

---

**ELECTROMAGNETIC FIELD INFLUENCES ON HUMAN HEALTH**

---

**Miodrag Šmelcerović**

Vocational High School for Technology and Art - Leskovac, Republic of Serbia

[msmelcerovic@yahoo.com](mailto:msmelcerovic@yahoo.com)

**Abstract:** The environment we live in is exposed to the increasing and increasing frequency of electromagnetic radiation in our homes and workplaces. In addition to natural radiation from the sun, radiation sources such as high-voltage transmission lines and powerful radar devices are sources of strong electric and magnetic fields. Increasing the number of portable communication and entertainment devices also increase the human body's exposure to additional electromagnetic radiation. This paper describes the most common effects of low-frequency non-ionizing electromagnetic fields (ELFs), which can cause biological changes, sometimes negative for human health. Different methods and approaches are used to investigate the effect of non-ionizing electromagnetic fields on biological systems. In vitro cell culture studies provide important insights into the underlying mechanisms of biological effects of low radiation levels. It is often not possible to deduce the functional response of a human organism to a particular biological effect. In vivo animal and human studies provide more convincing evidence of possible adverse health effects. There is a problem with the extrapolation of the results obtained from animal experiments to humans. Epidemiological studies provide the most direct information on the risk of adverse effects in humans. However, it is difficult to find good control groups that in all aspects (gender, similar life habits, etc.) fit the exposed groups. Care should be taken in interpreting the results of epidemiological studies, especially if low risk is found, as this may be due to other factors. Epidemiological studies are important for monitoring the impact of new technologies on human health [1].

**Keywords:** ionizing radiation, non-ionizing radiation, human health, environment

**DELOVANJE ELEKTROMAGNETSKIH POLJA NA ZDRAVLJE ČOVEKA****Miodrag Šmelcerović**

Visoka tehnološko umetnička strukovna škola – Leskovac, Republika Srbija

[msmelcerovic@yahoo.com](mailto:msmelcerovic@yahoo.com)

**Abstrakt:** Okolina u kojem živimo, izložena raznim i sve učestalijim elektromagnetskim zračenjima kako u našim kućama, tako i na radnim mestima. Osim prirodnih zračenja sa sunca, i izvori zračenja kao što su visokonaponski dalekovodi i snažni radarski uređaji izvori su jakih električnih i magnetskih polja. Povećanje broja prenosnih komunikacijskih i zabavnih uređaja takođe povećavaju izloženost ljudskog tela dodatnoj količini elektromagnetskog zračenja. U ovom radu su opisani najčešći utecaji nejonizirajućih elektromagnetskih polja niskih frekvencija (ELF), koja mogu izazvati biološke promene, ponekad i negativne na ljudsko zdravlje. U istraživanju delovanja neionizirajućih elektromagnetskih polja na biološke sisteme, koriste se različite metode i pristupi. In vitro studije na staničnim kulturama daju važan uvid u osnovne mehanizme bioloških učinaka niskih jačina zračenja. Često nije moguće zaključiti koji je funkcionalni odgovor ljudskog organizma na određeni biološki učinak. In vivo studije na životinjama i ljudima osiguravaju uverljivije dokaze o mogućim negativnim delovanjima na zdravlje. Javlja se problem kod ekstrapolacije rezultata dobijenih u eksperimentima sa životinjama na ljude.

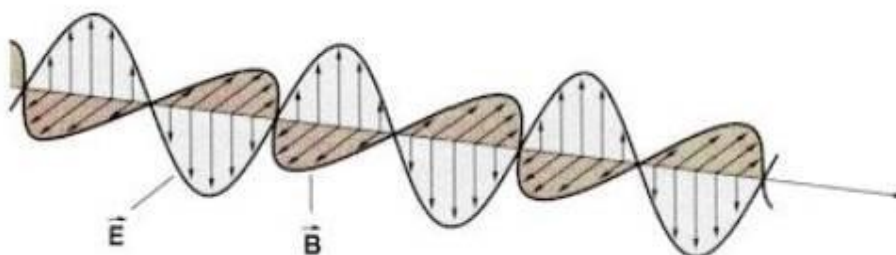
Epidemiološke studije daju najdirektnije informacije o riziku od negativnih učinaka kod ljudi. Međutim teško je pronaći dobre kontrolne grupe koje u svim aspektima (pol, slične životne navike i dr.) odgovaraju izloženim grupama. Treba biti pažljiv kod interpretacije rezultata epidemioloških istraživanja posebno ako je pronađen nizak rizik jer to može biti i posledica nekih drugih faktora. Epidemiološke studije su važne za praćenje delovanja novih tehnologija na zdravlje ljudi [1].

**Ključne reči:** jonizujuće zračenje, neionizirajuće zračenje, ljudsko zdravlje, okolina

**1. ELEKTROMAGNETNA OKOLINA**

Prirodni i mnogi izvori koje je napravio čovek, proizvode elektromagnetnu energiju u obliku elektromagnetskih talasa koji se sastoje od oscilirajućih električnih i magnetskih polja. Elektromagnetske talase, određuje njihova dalasna dužina  $\lambda$ , frekvencija  $\nu$  i energija  $E$ . Ta tri parametra su međusobno povezana. Frekvencija elektromagnetskog talasa, je broj oscilacija koje prolaze kroz fiksnu tačku u jedinici vremena i

izražava se u okretima u sekundi ili hercima (Hz). Što je kraća talasna dužina, viša je frekvencija ( $\lambda v=c$ , gde je  $c$  brzina svetlosti). U mnogim međudelovanjima elektromagnetskih talasa sa materijom mora se uzeti u obzir kvantna priroda zračenja. Energija koju nosi elektromagnetski talas lokalizirana je u pulsevima elektromagnetnog zračenja koji se zovu fotoni i iznosi  $E=hv$ , gde je  $h$  Planckova konstanta. Elektromagnetski spektar proteže se od statičnih polja preko promenljivih struja, radiotalasa, vidljive svetlosti, X i  $\gamma$  zraka do kosmičkog zračenja. Prema frekvenciji i energiji elektromagnetski talasi se dele na jonizujuća zračenja i njonizirajuća zračenja. Jonizirajuća zračenja su elektromagnetski talasi (X zrake i  $\gamma$  zrake) koji imaju dovoljnu energiju fotona da izazovu jonizaciju. Nejonizirajuće zračenje uključuje niskoenergetsko ultraljubičasto (Ultraviolet - UV) zračenje, vidljivu svetlost, infracrveno (Infrared - IR) zračenje, radiofrekventna (Radiofrequency - RF) i mikrotalasna (Microwave - MW) polja, polja ekstremno niskih frekvencija (Extremely Low Frequency - ELF), kao i statična električna i magnetska polja. Pokazalo se da nejonizirajuće zračenje izaziva biološke učinke kao što su zagrevanje, menjanje hemijskih reakcija ili induciranje električnih struja u tkivima i stanicama. Ovde ćemo se ograničiti na proučavanje učinaka RF (300 Hz - 300 GHz) i ELF (< 300 Hz) polja. Ekspozicijska polja mogu biti tzv. daleka ili bliska polja (Polk i Postow, 1986). Područje dalekog polja se širi od određene minimalne udaljenosti od antene do beskonačnosti. Za minimalnu udaljenost obično se odabira  $L=2D^2/\lambda$ , gde je  $D$  veća dimenzija antene, a  $\lambda$  talasna dužina. U ovom području polje ima pretežno osobine ravnog talasa tj. vektor električnog polja  $E$  je okomit na vektor magnetskog polja  $B$ , a oba su okomita na smer širenja (Slika 1). Za ravni talas, najčešće se za opis ekspozicijskog polja koristi gustina snage. Područje bliskog polja u blizini izvora zračenja (antena) obuhvata radijaciono (Fresnel-ovo) područje i reaktivno (neradijaciono) područje. Reaktivno područje nalazi se uz antenu i širi se oko jednu talasnu dužinu od antene. U tom području električno i magnetsko polje jako se menjaju sa udaljenošću i tu je smešten deo elektromagnetske energije. U radijacijskom području bliskog polja energija se širi od antene, i intenzitet električnog i magnetskog polja se smanjuje sa udaljenošću, ali zračenje još uvek nema osobine ravnog talasa. Gustina snage obično se menja s udaljenošću i to oscilatorno, a ne obrnuto proporcionalno s kvadratom udaljenosti kao za ravni talas (daleko polje).



*Slika 1. Način rasprostiranja elektromagnetskog talasa (okomita polja  $E$  i  $B$ ).*

U strogo fizičkom smislu RF elektromagnetno polje može se zvati RF zračenje samo u području dalekog polja. U nefizičkom jeziku, npr. u zakonodavstvu, svi oblici elektromagnetskih polja zovu se zračenje, čak i ako ne ispunjavaju fizičke kriterije elektromagnetskog zračenja. U tekstu koji sledi nije uvek strogo naglašena razlika između bliskog i dalekog polja.

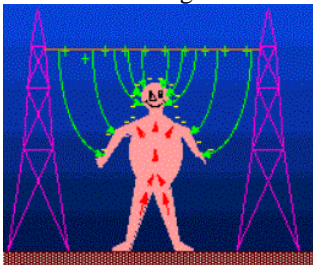
## 2. UTICAJ ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

Fizički mehanizmi međudelovanja elektromagnetskih polja s biološkim sistemima, zavise od frekvencije polja. Utvrđena su tri osnovna mehanizma međudelovanja vremenski zavisnih elektromagnetskih polja sa biološkim sistemima (ICNIRP, 1998):

1. Vežanje na niskofrekventna električna polja
2. Vežanje na niskofrekventna magnetska polja
3. Apsorpcija energije elektromagnetskog polja

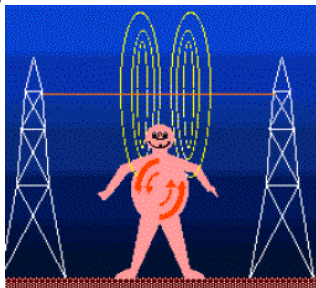
Uz "Vežanje na niskofrekventna električna polja" kao posledica međudelovanja električnih polja sa ljudskim organizmom javlja se tok električnih naboja (električna struja), polarizacija vezanog naboja (nastajanje električnih dipola) i preusmeravanje električnih dipola koji već postoje u tkivima (Slika 2). Doprinosi od ovih različitih učinaka zavise od električnih svojstava tela - električnoj provodljivosti (o kojoj zavisi tok

električne struje) i permitivnosti (o kojoj zavise polarizacijski efekti). Električna provodljivost za različite vrste tkiva i zavise od frekvencije primenjenog elektromagnetskog polja. Spoljašnje električno polje inducira naelektrisanje na površini tela. Kao posledice se javljaju struje u organizmu čija raspodela zavisi od uslova izlaganja polju; od veličine i oblika organizma i o njegovom položaju u polju.



*Slika 2. Pojava toka električne struje, kao posledice međudelovanja električnih polja sa ljudskim organizmom.*

Objašnjenje "Vezivanja na niskofrekventna magnetska polja" navodi da kao posledica međudelovanja vremenski promenljivih magnetskih polja s ljudskim organizmom dolazi do induciranja kružnih električnih struja (Slika 3). Jačina induciranih polja i gustine struje su proporcionalne promeru petlje (kružnih struja), električnoj provodljivosti tkiva, brzini promene i veličini gustine magnetskog toka. Za datu jačinu i frekvenciju magnetnog polja, najjača električna polja se induciraju na mestima gde su dimenzije petlje najveće. Tačna putanja i jačina struje induciranih u različitim delovima tela zavise od električne provodljivosti tkiva.



*Slika 3. Pojava kružnih električnih struja kao posledica međudelovanja vremenski promenljivih magnetskih polja s ljudskim organizmom.*

### 2.1. Dejstvo izlaganja nejonizirajućim elektromagnetskim poljima

Elektromagnetna polja mogu izazvati biološke promene koji ponekad, ali ne uvek, mogu dovesti do negativnih delovanja na zdravlje. Važno je razlikovati ta dva pojma. Biološki učinak se javlja kad izlaganje elektromagnetnim poljima uzrokuje fiziološke promene u biološkom sistemu koje se mogu otkriti merenjem ili opažanjem. Negativan učinak na zdravlje se javlja kad je biološki učinak izlaganja polju izvan normalnog raspona koje organizam može kompenzirati i koji je protivan opštem stanju osobe ([10], [11]). Neki biološki učinci mogu biti neškodljivi, kao što je telesna reakcija povećanja protoka krvi u koži kao odgovor na malo povećanje sunčevog zagrevanja. Neka delovanja mogu biti povoljna, kao što je osjećaj topline od direktne sunčeve svetlosti u hladnom danu, ili čak mogu dovesti do pozitivnih učinaka na zdravlje, kao što sunčeva svetlost pomaže telu u prizvodnji vitamina D.

Obično se razlikuju termički i netermički učinci elektromagnetskog zračenja. Termički učinci elektromagnetskih polja na ljudski organizam izazivaju povišenje temperature organizma. Utvrđene su opasnosti od izlaganja termičkim razinama elektromagnetskog zračenja i to čini osnovu današnjih graničnih vrednosti izlaganja elektromagnetskim poljima. Termički učinci nemaju kumulativni učinak, tj. nema dokaza o njihovom povećanju u organizmu ili o dugoročnom odgovoru. Nikakve popratne pojave nisu poznate u dijatermičkoj terapiji (primena visokofrekventne struje u cilju dubinskog zagrevanja tela) koja se koristi na velikom broju pacijenata već godinama. Mehanizmi termičkih delovanja danas su dobro poznati.

Netermički učinci elektromagnetskih polja niskih jačina, opaženi su u *in vivo* i *in vitro* istraživanjima ([8], [9], [10]) na različitim razinama biološke složenosti (od molekula do organizma). Fizički mehanizmi tih delovanja nisu još uvek razjašnjeni. Energija kvanata pridruženih elektromagnetskom polju za nekoliko je redova veličine niža od energije veze među molekulama u biološkom materijalu. Dakle, ako se javlja neki efekt, on mora biti postignut konverzijom energije, pojačanjem, rezonantnom pojavom ili kumulativnim procesom

(slično kao u elektronici kad se želi stvoriti ili pojačati signal-šum). Potrebno je razjasniti jesu li netermički učinci štetni za ljudski organizam. Električna i magnetska polja koja se javljaju u prirodi su vrlo slaba, reda veličine 0.0001 V/m, odnosno 0.00001 mT. Izlaganje ljudi poljima ekstremno niskih frekvencija (ELF) se uglavnom povezuje s proizvodnjom, prenosom i upotrebom električne energije. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija najčešće se povezuju s uticajem na razvoj raka.

Neka epidemiološka istraživanja sprovedena u zadnjih nekoliko godina, pokazale su slabu statističku povezanost između:

- blizine dalekovoda i dečije leukemije
- radnog mesta u okolini sa jakim magnetnim poljima i leukemije kod odraslih i tumora mozga

Statistička povezanost je slaba i nije potvrđena u istraživanjima na životinjama.

Nije jasno postoji li uzročno-posledična veza između izlaganja ELF magnetskim poljima i razvoja raka ili postoje neki drugi uzroci iz okoline.

U zadnje vreme sve se više ispituje uticaj ili eventualnu povezanost ELF polja na razvoj raznih neuroloških poremećaja i bolesti. Ne treba zaboraviti ni na pozitivne učinke nejonizirajućih elektromagnetskih polja. Ona se danas široko primenjuju u stomatologiji, u lečenju raka, čira i probavnih smetnji, kardiovaskularnih bolesti, neuroloških poremećaja i dr. Elektromagnetska polja izazivaju sintezu proteina stresa što se može koristiti u terapijske svrhe (stanica na elektromagnetsko polje od 60 Hz reaguje kao na stres [2]).

Zanimljiva je i primena elektromagnetskih polja u elektrohemoterapiji i genskoj terapiji (Elektroporacija).

Poznato je da istosmerne struje mogu izazvati smanjenje tumora [1]. Predloženo je nekoliko mogućih mehanizama kao što su promene u transmembranskom potencijalu, lokalne pH promene, elektrohemijske reakcije i dr. Različita elektromagnetska polja mogu značajno ubrzati regeneraciju perifernih živaca [2].

### 3. ZAKLJUČAK

Zadnjih nekoliko godina povećalo se zanimanje javnosti za uticaj nejonizirajućih elektromagnetskih polja na zdravlje čoveka. Živimo u svetu vrlo brzih tehnoloških promena. Mnogi uređaji koji proizvode elektromagnetska polja dolaze na tržište bez dovoljne prethodne provere njihovog delovanja na zdravlje čoveka. Razlog tome je težnja proizvođača da što pre puste proizvod u prodaju zbog trke sa konkurencijom i težnje za što većom dobiti.

S druge strane, u principu je nemoguće naučno dokazati nepostojanje negativnih učinaka nekog proizvoda. Naime, neki učinci mogu biti kumulativni, tj. njihovo postojanje se može otkriti tek nakon dužeg vremena. Osim toga, mnoga istraživanja (npr. epidemiološka) daju statističke rezultate koji dobijaju na težini povećanjem uzorka i ponavljanjem. Naučna zajednica bi trebala imati ključnu ulogu u informiranju javnosti i političara koji donose zakone o graničnim vrednostima izlaganja elektromagnetskim poljima. Često dolazi do sukoba interesa jer istraživanja u ovom području dobrim delom finansiraju velike fabrike čiji proizvodi su izvor elektromagnetskih polja (npr. u području pokretne telefonije Samsung, Huavej, Nokia, Ifon, Ericsson).

U cilju nepristrane procene rezultata naučnih istraživanja formiraju se grupe nezavisnih stručnjaka i pokreću međunarodni projekti koje finansiraju međunarodne organizacije. 1992. godine osnovana je Međunarodna komisija za zaštitu od nejonizirajućeg zračenja (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection - ICNIRP) koja istražuje rizike koji su povezani s različitim oblicima elektromagnetskih zračenja i razvija međunarodne granične vrednosti izlaganja. Svetska zdravstvena organizacija (World Health Organization - WHO) utemeljila je 1996. godine Međunarodni EMF (Electromagnetic Fields) projekt ([www.who.int/emf/](http://www.who.int/emf/)).

### LITERATURA

- Blank M., Goodman R. (2000) Stimulation of the stress response by low-frequency electromagnetic fields: possibility of direct interaction with DNA, IEEE Transaction on plasma science, 28(1):168-172
- Heredia-Rojas J.A., Rodriguex-De La Fuente A.O., Velazco-Campos R.M., Leal-Garza C.H., Rodriguez-Flores L.E., Fuente-Cortez B., (2001) *Cytological effects of 60 Hz magnetic fields on human lymphocytes in vitro: Sister-chromatid exchanges, cell kinetics and mitotic rate.*, Bioelectromagnetics, No. 12(1):1-10
- Ivancsits S., Diem E., Pilger A., Rudiger H.W., Jahn O., (2002) *Induction of DNA strand breaks by intermittent exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields in human diploid fibroblasts.* Mutat Res, No. 519, pp. 1-13,
- Ivancsits S., Diem E., Jahn O., Rudiger H.W., (2003) *Intermittent extremely low frequency electromagnetic fields cause DNA damage in a dose-dependent way.* Int Arch Occup Env Health, No. 76, pp. 431-436,