

## Problematika električnih in magnetnih polj v delovnem in bivalnem okolju

### Electromagnetic fields in occupational and residential environment

Rajko Črnivec\*

Ključne besede  
okolje izpostavljanje  
elektromagnetna polja  
medicina dela

Key words  
environmental exposure  
electromagnetic fields  
occupational medicine

**Izvleček.** Mehanizmi škodljivega delovanja nizko- in visokofrekvenčnih elektromagnetnih polj pri človeku (elektromagnetni, toplotni učinek) še niso povsem znanstveno pojasnjeni, še posebej pa ne preobčutljivost ljudi na 50-herčna električna in magnetna polja s poljsko jakostjo pod 50 V/m oziroma 1  $\mu$ T, zato je treba, podobno kot v svetu, tudi pri nas okrepi interdisciplinarno raziskovalno delo zlasti v smislu proučevanja interakcije odmerek (jakost električnih in magnetnih polj glede na frekvenčno območje in čas delovanja) – učinek (nekumulativni in kumulativni) zlasti na ljudeh (delovno in bivalno okolje). Veljavnega obsega in resnosti te problematike v Sloveniji ne poznamo, še posebej poklicne ne, ker v Sloveniji še ni računalniško podprtega državnega registra sumov, poklicnih bolezni in bolezni v zvezi z delom z individualnim in epidemiološkim spremljanjem incidence in prevalence poklicnih zdravstvenih okvar zaradi elektromagnetnih polj.

**Abstract.** The mechanisms of deleterious effects of exposure to low and high frequency electromagnetic fields (electromagnetic effects) in humans, especially hypersensitivity to 50 Hz electromagnetic fields with field power under 50 V/m or 1  $\mu$ T, have not yet been scientifically clarified. In Slovenia, like in other countries, multidisciplinary research should be intensified to concentrate on the interaction between the dose (i.e. power of electromagnetic fields, depending on the frequency range and time of action) and the effect (noncumulative and cumulative) and the influence of this interaction on humans (occupational and residential environment). To be able to assess the true extent and impact of this problem in Slovenia, we need to set up a computerized national registry of occupational diseases, and diseases suspected of being occupational, based on an individual and epidemiological follow-up of the incidence and prevalence of occupational morbidity due to exposure to electromagnetic fields.

## Uvod

Živimo v naravnem elektromagnetnem polju, ki je sestavina biosfere. Električna poljska jakost na zemlji je 130 V/m. Frekvenca naravnega elektromagnetnega sevanja je do 10 kHz. Umetna električna in magnetna polja, ki smo jim izpostavljeni v delovnem (poklicno) in bivalnem (nepoklicno) okolju, spadajo glede bioloških učinkov, ki so odvisni od intenzivnosti, frekvence, časa izpostavljenosti in odzivnosti organizma, v kategorijo neionizirajočih sevanj.

Akutni in kumulativni učinki nizkofrekvenčnih (pod 100 kHz) in visokofrekvenčnih (nad 100 kHz) električnih in magnetnih polj v delovnem in v bivalnem okolju pri ljudeh in živalih

\*Mag. Rajko Črnivec, dr. med., Klinični inštitut za medicino dela, Klinični center, prometa in športa, Korytkova 7, 1000 Ljubljana.

(poizkusi *in vivo* in *in vitro*) so predmet obsežnih znanstvenih raziskav v svetu (1–4). V Švici pod pokroviteljstvom Zveznega urada za okolje, gozdarstvo in kmetijstvo poteka proaktivni interdisciplinarni znanstveno-raziskovalni projekt NEMESIS (Nizkofrekvenčna električna in magnetna polja in električna preobčutljivost v Švici), katerega osnovni cilj je potrditi ali ovreči hipotezo o preobčutljivosti ljudi na 50-herčne električne poljske jakosti pod 50 V/m oziroma magnetne poljske jakosti 1  $\mu$ T (4). Po ocenah je 2–5 % svetovne populacije (poklicna, nepoklicna izpostavljenost) preobčutljive na električno in magnetno polje jakosti pod zakonsko dovoljeno (4). Patogenetski mehanizem te preobčutljivosti, ki se kaže z nespecifično simptomatiko – glavobol, vrtoglavica, bolečine v mišicah, sklepih, trebuhu, utrujenost, motnje spanja, kožne manifestacije (srbež z izpuščaji ali brez), nervoznost, motnje koncentracije, gomazenje po telesu itd., do danes še ni znanstveno objektiviziran (4). Ni znana prazna jakost elektromagnetnega polja pri nastanku tega fenomena.

V slovenskem prostoru ni zakonsko predpisanih maksimalno dovoljenih jakosti električnih in magnetnih polj v odvisnosti od frekvence za poklicno izpostavljenost ljudi. Obstajajo mednarodne norme (mejne vrednosti), ki jih priporoča Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirajočimi sevanji (ICNIRP) (4, 5). V skladu z veljavno zakonodajo so poklicne zdravstvene okvare zaradi električnih in magnetnih polj razvrščene pod zaporedno številko 35 veljavnega sporazuma (6). Zanimivo, da tovrstne poklicne zdravstvene okvare niso na evropski listi poklicnih bolezni oziroma sumov (7, 8).

Pri nas sta aktivno zdravstveno varstvo delavcev (preventiva) in verifikacija poklicnih bolezni zaradi električnih in magnetnih polj v pristojnosti verificiranih enot medicine dela zdravstvenih organizacij RS (9, 10). Po sedaj veljavni zakonodaji verifikacijo poklicne patologije ocenjujejo tudi invalidske komisije I. in II. stopnje (11). V skladu z 9. členom zakona o zdravstvenem varstvu in zdravstvenem zavarovanju stroške ukrepov za preprečevanje in odkrivanje poklicnih zdravstvenih okvar ter aktivnega zdravstvenega varstva delavcev nosi delodajalec (12). V skladu s 23. členom istega zakona pa zdravljenje in rehabilitacijo zaradi poklicnih zdravstvenih okvar (poklicne bolezni, poškodbe pri delu) plača nosilec obveznega zdravstvenega zavarovanja, to je Zavod za zdravstveno zavarovanje Slovenije.

Veljavna zakonodaja (9) predpisuje za poklicno izpostavljene elektromagnetnim poljem obvezne predhodne in obdobjne preventivne zdravstvene preglede na 12–36 mesecev (najkrajši rok, če ni zdravstvene ocene delovnega mesta). Ker v Sloveniji še ni računalniško podprtega republiškega registra sumov, poklicnih bolezni in bolezni v zvezi z delom z individualnim in epidemiološkim spremljanjem poklicne patologije v Sloveniji, ki bi bil primerljiv z Evropsko skupnostjo, ni znana incidenca in prevalenca poklicnih zdravstvenih okvar zaradi elektromagnetnih polj.

### **Namen prispevka**

Osnovni namen prispevka je opozoriti na izsledke nekaterih pomembnejših raziskav na področju škodljivega delovanja nizkofrekvenčnih in visokofrekvenčnih električnih in magnetnih polj pri ljudeh in živalih v svetu s posebnim ozirom na fenomen preobčutljivosti

Tabela 1. Pomenhne količine, razlaga in mejne vrednosti električnih in magnetnih polj (Mednarodna komisija za varstvo pred neionizirajočimi sevanji).

Zap. št.	Količina	Oznaka	Enota	Razlaga pojmov	Mednarodna komisija za varstvo opred neionizirajočimi sevanji				
					priporočene mejne vrednosti				
					poklicna izpostavljenost	nepoklicna izpostavljenost			
						telesna gostota toka	maksimalna sposobnost absorpcije	telesna gostota toka	50-herčno polje
magnetno polje	električno polje								
1	električna poljska jakost	E	V/m ali kV/m						
2	magnetna poljska jakost	H	A/m						
3	gostota magnetnega polja (magnetna indukcija)	B	tesla (T)	1 $\mu\text{T}$ in nT ( $10^{-9}\text{T}$ ). Stara enota je gaus: 10 mG = 1 $\mu\text{T}$ . V zraku je razmerje 1 A/m = 1,256 $\mu\text{T}$					
4	frekvenca		Hz	število polaritetnih izmenjav med dvema enakima vrednostma elektromagnetnega polja na sekundo					
4.1	nizkofrek. polje			pod 100 kHz (lahko tudi drugačna opredelitev). Pri oddaljenosti od vira sevanja, manjši od valovne dolžine, električno in magnetno polje nista homogena in nista v fazi. Merijo se veličine polj.	10 mA/m <sup>2</sup>		2 mA/m <sup>2</sup>	100 $\mu\text{T}$	5 kV/m
4.2	visokofrek. polje			nad 100 kHz. Oddaljenost od vira sevanja je velika v primerjavi z valovno dolžino, zato sta polji v fazi. Zadostuje meritev le ene veličine polj ali gostote energijskega toka v $\mu\text{W}/\text{cm}^2$			celo telo = 0,08 W/kg lokalno do 25 W/kg		

na ta polja. Ker Slovenija na tem področju zaostaja, je v zaključku predlagan interdisciplinarni, s svetom primerljiv raziskovalni projekt, ki bo združil medicinske in nemedicinske raziskovalne potenciale v Sloveniji in katerega glavni namen je določiti dognane diagnostične kriterije in dober sistem za zanesljivo ugotavljanje nedvoumnih posledic izpostavljenosti elektromagnetnim poljem.

## Fizikalne osnove električnih in magnetnih polj

Električne naprave v delovnem in bivalnem okolju so izvor električnih in magnetnih polj. Ta so statična in izmenična. Ločimo šibko statično zemeljsko magnetno polje (približno 45  $\mu$ T) in zelo močno polje, npr. magnetnoresonančnega tomografa (približno 1,5 T) (4). Izmenična polja so opredeljena s frekvenco (tabeli 1 in 2).

Tabela 2. Prikaz frekvenc, izvorov in uporabe elektromagnetnih polj.

Frekvenčno območje	Obseg	Vir, uporaba
<b>Nizkofrekvenčno</b>	0 Hz	zemeljsko magnetno polje
	16,7 Hz	čeleznica
	50 Hz	električno omrežje
	1–10 kHz	topilne in indukcijske peči
	50–150 kHz	elektronski zasloni
<b>Visokofrekvenčno</b>	150–285 kHz	dolgovalovni radiooddajniki
	525–1605 kHz	srednjevalovni radiooddajniki
	2,3–28 MHz	kratkovalovni radiooddajniki in kratkovalovni radioamaterji
	87,5–108 MHz	UKV-radiooddajnik
	174–216 MHz	VHF – TV-oddajnik
	470–890 MHz	UHF – TV-oddajnik
	3–300 MHz	industrija, medicina
	2,45 GHz	mikrovalovna pečica
	1–10 GHz	radar
	5,93–31,0 GHz	satelitska radiopostaja
	30–300 GHz	radioastronomija

## Škodljivi učinki elektromagnetnih polj

Mehanizmi škodljivega delovanja elektromagnetnih polj pri človeku še niso povsem strokovno pojasnjeni (4), še zlasti ne pri netermičnih učinkih. Absorpcija nizkofrekvenčnega elektromagnetnega valovanja (pod 100 kHz) se v organizmu odraža kot elektromagnetni učinek, visokofrekvenčnega pa kot elektromagnetni in termični učinek s posledično biopozitivno ali bionegativno reakcijo.

Elektromagnetni učinek, zlasti nizkofrekvenčnih elektromagnetnih polj, se pri človeku in živalih proučuje od subcelične preko psihosomatske do epidemiološke ravni. V človeškem

organizmu se elektroliti, beljakovine, maščobe in ogljikovi hidrati zaradi električne polarizacije in dipolnega momenta pričnejo gibati pod vplivom ritmične spremembe elektromagnetnega polja in s tem porabijo energijo električnega polja ali se polarizirajo. Velika polarizacija lahko privede do cepjenja vezi v molekulah (vodikove, estrske itd.) beljakovin, sledi denaturacija in degradacija beljakovin, pride do motnje v encimski aktivnosti oziroma do biokemične lezije (4).

Lastne beljakovine preko denaturacije lahko postanejo telesu tuje s posledičnim spremenjenim humoralnim imunskim odzivom. Sprememba v fazah polarizacije in depolarizacije celičnih membran ter aktivacije znotrajceličnih struktur – encimov, kalcijevih ionov, cAMP, kinaz itd. – so možne posledice vplivov elektromagnetnih polj. Znane so tudi spremembe v električni aktivnosti možganov (EEG), zmanjšana aktivnost acetilholinesteraze v krvi, motnje kognitivne sfere, srčno-žilne motnje (bradikardija, ishemija srca, hipotonija), endokrine motnje, povečana aktivnost skorje nadledvične žleze, motnje menstrualnega ciklusa, krvotvorne motnje (pancitopenija), venozni zastoj in krvavitve v jetrih, ledvicah in možganih, katarakta. Elektromagnetna polja lahko povzročajo hipo- ali hiperfunkcijo žlez z notranjim izločanjem (4).

Elektromagnetna polja lahko vplivajo na cirkadiani ritem budnosti in spanja v smislu spremembe v izločanju hormona melatonina iz epifize (2, 4). Izločanje melatonina je povezano z endogenim oscilatorjem, ki s periodo okrog 24 ur generira cirkadiani ritem (notranja časovna ura) in se nahaja v suprahiazmatskem jedru v srednjem hipotalamusu (13). Izločanje melatonina je izdatno ponoči, podnevi pa skoraj preneha. Melatonin deluje preko beljakovine G tako, da znižuje koncentracijo cAMP v celici. Melatonin deluje močno hipotermično, na imunski sistem preko indukcije limfokinov in opioidnih peptidov, poleg tega je dober antioksidant, ki odstranjuje proste radikale kisika in hidroksilne radikale v celici. Prosti radikali so kratkožive, izjemno reaktivne snovi, ki normalno nastajajo pri celični oksidaciji in reagirajo z normalnimi sestavinami celice, kot so DNA, beljakovine, maščobe. Tako povzročajo peroksidacijo, ki poškoduje celične membrane in druge sestavine celic, pride pa tudi do mutacije genov z možno karcinogenezo in teratogenezo. Obrambo proti prostim radikalom v celici predstavljajo nekateri celični encimi, glutation peroksidaza, superoksidna dismutaza in katalaza, vitamina C in E ter flavonoidi (13).

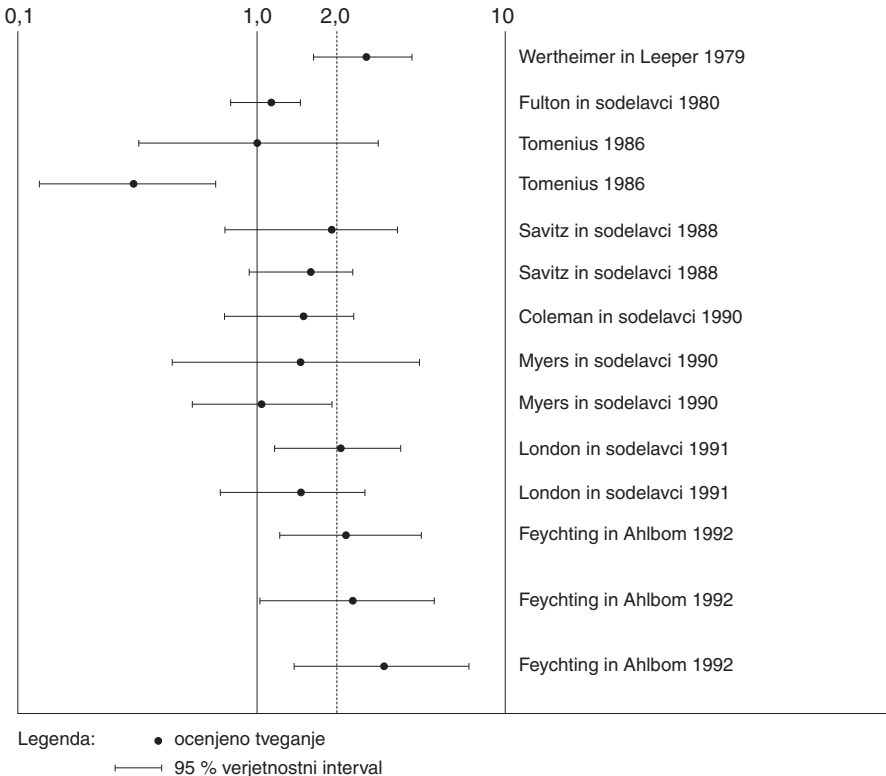
Elektromagnetna polja lahko torej povzročajo izjemno številne, bolj ali manj nespecifične in toplotne učinke, kar posebno otežuje raziskave specifičnih vplivov elektromagnetnih polj na človeka in druge organizme.

Elektromagnetna polja s posledičnim zmanjšanim izločanjem melatonina iz epifize in s tem omejeno redukcijo oksiradikalov v celicah, ki se vežejo na gene oziroma DNA, lahko privedejo do mutacije genov s posledično kancerogenezo oziroma teratogenezo. Vpliv elektromagnetnih polj na telomeraze, ki katalizirajo obnovo telomer (zaščitnih beljakovin genov na kromosomih), še ni proučen. Prav tako ni proučen vpliv na integralni regulator celične genske aktivnosti gen P53, kar ima v primeru, da mutira pod njihovim vplivom, lahko za posledico maligno raščo oziroma resne dedne posledice. Znana je povečana aktivnost telomeraz kot pogosta mutacija gena P53 pri malignih celicah, kar daje malignim celicam večnost v gostitelju (4).

### Izsledki nekaterih raziskav o učinkih elektromagnetnih polj v svetu

Iz študije Cecilije Wodman in Ulfa Bergquista, ki je leta 1991 zajela 731 oseb, od tega 111 s subjektivno preobčutljivostjo na električno in magnetno polje, povzamemo, da je bila pri elektroobčutljivih registrirana pogostejša simptomatika s strani kože in živčevja kot pri neobčutljivih. Primerjalno niso ugotovili sprememb v izločanju melatonina v seču (4).

Gorczyńska poroča o povečanem izločanju tiroksina T3 in T4 pri živalih, ne pa pri človeku (4). Oswald Jan pri delavcih transformatorske postaje Kaprun (Avstrija), ki so bili dnevno izpostavljeni 50-herčni magnetni poljski jakosti do 100  $\mu$ T, ne opisuje spremembe v nočnem izločanju melatonina, tako da ni bilo ugotovljene razlike med nočno in jutranjo koncentracijo. Nespremenjena je bila tudi koncentracija kateholaminov v plazmi (4). Gamberale pri delavcih ne opisuje učinkov na hipofizno-gonadno os (4).



Slika 1. Relativno tveganje obolevnosti za levkemijo pri otrocih zaradi elektromagnetnih polj v svetovnih študijah (4). Vrednost celotnega intervala nad 1 pomeni statistično dokazano povečano relativno tveganje obolevnosti za levkemijo pri otrocih.

Wilson pri električni grelni blazini pri 0,4  $\mu$ T ugotavlja zmanjšano izločanje melatonina iz epifize, medtem ko avtorja Graham in Lambroza pri poskusnih osebah tega nista dokazala (4). Bakos nasprotno opisuje povečano izločanje melatonina (4). Altpeter je v primerjalnih raziskavah 1992., 1993. in 1996. leta pri ljudeh in kravah v okolici kratkovalovnega oddajnika Schwarzenburg ugotavljal pri ljudeh motnje spanja, ki so neposredno povezane z jakostjo elektromagnetnega polja, torej naraščajo z jakostjo polja od 1 mA/m do 10 mA/m. Ni pa bilo zveze med jakostjo elektromagnetnega polja in izločanjem melatonina pri ljudeh. Pri kravah pa obstaja sum o faznem premiku izločanja melatonina. Biofizikalni mehanizem tega pojava ni pojasnjen (4).

Številne epidemiološke študije v glavnem proučujejo vplive nizkofrekvenčnih elektromagnetnih polj na nastanek levkemije in možganskih tumorjev (slika 1). Vpliv ni izključen, pa tudi ne neposredno dokazan. Mehanizem nastanka ni znan.

## Zaključek in predlogi

Ker Slovenija tako po obsegu kot vsebini in dinamiki interdisciplinarnih raziskav zlasti na področju vzročne zveze med odmerkom (jakost električnih in magnetnih polj glede na frekvenčno območje) in učinkom (nekumulativnim in kumulativnim) na ljudeh (poklicno in nepoklicno izpostavljenimi) zaostaja za razvitim svetom, obsega in resnosti te problematike pri nas ne poznamo.

V Sloveniji bi v prvi fazi veljalo v interdisciplinarnem raziskovalnem projektu določiti dogane diagnostične kriterije in dober sistem za zanesljivo ugotavljanje nedvoumnih posledic izpostavljenosti elektromagnetnim poljem. Tu je zelo pomemben enoten računalniško podprt sistem ugotavljanja, verifikacije in registracije poklicnih in nepoklicnih zdravstvenih okvar zaradi škodljivih učinkov elektromagnetnih polj, ki bo omogočil sistematično epidemiološko spremljanje stanja in trendov na tem področju.

Za raziskavo bi veljalo poleg lastnih sredstev (proizvajalci, distributerji, uporabniki virov elektromagnetnih polj, raziskovalnih sredstev) pridobiti tudi sredstva iz programa evropske skupnosti *Zdravje in varnost pri delu*.

---

## Literatura

1. Jörg M, et al. Elektromagnetische Felder und Krebserkrankung im Kindesalter. *Deutsch Ä* 1995; 38: B 1828–33.
2. Pfluger DH, Minder CE. Effects of exposure to 16,7 Hz magnetic fields on urinary G-hydroxi melatonin sulfate excretion of Swiss railway workers. *J Pineal Res* 1996; 21: 91–100.
3. Rea WJ, Pan Y, Fenyves EJ, et al. Electromagnetic Field Sensitivity. *Journal of Bioelectricity* 1991; 10: 241–56.
4. Schierz C, Müller C. Elektrosensibilität: Standortbestimmung eines Phänomens. ETH. Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie. Fachbereich Ergonomie und Arbeit und Gesundheit. Zürich: Tagungsband PU-97-3, 1997: 1–67.
5. Anon. IRPA/INIRC Guidelines. Interim Guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields. *Health Phys* 1990; 58: 113–22.
6. Samoupravni sporazum o seznamu poklicnih bolezni. Ur l SFRJ 1983; 38: 1075–80.

7. ILO. European Schedule of Occupational Diseases. Annex I. *Official Journal of the European Communities 1990; No L 160*: 41–3.
8. ILO. Additional List of Diseases suspected of being Occupational in Origin which should be Subject to Notification and which may be considered at later stage for Inclusion in Annex I to the European Schedule. Annex II. *Official Journal of the European Communities 1990; No L 160*: 44–5.
9. Pravilnik o načinu in postopku za opravljanje preventivnih zdravstvenih pregledov delavcev. Ur l SRS 1971; 33: 951–5.
10. Zakon o varstvu pri delu. Ur l SRS 1986; 47.
11. Zakon o pokojninskem in invalidskem zavarovanju. Ur l RS 1992; 12: 741–72.
12. Zakon o zdravstvenem varstvu in zdravstvenem zavarovanju. Ur l RS 1992; 9: 578–9.
13. Starc V. Cirkadiani ritmi in premiki delovnega časa. In: *Nočno in izmensko delo*. Cerklje: Slovensko zdravniško društvo – Sekcija za medicino dela, Inštitut za medicino dela, prometa in športa, ZVD Ljubljana, 1996: 39–62.

Prispelo 8. 12. 1997