

# Biološki utjecaj elektromagnetskog zračenja i mjere zaštite od istih

---

**Turkalj, Mateja**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2018**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:661456>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-21**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE

SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I  
ZAŠTITE

MATEJA TURKALJ

**Biološki utjecaj elektromagnetskog  
zračenja i mjere zaštite od istih**

ZAVRŠNI RAD

KARLOVAC, 2018.



KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
SAFETY AND PROTECTION DEPARTMENT  
PROFESSIONAL GRADUATE STUDY OF SAFETY AND  
PROTECTION

MATEJA TURKALJ

**Biological influence of electromagnetic  
radiation and its protection measures**

FINAL PAPER

KARLOVAC, 2018.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
ODJEL SIGURNOSTI I ZAŠTITE  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ SIGURNOSTI I  
ZAŠTITE

MATEJA TURKALJ

**Biološki utjecaj elektromagnetskog  
zračenja i mjere zaštite od istih**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr.sc. Slaven Lulić

KARLOVAC, 2018.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J. J. Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 – 843 - 510

Fax. +385 – (0)47 – 843 – 579



## **VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**

**Stručni studij:** Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

**Usmjerenje:** Zaštita na radu

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

**Student:** Mateja Turkalj

**Matični broj:**0415613057

**Naslov:** Biološki utjecaj elektromagnetskog zračenja i mjere zaštite od istih

### **Opis zadatka:**

U završnom radu bit će govora o izloženosti čovjeka nisko frekventnim i visoko frekventnim elektromagnetskim poljima, elektromagnetskoj dozimetriji, biološkim učincima elektromagnetskih polja te zaštitnim normama za neionizirajuće zračenje.

Zadatak zadan:

04/2018.

Rok predaje rada:

06/2018.

Predviđeni datum obrane:

06/2018.

**Mentor:**dr.sc. Slaven Lulić

**Predsjednik ispitnog povjerenstva:**

Ivan Štedul, prof.

## **PREDGOVOR**

Veliku zahvalnost dugujem mentoru dr.sc. Slavenu Luliću koji mi je omogućio potrebnu literaturu i pomogao svojim savjetima pri izradi ovog diplomskog rada, i što je uvijek imao strpljenja i vremena za moje upite.

Zahvaljujem svim svojim prijateljima i prijateljicama, koji su uvijek bili tu za mene te me dizali kada je bilo najteže i bez kojih cijelo moje studiranje ne bi prošlo tako veselo i zabavno.

Posebnu zahvalnost iskazujem svojoj maloj ali velikoj obitelji koja me je uvijek podržavala i vodila na pravi put.

Na kraju, najveću zaslugu za ono što sam postigla pripisujem svojim najdražima, svojim roditeljima, koji su uvijek bili TU, uz mene, bez obzira da li se radilo o padu ili usponu i bez kojih sve ovo što sam dosad postigla ne bi bilo moguće!

Veliko HVALA svima!

## SAŽETAK

Elektromagnetsko onečišćenje je svaka količina zračenja veća od one prirodne te ga nalazimo svuda oko nas. Dijelom je posljedica zračenja Sunca i Zemlje, ali ipak veći dio zračenja dolazi od izvora koje je proizveo čovjek. Zadnjih dvadesetak godina, pojavom mobilnih telefona i stvaranjem ozonske rupe, došlo je do značajnijeg porasta elektromagnetskog onečišćenja okoliša. Elektromagnetsko zračenje u kontaktu s tkivom uzrokuje određene biološke učinke, koji mogu imati zdravstvene posljedice. Neionizirajuće zračenje kao što su radiovalovi, mikrovalovi i ultraljubičasto zračenje, prevladava u općem okolišu. Ionizirajućeg zračenja, koje uzrokuje ozbiljnije zdravstvene posljedice, u okolišu gotovo da nema. Ionizirajućem i neionizirajućem zračenju stoga su češće izloženije određene skupine radnika. U radnom okolišu zračenje se redovito mjeri te su maksimalne doze, kao i odgovarajuća zaštita propisane Zakonom. Biološke učinke zračenje uzrokuje djelujući na stanicu, molekule i DNK. Zdravstvene posljedice neionizirajućeg zračenja uglavnom se očituju kao zagrijavanje tkiva, oštećenje oka ili kože. Takva su oštećenja uglavnom prolazna i nastaju tek pri dugotrajnijoj izloženosti.



## **SUMMARY**

Electromagnetic pollution is every amount of radiation bigger than the one we naturally find around us. It is partly the result of Sun and Earth radiation but most of it was produced by humans. In the last twenty years, with the emergence of mobile phones and creation of ozone holes, the electromagnetic pollution of environment has increased. When it gets in contact with tissue, electromagnetic radiation can cause consequences regarding health. Non-ionizing radiation, such as radio waves, microwaves and ultraviolet radiation, occur normally in environment. Ionizing radiation which causes serious health problems is rarely found in environment. Only certain groups of workers are more likely to be exposed to ionizing and non-ionizing radiation. The level of radiation is closely monitored in work environments so the maximum level and adequate protection are prescribed by law. Biologically, radiation affects the cell, molecules and DNA. Consequences of non-ionizing radiation are mostly manifested by tissue burns, eye damage and skin damage. That kind of damages are temporary and only occur with longer exposures

# SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	I
PREDGOVOR.....	II
SAŽETAK.....	III
SUMMARY .....	IV
1. UVOD .....	1
2. Elektromog - elektromagnetsko zračenje (onečišćenje) .....	4
2.1. Elektromagnetski spektar .....	5
2.1.1. Ionizirajuće i neionizirajuće zračenje.....	6
2.1.2. Spektar neionizirajućeg zračenja.....	6
2.2. Interakcija ljudi s elektromagnetskim poljima .....	9
3. Biološki efekti elektromagnetskih polja .....	10
3.1. Općenito razmatranje bioloških efekata.....	11
3.2. Sprega s električnim poljima niskih frekvencija .....	13
3.3. Sprega s magnetskim poljima niskih frekvencija.....	14
3.4. Bioefekti na poljima ekstremno niskih frekvencija .....	16
3.5. Bioefekti zračenja na radio frekvencijama.....	18
3.6. Zaključna razmatranja.....	21
4. Mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja.....	22
4.3. Međunarodne zaštitne norme.....	29
4.4. Hrvatske norme za zaštitu od elektromagnetskih polja .....	34
5. Zaključak.....	37
6. Literatura .....	38
7. Popis slika .....	39
8. Popis tablica .....	40

# 1. UVOD

Elektromagnetsko zračenje je pojava širenja električnih i magnetskih valova, tj. čestica zvanih fotoni. Fotoni su čestice bez mase koje se gibaju brzinom svjetlosti i sadrže određenu energiju [1].

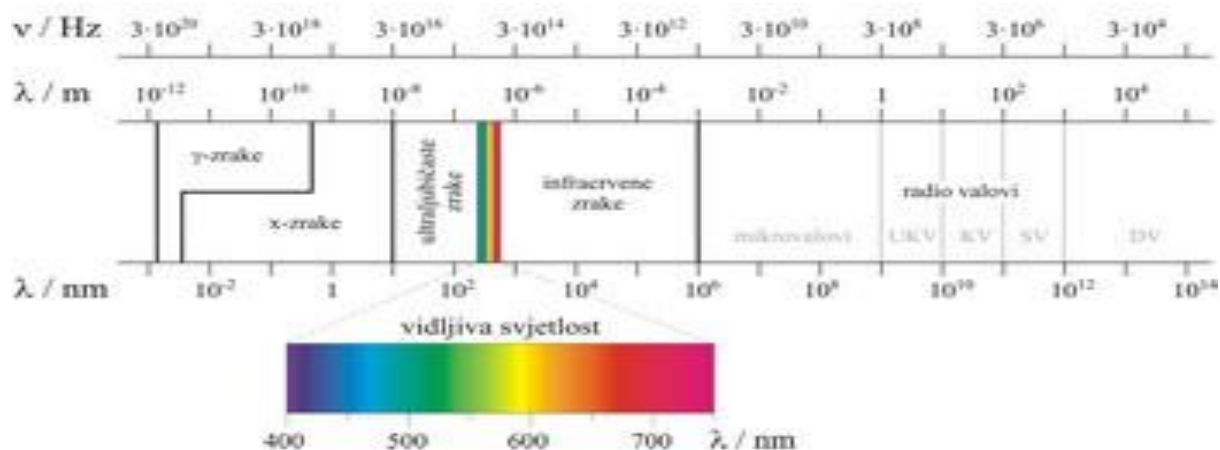
Elektromagnetske valove prikazujemo pomoću elektromagnetskog spektra (Slika 1). Elektromagnetski spektar dijeli se na dva dijela: ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Podjela se temelji na tome mogu li zrake određenog zračenja ionizirati atome i prekinuti kovalentne veze ili ne [2].

Zračenje visokih frekvencija, a niskih valnih duljina zovemo ionizirajuće zračenje. Ta visoka frekvencija ima dovoljno energije izbaciti elektrone iz vanjskog omotača nekih atoma i pretvoriti ih u ione. Taj proces zove se ionizacija [3]. Ionizirajuće zrake mogu štetno djelovati na stanice, a u njih ubrajamo rendgenske (Xzrake), gama zrake i kozmičke zrake [4].

Zračenje nižih frekvencija i većih valnih duljina, neionizirajuće zračenje, nema dovoljno energije da izazove ionizaciju, ali može uzrokovati mehaničke vibracije atoma što dovodi do stvaranja toplinske energije [3]. Neionizirajuće zračenje čine radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene i ultraljubičaste zrake. Njihovo djelovanje na tkiva, zbog male energije, može biti štetno pri dugotrajnijem izlaganju, ali puno manje štetno od ionizirajućih zračenja [4].

Elektromagnetsko zračenje nalazimo u svemiru ali i na Zemlji. Sunce je najveći izvor vidljive svjetlosti, zvijezde su izvor x-zračenja i kozmičkog zračenja, planete emitiraju radio valove. Zapravo, svako tijelo pri određenoj temperaturi emitira elektromagnetsku energiju, uključujući i naša tijela [3]. Osim navedenih prirodnih izvora elektromagnetskog zračenja postoje i umjetni izvori koje je uglavnom proizveo čovjek. Na primjer, x-zrake (X) i gama zrake ( $\gamma$ ) koje koristimo u medicini, laseri, električni uređaji, električni vodovi i dr. [3]

Mikrovalno zračenje obuhvaća dio elektromagnetskog spektra (Slika 1) valne duljine 1mm do 1m te ima toplinske učinke na ljudsko tijelo. Infracrveno zračenje obuhvaća spektar valne duljine 750nm – 1m te osim toplinskih oštećenja dovodi i do oštećenja vida (katarakta). Vidljiva svjetlost proteže se valnom duljinom 380nm –750nm te dovodi do umora i oštećenja vida. Male razlike frekvencija u području vidljive svjetlosti nazivamo boje. Ultraljubičaste zrake imaju valnu duljinu od 10nm – 380nm, osim oštećenja oka mogu uzrokovat i opekline kože te se smatraju rizičnim čimbenikom za razvoj raka kože. Rendgenske i gama zrake, valnih duljina manjih od 10nm odnosno manjih od 0,01nm, imaju sposobnost prodiranja u tkivo gdje izazivaju ionizaciju koja dovodi do somatskih i genetskih oštećenja, tj. mutacije gena koja je predispozicija za razvoj malignih bolesti [5].



Slika 1: Valne duljine elektromagnetskih valova možemo prikazati pomoću spektra elektromagnetskog zračenja. Spektar elektromagnetskog zračenja podijeljen je na nekoliko područja od  $\gamma$ -zračenja vrlo kratkih valnih duljina i velike energije do radiovalova valnih duljina i preko 1 000 m. Ljudsko oko vidi samo uski dio elektromagnetskog spektra - vidljivo zračenje.

## **2. Elektrosmog - elektromagnetsko zračenje (onečišćenje)**

Sama riječ elektrosmog je složenica koja u svom etimološkom i gramatičkom sadržaju objedinjuje izraz "elektro" s engleskom riječi "smog", a riječ "smog" smisljena je izvedenica riječi: "smoke " (dim) i "fog" (magla). Prema tome riječ elektrosmog označava "onečišćenje" okoliša koje je rezultat elektromagnetskog zračenja. U okvirima ovog pojma sadržani su mnogi fenomeni. Razlikujemo niskofrekventna i visokofrekventna zračenja i polja. [6]

Niskofrekventna izmjenična magnetska polja pojavljuju se prilikom strujanja električne energije u uređajima i električnim vodovima i žicama određenih transportnih sredstava (električni vlakovi, tramvaji i sl.) kao i vodovima visoke naponske mreže. [6]

Strah izazivaju visokofrekventna elektromagnetska polja i valovi. Visokofrekventni valovi i polja služe za prijenos podataka na visokim frekvencijama (100 do 300 GHz) – a to znači stvaranje 100 do 300 milijardi titraja ili oscilacija u jednoj sekundi. Električna se i magnetska polja u tom procesu spajaju i tako nastaju elektromagnetski valovi. [6]

## 2.1. Elektromagnetski spektar

Elektromagnetski val je usmjereno širenje promjenjivog električnog i magnetskog polja u nekoj sredini. Svaki sustav kod kojeg se generiraju el. mag. valovi, a nije u potpunosti zatvoren vodljivim oklopom. Čovjek je oduvijek izložen elektromagnetskim pojima sa prirodnih izvora (Sunce, mag. polje Zemlje...) [7]

Elektromagnetske valove prikazujemo pomoću elektromagnetskog spektra (Slika 1). Elektromagnetski spektar dijeli se na dva dijela: ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Podjela se temelji na tome mogu li zrake određenog zračenja ionizirati atome i prekinuti kovalentne veze ili ne [2].

### **2.1.1. Ionizirajuće i neionizirajuće zračenje**

Zračenje visokih frekvencija, a niskih valnih duljina zovemo ionizirajuće zračenje. Ta visoka frekvencija ima dovoljno energije izbaciti elektrone iz vanjskog omotača nekih atoma i pretvoriti ih u ione. Taj proces zove se ionizacija [3]. Ionizirajuće zrake mogu štetno djelovati na stanice a u njih ubrajamo rendgenske (Xzrake), gama zrake i kozmičke zrake [4].

Zračenje nižih frekvencija i većih valnih duljina, neionizirajuće zračenje, nema dovoljno energije da izazove ionizaciju, ali može uzrokovat mehaničke vibracije atoma što dovodi do stvaranja toplinske energije [3]. Neionizirajuće zračenje čine radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene i ultraljubičaste zrake. Njihovo djelovanje na tkiva, zbog male energije, može biti štetno pri dugotrajnijem izlaganju, ali puno manje štetno od ionizirajućih zračenja [4].

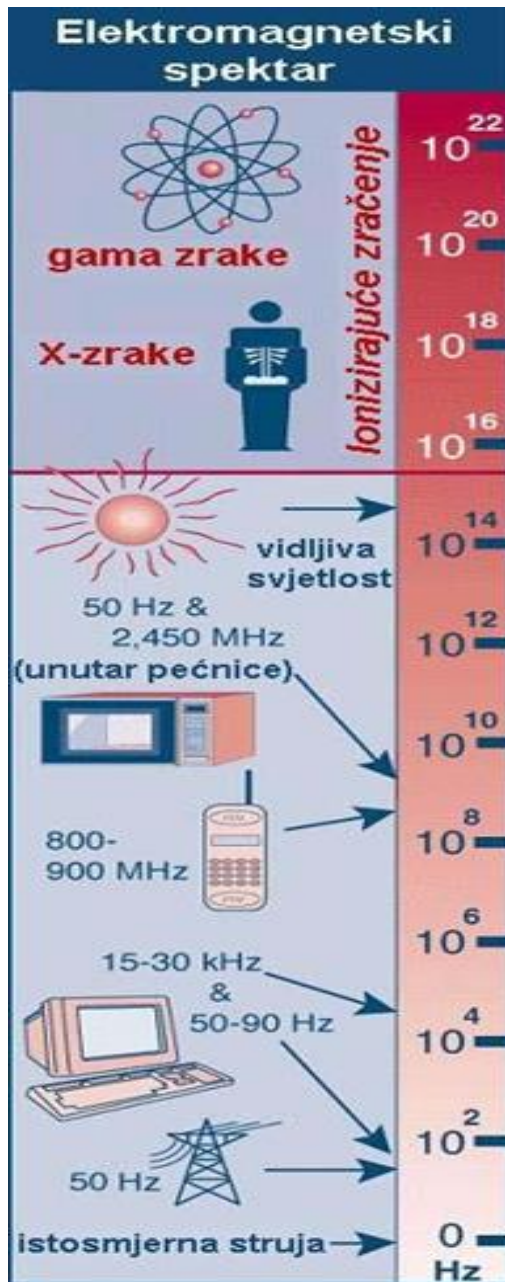
### **2.1.2. Spektar neionizirajućeg zračenja**

Neionizirajuća elektromagnetska polja, s obzirom na frekvenciju kao osnovnu karakteristiku elektromagnetskog zračenja dijelimo na 2 skupine : područje niske frekvencije (30 kHz) i područje visoke frekvencije (od 30 kHz do 300 GHz) . [7]



Tablica 1: Frekvencijski spektar elektromagnetskih polja koji detaljno prikazuje područje unutar spektra elektromagnetskih frekvencija koji se dijeli na dvije skupine: područje niskih frekvencija i područje visokih frekvencija.

3 – 3000 Hz	Ekstremno niske frekvencije
3 – 30 kHz	Vrlo niske frekvencije
30 – 300 kHz	Niske frekvencije
300 – 3000 kHz	Srednje frekvencije
3 – 30 MHz	Visoke frekvencije
30 – 300 MHz	Vrlo visoke frekvencije
300 – 3000 MHz	Ultra visoke frekvencije
3 – 30 GHz	Super visoke frekvencije
30 – 300 GHz	Ekstra visoke frekvencije
0,3 – 390 THz	Infracrveno svjetlo
390 – 770 THz	Vidljivo svjetlo
770 – 30000 THz	Ultraljubičasto svjetlo
30000 THz -	X zrake i kozmičke zrake



Slika 2: Spektar klasificira zračenje po valnoj duljini, odnosno frekvenciji elektromagnetskih valova u grupe koje imaju slična svojstva. Iako su sva zračenja iz spektra izvorno elektromagnetska ona imaju različito međudjelovanje s materijom pa se stoga dijele na dvije velike grupe, tj. ionizirajuće i neionizirajuće zračenje

## 2.2. Interakcija ljudi s elektromagnetskim poljima

Izloženost čovjeka elektromagnetskim poljima od ekstremno niskih do mikrovalnih frekvencija. Ljudsko tijelo predstavljeno je realističnim računalnim modelima u smislu geometrije i električnih svojstava organa. Modeli na niskim frekvencijama temelje se na kvazistatičkim aproksimacijama, Laplaceovoj jednažbi i numeričkome modeliranju primjenom metode rubnih elemenata. Modeli na visokim frekvencijama zasnovani su na cjelovitom elektromagnetskome modelu i odgovarajućoj Helmholtzovoj jednažbi. [7]

Općenito svako ljudsko biće sastoji se od nekoliko milijardi stanica koje se prikazuju na različite načine čiji je promjer nekoliko mikrona. Takve nakupine stanica formiraju tkivo. Stanice se mjenjaju, rastu i reproduciraju u okviru zadanog procesa koji se naziva mitozom.

Elektromagnetska interakcija sa biološkim sustavima može se realizirati kroz staničnu strukturu pa se prema tome kategorizira kao interakcija:

- sa staničnom membranom
- interakcija sa citoplazmom
- interakcija s jezgrom

Razni procesi mitoze postoje da se može utjecati ako je čovjek izložen djelovanju vanjske sile, kao što je primjerice slučaj kod izloženosti tijela elektromagnetskom polju.

Umjetno stvorena elektromagnetska polja u čovjeku uzrokuju induciranje struja i napona puno viših iznosa nego što su njihove prirodne razine u tijelu. Premda čovjek može kompenzirati velike efekte uzrokovane elektromagnetskim poljima, još nije u potpunosti istraženo kakve efekte mogu imati na čovjekovo zdravlje i na samog čovjeka.

### **3. Biološki efekti elektromagnetskih polja**

Biološkim učincima elektromagnetskih polja na ljude podrazumijevaju se bilo kakve detektabilne, reverzibilne ili nereverzibilne, fiziološke promjene u organizmu. Do štetnih efekata za zdravlje i život dolazi u situacijama u kojima efekti prelaze normalne granice koje ljudsko tijelo može kompenzirati svojim regulacijskim mehanizmima. Ovi štetni učinci za ljude često su akumulacijskog karaktera i općenito ovise o vremenu i dozi ozračenosti. [7]

### 3.1. Općenito razmatranje bioloških efekata

Kroz vrijeme razmatrani su mnogi mehanizmi za elektromagnetsko međudjelovanje živih sustava, ali nisu ispravno elaborirani i znanstveno dokazani. Bitno je naglasiti spregu između elektromagnetskih polja i živog organizma koja ovisi o frekvenciji elektromagnetskog polja u kojem je tkivo izloženo. Prilikom niskih frekvencija električna i magnetska polja mogu se sagledati odvojeno, dok je kod visokih frekvencija elektromagnetsko polje jedinstveni entitet. Kod induciranja električnih polja unutar tijela primjećujemo značajnu razliku redova veličine od vrijednosti u slobodnom prostoru. To je direktna posljedica koje polje mora zadovoljavati na granici, a koji proizlaze iz Maxwellovih jednadžbi i zahtijevaju da gustoća struje u tijelu bude jednaka gustoći dielektričnog pomaka van tijela. Magnetsko polje unutar ljudskog tijela nepromijenjeno je u odnosu na polje izvan tijela, jer biološka tkiva nemaju karakter magnetskih materijala. [7]

Međudjelovanje elektromagnetskih polja s biološkim materijalima promatra se primjenom mikroskopskih i makroskopskih modela. Proces se često opisuje makroskopski, budući da je promatranje na mikroskopskoj razini s nabojima u materijalu teško. [7]

Makroskopski model razmatranja prikazujemo preko fenomena :

- Polarizacije vezanih naboja
- Orijentacije permanentnih električnih dipola
- Gibanja prostornog naboja

U području radiofrekvencija (RF), organska materija se ponaša poput otopina elektrolita koje sadrže polarne molekule, tj. radiofrekvencijska polja integriraju sa živim organizmima putem kondukcije iona i rotacije polarnih molekula te dolazi do relaksacije proteina. [7]

Apsorbirana RF energija se zatim transformira u kinetičku energiju molekula što je u povezanosti sa porastom temperature ozračenog tkiva. Prema tome se glavnim biološkim efektom smatra zagrijavanje tkiva. Tri su elementarna mehanizma sprege putem kojih vremenski promjenljiva elektromagnetna polja integriraju s organskom materijom [7] :

- sprega s električnim poljima niskih frekvencija
- sprega s magnetskim poljima niskih frekvencija
- apsorpcija energije elektromagnetskog zračenja na visokim frekvencijama

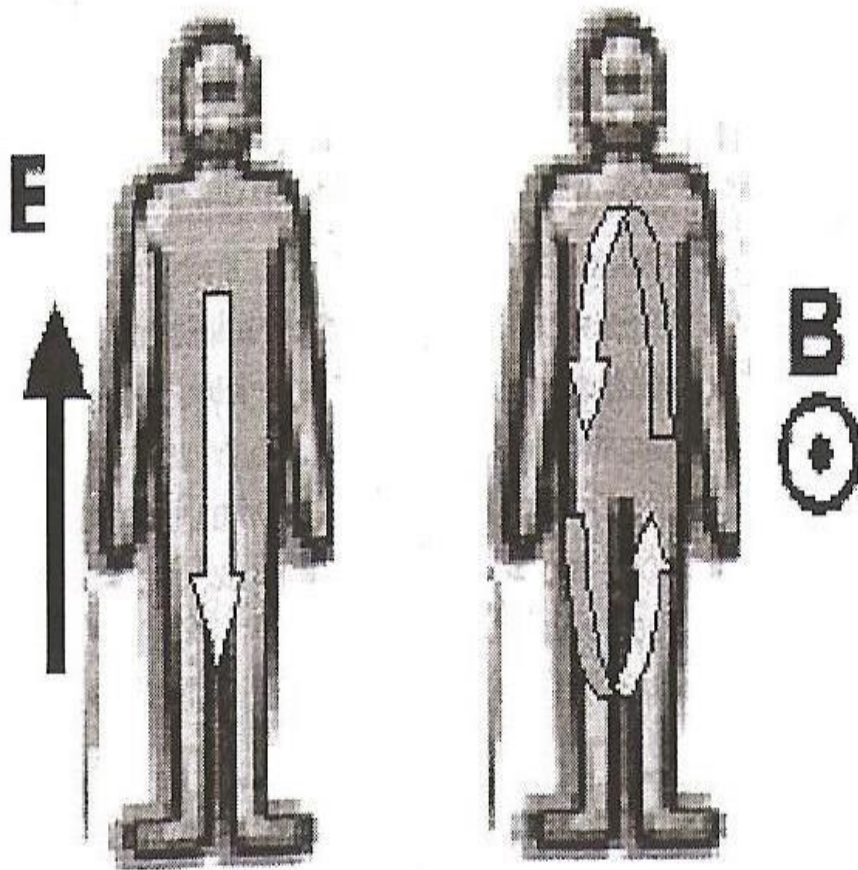
### **3.2. Sprega s električnim poljima niskih frekvencija**

Djelovanje između električnih polja niske frekvencije i ljudi rezultira induciranjem električne struje, stvaranjem električnih dipola te reorijentaciji električnih dipola. Jakost električnog polja ovisi o jakosti intenziteta efekata, zatim o električnim svojstvima tijela koje variraju ovisno o vrsti tkiva. Fizikalno gledano, električna polja induciraju naboj na tijelu za koji se dobiva rezultat inducirana struja u tijelu čija raspodjela ovisi o tijelu. [7]

### **3.3. Sprega s magnetskim poljima niskih frekvencija**

Djelovanje magnetskog polja niskih frekvencija s ljudskim tijelom je rezultat u induciranim električnim poljima i strujama unutar ljudskog tijela koje se kreću u formi zatvorenih petlji. Iznosi induciranih polja i gustoća vrtložnih struja proporcionalni su radijusu petlje, vodljivosti tkiva te iznosu i brzini promjene magnetske indukcije. Za specificiran iznos i frekvenciju magnetskog polja, najjača električna polja se induciraju na mjestima gdje su dimenzije petlje najveće. Staza i iznos struje inducirane u bilo kojem dijelu tijela ovisi o vodljivosti tkiva. Mehanizam sprege električnih, odnosno i magnetskih polja, niskih frekvencija s ljudskim tijelom prikazan je na slici 4. Prikazana je i polarizacija ulaznog električnog i magnetskog polja pri kojima nastupa maksimalna sprega s tijelom uz smjerove pripadnih induciranih struja u tijelu. [7]





Slika 3: Na slici je prikazan mehanizam sprege električnih i magnetskih polja, niskih frekvencija s ljudskim tijelom. Prikazana je polarizacija ulaznog električnog i magnetskog polja pri kojima nastupa maksimalna sprega s tijelom uz smjerove pripadnih induciranih struja u tijelu.

### **3.4. Bioefekti na poljima ekstremno niskih frekvencija**

Prihvatljive granice izloženosti poljima ekstremno niskih frekvencija se izražavaju preko magnetskih polja. Sprega ljudi i električnih polja nije istog karaktera. Opaža se da su električna polja inducirana unutar tijela općenito oko  $10^7$  puta manja od polja izvan tijela, a rijetko prelaze oko  $10^{-4}$  vrijednosti vanjskih polja. [7,8]

Pri ekstremno niskim frekvencijama biološki materijal smatra se vodljivom sredinom u kojoj elektromagnetsko polje preko magnetske indukcije stimulira vrtložne struje na membranama stanica i fluidima. Struje teku u zatvorenim petljama koje leže u ravnini okomitoj na smjer magnetskog polja. Na ovim frekvencijama zagrijavanje tkiva je posve zanemarivog karaktera jer valna duljina vanjskog polja iznosi više tisuća kilometara i nije kompetentna s dimenzijama tijela. Ako je inducirana struja prevelika, postoji rizik od stimuliranja stanica električki podražljivog tkiva. Uz jače polje jači su i pripadni efekti. Ljudsko tijelo je sposobno kompenzirati slabe interakcije. Polja jačih intenziteta uzrokuju promjene koje u nekim okolnostima mogu dovesti do opasnosti po zdravlje. Iako do danas nije utvrđeno da li elektromagnetska polja niskih frekvencija mogu uzrokovati kancerogene bolesti, određena saznanja postoje. [7] [8]

Tablica 2: Vrijednost inducirane struje kratkog spoja te pripadne gustoće struje u cilindričnom modelu ljudskog tijela za slučaj dobro uzemljenog čovjeka.

Gustoća struje ( mA/m <sup>2</sup> )	Učinci
1000 i više	Blage i ozbiljne disfunkcije srca, struje mogu stvoriti opasnost za zdravlje.
100 do 1000	Moguće promjene u središnjem živčanom sustavu, iritacija mišićnog tkiva.
10 do 100	Jasno vidljivi efekti u promjenama strukture u bjelančevinama i sintezi DNK, promjene u aktivnostima enzima, kao i moguće promjene na živčanom sustavu.
1 do 10	Moguće promjene u metabolizmu kalcija ili potiskivanju proizvodnje melatonina.
Ispod 1	Nema poznatih efekata. Pozadinske gustoće struja u većini tjelesnih organa ovog su reda veličine.

### 3.5. Bioefekti zračenja na radio frekvencijama

Međudjelovanje elektromagnetskih polja na radiofrekvencijama s ljudskim tijelom i pripadni biološki efekti mogu se razmatrati na raznim nivoima uključujući molekularni, podstanični, organski ili sistemski nivo, ili pak čitavo tijelo. Efekt elektromagnetskih polja visokih frekvencija je zagrijavanje tkiva koje se , može kvantificirati na temelju analize odgovarajućega toplinskog odaziva ljudskog tijela. Živi sustavi mijenjaju svoje funkcije promjene temperature, do pojave štetnih efekata dolazi ako je ukupna elektromagnetska energija apsorbirana u ljudskom tijelu dovoljno velika da može izazvati nekontrolirani porast temperature u tijelu obarajući pritom unutarnje termoregulacijske mehanizme tijela. [7]

Biološki učinci elektromagnetskog zračenja na visokim frekvencijama mogu se klasificirati kao :

Učinci visokog intenziteta (toplinski učinci) nastaju prilikom apsorbiranja elektromagnetske energije u mjeri dovoljnoj za porast temperature u uzorku tkiva za oko 0,1 °C.

Učinci srednjeg intenziteta (A-toplinski učinci) jesu oni kod kojih se apsorbira elektromagnetska energija dovoljna za detektabilno povećanje temperature u uzorku tkiva, ali izostaje značajniji porast temperature u tkivu zbog regulacijskih mehanizama kontrole temperature u tijelu.

Efekti niskog intenziteta (netoplinski učinci) jesu oni kod kojih apsorbirana količina energije u uzorku tkiva nije usporediva s energijom koja se oslobodi normalnim tjelesnim funkcijama. [8]

Bitno je naglasiti da se radi o relativnim pojmovima i da nije moguće oštro definirati granicu između njih. Na temelju proračuna SAR-a za određene dijelove tijela, nivoi apsorpcije elektromagnetske energije mogu se kvalitativno podijeliti na niski nivo apsorpcije (+), srednji nivo apsorpcije (++) i visoki nivo apsorpcije (+++). [8]

Većina štetnih učinaka za ljudsko zdravlje zbog izloženosti visokofrekvencijskom zračenju u području između 1 MHz do 10 GHz povezuje se s porastom temperature oko 1 °C. Ovakva povišenja temperature imaju očite štetne učinke na zdravlje ljudi. Toplinski štetni učinci nastupaju pri lokaliziranim temperaturama iznad 41,6 °C pri čemu dolazi do koagulacije proteina, povećane propusnosti membrane stanice ili do oslobađanja toksina u neposrednoj blizini tzv. vrućih točaka. [7]

Tablica 3: Prikazani su rezultati mjerenja razine apsorpcije elektromagnetske energije. Stupanj do kojeg određeni dio tijela apsorbira toplinu uslijed zračenja elektromagnetskog polja visokih frekvencija ovisi o cirkulaciji i sposobnosti vođenja topline određenog dijela tijela. Kao što je prikazano u tablici, leće oka i čašica koljena najosjetljiviji su dijelovi tijela na prijenos topline, a srce, pluća i koža su relativno neosjetljivi na prijenos topline uslijed cirkulacije krvi. Treba naglasiti da kod moduliranih polja, kao što je GSM-zračenje, uz toplinske efekte može nastupiti i iritacija na staničnoj razini.

Dio tijela	Razina apsorpcije
Mozak	++
Očne leće	+++
Pluća	+
Srce	+
Koža	+
Unutarnji organi	+
Čašica koljena	+++
Metalni implantati	+++

Za razliku od učinaka visokog intenziteta postoji dosta kontroverzi povezanih s biološkim efektima što se tiče RF zračenja srednjeg i niskog intenziteta. Prva je dilema može li RF zračenje na tim nivoima uzrokovati štetan utjecaj čak i kada nema evidentnih toplinskih efekata. Drugo je pitanje mogu li efekti zbog RF zračenja nastupiti i kada tjelesna termoregulacija uspostavlja normalnu temperaturu usprkos deponiranju RF energije.

Nejednolika raspodjela apsorbirane RF snage nastupa prilikom izloženosti zračenju samo određenih dijelova tijela što rezultira nejednolikim zagrijavanjem, odnosno vrućim točkama. [7]

### 3.6. Zaključna razmatranja

Prisutnost elektromagnetskih polja u okolišu i njihova potencijalna štetnost po ljude predstavlja proturječno znanstveno, tehničko i socijalno pitanje. Do sada nepoznatim rizicima koji možda postoje uslijed izloženosti, elektromagnetska polja su tehnološki produkt koji se rabi u svakodnevnom životu. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija uzrokuju biološke učinke koji ponekad mogu dovesti do negativnih učinaka na zdravlje. Trebaju se razlikovati dva pojma:

- **Biološki učinak**- javlja se kad izlaganje elektromagnetskim poljima uzrokuje fiziološke promjene u biološkom sustavu koje se mogu otkriti mjerenjem ili opažanjem.
- **Negativni učinak**- kad je biološki učinak izlaganja polju izvan normalnog raspona koje organizam može kompenzirati. Pokazalo se da izlaganje poljima izaziva biološke učinke kao što su zagrijavanje, mijenjanje kemijskih reakcija ili induciranje električnih struja u tkivima i stanicama. [7]  
[8]

## 4. Mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja

Sigurnosnim smjernicama za zaštitu ljudi od elektromagnetskog zračenja propisuju se dopuštene granice izloženosti veličinama elektromagnetskog polja.

Sigurnosne smjernice za izloženost elektromagnetskim poljima zasnivaju se na dokazanim učincima, temeljenim na teorijskim i eksperimentalnim istraživanjima te epidemiološkim studijama, a dijele se na :

- stimulacija električno podražljivih stanica
- zagrijavanje tkiva

Nivo ispod kojeg se izloženost ljudi elektromagnetskim poljima ne smatra štetnom zovemo zaštitna granica, ali ona nije jasna i oštra granica između sigurnosti i rizika za zdravlje. U tom smislu, to je ograničenje više točka iznad koje rizik za zdravlje raste.[7] [8]



## 4.1. Elektromagnetska dozimetrija

Dozimetriju možemo podijeliti na teorijsku i eksperimentalnu, a s obzirom na frekvencijsko područje na niskofrekvencijsku i visokofrekvencijsku. Ovisno o tome određuju li se vanjska polja generirana nekim izvorom zračenja ili polja inducirana unutar ljudskog tijela, dozimetriju dijelimo na dozimetriju vanjskog, odnosno unutarnjeg polja. [8]

Najzastupljenija metoda u ovim istraživanjima zasigurno je metoda konačnih diferencija u vremenskom području, nešto manje se rabi metoda konačnih elemenata, a svoju promociju u bioelektromagnetizmu praktički tek doživljava metoda rubnih elemenata. [8]

Inducirane struje i polja u ljudskom tijelu uzrokuju toplinske i netoplinske učinke. Kad je čovjek izložen poljima niskih frekvencija, toplinski su efekti zanemarivi, a mogući netoplinski efekti odnose se na stanični nivo. Poznavanje gustoće struje inducirane u tijelu temelj je za razumijevanje interakcije ljudskog tijela s poljima niskih frekvencija. [8]

Gustoću mjerimo na području daljinskog polja ( E i H su u svakoj točki faze) gdje vrijedi veza jakosti električnog i magnetskog polja (  $E=Z_0H$  ). Kod mobilnih telefona potrebno je mjeriti obje veličine jer se u području bliskog polja min. i max. E i H polja jer se ne javljaju na istim mjestima već su pomaknuti fazno. [7]

U niskofrekventnim područjima veličina za mjerenje i proračune je gustoća struje J koje je vezana s pragom stanica u ljudskom tijelu. Konceptcija evaluacije bioloških učinaka elektromagnetskog polja u mikrovalnom frekvencijskom području je određivanje stupnja specifične apsorpcije snage po kilokramu tkiva :

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2 = c \frac{\partial T}{\partial t} \left( \frac{W}{kg} \right)$$

gdje je  $\sigma$  specifična vodljivost,  $\rho$  gustoća tkiva, E vršna vrijednost jakosti električnog polja, c specifični toplinski kapacitet, T temperatura i t vrijeme. [7]

Temeljna dozimetrijska veličina na visokim frekvencijama jest specifična gustoća apsorbirane snage ili stupanj specifične apsorpcije koji predstavlja po masi usrednjenu snagu disipiranu u biološkom tkivu :

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{d}{dm} \frac{dW}{dt} = C \frac{dT}{dt}$$

gdje je C specifični toplinski kapacitet tkiva, T je temperatura, a t je vrijeme. Definicija SAR-a koja proizlazi iz toplinskog učinka, odnosno posljedice zbog zračenja. S druge strane, ako se promatra uzrok porasta temperature u obliku unutarnjeg električnog polja, SAR je u tkivu proporcionalan kvadratu unutarnjeg električnog polja :

$$SAR = \frac{dP}{dm} = \frac{dP}{\rho dV} = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2$$

gdje je E efektivna vrijednost električnog polja,  $\rho$  je gustoća tkiva, a  $\sigma$  je vodljivost tkiva. SAR je direktno proporcionalan unutarnjem polju pa se onda glavna zadaća dozimetrije na visokim frekvencijama svodi na određivanje raspodjele električnog polja unutar tijela. [8]

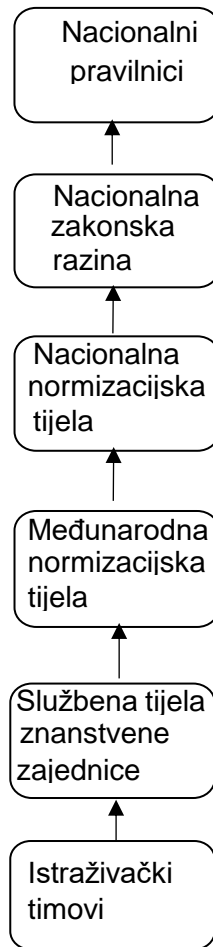
## **4.2. Zaštitne norme neionizacijskog zračenja**

Posljedice modernih zagađenja nisu do kraja istražene, a svakim danom se nailazi na novije rezultate pogubne po zdravlje i živote ljudi. Stoga je potrebno poznavati i mjeriti, analizirati, štititi se, kontrolirati i upravljati tim vrstama zagađenja i svesti ih u okvire u kojima je šteta koju čine u području prihvatljivog rizika. Ako uopće i možemo s današnjim saznanjima odrediti prihvatljive rizike za pojedine vrste zagađenja.

Izrađuju se norme čijim se korištenjem mogu poduzeti mjere kojima se ublažuje štetno djelovanje tih modernih oblika zagađenja. Jedno od područja takvog brzo širećeg zagađivanja je i područje visokofrekvencijskog (u daljnjem tekstu VF) elektromagnetskog (u daljnjem tekstu EM) zračenja.

Sustav normi i zakonskih propisa tek se razvija i nije dovoljno poznat ni stručnjacima niti široj javnosti. Stoga je izuzetno važno poznavanje normi i njihov daljnji razvoj kako bi se poboljšao sustav kontrole i zaštite od štetnih posljedica.

[9]



Slika 4: Postupak nastajanja normi prikazan je na slici. Problem se počinje rješavati na istraživačkoj razini koja se temelji na proračunima i mjerenjima, te je mora prihvatiti strana službenih tijela međunarodne znanstvene zajednice. Na temelju prihvaćenih rezultata i prihvaćenih zaključaka međunarodne zajednice, stručna tijela međunarodno priznatih normizacijskih organizacija pripremaju, objavljuju nove ili revidiraju postojeće norme za zaštitu od elektromagnetnog polja.

Osnovne veličine koje se koriste u mjerenju i procjeni utjecaja VF zračenja na živote i zdravlje ljudi i okoliš su:

- Jakost električnog polja (E): vektorska veličina koja pokazuje razinu električnog polja. Određena je silom na mirujući električni naboj, a izražava se u voltima po metru (V/m).
- Gustoća toka snage (S): omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala, a izražava se u vatima po metru kvadratnom ( $W/m^2$ ).
- Specifična apsorbirana snaga (SAR): mjera brzine apsorbiranja energije po jedinici mase biološkog tkiva, a izražava se u vatima po kilogramu (W/kg).

Osnovna norma iz područja mjernih jedinica i veličina je HRN EN 80000-6:2008, Quantities and units - Part 6: Electromagnetism (IEC 80000-6:2008; EN 80000-6:2008).

Najvažnija norma iz područja društvene odgovornosti je HRN ISO 26000:2010, Upute o društvenoj odgovornosti (ISO 26000:2010). U poglavljima 6.4.6 Labor practice issue 4: Health and safety at work i 6.5.3 Environmental issue 1: Prevention of pollution opisani su mogući osnovni problemi koje izaziva elektrosmog.

Zanimljivi noviji normativni dokumenti iz područja mjerenja i posljedica djelovanja VF EM zračenja su [EN 50413:2008](#), Basic standard on measurement and calculation procedures for human exposure to electric, magnetic and electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz) i CLC/TR 50442:2005.

U Hrvatskoj su već duže vrijeme u uporabi norme: [HRN EN 50357:2002](#), Procjena izloženosti ljudi elektromagnetskim poljima uređaja koji se upotrebljavaju u elektroničkome nadzoru proizvoda (EAS), radiofrekvencijskome prepoznavanju (RFID) i sličnim primjenama (EN 50357:2001), [HRN EN 50360:2002](#), Norma za proizvode za pokazivanje sukladnosti pokretnih telefona s temeljnim ograničenjima koja se odnose na izloženost ljudi elektromagnetskim poljima (300MHz-3GHz) (EN 50360:2001) i [HRN EN 50361:2002](#),

Osnovna norma za mjerenje gustoće apsorbirane snage koja se odnosi na izloženost ljudi elektromagnetskim poljima pokretnih telefona (300 MHz-3 GHz) (EN 50361:2001).

Među najnovijim europskim dokumentima su EN 50364:2010, Limitation of human exposure to electromagnetic fields from devices operating in the frequency range 0 Hz to 300 GHz, used in Electronic Article Surveillance (EAS), Radio Frequency Identification (RFID) and similar applications i EN 50519:2010, Assessment of workers' exposure to electric and magnetic fields of industrial induction heating equipment. [9]

### 4.3. Međunarodne zaštitne norme

Preporukama i zaštitnim normama propisuju se razine graničnog elektromagnetskog zračenja koji se dijeli na dvije stavke :

- **temeljna ograničenja** : veličine međudjelovanja elektromagnetske energije s biološkim tkivom, izražene kao SAR ( specifična brzina apsorpcije;  $W/kg$  ) i gustoća struje  $J$  (  $A/m^2$  ) inducirane u biološkom tkivu.
- **referentne granične razine** : veličine koje opisuju incidentno elektromagnetsko polje - jakost električnog polja  $E$  (  $V/m$  ), jakost magnetskog polja  $H$  (  $A/m^2$  ) i gustoća snage elektromagnetskog vala  $S$  (  $W/m^2$  ).

Jedan od temeljnih problema kod sigurnosnih smjernica jest pitanje njihove unifikacije i harmonizacije na međunarodnom nivou, s obzirom na to da smjernice variraju jer su rezultat rada različitih tijela, zdravstvenih agencija i međunarodnih organizacija. Tako primjerice SAD, Kanada, Australija te neke europske i azijske zemlje imaju svoje sigurnosne smjernice. Velika količina problematike je uzrokovana neujednačenošću načina na koji se određene mjere, odnosno granice izloženosti donose vezano za frekvenciju, vrijeme izloženosti, periodičnost izlaganju i druge faktore. Najšire prihvaćene međunarodne sigurnosne smjernice objavilo je međunarodno udruženje International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) 1998. godine. Udruženje Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) 1999. godine svojim pravilnikom određuje granice takozvane maksimalne dopuštene izloženosti (engl. maximal permissible exposure - MPE) za iznose vremenski promjenljivih električnih i magnetskih polja u slobodnom prostoru te za odgovarajuće gustoće snage. Granice propisane pravilnikom IEEE prihvaćene su u SAD-u i u još nekoliko zemalja, dok je većina zemalja zapadne Europe prihvatila norme propisane normama ICNIRP-a. [7] [8] [9]

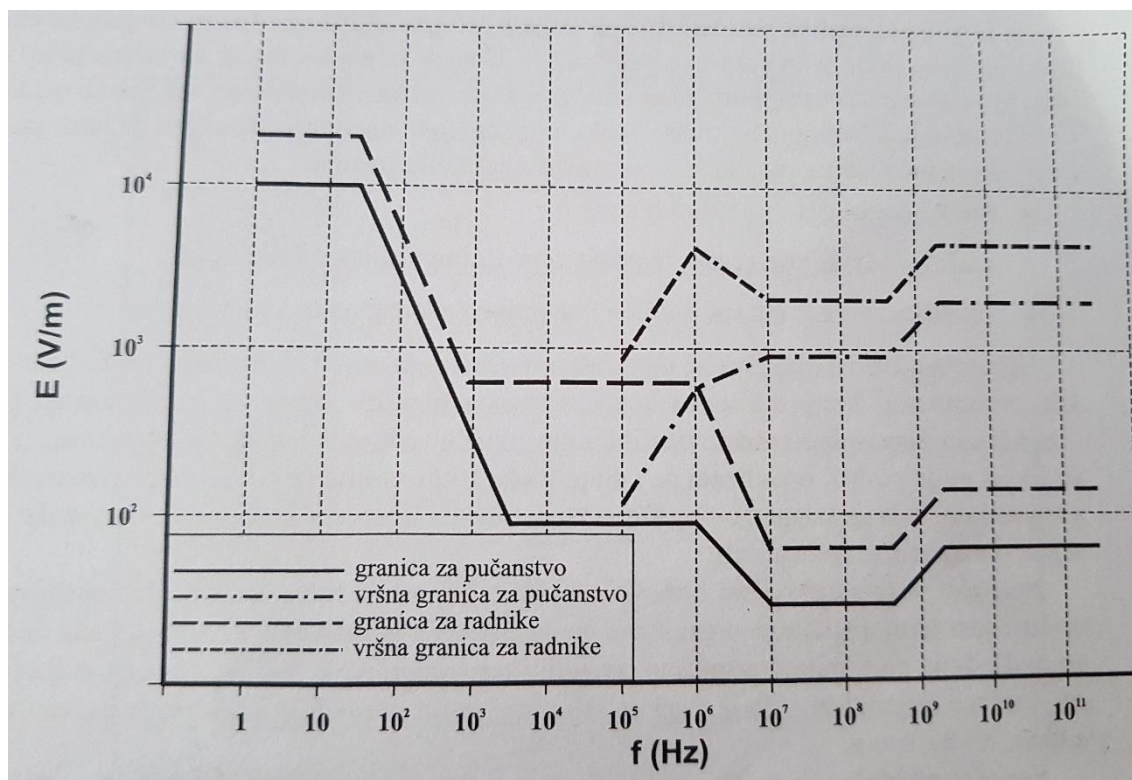
Oba pravilnika propisuju granične vrijednosti iznad kojih se ljudi ne smiju izložiti elektromagnetskim zračenjima.

Prosječno vrijeme izloženosti zasniva se na pretpostavci da je ljudsko tijelo sposobno kompenzirati efekte električnog polja ako je djelovanje polja vremenski ograničeno te na taj način izbjeći trajne posljedice. Za izvore signala impulsnog oblika, osim vremenske srednje vrijednosti, potrebno je provjeriti i vršne vrijednosti impulsa. Kod istodobne izloženosti zračenju polja različitih frekvencija potrebno je napraviti sumiranje efekata na različitim frekvencijama. Treba naglasiti da su električni podražaji za frekvencije do 10 MHz, a toplinski efekti su za frekvencije iznad 100 kHz, te se SAR i gustoća snage zbrajaju prema relacijama koje propisuje ICNIRP. Nadalje, za frekvencije između 10 GHz i 300 GHz postoji i osnovno ograničenje gustoće snage. Što se tiče toplinskih učinaka, primjena IEEE zaštitnih normi kojima je SAR usrednjen po 1 g tkiva ograničen na  $1,6 \text{ W kg}^{-1}$ , rezultira maksimalnim temperaturnom porastom od  $0,06 \text{ °C}$  u mozgu, a primjena ICNIRP zaštitnih normi, kojima je SAR usrednjen po 10 g tkiva ograničen na  $2 \text{ W kg}^{-1}$ , rezultira maksimalnim porastom temperature u mozgu u iznosu od  $0,11 \text{ °C}$ . [7] [8]

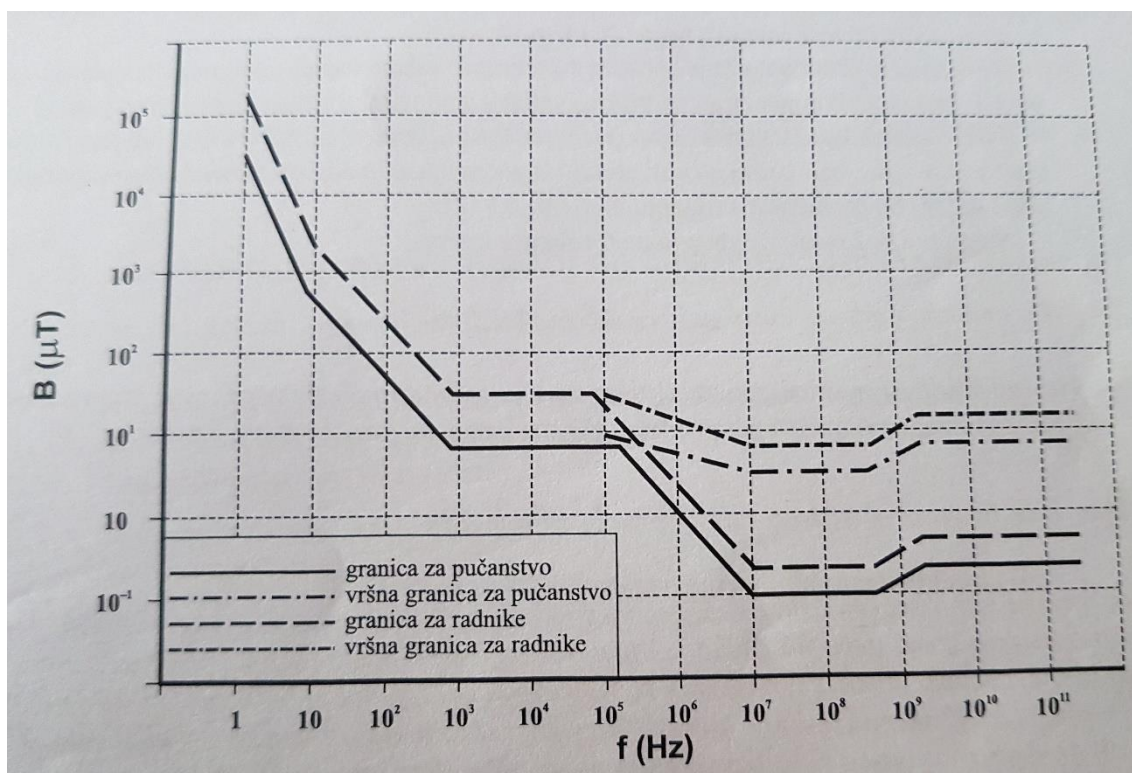


Tablica 4: Norme dijele populaciju, pa tako i granice izlaganja, na dvije skupine: radnike i pučanstvo. Kontrolirani uvjeti izlaganja odnosno profesionalna izloženost zračenju definira izlaganje elektromagnetskom zračenju koji se događa kao dio posla, a ljudi su svjesni rizika i podvrgnuti stalnim zdravstvenim pregledima. Potrebno je da granice budu još niže za pučanstvo. Ograničenje za pučanstvo smanjuju se za sigurnosni faktor 5.

Frekvencija	$J$ [mA/m <sup>2</sup> ]		SAR cijelog tijela (usrednjen) [W/kg]		Lokalizirani SAR (glava i trup) [W/kg]		Lokalizirani SAR (ruke i noge) [W/kg]	
	Radnici	Pučanstvo	Radnici	Pučanstvo	Radnici	Pučanstvo	Radnici	Pučanstvo
< 1 Hz	40	8	–	–	–	–	–	–
1 – 4 Hz	40/f	8/f	–	–	–	–	–	–
4 Hz – 1 kHz	10	2	–	–	–	–	–	–
1 – 100 kHz	f/100	f/500	–	–	–	–	–	–
100 kHz – 10 MHz	f/100	f/500	0,4	0,08	10	2	20	4
10 MHz – 10 GHz	–	–	0,4	0,08	10	2	20	4



Slika 5: U grafičkom prikazu graničnih vrijednosti električnog polja u ovisnosti o frekvenciji vidljivo je da je krivulja dopuštenosti na osjetljivost čovjeka elektromagnetsko polje koje je u ovisnosti o frekvenciji. Čovjek je najosjetljiviji na području od 10 do 400 MHz.



Slika 6: Grafički prikaz graničnih vrijednosti gustoće magnetskog polja u ovisnosti o frekvenciji

#### 4.4. Hrvatske norme za zaštitu od elektromagnetskih polja

Prema definiciji iz Zakona o zaštiti od neionizacijskog zračenja ( Narodne novine 105/99) :

- neionizirajuća zračenja jesu elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 300GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500MHz, a koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione

- izvor neionizirajućih zračenja su uređaji koji proizvode jednu ili više vrsta neionizirajućih zračenja.

Mjere zaštite od neionizirajućih zračenja impliciraju da svako izlaganje tim zračenjima bude niže od graničnih razina koje su utvrđene Zakonom o zaštiti od neionizacijskog zračenja ( Narodne novine 105/99). Zakon o zaštiti od neionizacijskog zračenja predviđa donošenje pravilnika.

U Republici Hrvatskoj postoje dva pravilnika za zaštitu od neionizacijskog zračenja:

- Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja - prema zakonu ga je na snagu donijelo Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske u Prosincu 2003. godine
- Pravilnik o ograničenjima jakosti elektromagnetskih polja za radijsku opremu i telekomunikacijsku terminalnu opremu - prema zakonu na snagu je stupilo u Prosincu 2004. te ga je donijelo Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka. [7] [8]

Tablica 5: Temeljna ograničenja za profesionalnu populaciju iskazane su granicama izlaganja u tablici

Frekvencija f	Gustoće struje u glavi i trupu  J (mA/m <sub>2</sub> )	Specifična apsorbirana snaga uprosječna po cijelom tijelu SAR (W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u glavi i trupu SAR(W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u ekstremitetima SAR (W/kg)	Gustoća snage  S (W/m <sub>2</sub> )
< 1 Hz	40	-	-	-	-
1-4 Hz	40/f	-	-	-	-
4 Hz- 1 kHz	10	-	-	-	-
1-100 kHz	f/100	-	-	-	-
100 kHz- 10 MHz	f/100	0,4	10	20	
10 MHz- 10 GHz	-	0,4	10	20	
10-300 GHz	-	-	-	-	50

Tablica 6: Temeljna ograničenja za opću populaciju iskazane su granicama izlaganja u tablici

Frekvencija f	Gustoće struje u glavi i trupu  J (mA/m <sub>2</sub> )	Specifična apsorbirana snaga uprosječena po cijelom tijelu SAR (W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u glavi i trupu SAR(W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u ekstremitetima SAR ( W/kg)	Gustoća snage  S ( W/m <sub>2</sub> )
< 1 Hz	8	-	-	-	-
1-4 Hz	8/f	-	-	-	-
4 Hz- 1 kHz	2	-	-	-	-
1-100 kHz	f/500	-	-	-	-
100 kHz- 10 MHz	f/500	0,8	2	4	
10 MHz- 10 GHz	-	0,8	2	4	

## 5. Zaključak

Prisutnost elektromagnetskih polja u okolišu i njihova potencijalna štetnost za ljudsko zdravlje sporno su znanstveno, tehničko, ali i socijalno pitanje. Bitna točka u analizi mogućih rizika za zdravlje ljudi je dozimetrija unutarnjeg polja koja obuhvaća elektromagnetsko i toplinsko modeliranje ljudskog tijela. Realni, anatomske zasnovani, modeli ljudskog tijela analiziraju se primjenom suvremenih numeričkih metoda. Ulazne podatke za ovakvu analizu osigurava dozimetrija upadnog polja koja se temelji na proračunima i mjerenjima izvora elektromagnetskih polja na niskim i visokim frekvencijama. Ako je biološki učinak zbog izloženosti izvan normalnog raspona koje organizam može kompenzirati, nastaje opasnost za zdravlje čovjeka. Izloženost poljima niskih frekvencija značajnih amplituda mogu uzrokovati induciranje značajne gustoće struje u tkivu, a dominantni efekti zbog izloženosti poljima visokih frekvencija značajnih amplituda su zagrijavanje tkiva, promjena kemijskih reakcija ili induciranje električnih struja u tkivima i u stanicama. Zračenje elektromagnetskih polja visokih frekvencija kvantificira se konceptom specifične gustoće apsorbirane snage (SAR). Zadnjih godina povećao se interes za utjecaj neionizirajućeg elektromagnetskog polja na zdravlje ljudi. Živimo u vremenu brzih tehnoloških promjena i razvoja. Mnogi uređaji koji proizvode elektromagnetska polja i rasipne elektromagnetske valove dolaze na tržište bez dovoljne prethodne provjere njihovog djelovanja na zdravlje čovjeka. Razlog tome je težnja proizvođača da što prije uvede proizvod u prodaju zbog utrke s konkurencijom i što većom dobiti. S druge strane, gotovo je nemoguće znanstveno dokazati ne postojanje negativnih učinaka nekog proizvoda. Neki učinci mogu biti kumulativni, što znači da se njihovo postojanje može otkriti tek nakon dužeg izlaganja.

## 6. Literatura

- [1] Brković N. Fizika 3: udžbenik za 3. razred gimnazija. Svjetlost. 2.izd. Zagreb:Luk d.o.o; 1998. Str. 99-106.
- [2] Mahajan A, Singh M. Human Health and Electromagnetic Radiations. IJEIT.2012;1(6):95-7.
- [3] Sabbatini RME (ed.) Non Ionizing Electromagnetic Radiation in the Radiofrequency Spectrum and its Effects on Human Health. ScientificReview.Latin American Experts Committee on High Frequency Electromagnetic Fieldsand Human Health; 2010. Dostupno na:  
<http://www.wirelesshealth.org.br/downloads/LatinAmericanScienceReviewReport.pdf>
- [4] Brković N. Fizika 3: udžbenik za 3. razred gimnazija. Elektromagnetni valovi.2.izd. Zagreb: Luk d.o.o.; 1998. Str. 83-98.
- [5] Beritić-Stahuljak D, Žuškin E, Valić F, Mustajbegović J. Fizikalni čimbenici radne okoline.U: Beritić-Stahuljak D, Žuškin E, Valić F, Mustajbegović J. ur.Medicina rada. 2. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 1999. Str. 23-40.
- [6] <http://www.gradimo.hr/clanak/sto-je-elektrosmog/541>
- [7] Poljak D. Izloženost ljudi neionizacijskom zračenju . Zagreb: Kigen ; 2006.
- [8] <https://hrcak.srce.hr/60288>
- [9] <https://www.bib.irb.hr/643774>



## 7. Popis slika

Slika 1. Elektromagnetski spektar .....	3
Slika 2. Podjela frekvencijskog područja po primjenama.....	8
Slika 3. Nastajanje zaštitnih normi.....	26
Slika 4. Orijentacija električnog i magnetskog polja kod kojih dolazi do maksimalne sprege .....	15
Slika 5. Grafički prikaz graničnih vrijednosti električnog polja u ovisnosti o frekvenciji .....	32
Slika 6. Grafički prikaz graničnih vrijednosti gustoće magnetskog polja u ovisnosti o frekvenciji .....	33

## 8. Popis tablica

Tablica 1. Frekvencijski spektar elektromagnetskih polja .....	7
Tablica 2. Efekti inducirane gustoće struje u tijelu .....	17
Tablica 3. Izloženost homogenom električnom polju visokih frekvencija .....	19
Tablica 4. Temeljna ograničenja za profesionalnu i opću populaciju .....	31
Tablica 5. Temeljna ograničenja za profesionalnu populaciju .....	35
Tablica 6. Temeljna ograničenja za opću populaciju .....	36