napona i konfiguracije terena obično iznosi preko 12 m. Kod onih od 1 MV ova visina je preko 17 m (2). Između »živih« provodnika nalazi se dovoljan razmak koji sprečava nastanak varničenja i kratkog spoja. Iznad žica pod naponom nalazi se obično 1—2 provodnika manjeg promera koji su uzemljeni i štite dalekovod od udara groma. Ispod dalekovoda se određuje zona odgovarajuće širine u kojoj je korišćenje zemljišta ograničeno. Električna energija visokog napona se dalje transformiše u podstanicama u srednji i mali napon i distribuira do potrošača. Prenosi se nadzemnim linijama na stubovima ili podzemnim kablovima. Primarnom srednjevoltažnom mrežom napona od 11 do 35 kV sa 3 provodnika ili 12—50 kV sa 3—4 provodnika (u Severnoj Americi) snabdevaju se veliki industrijski potrošači direktno ili se električna energija transformiše i niskovoltažnom mrežom dovodi do individualnih potrošača. Koristi se trofazna ili jednofazna struja napona 220/380 V, a u Severnoj Americi 207/115 V (5). Kod nas se iz elektrana električna energija transformiše u podstanicama od 380 kV na 110 kV i dalekovodima vodi do velikih gradova ili velikih industrijskih potrošača. Postoje dalekovodi i od 380 kV. U gradovima se napon od 110 kV u podstanicama transformiše u 35 kV i podzemnim kablovima vodi do transformatora u blizini zgrada, gde se dalje transformiše u 10 kV, a daljim transformisanjem u 380/220 V i tako razvodi po stanovima.

FIZICKE OSNOVE

Oko razvodnih postrojenja visokog napona naizmjenične struje javlja se promjenljivo EM polje ekstremno niskih frekvencija (50—60 Hz). Prostor u blizini

linija vrlo visokog napona predstavlja u fizičkom smislu obližnju zonu zračenja (kvazistacionarnu zonu), jer je udaljenje od izvora promenljivog EM polja manje od talasne dužine zračenja (ekstremno niskih frekvencija) koje iznose više hiljada kilometara. Dok je u dalekoj (talasnoj) zoni gde je $r > \lambda$ (r = udaljenje od izvora, λ = talasna dužina zračenja) jačina polja obrnuto proporcionalna rastojanju od izvora, u obližnjoj zoni jačina polja opada mnogo brže — jačina E polja sa kvadratom, a jačina M polja sa kubom rastojanja. Takođe, u ovoj zoni amplituda jačine polja ne zavisi od frekvencije (talasne dužine zračenja). Mada ova dva polja čine nedeljivu celinu — EM polje, ona se zbog nepoštojanja konstantnog odnosa i komplikovanosti izračunavanja u ovoj zoni razmatraju i mere izdvojeno jedno od drugog. Nastaju zbog ubrzanog kretanja naelektrisanja kroz provodnik, te u ovakvim uslovima i ne mogu postojati jedno bez drugog. Oba polja predstavljaju vremenski promenljiva fizička polja jer im se jačina menja u toku vremena, vrtložna su (linije sila su zatvorene u sebe), nehomogena, a u prostoru se šire brzinom svetlosti.

Karakteristike električnog polja

Električno polje koje se javlja oko provodnika vrlo visokog napona nastaje zbog napona, tj. razlike potencijala provodnika i površine Zemlje. Ono je rezultat sinusoidalno-oscilirajućeg naboja u provodnicima, tj. toka naizmenične struje pod visokim naponom. Pošto se ovde javlja trofazna naizmenična struja, to će svaki provodnik imati svoje E polje, čija frekvencija zavisi od frekvencije naizmenične struje. Ova polja nisu u fazi, a rezultatni vektor ova tri polja opisuje u prostoru elipsu čiji se krug zatvara u toku jednog celog ciklusa. Za procenu bioloških dejstava, ispod provodnika vrlo visokog napona, obično se uzima samo vertikalna komponenta E polja koja je rezultanta sva tri polja (3). Jačina E polja se izražava u voltima na metar (V/m), i to efektivna vrednost polja, pošto je polje promenljivo. Merenje se vrši u jednoj tački (obično na 0,5; 1,5 ili 1,8 m od tla) ispod provodnika, a uzima se u obzir jačina neporemećenog polja, tj. jačina E polja kada u njemu nema objekata, jer prisustvo predmeta i čoveka dovodi do poremećaja linija sile polja. Najveća jačina polja je na liniji normalne projekcije linija provodnika i do oko 15—20 m levo i desno. Zavisi od napona provodnika, visine linija iznad tla, visine tačke u kojoj se meri, udaljenja od linije normalne projekcije provodnika, reljefa zemljišta i postojanja objekata i rastinja u ovoj zoni. U zavisnosti od visine provodnika od tla, izmerene vrednosti neporemećenog E polja ispod provodnika visokog napona se kreću od 1 do 6 kV/m za dalekovode od 123 do 420 kV, od oko 10—12 kV/m za dalekovode od 750 do 800 kV (visina provodnika od oko 13—15 m iznad tla), a kod onih napona od 1,2 MV i do 15—17 kV/m (2, 3). U podstanicama jačine E polja zavise od napona, visine provodnika iznad tla, preseka i tipa, kao i rasporeda provodnika i kreću se od 5 do 6 kV/m za one od 123 kV pa do 14—16 kV/m za one koje rade pod naponom od 420—800 kV/m (2). Navode se izmerene vrednosti od 20 kV/m (6) kao i one od 23 kV/m (1).

Ulaskom čoveka u E polje dolazi do poremećaja polja jer se organizam čoveka može smatrati relativno dobrim provodnikom zbog prisustva tkivnih tečnosti koje predstavljaju elektrolite. Elektroprovodljivost živog tkiva reda je veličine 10^{-3} S/cm za likvor, krv, mišiće i unutrašnje organe, dok za kosti bez pokosnice iznosi oko 10^{-7} S/m (7, 8). Ako čovek stupi bos ili nosi cipele koje

nemaju veću izolacionu sposobnost, onda se može smatrati uzemljenim provodnikom. U slučaju da nosi cipele čiji su đonovi od materijala koji je dobar izolator, onda je neuzemljen. Čovek sa cipelama od kožnog đona ima otpor prema zemlji od oko 15 k Ω , a sa plastičnim đonom od oko 100 M Ω (2).

Na površini neuzemljenog tela formira se u E polju naelektrisanje, te će čovek biti pod naponom u odnosu na tlo. U slučaju dobrog uzemljenja nema razlike potencijala u odnosu na tlo. Uglavnom je ukupni otpor tela (impedancija) u odnosu na Zemlju manji od kapacitativnog otpora tela u odnosu na provodnik vrlo visokog napona, te se čovek ipak može smatrati relativno dobro uzemljenim kad stoji u ovakvom E polju (2). Spoljnje E polje, kad se formira na površini čovečjeg tela, neće biti uniformno, jer će se na delovima koji promiraju u većoj meri koncentrisati naelektrisanje. Pošto je ovo E polje promenljivo, dolazi do vibriranja kose i dlaka po telu, što dovodi do nadražaja receptora kože i pojave percepcije E polja, ukoliko je ono dovoljno jako (3).

U unutrašnjosti tela dolazi do atenuacije E polja (za 10²—10⁷ u odnosu na spoljnje polje) i do indukovanja električne struje (1). U slučaju dobrog uzemljenja indukovana struja će teći prema tlu. Ukupna indukovana struja se može izračunati, ali se teško može proceniti gustina struje zbog različitih svojstava tkiva (različite impedancije pojedinih tkiva), izolacionih moći pojedinih membrana i drugih električnih svojstava živih tkiva različitih gustina (3). Ukupna struja provodnosti koja se stvara kad se čovek nalazi u promenljivom E polju iznosi oko 10 μ A za frekvenciju od 50 Hz (ili 17 μ A za frekvenciju od 60 Hz) za svaki 1 kV/m jačine neporemećenog polja, što za E polje od 10 kV/m (ispod dalekovoda) iznosi ukupno oko 140 μ A ili 170 μ A (2). Čovek ne poseduje nijedno unutrašnje čulo ili organ kojim bi registrovao ovako nastalu indukovanu struju.

Karakteristike magnetskog polja

Magnetsko polje koje se javlja oko provodnika visokog napona nastaje zbog kretanja naelektrisanja kroz provodnik, tj. toka naizmenične trofazne struje visokog napona. Zbog ovoga ono ima karakteristike elipsoidnog rotacionog polja sa maksimumom gustine fluksa na liniji normalne projekcije provodnika na površini tla i nekoliko desetina metara levo i desno. Jačina M polja se izražava u amperima na metar (A/m), a gustina magnetskog fluksa ili magnetska indukcija izražava se u teslama (1 T = 1 Wb/m²). Gustina magnetskog fluksa je jednaka proizvodu jačine magnetskog polja i magnetske propustljivosti. Pošto relativna magnetska propustljivost za vazduh i živa tkiva sisara iznosi oko 1 (kao i za vakuum), to se M polje ne atenuira u vazduhu i tkivima čoveka. U vazduhu intenzitet M polja od 1 A/m odgovara gustini magnetskog fluksa od oko 0,0013 mT (8). Intenzitet M polja ispod provodnika visokog napona u najvećoj meri zavisi od jačine struje koja protiče kroz provodnik, a maksimum gustine fluksa u velikoj meri zavisi od rasporeda faznih provodnika (2), tako da raspored M polja odgovara često E polju. Uzima se da maksimum gustine M polja na nivou tla ispod linije provodnika visokog napona iznosi oko 0,1 mT po 1 kA jačine struje koja teče kroz provodnik (2). U zavisnosti od visine linija provodnika od tla izmereni nivoi magnetskog fluksa na visini prosečnog čoveka se kreću oko 0,01—0,05 mT (3).

Čovečje telo u celini ima svojstva paramagnetika (supstancije koje su slabi magneti), te boravak u polju neće izvršiti poremećaj polja i linije sile polja će prolaziti kroz telo. Tako će magnetno polje imati isti intenzitet spolja i u unutrašnjosti tela (8). Promenljivo M polje ispod dalekovoda dovešće u telu čoveka do pojave indukovanih vrtložnih struja. Indukovane struje u telu teku u obliku zatvorenih petlji u ravnima normalnim na pravac propagacije polja (8). Raspored ovih struja je neuniforman zbog osobina različite provodljivosti pojedinih tkiva. Javljaju se na periferiji i u unutrašnjosti tela, ali su jače neposredno ispod spoljne površine tela u ravnima normalnim na magnetsko polje (8). Ukupno su ove indukovane struje za 25% manje od onih izazvanih E poljem (3).

Boravak u M polju uglavnom se ne može registrovati čulima, osim ako jačine polja nisu izuzetno visoke. Može doći do pojave fenomena magnetske fosfene. U slučaju izloženosti očiju jakim promenljivim M poljima od 10 do 30 mT (2, 9), a po nekima 100 mT (8), pojavljuje se percepcija svetlih krugova u očima ili svetloplavog i svetložutog svetlucanja. Ovo se smatra nespecifičnim nadražajem mrežnjače, jer se javlja i kod jačeg pritiska na očnu jabučicu. Do ove pojave može doći samo u blizini jakih izvora M polja u industriji.

Pojava varničenja

Zbog pojave nakupljanja naelektrisanja, što se događa na telima u električnom polju koja nisu uzemljena ili su slabo uzemljena, može doći do pražnjenja, kroz vazduh (varnice) između ovih tela i drugih predmeta zbog nastale razlike u potencijalu. Ovo se javlja kada čovek koji se nalazi u E polju dođe u blizinu dobro uzemljenih predmeta. Posebno je značajno nakupljanje elektriciteta na masivnim metalnim predmetima koji su slabo uzemljeni, a nalaze se ispod provodnika visokog napona u jakom E polju — vozilima i poljoprivrednim mašinama (na točkovima sa gumama), na dugim metalnim ogradama koje su slabo uzemljene, na metalnim kapijama itd. (2). Smatra se da minimalni prag za percepciju varničkog pražnjenja preko kože predstavlja jačina struje od 0,4 μ A (2). Ovo pražnjenje se oseća u vidu peckanja i bola, po pravilu ne predstavlja neku veću opasnost, ali pošto se dešava iznenada ili neočekivano, može da dovede do nehotičnog trzaja dela tela i eventualnog povređivanja. Stalno varničenje u E polju izaziva napetost, osećanje nesigurnosti i omatanje pažnje, te može da predstavlja ozbiljnu smetnju pri radu.

Korona

Korona se javlja oko provodnika visokog napona kao rezultat delimičnog pražnjenja kroz vazduh zbog pojave jonizacije vazduha. Ovo predstavlja gubitak energije kod visokonaponskih provodnika. Karakteriše se pojavom slabog svetlosnog efekta oko provodnika (svetlucanja, utiska kao da su provodnici obavijeni slojem svetlećeg gasa, a noću i pojave svetlosnih pruga duž provodnika), nastankom ultravioletnog zračenja slabog intenziteta, stvaranjem buke, ozona i jona (koji se kreću linijama sile E polja).

Buka može predstavljati problem, ali se tehničkim merama može svesti na dozvoljeni nivo. Ultravioletno zračenje, ozon i pojava jona u vazduhu ne predstavljaju problem na otvorenom prostoru.

IZLOŽENOST LJUDI

Promenljivim EM poljima ekstremno niskih frekvencija su prvenstveno izloženi radnici na održavanju, opravci i kontroli dalekovoda (monteri linija i dr.), radnici koji rade u podstanicama (pored transformatora, kondenzatora i drugih uređaja, oni koji kontrolišu i prate merne instrumente, uključuju, isključuju i nadgledavaju, održavaju i popravljaju linije i vodove, održavaju i podešavaju opremu), kao i druga lica koja ovde povremeno borave — inženjeri, pomoćno osoblje, vozači, farbari i dr. (6, 10). Pored ovih u industriji su izloženi radnici pored indukcionih peći za topljenje metala, velikih elektromotora, na održavanju transformatora itd. Pored indukcionih peći (naponi od 220 do 6000 V, 2 Hz — 500 kHz) jačina E polja se kreće oko 60 V/m, a jačina M polja i do 40 A/m (1). Promenljiva magnetska polja određene jačine javljaju se i kod električnog zavarivanja i sečenja naizmeničnom strujom. U manjoj meri su izloženi radnici na održavanju srednje i niskonaponske mreže: monteri, dispečeri, električari i dr., ali i radio-mehaničari, radio i TT-monteri, elektro i elektronski podešivači, elektro-monteri, elektro i elektronski inženjeri i druge profesije (11).

Vršeno je ispitivanje M polja kod video-terminala kako bi se utvrdila ekspozicija ljudi koji rade na ovim terminalima. Električna polja koja se javljaju u blizini video-terminala su mnogo slabija od M polja, i oko hiljadu puta manja od onih koja se smatraju štetnim (8). Izmerene ukupne vrednosti jačine M polja oko raznih vrsta video-terminala su nekoliko puta manje od 1 A/m (0,0013 mT), s time što je frekventnom analizom (raspon od 60 do 120 Hz) utvrđeno da je najviše izraženo M polje frekvencije od 60 Hz — vrednosti se kreću od 0,04 do 0,085 A/m, sa nešto jače izraženim lokalnim poljima. Neki autori smatraju da izmerene vrednosti ne predstavljaju potencijalnu opasnost (8).

Grandolfo i saradnici (12) su u podstanicama koje rade na 220 kV, 50 Hz, ni nivou od 1,5 m izmerili maksimalnu vrednost E polja od 1 do 5 kV/m, a M polja od 4 do 15 μ T i procenjuju da prosečna izloženost zaposlenih u ovim poljima iznosi oko 3 časa dnevno. Osoblje koje vrši održavanje, opravku i testiranje prekidača strujnog kola u podstanicama često se penje lestvama do visine 6—8 m do prekidača, te se nivo izloženosti može daleko više razlikovati od onoga kojem su izložene osobe na tlu (6). *Broadbent i saradnici* (10) navode, vršeći procenu i merenje »doze izloženosti« (jačina E polja \times vreme izlaganja u h) pomoću Denoovog elektrohemijskog ličnog dozimetra, da su kod montera linija na dalekovodima (33—400 kV) našli prosečno samo oko 20 kV/m \cdot h dnevno, a kod podešivača u podstanicama (132—400 kV) samo 1,14 kV/m \cdot h u toku radnog dana.

Opšta populacija je izložena E poljima ekstremno niskih frekvencija u domaćinstvima, a ona potiču od blizine transformatora i električne mreže u kućama, od kućnih električnih aparata i svetlosnih izvora. U stanovima u SAD se izmerene vrednosti jačine E polja kreću od 1 V/m do 10 V/m, a na 30 cm od površina kućnih aparata i uređaja su nađene vrednosti od 2 V/m (kod svetlosnih izvora) do 250 V/m pored električnog »jastučeta« (3). Pored kolor televizora vrednosti E polja iznose oko 30 V/m na daljini od 30 cm, a vrednosti gustine magnetskog fluksa se kreću od 0,1 do 0,5 mT (8). Izmerene vrednosti M polja frekvencije od 60 Hz koje su dobili *Stuchly i saradnici* (8) u stanovima,

laboratorijama i kancelarijama su se kretale od 0,02 do 0,1 A/m, dok su pored kućnih električnih aparata našli vrednosti od 0,047 A/m (pored električne pišaće mašine) do 7,75 A/m (pored kućnog električnog miksera). Navode se i izmerene vrednosti gustine magnetskog fluksa od 0,01 do 1 mT pored kućnih električnih aparata, koje su često veće ili bar približno jednake onim prosečnim izmerenim oko linija visokog napona — od 0,01 do 0,05 mT (3, 8). Izmerene vrednosti gustine magnetskog sluksa frekvencije od 60 Hz u pojedinim javnim institucijama u SAD su se kretale od 0,03 do 0,08 μ T u bolnicama, preko 0,3 — 6 μ T u industrijskim preduzećima do 2 — 20 μ T na jednoj željezničkoj stanici (3).

Stanovništvo koje živi u neposrednoj blizini dalekovoda i drugih provodnika visokog napona kao i trafostanica u određenoj je meri takođe eksponirano promenljivim EM poljima ekstremno niskih frekvencija.

Uticao na ugrađeni pacemaker (kardiostimulator)

Starija verzija kardiostimulatora — oni kontinuirani (asinhroni) koji šalju konstantno impulse u srce fiksiranim ritmom, u većoj je meri otporna na pojavu interferencije sa EM poljem, pošto su dobro zaštićeni svojim oklopom, a i tkivom čoveka u kojem su ugrađeni. Novija verzija pacemakera — »na zahtev« (sinhroni) sa senzitivnom sondom (koja prima povratne električne impulse iz srca i šalje impulse u srčani mišić preko elektrode samo kad nema odgovarajuće srčane aktivnosti) mnogo su osetljiviji na EM interferenciju. Postojala je i ozbiljna mogućnost da senzitivna sonda primi zbog interferencije sa EM poljem »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. Najnoviji multiprogramirajući kardiostimulatori (uniopolarni i bipolarni) mogu se podešavati na razne režime rada (asinhroni i sinhroni) i frekvencije, ali su zbog svoje svestranosti osetljivi na razne uticaje — unutrašnje (na mišićnu kontrakciju) i spoljne — dejstvo EM polja, »curenje« struje iza aparata u domaćinstvu itd. (13). Da bi se ovo izbeglo, novi tipovi imaju ugrađeno sigurnosno elektronsko kolo koje podešava osetljivost senzitivne sonde (14). Poremećaj u radu pacemakera usled EM interferencije, indukovanih struja u telu čoveka ili pojave spoljnih struja ogleda se u slanju impulsa neadekvatno sporim ritmom, fiksiranim ritmom (koji može prouzrokovati kompetitivni ritam (umesto kooperativnog ritma), što dovodi do neprijatnih senzacija u grudima, a i do pojave opasnih aritmija sve do fibrilacija (13) i drugog nepravilnog slanja impulsa (14). Ovi poremećaji mogu izazvati sinkopu, omaglice, vrtoglavice, slabost i malaksalost, bol u grudima, lupanje srca itd. Ipak, do sada nisu opisani slučajevi smrti usled intereferencije sa EM poljem. Navodi se da su pacemakeri unipolarnog tipa (koji se više koriste u Evropi) zbog većeg udaljenja elektroda osetljiviji na indukovane struje u čoveku od bipolarnih, koji se u većoj meri ugrađuju u SAD (15).

Može se reći da je većina sadašnjih pacemakera u određenoj meri otporna na EM interferenciju i da do poremećaja ritma može doći tek kod jačine E polja od preko 3—4 kV (15), mada se navodi da je veći deo otporan i na E polja od preko 20 kV koja proizvode indukovanu struju u čoveku veću od 300 μ A (13). Osobe koje imaju ugrađen pacemaker ne bi trebalo da dolaze u bli-

zinu provodnika vrlo visokog napona, podstanica, velikih elektromotora i sl. Ugrađeni pacemaker bi bio kontraindikacija za rad u EM poljima ELF. Neki autori za ovakve osobe, koje povremeno po prirodi posla vrše obilazak ovakvih postrojenja, predlažu zaštitna odela i opremu koja na principu Faradejevog kaveza štite od dejstva EM polja (14).

BIOLOŠKO DEJSTVO

Uglavnom postoji slaganje da dejstvo EM polja na čoveka u najvećoj meri zavisi od jačine električnog polja i da se ono povećava sa frekvencijom polja, a naravno zavisi i od dužine ekspozicije (1, 4). U čoveku koji boravi u ovakvom promenljivom EM polju indukuju se struje, zbog promenljivog E polja i promenljivog M polja, te bi biološka dejstva mogla biti rezultat ove pojave (2, 3). Međutim, verovatno je da se ne mogu sve pojave u živom organizmu koje se javljaju pod uticajem EM polja pripisati samo ovom fenomenu. Pored stimulacije površnih receptora kože pod dejstvom ovakvog polja, navode se i mnogi specifični efekti (2, 3, 4). U biološkom tkivu pod dejstvom stalnog E polja dolazi do polarizacije, a slobodni joni u ekstracelularnoj tečnosti (ćelijske membrane su dobri izolatori) postavljaju se duž linija sile. Dipolni molekuli zauzimaju takođe odgovarajući položaj. Pod dejstvom promenljivih EM polja nastaje oscilovanje slobodnih jona i rotacija dipolnih molekula u frekvenciji polja, te dolazi do pojave struje provodljivosti i struje pomeranja, gubitka energije polja zbog otpora biološke sredine i dielektričnih gubitaka. Dipolni molekuli (npr. proteini) teže da se postave u E polju u stanje najmanje potencijalne energije za dipol, tj. da je dipolni momenat paralelan sa linijama sile E polja i da svojom rotacijom prate frekvenciju promenljivog polja. Ovome se opiru sile viskoziteta, tako da rotacija ne može da prati veću frekvenciju polja. Polja ekstremno niskih frekvencija bi mogla da imaju, zbog relativno dužeg vremena promene polja, kritičnu frekvenciju kada se maksimum energije polja transformiše u rotaciono stanje dipola i u okolinu. Brzina mogućnosti rotacije bi zavisila od viskoziteta rastvora, dimenzija partikula i temperature sredine (16). Sa porastom frekvencije polja živa tkiva poprimaju svojstva provodnika, a gube svojstva dielektrika. Kod ekstremno niskih učestalosti ćelijske membrane mogu da se naelektrišu i razelektrišu zbog dužeg trajanja izmene polja, a električna struja se javlja samo u ekstracelularnoj tečnosti, te je ukupna provodljivost bioloških tkiva manja i javljaće se relativno veliki kapacitativni otpori. Smatra se da polja male jačine ne mogu da kidaju kovalentne veze u molekularnoj strukturi, ni da izazivaju promene u strukturi molekula, kao i da kidaju elektrostatičke veze između molekula. Jaka ELF polja mogu da vrše rotaciju, deformaciju i destrukciju ćelija, kao i spajanje ćelija, a takođe izazivaju poremećaj membranskih potencijala neuralnih membrana (3). Ovo gore izneto govori da se još uvek nedovoljno poznaju osnovni mehanizmi dejstva EM polja na živa tkiva, te se za sada ne mogu objasniti sve promene koje se javljaju na živim organizmima i na čoveku pod dejstvom ovih polja, i sagledati u celosti svi biološki i zdravstveni aspekti na čoveku.

Ima dosta oprečnih stavova i nejasnoća u vezi sa dejstvom magnetskog polja na žive organizme i čoveka. Navodi se da dejstvo M polja potiče od indu-

kovanih struja, promena hidrirajućih jona i molekula belančevina na ćelijskim membranama, promena u orijentaciji RNK i DNK, izmena u aktivnosti nekih enzima (17), i da M polja deluju na prenos elektrona u Krebsovom ciklusu, na oksidativnu fosforilaciju, enzimske procese vezane za proces karcinogeneze, da ubrzavaju proces sinteze DNK, itd. (18). Eksperimenti na životinjama govore da su najosetljiviji nervni, endokrini sistem i čula, kao i da M polja imaju dejstvo i na druge organe i funkcije. Dolazi do aktiviranja ose hipotalamus — hipofiza — kora nadbubrega i simpatičko-adrenalnog sistema, dejstva na semenike (pojava »magnetske sterilizacije«), promena na krvotoku, pojačane propustljivosti kapilara i pojačane koagulabilnosti krvi (kod ljudi povećana smrtnost od infarkta za vreme »magnetskih bura«). Pored ovoga navode se embriotoksičnost M polja i druge promene (17, 18). Po Holodovu (17) najveći biološki efekat na čoveku imaju promenljiva M polja frekvencije 8—14 Hz. Pragovni nivoi za senzornu reakciju se kreću od 0,2 do 20 mT, te se može govoriti i o osećaju »elektromagnetskog dodira«. Navode se i mnoge druge promene (9).

Nasuprot ovome, *Stachly i saradnici* (8) tvrde da pošto živa tkiva sisara imaju osobine magnetskog permeabiliteta, koji je praktično jednak onome u slobodnom prostoru, magnetska polja ne interreaguju sa živim tkivom direktno nego samo indirektno indukujući vrtložne struje. Navodi se da spoljna M polja koja indukuju gustinu električne struje od oko $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ ne bi trebalo da imaju uticaj na aktivnost centralnog nervnog sistema i srčanu funkciju, i da bi najniža granica gustine magnetskog fluksa (kada se uzima faktor sigurnosti od 10) koji ne bi imao gore navedeni biološki uticaj, bila 0,25 mT za 60 Hz i 0,02 mT odnosno 0,018 mT za 120 Hz odnosno 180 Hz (8).

Iz relativno brojnih eksperimentalnih radova na životinjama o uticaju EM polja ELF moglo bi se zaključiti sledeće: da su nađene promene u ponašanju i neurofiziološke promene kod jačih polja (8, 15, 19, 20), hematološke promene, u generativnoj funkciji, uticaj na embriogenezu i postnatalni razvoj (15, 21—24), citogenetsko i gonadotoksično dejstvo (25), promene u broju trombocita (26), promene u efluksiji Ca iz tkiva mozga (27), sniženje aktivnosti holinesteraze, usporenje apsorpcije radionuklotida, promene u koncentraciji Na i K u mokraći (19), promene na kardiovaskularnom sistemu (3) i dr. (28).

Neke pojave pod dejstvom EM polja ELF vezane su samo za određene frekvencije (»frekventni prozor«) kao npr. pojava Ca-efluksije na frekvenciji od 8 do 16 Hz, a i pragovi za izazivanje fenomena magnetske fosfene zavise od frekvencije polja. Određene pojave na živom tkivu se javljaju samo na određenim jačinama polja (»amplitudni prozor«). Tako se pojave električne fuzije ćelija i rotacije, kao i stimulacije rasta kostiju, javljaju samo na određenim amplitudama i dužinama ekspozicije EM poljima (1, 29). *Czerski i Swicord* (30) smatraju da na osnovu nastanka »fenomena kalocijum-efluksije i efekta na receptorima ćelijskih membrana i permeabilnosti, gustina indukovane struje i/ili pik jačine indukovano električnog polja, mogu najbolje da posluže da se okarakterišu interakcije« koje se odigravaju u živom tkivu. Izgleda da se osnovni mehanizmi dejstva, za neke pojave, odigravaju na ćelijskim membranama, i to preko elektrohemijuskog informacionog transfera (29). Treba napomenuti, takođe, da veliki broj autora nije našao nikakve promene kod eksperimentalnih životinja (2, 3, 15).

Veći broj pozitivnih nalaza, a isto tako i veći broj negativnih nalaza, različite frekvencije i intenziteti E i M polja, razni uslovi u eksperimentima, nastanak stresa kod životinja u toku eksperimenta, kao i rad sa malim životinjama, dovode u pitanje mogućnosti ekstrapolacije ovih nalaza na ljude.

OPAŽANJA NA LJUDIMA

Hauf (31) je 1979. godine ispitivao dejstvo promenljivog E polja jačine preko 20 kV/m na dobrovoljcima u laboratorijskim uslovima. Oko 100 osoba je bilo izloženo E polju u toku 45 minuta do 5 časova, a služili su u isto vreme kao i kontrolna grupa kad nije bilo uključeno E polje. EKG, EEG, krvni pritisak i puls nisu pokazali razliku između eksperimentalne i kontrolne grupe. Posle ekspozicije E polju došlo je do povećanja broja leukocita, neutrofila i retikulocita (ali su se vrednosti kretale u fiziološkim granicama) i do pada u reakcionom vremenu u toku izvođenja zadatka, što se pripisuje nespecifičnom efektu simulacije E polja. Biohemijske i ostale promene nisu nađene, te autor zaključuje da promenljivo E polje od 50 Hz, 20 kV/m u toku 5 časova ne izaziva štetne efekte. Ispitujući dejstvo električnog pražnjenja na čoveka našao je da svaki kontakt uzemljenog čoveka sa sferičnom elektrodom naelektrisanja od 3 μ S izaziva bolni ali podnošljiv efekat posle koga dolazi do simptoma lakog stresa.

Iz većeg broja ovakvih studija, koje su urađene na dobrovoljcima izloženim E polju u laboratorijskim uslovima pod raznim okolnostima, može se smatrati da se efekti izlaganja ne javljaju ako jačina polja ne prelazi 10 kV/m, a da se mogu javiti određene tranzitorne fiziološke promene, naročito ako su jačine E polja veće od 10 kV/m (15). Zaključuje se i da jačine polja preko 20 kV/m ne izazivaju u principu vidljive efekte, ali da se ovo ne može uzeti kao indikator da se promene zdravstvenog stanja neće javiti u toku dugotrajne ekspozicije E polju (2, 3).

Eksperimenti na dobrovoljcima su pokazali da se postojanje promenljivog EM polja može registrovati preko »osećaja« koji potiče od vibracija kose i dlaka pri jačini E polja od najmanje 10 kV/m (2), a da se pojave varničenja, koje se mogu percipirati kao osećaj peckanja, uboda ili bola, i koje izazivaju neprijatnost, javljaju u poljima od oko 3 kV/m i više (3).

Interesovanje o mogućim posledicama dugotrajne izloženosti EM polju ekstremno niskih frekvencija javilo se posle objavljenih radova sovjetskih autora *Asanove i Rakova* (1966), a kasnije i *Sazanove, Korobkove i saradnika te Filipova* (citirano iz 3) koji su kod radnika na dalekovodima i u podstanicama našli određeni broj nespecifičnih funkcionalnih poremećaja na CNS-u, neurovegetativnom i kardiovaskularnom sistemu te u digestivnom traktu, kao i promene u perifernoj krvi. Izloženi radnici su se žalili na glavobolje, umor, poremećaje probave, smetnje u koncentraciji, smetnje sna i druge neurastenične smetnje. Nađene su promene u krvnom pritisku (hipertenzija ili hipotenzija), smetnje u srčanom ritmu, promene u perifernoj krvi (laka leukocitoza, retikulocitoza) i drugi poremećaji, ali nisu nađene organske promene (2, 3, 15, 32). Obavljen je kasnije veći broj ispitivanja na radnicima koji rade na dalekovodima, u podstanicama i u blizini linija visokog napona. Jedan broj autora je našao određene tegobe i promene kod ispitivanih radnika, a veći broj nije mogao

da registruje nikakve promene kod ljudi profesionalno izloženih promenljivim EM poljima. Ima tvrdnji da su nađene promene hipertrofisane, a i da mogu da potiču od drugih noksi fizičke i hemijske prirode (benzin, kerozin, hlоровani bifenili itd.) stresa i dr. (15).

Milham (33) je analizirajući slučajeve smrti u državi Vašington (438.000 slučajeva), klasifikovane po profesionalnim grupama, u 10 od 11 raznih profila zanimanja vezanih za poslove na kojima su bili izloženi E i M polju (električari, održavači linija, zavarivači, radnici na dobijanju aluminijuma, elektro-inženjeri i sl.) našao povećani stepen smrtnosti od svih leukemija i akutne leukemije u odnosu na očekivani broj, te smatra da ovi rezultati govore u prilog mogućnosti da E i M polje mogu da izazovu leukemiju. Slične rezultate su dobili *Wright i saradnici* (34) izračunavajući proporcionalni stepen smrtnosti po profesionalnim grupama od leukemije (svih, akutnih i mijelogenih) u oblasti Los Angelesa. U istim profilima zanimanja koje je uzeo *Milham* nađen je povećan trend stepena rizika obolevanja od leukemije, a kod onih koji održavaju električne linije i telefonske linije je za akutnu leukemiju i akutnu mijelogenu ovaj broj signifikantan. Međutim, autori navode i brojne hemijske štetne materije kojima su radnici u toku posla mogli biti eksponirani, te da se uzrok ovih leukemija treba pažljivo razmatrati.

McDowal (11) je ispitivao proporcionalni stepen mortaliteta od leukemija u Engleskoj i Velsu po sličnim profilima zanimanja. Našao je takode povećan rizik obolevanja od leukemija kod radnika čiji je posao vezan za rad sa električnom strujom. *Coleman i saradnici* (35) su našli kod svih ovakvih 10 profila zanimanja veći broj oboljevanja od leukemija, a kod elektromontera i kod operatera na telegrafima su našli da je ovaj broj signifikantan.

Vagerö i Olin (36) su ispitujući pojavu karcinoma u elektronskoj industriji našli kod zaposlenih lako uvećanu ukupnu incidenciju karcinoma (preovladavali su tumori faringisa i respiratornih sinusa), a *Ruey i saradnici* (37) su ispitujući 951 slučaj smrti od tumora mozga u državi Maryland našli da u odnosu na kontrolnu grupu, zanimanja vezana za rad sa električnom strujom i izlaganje EM poljima, imaju signifikantno povećan odnos primarnog tumora mozga, da je ovaj broj vezan za nivo izlaganja EM poljima, kao i da su oni koji su bili više izlagani obolevali u mlađim godinama.

Wertheimer i Leeper (38, 39) su ispitivali incidenciju karcinoma kod dece koja su stanovala u kućama u blizini linija koje vode neposredno iz transformatora povećanje obolevanja od malignih bolesti 2-3 puta u odnosu na decu koja su živela u kućama daleko od ovakvih električnih provodnika. Pri ovome su vršili ispitivanje jačine M polja. Pretpostavljaju da je uzrok povećane incidencije malignih oboljenja u dece promenljivo M polje u blizini provodnika koji vode direktno iz transformatora i kućne električne instalacije. Kritikujući ovu studiju *Miller* (40) tvrdi da nije nigde data doza izlaganja M polju i navodi da je intenzitet M polja u kućama pored kućnih električnih aparata daleko veći od ambijentalnog M polja, te se ne može ni govoriti o vezanosti pojave malignih oboljenja za »dozu« izlaganja M polju. *Bonnell* (15) kritikujući istu studiju tvrdi, pored iznetog, da u načinu rada ima puno nedostataka, da su podaci uzeti samo za smrtne slučajeve, a ne za one koji su još živi, i da podaci nisu uzeti »naslepo« itd., a *Stuchly i saradnici* (8) da ova studija pati od ekstremno slabe dozimetrije.

Perry i saradnici (41) te Marino i saradnici (42) su ispitujući korelaciju između jačine promenljivog M polja i mesta samoubistava u opštoj populaciji u West Midlands, Engleska, utvrdili signifikantnu korelaciju između jačine izmerenog M polja i mesta samoubistava, kao i povećan broj samoubistava u području jakih magnetskih polja. Donnell i saradnici (43) kritikuju ovu studiju zbog nepravilne selekcije kontrolne grupe i pogrešnog merenja i proračuna M polja. Po njima samoubistvo nije bolest nego »događaj«, a uzroci samoubistava mogu da budu duševna i druga hronična oboljenja. Smith (44) kritikujući gornju studiju navodi da se u radu pažljivim proračunavanjem, u stvari, može utvrditi negativna korelacija jačine magnetskog polja i broja samoubistava.

Wertheimer i Leeper (45) su 1982. godine objavili rezultate studije o povećanom broju karcinoma kod odraslih koji žive u blizini električnih provodnika jake struje u državi Kolorado. Kao i za pojavu karcinoma kod dece i ovde su našli korelaciju između karcinoma i ekspozicije promenljivom M polju. Izmerene jačine polja su relativno niske ali prema njima, dovoljne da mogu da proizvedu određene biološke efekte. Takođe se navodi da pojava karcinoma nije bila povezana sa drugim faktorima.

Nasuprot ovim nalazima u drugim studijama su dobijeni drugačiji rezultati. Ispitujući profesionalno izlaganje EM poljima ekstremno niskih frekvencija Knave i saradnici (6) su objavili studiju na 53 radnika u Švedskoj koji rade više od 5 godina u podstanicama i najveći deo radnog vremena provode u E polju do 5 kV/m, a kao kontrolnu grupu su uzeli 53 radnika iz iste kompanije koji nisu eksponirani. Urađeno je ispitivanje nervnog sistema (neurastenični simptomi, psihološki testovi, EEG), kardiovaskularnog sistema (simptomi, krvni pritisak, EKG) i krvi (hemoglobin, eritrociti, leukociti sa diferencijalnom krvnom slikom, trombociti i sedimentacija), a ispitivan je i fertilitet radnika. Nije utvrđena razlika u zdravstvenom stanju radnika obe grupe. Eksponirani su čak imali bolje rezultate u psihološkim testovima, ali manji broj dece, što autori pripisuju boljim edukacionim statusom eksponiranih.

Ispitujući zdravstveni status 390 radnika u podstanicama i na linijama visokog napona u Engleskoj i Južnom Velsu, Broadbent i saradnici (10) su pomoću zdravstvenog upitnika i merenja i procenjivanja ekspozicije E polju utvrdili da nema statistički značajne korelacije u zdravstvenom stanju i izlaganju promenljivom E polju.

Strumza (46) je objavio rezultate ispitivanja zdravstvenog statusa stanovništva nekoliko ruralnih regija u Francuskoj koje živi u blizini linija visokog napona. Upoređujući 267 »eksponiranih« koji žive najviše do udaljenosti od 25 m od dalekovoda (200-400 kV) sa 258 osoba koje žive na udaljenosti većoj od 125 m, nije dobio razliku u broju odlazaka lekaru i poseta kućnog lekara, odlazaka lekaru specijalisti i broju prepisanih lekova između ove dve grupe. Da bi proverili hipotezu Wertheimer i Leepera (33) o vezi između pojave karcinoma i blizine provodnika električne struje, Fulton i saradnici (47) su izvršili na vrlo sličan način ispitivanje u regiji Rhode Island uzevši 119 adresa pacijenata sa leukemijom i 240 iz kontrolne grupe i na isti način preko srednje jačine M polja dobili sumarni nivo relativne ekspozicije za svaki slučaj. Ovo ispitivanje nije moglo da potvrdi vezu između pojave leukemija i konfiguracije električnih provodnika.

Vidi se da je određeni broj autora našao u svojim studijama povećan broj malignih oboljenja kod profesija vezanih za rad sa električnom strujom i izloženih promenljivim EM poljima, kao i kod opšte populacije koja boravi u blizini provodnika električne energije, ali se veza pojave malignih oboljenja i izlaganja EM polju ne može nikako smatrati dokazanom. U drugim ispitivanjima se nije mogao naći povećan broj malignih oboljenja, a i jednima i drugima se može dati veći broj ozbiljnih primedbi u metodi i načinu istraživanja.

ZAKLJUČAK

Iz dve najnovije publikacije (2, 3) koje su rezultat rada grupe eksperata Svet-ske zdravstvene organizacije i Međunarodnog društva za zaštitu od zračenja (IRPA) o ovom problemu, mogu se izvući sledeći stavovi:

Nedovoljno se poznaju mehanizmi delovanja promenljivog E i M polja ekstremno niskih frekvencija na žive organizme, te se ne mogu dati definitivni stavovi o biološkim efektima i uticaju ovih polja na zdravlje profesionalno izloženih radnika i opštu populaciju. Kod profesionalno izloženih osoba su u određenom broju studija opisane tegobe i promene (na nervnom, kardiova-skularnom, hematopoetskom, digestivnom sistemu i u metabolizmu), ali su one uglavnom funkcionalne i tranzitorne prirode. Nisu utvrđeni specifični simptomi, po zdravlje štetna dejstva, ni organske promene. Prosečna profesio-nalna ekspozicija E poljima je uglavnom niska, a izlaganje jakim poljima po-vremeno i kratkog trajanja. Za sada se ne mogu dati zaključci o delovanju du-gotrajnog profesionalnog izlaganja na reproduktivnu funkciju i pojavu karci-nogeneze.

U određenom broju epidemioloških studija na opštoj populaciji koja može biti izložena E i M poljima nađena je povećana incidencija malignih obolje-nja, ali ove studije imaju veliki broj ozbiljnih nedostataka u načinu kako su urađene i određivanju izlaganja, te ovo zahteva dalja ispitivanja.

Za profesionalno izlaganje promenljivom E polju jačine od 20 kV/m se sma-tra da ne predstavlja opasnost po zdravlje. Nema potrebe da se ograničava pri-stup u E polje intenziteta do 10 kV/m. U poljima od preko 10 kV/m mogu se javiti određene neprijatne senzacije, te se u skladu sa ovim treba ograničiti bo-ravak u polju ili primenjivati druge odgovarajuće mere zaštite.

Potrebno je standardizovati tehniku merenja E i M polja, a nošenjem lič-nih dozimetara treba preciznije određivati ekspoziciju zaposlenih osoba.

Literatura

1. Radovanović, R.: Normiranje tehnoloških elektromagnetskih polja zračenja u životnoj sredini. U: Zbornik uvodnih referata »Regulisanje zaštite od nejonizujućeg zračenja«, Jugoslovensko društvo za zaštitu od zračenja, Beograd 1984, str. 3-18.
2. Haulf, R.: Electric and magnetic fields at power frequencies, with particular reference to 50 and 60 Hz. U: Nonionizing Radiation Protection, ur. Suess, M.J. World Health Organization, Copenhagen 1982, str. 175-197.
3. World Health Organization: Extremely Low Frequency (ELF) Fields. Environmental Health Criteria 35. Geneva 1984.

4. *World Health Organization: Radiofrequency and Microwaves. Environmental Health Criteria 16.* Geneva 1981, str. 23—34.
5. *Kaljada, T. V.: Electric fields.* U: *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, Volume 1, ILO, Geneva 1983.* str. 726—727.
6. *Knave, B., Gamberale, F., Bergström, S., Birke, E., Iregren, A., Kolmodin-Hedman, B., Wennberg, A.:* Long-term exposure to electric fields. A cross-sectional epidemiological investigation on occupationally exposed high-voltage substations. *Scand. J. Work Environ. Health, 5* (1979) 115—125.
7. *Čeramillac, A., Otašević, V., Hajduković, S., Đorđević Z., Milićević S.:* Fizičke povrede. Naučna knjiga, Beograd 1985, str. 90.
8. *Stuchly, M. A., Lecuyer, D. W., Mann, R. D.:* Extremely low frequency electromagnetic emissions from video display terminals and other devices. *Health Phys., 45* (1983) 713—722.
9. *Keichen, E. E., Porter, W. E., Bolton, N. E.:* The biological effects of magnetic fields on man. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 39* (1978) 1—11.
10. *Broadbent, D. E., Broadbent, M. H. P., Male, J. C., Jones, M. R. L.:* Health of workers exposed to electric fields. *Br. J. Ind. Med., 42* (1985) 75—84.
11. *McDowall, M. E.:* Leukaemia mortality in electrical workers in England and Wales. *Lancet, 1* (1983) 246.
12. *Grandolfo, M., Onori, S., Vecchia, P., Battisti, S., Serio, A.:* Occupational exposure to power frequency electric and magnetic fields: results of a survey. U: *Proceedings of 6th International Congress of IRPA, Compact Volume III, Fachverband für Strahlenschutz e. V., Berlin (West) 1984,* str. 1327—1330.
16. *Cleary, S. F.:* Uncertainties in the evaluation of the biological effects of microwave and radiofrequency radiation. *Health Phys., 25* (1973) 387—404.
17. *Holodov, Ju. A.:* Organizm i magnitnye polja. *Fiziol. Nauk, 13* (1982) 48—64.
18. *Toropcev, I. V., Taranov, S. V.:* Morfoložičeskie osobenosti i nekatorye predstavljeniya o mehanizme bioložičeskogo dejstvija magnitnyh poljej. *Arh. Pat., 44* (1982) 3—11.
19. *Dumanskij, Ju. D., Popovič, V. M., Prohvatilo, E. V.:* Gigieničeskaja ocenka elektromagnitnogo polja sozdavaemogo vysokovol'tnymi linijami elektroperedatči. *Gig. Sanit., 8* (1976) 19—23.
20. *Drago, G. P., Ridella, S.:* Evaluation of electrical fields inside a biological structure. *Br. J. Cancer, 45 Suppl V* (1982) 215—219.
21. *Dumanskij, Ju. D., Andrienko, L. G.:* Generativnaja funkcija kak bioložičeski značimyj pokazatel'j pri gigieničeskom normirovanii električeskogo polja nizkoj častoty. *Gig. Sanit., 7* (1982) 27—29.
22. *Kozjarin, I. P., Svajko, I. I.:* Vlijanije elektromagnitnyh polej sverhvyškoj i promišlennoj (50 Hz) častot na generativniju funkciju životnyh. *Gig. Sanit., 11* (1985) 87—88.
23. *Goodman, E. M., Greenebaum, B., Marron, M. T.:* Bioeffects of Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields. *Radiat. Res., 78* (1979) 485—501.
24. *Marino, A. A., Berger, T. J., Mitchell, J. T., Bahacek B. A., Backer, R. O.:* Electric field effects in selected biologic systems. *N. Y. Acad. Sci., 238* (1974) 436—444.
25. *Stankevič, I. K., Badaeva L. N.:* Citogenetičeskoe i gonadotoksičeskoe dejstvije statičeskogo električeskogo polja. *Gig. Sanit., 10* (1981), 9—11.
26. *Barnothy, M. F., Barnothy, J. M.:* Magnetic Fields and the Number of Blood Platelets. *Nature, 225* (1970) 1146—1147.
27. *Bawin, S. M., Kaczmarek, L. K., Adey, W. R.:* Effects of modulated VHF fields on the central nervous system. *Ann. N. Y. Acad. Sci., 247* (1975) 74—80.
28. *Schwan, H. P.:* Nonthermal cellular effects of electromagnetic fields: AC — field induced ponderomotoric forces. *Br. J. Cancer, 45 Suppl V* (1982) 220—229.
29. *Czerski, P.:* Extremely low frequency (ELF, 0 to 300 Hz) electric and magnetic fields, and health protection. U: *Proceedings of 6th International Congress of IRPA, Compact Volume III, Fachverband für Strahlenschutz e. V., Berlin (West) 1984,* str. 1295.

30. *Czerski, P., Swicord, M. L.*: Dosimetric concepts and health risk evaluation in nonionizing electromagnetic radiation protection. U: Proceedings of 6th International Congress of IRPA, Compact Volume III, Fachverband für Strahlenschutz e. V., Berlin (West) 1984, str. 1315—1318.
31. *Hauf, R.*: Influence of alternating electric fields 50 Hz on human beings. Arh. hig. rada toksikol., 30 Suppl (1979) 775—776.
32. *Panov, D., Radovanović, R., Jeremić, M., Hajduković, D.*: Dejstvo elektromagnetskog polja elektromagnetskih postrojenja visokih napona na čoveka i zaštita. U: Zbornik na V jugoslovenski kongres na medicina na trudot, Alkaloid, Skopje 1979, str. 309—310.
33. *Milham, S. Jr.*: Mortality from leukemia in workers exposed to electric and magnetic fields. New Engl. J. Med., 307 (1982) 249.
34. *Wright, W. E., Peters, J. M., Mack, T. M.*: Leukaemia in workers exposed to electrical and magnetic fields. Lancet, 2 (1982) 1160—1161.
35. *Coleman, M., Bell J., Skeet, R.*: Leukaemia incidence in electrical workers. Lancet, 1 (1983) 982—983.
36. *Vagerö, D., Olin, D.*: Influence of cancer in the electronics: using the new Swedish Cancer Environment Registry as a screening instrument. Br. J. Ind. Med., 40 (1983) 188—192.
37. *Ruey, S. L., Dischinger, P. C., Conde, J., Farrel, K. P.*: Occupational Exposure to Electromagnetic Fields and the Occurrence of Brain Tumors. J. Occup. Med., 27 (1985) 413—419.
38. *Wertheimer, N., Leeper, E.*: Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am. J. Epidemiol., 109 (1979) 273—284.
39. *Wertheimer, N., Leeper, E.*: The authors reply. Am. J. Epidemiol., 112 (1980) 167—168.
40. *Miller, M. W.*: RE »Electrical wiring configurations and childhood cancer«. Am. J. Epidemiol., 112 (1980) 165—167.
41. *Perry, F. S., Reichmanis, M., Marino, A. A., Becker, R. O.*: Environmental power frequency magnetic fields and suicide. Health Phys., 41 (1981) 267—277.
42. *Marino, A., Reichmanis, M., Perry, Becker, R. O.*: Reply to comments of Robert F. Smith. Health Phys., 44 (1983) 700.
43. *Bonnel, J. A., Norris, W. T., Pickles, J. A., Male, J. C., Cartwright, R. A.*: Comments on »Environmental power frequency magnetic fields and suicide«. Health Phys., 44 (1983) 697—698.
44. *Smith, R. F.*: Household Magnetic Fields and Suicide. Health Phys., 44 (1983) 699—700.
45. *Wertheimer, N., Leeper, E. D.*: Adult Cancer Related to Electrical Wires. Int. J. Epidemiol., 11 (1982) 345—355.
46. *Strumza, M. V.*: Influence sur la santé humaine de la proximité des conducteurs d'électricité à haute tension. Arch. Mal. Prof. Med. Trav. Secur. Soc., 31 (1970) 269—276.
47. *Fulton, J. P., Cobb, S., Preble, L., Leone, L., Forman, E.*: Electrical wiring configurations and childhood leukemia. Am. J. Epidemiol. 111 (1980) 292—296.

Summary

BIOLOGICAL EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF EXTREMELY LOW FREQUENCY

The strongest of the extremely low frequency (ELF) electromagnetic fields are those surrounding long-distance power lines, other high-voltage transmission lines and conductors in substations. These fields occur also near electrical distribution lines and in industry (from low-frequency induction furnaces, large electric motors, transformers, some welding and cutting electric arc processes, etc.). Exposure of the general population occurs from living in the vicinity of high-voltage transmission lines, in houses from electrical wiring configurations and from common household appliances.

Subjective complaints and functional disturbances in the nervous, cardiovascular, haematopoietic and gastrointestinal systems of exposed workers have been reported in some countries. Results of studies of long-term exposure to electric and magnetic fields in other countries do not agree with these data. In general, adverse effects, specific symptoms or organic changes have not been observed.

It is considered that exposure to electric fields up to 20 kV/m does not constitute a danger to health and that there is no need to limit exposure to fields below 10 kV/m.

*Institute of Occupational Health
Military Medical Academy, Belgrade*

*Received for publication
August 1, 1986*