

# UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ONEČIŠĆENJA NA OKOLIŠ I ŽIVE ORGANIZME - LJUDE

---

**Jajetić, Lucija**

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

**2022**

*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:128:547945>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-22**



**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 REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Lucija Jajetić

**UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG  
ONEČIŠĆENJA NA OKOLIŠ I ŽIVE  
ORGANIZME-LJUDE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2022.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional graduate study of Safety and Protection

Lucija Jajetić

**IMPACT OF ELECTROMAGNETIC  
POLLUTION ON THE ENVIRONMENT AND  
LIVING ORGANISMS - HUMANS**

FINAL PAPER

Karlovac, 2022.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Lucija Jajetić

**UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG  
ONEČIŠĆENJA NA OKOLIŠ I ŽIVE  
ORGANIZME-LJUDE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Anamarija Kirin

Karlovac, 2022.



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

## **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 / specijalistički studij: Specijalistički studij  
(označiti)

Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2022.

## **ZADATAK ZAVRŠNOG RADA**

Student: Lucija Jajetić

Matični broj: 0422420025

Naslov: Utjecaj elektromagnetskog onečišćenja na okoliš i žive organizme - ljude

Opis zadatka:

U završnom radu definirati elektromagnetsko (EM) zračenje i EM onečišćenje. Opisati utjecaj elektromagnetskog onečišćenja na okoliš te posebno na ljude i druge žive organizme. Opisati preventivne mjere za zaštitu od EM polja.

Koristiti se stručnom literaturom, radnim materijalima, Zakonima i Pravilnicima, ostalom stručnom literaturom i konzultirati se s mentorom. Završni rad izraditi sukladno Pravilniku VUKA.

Zadatak zadan:

02/22.

Rok predaje rada:

05/22.

Predviđeni datum obrane:

09/22.

Mentor:

dr. sc. Anamarija Kirin

Predsjednik Ispitnog povjerenstva

## PREDGOVOR

Nažalost, moji fakultetski dani su završili. Dani truda, upoznavanja same sebe, stjecanja novih prijateljstava, uzbuđenja u iščekivanju rezultata ispita.. Koliko mi je to tužno, toliko sam sretna i ponosna na sve nas. Sa suzom u očima, ali osmijehom na licu pozdravljam svoje predivne dane u Karlovcu. Želim se zahvaliti svojoj mentorici jer mi je pristala biti mentor, pomagala mi tijekom cijelog fakulteta, te sa završnim radom. Ciljano sam odabrala baš nju jer će mi zauvijek ostati u sjećanju iz razloga što sam u njenim očima od prve godine fakulteta vidjela čvrstu želju da prenese znanje na nas, te toliko veliko, dobro i pošteno srce. Rijetko koja osoba ima tako dobro srce, stoga me to kod nje očaralo.

Naravno, najveće zahvale idu mojim roditeljima, mojoj vječnoj navigaciji, zbog koje nikada nisam skrenula sa ispravnog puta. Bili su moja pomoć i njihova vjera u mene je bila moja najveća motivacija. Nikada im se neću moći odužiti za sve što su mi u životu omogućili i dali, ali zapravo, na neki način svaki moj uspjeh je i njihov uspjeh, tako da se svakim postignućem iznova zahvaljujem.

Velike zahvale idu mom dragom dečku koji mi je bio podrška tijekom cijelog studija i bodrio me u najtežim trenucima.

Svim mojim prijateljima i prijateljicama želim zahvaliti na svakoj pomoći i na svakoj ispijenoj kavi, ispričanoj priči i provedenom zajedničkom vremenu.

Posebne zahvale idu mojim cimericama Antoneli i Angelini, mojim anđelima čuvarima. Bile ste moja desna ruka, moj vjetar u leđa i svakim zajednički provedenim danom ste ulazile u moje srce, sve dok više nije bilo izlaza iz njega.

Hvala vam što ste me voljele i prihvatile onakvu kakva jesam i hvala vam što znam da će naše prijateljstvo zauvijek potrajati.

Šećer na kraju je osoba koja mi je predložila ovaj fakultet, da nije bilo njega tko zna kojim bih putem krenula. Matija, hvala ti od srca!

## SAŽETAK

Za elektromagnetsko zračenje može se reći da ono predstavlja valove svih valnih duljina, dakle gama zračenje, ultraljubičasto zračenje, rendgensko i infracrveno zračenje. Upravo ti valovi označavaju širenje elektromagnetskog polja. Oni se kreću odnosno šire brzinom svjetlosti. Za elektromagnetsko onečišćenje može se reći da je svaki utjecaj odnosno svaka količina zračenja koja je veća od prirodne količine. Možemo ga pronaći svuda oko nas. Velik dio elektromagnetskog zračenja dolazi od čovjeka, dok manji dio dolazi od samog zračenja Sunca i Zemlje. Ono u dodiru odnosno kontaktu s tkivom uzrokuje biološke učinke koji mogu imati zdravstvene posljedice, što će detaljnije biti pojašnjeno u nastavku.

**Ključne riječi:** elektromagnetsko zračenje, elektromagnetsko onečišćenje, utjecaj na ljude

## SUMMARY

Electromagnetic radiation can be said to represent all waves of all wavelengths, ie gamma radiation, ultraviolet radiation, X-ray and infrared radiation. It is these waves that indicate the propagation of the Electromagnetic field. They move or spread at the speed of light. While for Electromagnetic pollution it can be said that every impact or every amount of radiation is greater than the natura amount. We can find him all around us. Much of the electromagnetic radiation comes from man, While a smaller part comes from the radiation of the Sun and the Earth itself. In contact with tissue, It causes biological effects that can have health consequences, which will be explained in more detail below.

**Key words:** electromagnetic radiation, electromagnetic pollution, human impact

## SADRŽAJ

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA .....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK.....	III
1. UVOD .....	1
2. ELEKTROMAGNETSKO ONEČIŠĆENJE.....	2
2.1. Povijesni pregled .....	2
2.2. Pojam elektromagnetskog zračenja i onečišćenja .....	3
2.3. Oblici elektromagnetskog zračenja .....	5
2.3.1. Neionizirajuće zračenje .....	5
2.3.2. Infracrveno zračenje .....	8
2.3.3. Vidljiva svjetlost .....	8
2.3.4. Ultraljubičasto zračenje.....	9
2.4. Ionizirajuće zračenje .....	10
2.4.1. Oblici ionizirajućeg zračenja.....	10
3. UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ONEČIŠĆENJA NA OKOLIŠ-ŽIVE ORGANIZME-LJUDE .....	13
3.1. Epidemiološka istraživanja: Povijesni pregled .....	13
3.2. Utjecaj na okoliš, žive organizme i ljude .....	16
3.3. Utjecaj na atmosferu.....	18
3.4. Toplinsko i elektromagnetno zračenje kao oblik topline .....	19
3.5. Biološki učinci.....	20
4. ZAŠTITA OD ELEKTROMAGNETSKIH POLJA.....	23
5. ZAKLJUČAK .....	25
6. LITERATURA.....	27
7. PRILOZI.....	28
7.1. Popis slika .....	28
7.2. Popis tablica .....	28



## 1. UVOD

U ovom radu obrađuje se tematika elektromagnetskog onečišćenja na okoliš, žive organizme, ljude te zaštitu od elektromagnetskog onečišćenja. U današnje vrijeme sve je veći napredak tehnologije koja se sve više koristi u svakodnevnom životu, pa je tako i sve veća prisutnost elektromagnetskog zračenja te onečišćenja.

Elektromagnetsko (EM) zračenje može biti ionizirajuće i neionizirajuće. Ionizirajućim zračenjem se smatra ono zračenje koje ima dovoljnu energiju da utječe na sastav atoma ili molekule dok neionizirajuće zračenje nema dovoljnu energiju za promjenu sastava istih. Neionizirajuće zračenje je svo ono zračenje energije manje od 10 eV, a ionizirajuće je sve veće od 10 eV. Današnji uređaji i dalekovodi stvaraju EM zračenje u frekvencijama do 300 GHz i imaju energiju manju od 1.24 meV te spadaju pod neionizirajuće zračenje [1].

Iako neionizirajuće zračenje ne bi trebalo predstavljati prijetnju čovjekovom zdravlju, velikim napretkom tehnologije u kratkom vremenu ljudsko tijelo se nije stiglo prilagoditi dosegnutim intenzitetima EM polja. Također, pokazalo se da kod više od polovice radnika u elektroindustriji i proizvodnji električne energije, izloženost EM zračenju rezultira povećanim brojem oboljenja od zloćudnih novotvorina.

## 2. ELEKTROMAGNETSKO ONEČIŠĆENJE

### 2.1. Povijesni pregled

Početak 19. stoljeća otkriveno je elektromagnetsko zračenje čije su valne duljine različite od valnih duljina vidljive svjetlosti. Otkriće infracrvenog zračenja pripisuje se astronomu Williamu Herschel, koji je svoje rezultate objavio 1800. godine pred Kraljevskim društvom u Londonu. Herschel je koristio staklenu prizmu koja lomi zrake sunčeve svjetlosti i otkrio nevidljive zrake koje uzrokuju zagrijavanje izvan crvenog dijela spektra, kroz povećanje temperature zabilježeno termometrom. Te su "kalorične zrake" kasnije nazvane infracrvenim [1].

Godine 1801. u pokusu sličnom Herschelovom, Johann Wilhelm Ritter njemački fizičar koristeći sunčevu svjetlost i staklenu prizmu otkrio je ultraljubičasto zračenje. Primijetio je da nevidljive zrake koje su u blizini ljubičastog ruba sunčevog spektra, raspršene trokutastom prizmom, brže zamračuju pripravke srebrnog klorida nego obližnja ljubičasta svjetlost. Ritterovi eksperimenti su bili rana preteča onoga što će postati fotografija. Ritter je također primijetio da su ultraljubičaste zrake (koje su isprva nazvane "kemijske zrake") bile sposobne izazvati kemijske reakcije [2].

Od 1862. do 1864. razvijene su jednadžbe za elektromagnetsko polje koje su sugerirale da će valovi u polju putovati brzinom koja je jako blizu poznatoj brzini svjetlosti. James Clerk Maxwell je razvio te jednadžbe. Stoga je zaključio da se vidljiva svjetlost (kao i nevidljive ultraljubičaste i infracrvene zrake) sastoji od smetnji koje se u elektromagnetskom polju šire (ili zračenja).

Radio valove, koristeći električne krugove je proizveo Heinrich Hertz 1887., koji su mogli proizvoditi oscilacije na znatno nižoj frekvenciji od frekvencije vidljive svjetlosti, slijedeći recepte za proizvodnju oscilirajućih naboja i struja koje predlažu Maxwellove jednadžbe. Hertz je razvio načine za detekciju ovih valova, uz to je proizveo i opisao ono što je kasnije nazvano radio valovima i mikrovalovima [1].

Wilhelm Röntgen je otkrio i imenovao X-zrake. Poslije eksperimentiranja s visokim naponima primijenjenim na vakuumske cijevi, dana 8. studenog 1895., primijetio je fluorescenciju na obližnjoj ploči obloženog stakla. U samo mjesec dana otkrio glavna svojstva X-zraka.

Posljednji dio EM spektra koji je otkriven povezan je s radioaktivnošću. Henri Becquerel je otkrio uzrok zamaglivanja neeksponirane fotografske ploče, a to su soli urana, kroz pokrovni papir na način sličan rendgenskim zrakama. Marie Curie je otkrila da određeni elementi daju zrake te energije, ubrzo otkrivši intenzivno zračenje radija. Ernest Rutherford je eksperimentiranjem 1899. godine diferencirao zračenje uraninita u alfa zrake (alfa čestice) i beta zrake (beta čestice), pokazalo se da su te nabijene čestice vrste zračenja [1].

Međutim, francuski znanstvenik Paul Villard 1900. godine otkrio je novu neutralno nabijenu i posebno prodornu vrstu radioaktivnog zračenja, a nakon opisa, Rutherford je zaključio da se radi o trećoj vrsti zračenja, koju je 1903. nazvao gama zrakama. Godine 1910. britanski fizičar William Henry Bragg pokazao je da su gama zrake elektromagnetno zračenje, a ne čestice, a 1914. Rutherford i Edward Andrade izmjerili su njihove valne duljine, otkrivši da su slične rendgenskim zrakama, ali s kraćim valnim duljinama i višom frekvencijom.

Radioaktivno zračenje razlikuje se po podrijetlu. Gama zrake su obično prirodni fenomeni koji potječu od nestabilne jezgre atoma, a rendgenske zrake nastaju električnim putem (i stoga ih obično stvara čovjek), osim ako nisu rezultat kočnog X-zračenja uzrokovanog interakcijom brzih čestica (kao što su beta čestice) koje se sudaraju s određenim materijalima, obično većeg atomskog broja.

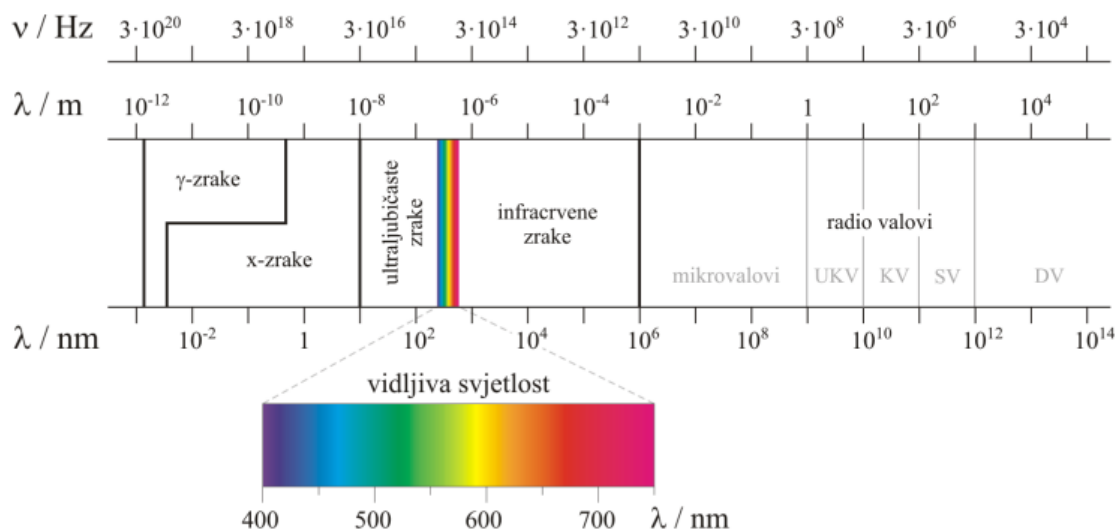
## **2.2. Pojam elektromagnetskog zračenja i onečišćenja**

U fizici, elektromagnetsko zračenje (EMR) sastoji se od valova EM polja, koji se šire kroz prostor, noseći energiju EM zračenja. Uključuje radio valove, mikrovalove, infracrveno, (vidljivo) svjetlo, ultraljubičasto, X-zrake i gama zrake. Svi ovi valovi čine dio elektromagnetskog spektra [1].

Klasično, elektromagnetsko zračenje se sastoji od elektromagnetskih valova, koji su sinkronizirane oscilacije električnog i magnetskog polja. Elektromagnetsko zračenje ili elektromagnetski valovi nastaju zbog periodične promjene električnog i magnetskog polja. Ovisno o načinu periodične promjene i proizvedenoj snazi, nastaju različite valne duljine elektromagnetskog spektra. U vakuumu, elektromagnetski valovi putuju brzinom svjetlosti, koja se obično označava  $c$ .

U homogenim, izotropnim medijima, oscilacije dvaju polja su okomite jedna na drugu i okomita na smjer širenja energije i vala, tvoreći transverzalni val. Položaj elektromagnetskog vala unutar

elektromagnetskog spektra određen je ili njegovom frekvencijom titranja ili valnom duljinom [1].

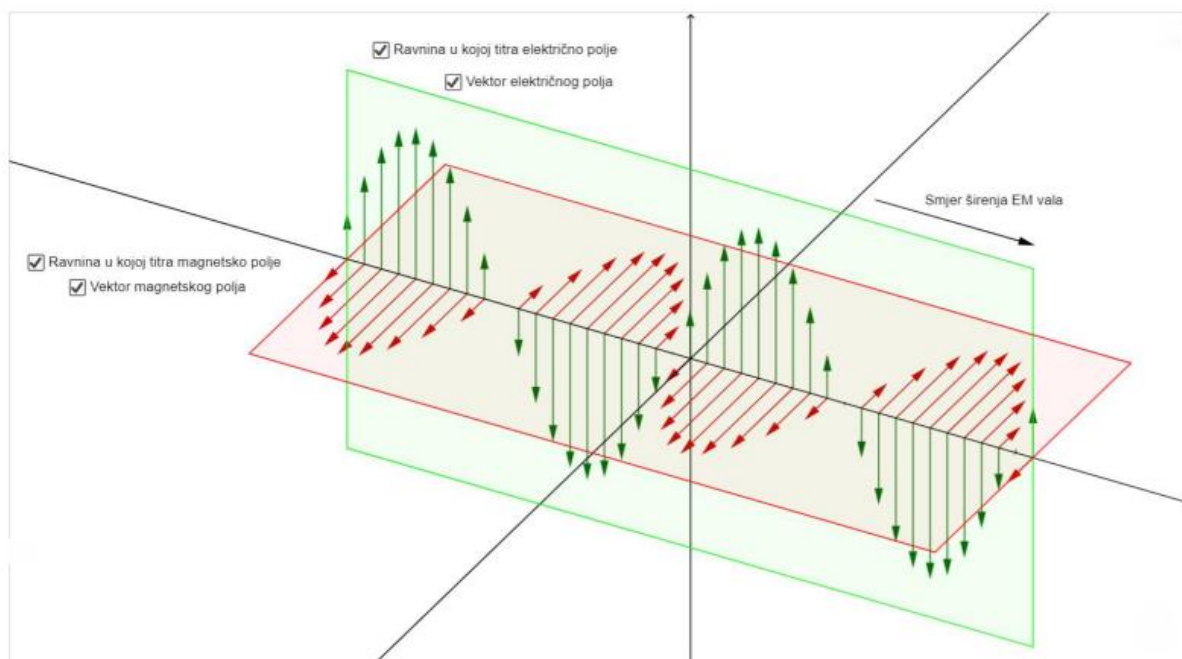


Slika 1. Prikaz elektromagnetskog spektra

Izvor:

<http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=spektar+elektromagnetskog+zra%C4%8Denja>

Elektromagnetski valovi različite frekvencije imaju različita imena. Redoslijedom povećanja frekvencije i smanjenja valne duljine to su: radio valovi, mikrovalovi, infracrveno zračenje, vidljivo svjetlo, ultraljubičasto zračenje, rendgensko zračenje i gama zračenje. Proizvoljni elektromagnetski valovi mogu se izraziti Fourierovom analizom u terminima sinusoidnih monokromatskih valova, od kojih se svaki može klasificirati u ova područja EMR spektra [1].



Slika 2. Širenje elektromagnetskog vala

Izvor: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17634>

## 2.3. Oblici elektromagnetskog zračenja

Ponašanje EM zračenja i njegova interakcija s materijom ovisi o njegovoj frekvenciji i kvalitativno se mijenja kako se frekvencija mijenja. Niže frekvencije imaju veće valne duljine, a više frekvencije kraće valne duljine i povezane su s fotonima veće energije.

Ne postoji temeljna granica koja je poznata za ove valne duljine ili energije, na bilo kojem kraju spektra, iako će fotoni s energijama blizu Planckove energije ili više od nje (previsoke da bi ih se ikada moglo primijetiti) zahtijevati nove fizikalne teorije za opisivanje.

### 2.3.1. Neionizirajuće zračenje

Prema definiciji Međunarodnog društva za zaštitu od zračenja, neionizirajućim zračenjem naziva se dio elektromagnetskog spektra koji u primarnoj interakciji s tkivom ne ionizira atome i molekule materije. Još su nedovoljno poznati zdravstveni rizici jer znanost nije imala dovoljno vremena za istraživanje. Ujedno EM zračenje se dugo vremena nije smatralo opasnim, jer smo uvjereni da neionizirajuće zračenje ne izaziva nikakve promjene na tijelu [1].

No tog neionizirajućeg zračenja je sve više i emitiraju ga izvori tehnički proizvedenih električnih, magnetskih i elektromagnetskih polja.

Tablica 1. Prikaz 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

Izvor: <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17634>

Izvori su gotovo svi električki i elektronički uređaji i postrojenja kao što su mobilni telefoni, zemaljske antene mobilnih operatera i telekomunikacijskih tvrtki, vojne antene, brodski i avionski radari, radari kontrolnih tornjeva, dijagnostički uređaji za magnetsku rezonanciju, radiouređaji, televizijski uređaji, mikrovalne pećnice, razni kućanski i uredski aparati itd [2].

Svi ti mikrovalovi u biosferi su stvorili visoku gustoću, te tu pojavu ekolozi nazivaju elektromagnetski smog. Elektrosmog obuhvaća sva područja neionizirajućih zračenja u elektromagnetskom spektru.

### **2.3.1.1. Statičko elektromagnetsko polje**

Zračenje Zemlje je zračenje samog planeta. Ovo zračenje nije opasno i ljudski organizam je navikao na njegovo djelovanje. Radi se o zračenju koje ima jako velike valne duljine, a samim time i malu energiju. Njegove valne duljine rastežu se čak i po nekoliko milijuna kilometara [2].

### **2.3.1.2. Polje ekstremno niskih frekvencija (ELF)**

Također ima velike valne duljine, no manje od statičkog EM polja zemlje. Zbog toga je nešto malo opasnije, pogotovo prilikom duge izloženosti istom. U ovaj frekvencijski raspon spadaju zračenja uzrokovana prolaskom struje u dalekovodima, napajanju električnih vlakova i kućnih instalacija. Pod ELF spadaju valne duljine do 100 km i frekvencije do 100 kHz. Kod čovjeka dolazi do sakupljanja naboja na površini te smetnji nervnih i mišićnih impulsa.

### **2.3.1.3. Radio valovi i mikrovalne frekvencije**

Kada radio valovi udare u vodič, spajaju se s vodičem, putuju duž njega i induciraju električnu struju na površini vodiča pomičući elektrone vodljivog materijala u koreliranim snopovima naboja. Takvi učinci mogu pokriti makroskopske udaljenosti u vodičima (kao što su radio antene) jer je valna duljina radiovalova duga. Dio elektromagnetskog spektra s valnim duljinama od čak jednog metra do samo jednog milimetra naziva se mikrovalni dio spektra; s frekvencijama između 300 MHz (0,3 GHz) i 300 GHz [2].

Na radijskim i mikrovalnim frekvencijama, EMR stupa u interakciju s materijom uglavnom kao skup naboja koji su raspoređeni po velikom broju zahvaćenih atoma. U električnim vodičima, takvo inducirano masovno kretanje naboja (električne struje) dovodi do apsorpcije EMR-a, ili pak odvajanja naboja što uzrokuje stvaranje novog EMR-a (efektivna refleksija EMR-a).

Primjer je apsorpcija ili emisija radio valova antenama, ili apsorpcija mikrovalova vodom ili drugim molekulama s električnim dipolnim momentom, kao na primjer unutar mikrovalne pećnice. Ove interakcije proizvode ili električne struje ili toplinu, ili oboje.

Radio frekvencija (RF) ima valne duljine od sto kilometara do jednog metra. Koriste se za mobilne i fiksne telekomunikacije, emitiranje radija i televizije, radarske i druge navigacijske sisteme, satelitsku komunikaciju, računalne mreže i brojne druge primjene. Prirodno nastali radio frekvencijski valovi su uzrok munja. Imaju frekvencije od 100 kHz do 1 GHz [2].

Mikrovalovi (MW) imaju valne duljine od 1 m do 1 mm i frekvencijski raspon od 1 GHz do 300 GHz. Koriste ih PCS telefoni, pojedini mobilni telefoni, mikrovalne pećnice, bežični telefoni, detektori kretanja, radar, Wi-Fi itd. Radio frekvencijski i mikrovalovi kod ozračenja biološkog tkiva najvećim se dijelom pretvaraju u toplinu. To se najviše koristi u medicinske i terapijske svrhe.

No tu postoji i zdravstveni rizik, jer se toplina nejednoliko raspoređuje po tijelu zbog različitih svojstava tkiva kroz koje prolazi. To može uzrokovati oštećenja dubinskog tkiva i organa koji nemaju adekvatne mehanizme za odvođenje topline [2].

### **2.3.2. Infracrveno zračenje**

Poput radija, mikrovalno zračenje i infracrveno (IR) zračenje također se reflektiraju od metala. Međutim, za razliku od radio i mikrovalnog zračenja niže frekvencije, infracrveni EMR obično stupa u interakciju s dipolima prisutnim u pojedinačnim molekulama, koji se mijenjaju kako atomi vibriraju na krajevima jedne kemijske veze.

Posljedično ga apsorbira širok raspon tvari, uzrokujući povećanje njihove temperature dok se vibracije raspršuju kao toplina. Isti proces, koji se izvodi u obrnutom smjeru, uzrokuje spontano zračenje velikih tvari u infracrvenom zračenju.

Infracrveno zračenje (IR) ima valne duljine od 1 mm do 1000 nm. Ispuštaju ga sva tijela zagrijana iznad apsolutne nule. Biološki učinak na tkivo je njegovo zagrijavanje i može izazvati toplinski stres. Također može izazvati opekotine i starenje kože te fotokemijske i toplinske povrede oka. Infracrveno zračenje je podijeljeno na spektralne podregije. Iako postoje različite vrste podjela, spektar se obično dijeli na bliski infracrveni (0,75–1,4  $\mu\text{m}$ ), infracrveni kratkovalni (1,4–3  $\mu\text{m}$ ), infracrveni srednje valne duljine (3–8  $\mu\text{m}$ ), dugovalna infracrvena (8–15  $\mu\text{m}$ ) i daleko infracrvena (15–1000  $\mu\text{m}$ ) [3].

### **2.3.3. Vidljiva svjetlost**

Prirodni izvori proizvode EM zračenje u cijelom spektru. EM zračenje valne duljine između približno 400 nm i 700 nm izravno detektira ljudsko oko i percipira kao vidljivo svjetlo. Druge valne duljine, osobito obližnje infracrvene (duže od 700 nm) i ultraljubičaste (kraće od 400 nm) također se ponekad nazivaju svjetlošću [3].

Kako frekvencija raste u vidljivom rasponu, fotoni imaju dovoljno energije da promijene strukturu veze nekih pojedinačnih molekula. Nije slučajno što se to događa u vidljivom području, jer mehanizam vida uključuje promjenu vezanja jedne molekule, retine, koja apsorbira jedan foton. Promjena retine uzrokuje promjenu oblika proteina rodopsina u kojem se nalazi, što pokreće biokemijski proces koji uzrokuje da mrežnica ljudskog oka osjeti svjetlost.

Zbog istog razloga u ovom rasponu moguća je i fotosinteza. Jedna molekula klorofila pobuđena je jednim fotonom. U biljnim tkivima koja provode fotosintezu, karotenoidi djeluju tako da gase elektronski pobuđeni klorofil proizveden vidljivom svjetlošću u procesu koji se naziva nefotokemijsko gašenje, kako bi spriječili reakcije koje bi inače ometale fotosintezu pri visokim razinama svjetlosti.



Životinje koje detektiraju infracrvene zrake koriste male pakete vode koji mijenjaju temperaturu, u toplinskom procesu koji uključuje veliku količinu fotona.

Poznato je da infracrveni, mikrovalovi i radio valovi oštećuju molekule i biološko tkivo samo masovnim zagrijavanjem, a ne pobuđivanjem pojedinačnih fotona zračenja.

Vidljiva svjetlost može utjecati na samo mali postotak svih molekula. Obično ne na trajan ili štetan način, nego foton pobuđuje elektron koji zatim emitira drugi foton kada se vraća u prvobitni položaj. Retinal je iznimka. Retinal je polienski kromofor. Kemijska je osnova vizualne fototransdukcijske, faze detekcije svjetlosti vizualne percepcije (vida). Neki mikroorganizmi koriste retinal za pretvaranje svjetlosti u mehaničku energiju. Kada se foton apsorbira, mrežnica trajno mijenja strukturu iz cis u trans, i zahtijeva protein da ga pretvori natrag, tj. resetira da može ponovno funkcionirati kao detektor svjetla.

Ograničeni dokazi ukazuju na to da se neke reaktivne vrste kisika stvaraju vidljivom svjetlošću u koži, te da one mogu imati određenu ulogu u fotostarenju, na isti način kao i ultraljubičasto A zračenje (UV zračenje najmanjih energija).

#### **2.3.4. Ultraljubičasto zračenje**

Kako frekvencija prelazi u ultraljubičasto područje, fotoni imaju dovoljnu energiju (oko tri eV ili više) da potaknu određene dvostruko povezane molekule na trajno kemijsko preuređenje. U DNK to uzrokuje trajna oštećenja. DNK također neizravno oštećuju reaktivne vrste kisika koje proizvodi ultraljubičasto A (UVA) zračenje, koji ima prenisku energiju da izravno ošteti DNK. Zbog toga ultraljubičasto zračenje na svim valnim duljinama može oštetiti DNK i može uzrokovati rak, i (za UVB) opekline kože (opekline od sunca) koje su daleko gore nego što bi nastalo jednostavnim djelovanjem zagrijavanja (povećanje temperature).

Ovo svojstvo izazivanja molekularnog oštećenja koje nije proporcionalno učincima zagrijavanja, karakteristično je za sve EMR s frekvencijama u rasponu vidljive svjetlosti i više. Ova svojstva visokofrekventnog EMR-a posljedica su kvantnih učinaka koji trajno oštećuju materijale i tkiva na molekularnoj razini .

Na višem kraju ultraljubičastog raspona, energija fotona postaje dovoljno velika da prenese dovoljno energije elektronima da izazove njihovo oslobađanje od atoma, u procesu koji se naziva fotoionizacija. Energija potrebna za to je uvijek veća od oko 10 eV što odgovara valnim duljinama manjim od 124 nm (neki izvori sugeriraju realističniji iznos od 33 eV, što je energija potrebna za ionizaciju vode).

Ovaj visoki kraj ultraljubičastog spektra s energijama u približnom rasponu ionizacije, ponekad se naziva "ekstremno UV". Ionizirajuće UV zračenje jako je filtrirano Zemljinom atmosferom.

Ultraljubičasto zračenje je granično zračenje između ionizirajućeg i neionizirajućeg. Izaziva snažnu interakciju sa živom tvari. Ali zbog slabe prodornosti UV zračenja, većina štetnih kemijskih i bioloških procesa događa se na površini tkiva. UV zračenje ima fototoksični, fotoalergijski i fotokancerogeni učinak, a najpodložniji organi ovom zračenju su oko i koža. Ultraljubičasto zračenje podijeljeno je na nisko, srednje i visoko zračenje s obzirom na njegovu energiju. Nisko i srednje zračenje smatraju se neionizirajućim zračenjem, odnosno valne duljine do 400 nm i frekvencije do 950 THz [3].

Valja napomenuti kako i nisko i srednje zračenje mogu imati ionizirajuće učinke u nekim slučajevima. UV zračenje izaziva fotokemijske reakcije na koži i očima i može mijenjati strukturu molekula.

## **2.4. Ionizirajuće zračenje**

Radijacija ili ionizirajuće zračenje je spontana pojava prijenosa energije putem subatomske čestice poput fotona, elektrona ili neutrona. Čestice kod ionizirajućeg zračenja imaju dovoljnu energiju da u međudjelovanju s kemijskom tvari ioniziraju tu tvar te uzrokuju promjenu stanja materije u mikrosvijetu. Te promjene u energiji ili u sastavu atoma ili atomske jezgre uzrokuju daljnje emitiranje fotona i drugih čestica.

Ionizirajuće zračenje se može sastojati od snopa čestica visokih energija ili elektromagnetskog zračenja visokih frekvencija. Koristi se u detektorima dima tako što ionizira zrak i stvori napon koji dim može omesti ukoliko se pojavi i tada se alarm uključuje, u medicini za dijagnostiku i terapiju (za razbijanje stanica raka), za određivanje starosti raznih materijala, u raznim industrijama itd.

### **2.4.1. Oblici ionizirajućeg zračenja**

EM ionizirajuće zračenje obuhvaća rendgensko zračenje i gama zračenje, iako i ultraljubičasto zračenje može izazvati ionizaciju nekih tvari.

Dva najznačajnija zračenja su:

- Rendgensko zračenje - zračenje EM valova kratkih valnih duljina

- Gama zračenje - valovi valnih duljina kraćih od 10-13 m (može biti i opisano energijom fotona tog zračenja), nastaje energijskim prijelazima nestabilnih atomskih jezgri radioaktivnih tvari [4].

Također, ionizirajućim zračenjem se smatra i zračenje masenim česticama, a pod takva zračenja spadaju:

- Alfa zračenje – roj čestica koje se sastoje od dva protona i dva neutrona
- Beta zračenje – zračenje koje se sastoji od elektrona ( $\beta^-$ ) ili pozitrona ( $\beta^+$ )
- Neutronska zračenje – roj neutrona koji su posljedica nuklearnih reakcija i koji lako prodiru kroz tvar jer nemaju električni naboj.

#### **2.4.1.1. X-zrake i gama-zrake**

Elektromagnetsko zračenje sastavljeno od fotona čija energija je dovoljna za ionizaciju atoma, (što uključuje cijeli spektar s kraćim valnim duljinama), naziva se ionizirajuće zračenje (mnoge druge vrste ionizirajućeg zračenja napravljene su od ne-EM čestica). Ionizirajuće zračenje elektromagnetskog tipa proteže se od ekstremnog ultraljubičastog do svih viših frekvencija i kraćih valnih duljina, što znači da obuhvaća sve X-zrake i gama-zrake.

Ovo zračenje sposobno je za najteže vrste molekularnih oštećenja koja se u biologiji mogu dogoditi bilo kojoj vrsti biomolekule, uključujući mutaciju i rak, a često i na velikim dubinama ispod kože jer prodire u materiju.

Elektromagnetske valove emitiraju električno nabijene čestice koje ubrzavaju. Emitirani valovi mogu naknadno stupiti u interakciju s drugim nabijenim česticama, djelujući na njih silom. EM valovi prenose energiju, impuls i kutni moment od svoje izvorne čestice i mogu ih prenijeti materiji s kojom su u interakciji. Elektromagnetsko zračenje je povezano s onim EM valovima koji se mogu slobodno širiti ("zračiti") bez kontinuiranog utjecaja pokretnih naboja koji su ih proizveli.

Stoga se EMR ponekad naziva daleko polje. U ovom kontekstu, blisko polje se odnosi na EM polja u blizini naboja i struje koja ih je izravno proizvela, točnije fenomene elektromagnetske indukcije i elektrostatičke indukcije.

U kvantnoj mehanici, alternativni način promatranja EMR-a je da se sastoji od fotona, bezmasenih, nenabijenih elementarnih čestica koje su kvanti elektromagnetskog polja, odgovorni za sve elektromagnetske interakcije. Kvantna elektrodinamika je teorija o tome kako EMR interagira s materijom na atomskoj razini.

Kvantni efekti pružaju dodatne izvore EMR-a, kao što je prijelaz elektrona na niže energetske razine u atomu i zračenje crnog tijela. Energija pojedinog fotona je kvantizirana i veća je za fotone veće frekvencije. Ovaj odnos je dan Planckovom jednačinom  $E = hf$ , gdje je  $E$  energija fotona,  $f$  je frekvencija fotona, a  $h$  Planckova konstanta. Jedan foton gama zrake, na primjer, mogao bi nositi ~ 100 000 puta veću energiju od jednog fotona vidljive svjetlosti [4].

Učinci EMR-a na kemijske spojeve i biološke organizme ovise i o snazi zračenja i o njegovoj frekvenciji. EMR vidljivih ili nižih frekvencija (tj. vidljive svjetlosti, infracrvenih, mikrovalova i radio valova) naziva se neionizirajuće zračenje, jer njegovi fotoni pojedinačno nemaju dovoljno energije da ioniziraju atome ili molekule, ili razbiju kemijske veze. Učinci ovih zračenja na kemijske sustave i živo tkivo prvenstveno su uzrokovani učincima zagrijavanja iz zajedničkog prijenosa energije velikog broja fotona.

Nasuprot tome, ultraljubičasto zračenje, X-zrake i gama zrake visoke frekvencije nazivaju se ionizirajućim zračenjem, budući da pojedinačni fotoni tako visoke frekvencije imaju dovoljno energije da ioniziraju molekule ili razbiju kemijske veze. Ova zračenja imaju sposobnost izazvati kemijske reakcije i oštetiti žive stanice osim onih koje su rezultat jednostavnog zagrijavanja, a mogu biti opasna po zdravlje.

Ionizirajuće zračenje se ne osjeti na ljudskim osjetilima, a njegov učinak se očituje tek nakon dužeg vremena nakon izloženosti radijaciji i teško se povezuje s uzrokom. Iako je ljudsko tijelo stalno izloženo različitim vrstama ionizirajućeg zračenja koje dolazi iz svemira pa čak i iz samog čovjeka, određena doza ionizirajućeg zračenja može uzrokovati smrt kod čovjeka do koje dolazi tek nakon nekoliko sati, dana pa čak i godina.

Kako ionizirajuće zračenje ima dovoljnu energiju da izazove ionizaciju atoma u tijelu, nastali ioni narušavaju biokemijske procese u stanicama što može dovesti do raznih poremećaja u njihovom funkcioniranju i dijeljenju. Alfa zračenje se sporo širi što znači da može dugo međudjelovati s materijom. Čestice alfa zračenja su relativno velike pa se brzo sudare sa drugim česticama i izgube energiju. Zbog toga im je doseg nekoliko centimetara a kod čovjeka ih zaustavlja već koža. Ako se izvor alfa zračenja unese u tijelo putem hrane ili udisanja, posljedice mogu biti opasne za zdravlje. Ionizirajući utjecaj beta zračenja je manji od alfa zračenja ali mu je domet nekoliko metara. Može ga zaustaviti metalna ploča debljine od 3mm a u ljudsko tijelo prodire do 6 cm. Opasno je za zdravlje ako se izvor unese u organizam. Gama zračenje se širi brzinom svjetlosti i domet mu je jako velik. Ono prolazi kroz ljudsko tijelo a može ga zaustaviti tek debeli sloj olova, betona ili vode [4].

### **3. UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ONEČIŠĆENJA NA OKOLIŠ-ŽIVE ORGANIZME-LJUDE**

#### **3.1. Epidemiološka istraživanja: Povijesni pregled**

Povijesno gledano, 19. stoljeće je bilo zlatno doba elektriciteta i magnetizma te vrijeme njihovog brzog razvoja kao znanstvenih grana. Štoviše, u to je vrijeme vrlo uvriježeno mišljenje o pozitivnom utjecaju elektriciteta i magnetizma na ljudsko tijelo koje se može naći u mnogim medicinskim udžbenicima.

Međutim, 50-ih i 60-ih godina 20. stoljeća ovo pozitivno mišljenje počelo se postupno razvijati i mijenjati kao odgovor na nova otkrića koja su pratila razvoj relevantnih područja suvremene znanosti. Mnogi znanstvenici koji su pokušavali opisati mehanizme promatranih pojava češće su bili skloni mišljenju o neutralnom učinku elektriciteta i magnetizma na žive organizme.

Jedno od prvih izvješća o njihovom potencijalno štetnom učinku na žive organizme bilo je izvješće o epidemiološkom istraživanju koje su 1979. objavili Wertheimer i Leeper. Ispitali su zdravlje djece iz Denvera (Colorado, SAD) koja su živjela u domovima izloženim magnetskim poljima visokog intenziteta. Intenzitet magnetskih polja koji se razmatra procijenjen je na temelju ukupnog broja dalekovoda u blizini izloženih kuća i na temelju ukupnog broja drugih vodova koji prenose električnu energiju na istraživanom području.

Autori navode da su djeca izložena magnetskim poljima većeg intenziteta imala nešto veći rizik od razvoja leukemije od neeksponirane djece. Autori su također na vizualni način razvili vlastitu metodologiju za procjenu razine izloženosti na temelju ukupnog broja svih dalekovoda u području stanovanja.

Objavljeni rezultati izazvali su brojne kontroverze ponajviše zbog metodologije koju su koristili autori, a koja je izostavila i zanemarila mnoge druge važne učinke. Ipak, oni su rezultirali povećanim interesom znanstvenika za ovo područje istraživanja [5].

Treba također reći da su kasniji testovi potvrdili valjanost optužbi protiv izvješća Wertheimera i Leepera. Zdravstveni pregled djece s Rhode Islanda isključio je povezanost između utjecaja magnetskih polja i povećane razine morbiditeta od raka. Međutim, istodobno su istraživači iz Švedske dobili i objavili različite rezultate, koji su otkrili da se incidencija leukemije može smanjiti za razliku od incidencije tumora mozga, koji se može povećati u slučaju ljudskih pojedinaca izloženih magnetskim poljima višeg intenziteta.

Nacionalni institut za zdravstvene znanosti o okolišu Sjedinjenih Američkih Država predložio je novu metodologiju koja će se koristiti u ovoj vrsti ispitivanja. Dok su Wertheimer i Leeper u svom izvješću koristili podatke iz potvrda o smrti djece, nova metodologija trebala se temeljiti na informacijama iz dječjih zdravstvenih iskaznica. Unatoč tome, negativni učinci magnetskih polja većeg intenziteta na zdravlje djece nisu mogli biti potvrđeni.

Međutim, istovremeno su izvjesne alarmantne rezultate objavili isti istraživači iz Švedske, koji su proučavali svu djecu mlađu od 16 godina, koja su živjela u rasponu od 25 godina od 1960. do 1985. ne bliže od 300 metara od 220 kV ili 400 kV dalekovoda. Autori su uočili učestalost dijagnosticirane leukemije u ovoj skupini djece koja je bila 2,4 puta veća nego među njihovim vršnjacima. Sasvim drugačije rezultate dobili su istraživači iz Danske i Finske, koji nisu mogli formulirati slične zaključke u sličnim uvjetima ispitivanja i koji nisu pronašli izravan utjecaj magnetskog polja na zdravlje djece.

Značajan doprinos pojašnjenju utjecaja elektromagnetskih polja na žive organizme, na temelju opsežne analize postojećih rezultata istraživanja, dale su neovisno dvije istraživačke skupine: Ahlbom i sur. iz Stockholma i Neutra i sur. iz Los Angelesa. Korištenje meta-analize za analizu podataka iz prethodnih istraživačkih radova i izvješća omogućilo je dvjema skupinama da dobiju dovoljno velik i reprezentativan istraživački materijal. Kao rezultat njihova neovisnog i paralelnog istraživanja dobiveni su vrlo slični zaključci, što im je omogućilo da procijene sigurnu razinu intenziteta magnetskog polja jednaku  $0,33 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$ . Ahlbom i sur. i Neutra i sur. sugeriraju da magnetska polja većeg intenziteta od sigurne razine od  $0,33 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$  povećavaju rizik od razvoja leukemije za faktor dva [5].

Međutim, njihovi rezultati istraživanja nisu mogli potvrditi bilo kakav povećani rizik od razvoja drugih bolesti raka uključujući glioblastom. Treba naglasiti da je ova sigurna granica procijenjena vrijednost i kao takva nije potvrđena nikakvim rigoroznim izračunima.

Još jednu vrlo temeljitu i opsežnu analizu utjecaja magnetskih polja generiranih visokonaponskim dalekovodima na rizik od razvoja raka u djece proveli su Draper i suradnici. I sami autori bili su vrlo iznenađeni dobivenim rezultatima, iako su ih kasnije potvrdili i drugi istraživači iz Irana, Tasmanije i Norveške. Draper i sur. pregledali su djecu iz Engleske i Walesa, koja su živjela unutar 200 m od visokonaponskih dalekovoda pri rođenju, zbog čega su imali veći rizik od razvoja raka pluća. Također su uzeli u obzir djecu oboljelu od leukemije, koja su živjela na udaljenosti od 200 metara do 600 metara od izvora polja, gdje su tipični intenziteti magnetskih polja bili niži od  $0,08 \text{ A}\cdot\text{m}^{-1}$ .

Treba shvatiti da su takvi intenziteti magnetskih polja znatno niži od intenziteta polja koje generiraju električni uređaji u svakodnevnoj uporabi, poput hladnjaka, perilica rublja, radija i televizora, što dovodi u pitanje glavnu hipotezu istraživanja. Slične nedosljednosti mogu se naći u prvom izvješću o epidemiološkom istraživanju Wertheimera i Leepera kao i u objavljenim izvješćima.

Međutim, na temelju rezultata prikazanih utvrđena je nova sigurna razina intenziteta magnetskog polja za djecu od  $0,15 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ . Ipak, ova vrijednost je samo procijenjena granica, koja nije dovoljno potkrijepljena nikakvim rigoroznim izračunima.

Glavni problem koji se može formulirati u ovakvom istraživanju je određivanje izravnog izvora polja kojem su ispitanici izloženi. Autori navedenih radova i izvješća prešutno su pretpostavili da su glavni izvori elektromagnetskih polja uvijek visokonaponski dalekovodi, dok je doprinos niskonaponskih dijelova električnog sustava zanemaren.

Niskonaponski doprinos može imati svoje izvore u samim zgradama ili u njihovom susjedstvu, jer ih, na primjer, mogu generirati radni kućanski aparati kao što su perilice rublja, hladnjaci, radio ili televizijski uređaji. Svi ovi čimbenici čine precizno i jedinstveno određivanje bilo koje granice intenziteta za elektromagnetska polja praktički nemogućim, unatoč činjenici da je takva granica strogo potrebna u gotovo svim epidemiološkim literaturama.

Treba također reći da, bez obzira na svoje određene nedostatke, svi već spomenuti radovi i izvješća čine osnovu suvremenog pogleda na utjecaj elektromagnetskih polja i/ili elektromagnetskog zračenja na žive organizme [1].

Drugačije i vrlo važno područje istraživanja odnosilo se na sve skupine stručnih radnika izloženih dugotrajnom i/ili jakom magnetskom polju. Međutim, rezultati istraživanja dobiveni u ovom slučaju također su se pokazali neuvjerljivima. Zbog toga je u Danskoj pregledano preko 2,8 milijuna odraslih građana kako bi se identificirale skupine izložene magnetskim poljima jačine od  $0,24 \text{ A} \cdot \text{m}^{-1}$ . Ukupno 154 000 ljudi klasificirano je kao privremeno izloženo tako intenzivnim magnetskim poljima, a 18 000 kao stalno izloženo. Tijekom pregleda potvrđeno je 39 slučajeva leukemije, što ukazuje na rizik od raka cirkulacijskog sustava 1,6 puta veći u odnosu na 24 slučaja zabilježena u kontrolnoj skupini. Međutim, nisu uočeni slučajevi malignih tumora.

U međuvremenu, potpuno drugačiji rezultati dobiveni su u Norveškoj, gdje su ispitani željeznički radnici, koji su aktivno djelovali u drugoj polovici 20. stoljeća.

Usporedba zdravlja radnika i rukovatelja parnih i električnih vlakova pokazala je da nema negativnog utjecaja magnetskih polja, dok se u isto vrijeme pokazalo da je broj dijagnosticiranih slučajeva raka manji.

S druge strane, u Sjedinjenim Državama provedeno je opsežno ispitivanje 134.000 radnika koji su bili zaposleni u sektoru proizvodnje električne energije. Rezultati ispitivanja potvrdili su 4.833 slučaja raka. Wijngaarden i sur. ispitali su skupinu od 138 905 muškaraca radnika elektroprivrede iz pet američkih tvrtki. Otkrili su da je stopa smrtnosti od kardiovaskularnih bolesti i raka veća među radnicima koji su radili blizu električnih polja u usporedbi s administrativnim osobljem u istim tvrtkama [2].

Ostali rezultati pregleda prijavljeni i objavljeni u literaturi provedeni su među švicarskim željezničkim radnicima i u mnogim slučajevima sugerirali su poremećaje endokrinog sustava. Nuspojave su uočene nakon 5-dnevnog izlaganja magnetskim poljima gdje je frekvencija polja bila 16,7 Hz.

Smanjeno izlučivanje spojeva srodnih melatoninu u urinu također je uočeno kod onih radnika koji su bili izloženi magnetskim poljima frekvencije od 60 Hz. Te su promjene uočene nakon drugog dana njihovog radnog tjedna.

### **3.2. Utjecaj na okoliš, žive organizme i ljude**

Suvremene tehnologije izvor su sveprisutnog elektromagnetskog onečišćenja. Ovo onečišćenje je često puno jače od bilo kojeg prirodnog izvora elektromagnetskih polja ili zračenja. Bežična i radio komunikacija, prijenos energije ili uređaji u svakodnevnoj upotrebi kao što su pametni telefoni, tableti i prijenosna računala svakodnevno izlažu ljude elektromagnetskom zagađenju [6].

Rzmjeri šteta uzrokovane ovim onečišćenjem još uvijek nisu potpuno jasni jer nema izravnih i definitivnih dokaza o negativnom utjecaju na ljudska bića i to unatoč činjenici da su elektromagnetska polja jako niske frekvencije klasificirana kao potencijalno kancerogena. Zbog navedenih razloga može se primjetiti značajan porast znanstvenih istraživanja posljednjih desetljeća o utjecaju elektromagnetskih polja i/ili elektromagnetskog zračenja na žive organizme.

Elektromagnetska polja i/ili elektromagnetsko zračenje, kao elektromagnetsko onečišćenje, utječu na različite elemente okoliša.



Među elementima tog okoliša sve žive organizme treba staviti na prvo mjesto. Stoga postaje vrlo važno na odgovarajući način odrediti prirodu i povezane nuspojave elektromagnetskog onečišćenja i njegov utjecaj na žive organizme.

Svakodnevno su živi organizmi izloženi različitim vrstama elektromagnetskog onečišćenja. Međutim, svi se oni mogu dobro okarakterizirati svojim fizičkim parametrima kao što su tip (električni, magnetski, elektromagnetski), frekvencija i intenzitet/snaga.

Elektronički uređaji kao što su pametni telefoni, tableti, mikrovalne pećnice, radio i televizori emitiraju elektromagnetsko zračenje niskog intenziteta na frekvencijama od 300 MHz do 300 GHz koje se može povezati s mikrovalovima. S druge strane, dalekovodi i električni uređaji su jaki izvori elektromagnetskih polja (prvenstveno električnih za dalekovode, prvenstveno magnetskih za transformatore ili elektromagnetskih za antene) i zračenja mnogo nižih frekvencija, ali mnogo većih intenziteta [6].

Prema Europskoj komisiji izvori neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja mogu se klasificirati kao:

- radiofrekvencijska polja (RF polja)
- međufrekvencijska polja (IF polja)
- ekstremno niske frekvencije (ELF polja)
- statična polja.

Treba shvatiti da su različite vrste elektromagnetskih polja i/ili elektromagnetskog zračenja odgovorne za različite vrste pojava koje se mogu promatrati kao posljedica izlaganja zračenju.

Na primjer, mikrovalno zračenje visoke energije na frekvencijama od 300 MHz do 300 GHz može biti kancerogeno i uzrokovati toplinske učinke, povećavajući temperaturu izloženih organizama. S druge strane, ista vrsta mikrovalnog zračenja na nižim frekvencijama od 100 kHz do 300 MHz nema takav učinak. Vrlo je važno napomenuti da se izvori elektromagnetskog zračenja koje karakteriziraju frekvencije polja ispod 300 GHz mogu povezati s neionizirajućim tipom zračenja.

S druge strane, niskofrekventna elektromagnetska polja su izvor druge vrste elektromagnetskog zračenja kao u slučaju dalekovoda ili transformatora (djelovanjem procesa i uređaja prisutnih u EES-u). Takva elektromagnetska polja koja karakteriziraju frekvencije polja od 50 Hz ili 60 Hz su kvazistacionarna i njihove se dvije komponente polja (električna i magnetska) mogu smatrati zasebnim.

Mišljenja istraživača o utjecaju elektromagnetskog onečišćenja na žive organizme su podijeljena. To je zbog činjenice da su ranija istraživanja vrlo dvosmisleno ukazivala na negativan ili pozitivan, ili ponekad neutralan utjecaj elektromagnetskih polja ili elektromagnetskog zračenja.

Razmjere ovog problema može se ilustrirati činjenicom da je od 1980. do 2002. godine objavljeno više od 200 epidemioloških studija o učincima elektromagnetskih polja koje stvaraju dalekovodi na čovjeka. Oko 60% njih je navelo da nema negativnih učinaka ovih polja, dok je preostalih 40% navelo neke manje ili veće negativne učinke.

Iz tih razloga posljednjih desetljeća može se uočiti značajan porast znanstveno-istraživačkog rada na razumijevanju utjecaja elektromagnetskih polja i/ili elektromagnetskog zračenja na žive organizme. Alarmantna izvješća o potencijalno štetnim učincima elektromagnetskog onečišćenja privukla su pozornost Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) koja je 2007. predstavila sažeto izvješće međunarodnog istraživačkog programa pod nazivom Elektromagnetska polja [6]

U tom programu pregledano je više od 1100 različitih znanstvenih publikacija i istraživačkih izvještaja. U odjeljku izvješća posvećenom učincima magnetskih polja niske frekvencije od 50 Hz i 60 Hz navedeno je da ne postoje čvrsti razlozi za pooštavanje trenutnih ograničenja za dugotrajnu izloženost tim poljima; međutim, savjetuje se oprez. U svibnju 2011. u Lyonu, Francuska, Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) i WHO kvalificirali su elektromagnetska polja radio frekvencija kao moguće povećanje rizika od razvoja malignog raka mozga, glioma, koji je uglavnom povezan s upotrebom mobilnih telefona.

Gore opisani problemi i danas ostaju bez odgovora i rezultiraju velikim porastom zanimanja za sve aspekte elektromagnetskog onečišćenja, a posebno za njegov utjecaj na žive organizme.

### **3.3. Utjecaj na atmosferu**

Većina UV i X-zraka blokirana je apsorpcijom prvo iz molekularnog dušika, a zatim (za valne duljine u gornjem UV) elektroničkom ekscitacijom i konačno ozona u srednjem rasponu UV zračenja. Samo 30% sunčeve ultraljubičaste svjetlosti dopire do tla, a gotovo sve se dobro prenosi.

Vidljiva svjetlost se dobro prenosi u zraku, budući da nije dovoljno energična da pobuđuje dušik, kisik ili ozon, ali je previše energična da pobuđuje molekularne vibracijske frekvencije

vodene pare. Apsorpcijski pojasevi u infracrvenom zračenju nastaju zbog načina pobuđivanja vibracija u vodenoj pari.

Međutim, pri preniskim energijama za pobuđivanje vodene pare, atmosfera ponovno postaje prozirna, dopuštajući slobodan prijenos većine mikrovalnih i radio valova.

Konačno, na radio valnim duljinama dužim od 10 metara (oko 30 MHz), zrak u nižoj atmosferi ostaje proziran za radio, ali plazma u određenim slojevima ionosfere počinje komunicirati s radio valovima (vidi nebeski val). Ovo svojstvo omogućuje reflektiranje nekih dužih valnih duljina (100 metara ili 3 MHz) i rezultira kratkim valovima radija izvan vidnog polja. Međutim, određeni ionosferski učinci počinju blokirati dolazne radiovalove iz svemira, kada je njihova frekvencija manja od oko 10 MHz (valna duljina duža od oko 30 metara) [7].

### **3.4. Toplinsko i elektromagnetno zračenje kao oblik topline**

Osnovna struktura materije uključuje nabijene čestice povezane zajedno. Kada elektromagnetsko zračenje udari u materiju, uzrokuje osciliranje nabijenih čestica i dobivanje energije. Konačna sudbina ove energije ovisi o kontekstu. Moglo bi se odmah ponovno zračiti i pojaviti se kao raspršeno ili reflektirano zračenje. Može se raspršiti u druga mikroskopska kretanja unutar materije, doći u toplinsku ravnotežu i manifestirati se kao toplinska energija, ili čak kinetička energija, u materijalu.

Uz nekoliko iznimaka vezanih uz fotone visoke energije (kao što su fluorescencija, stvaranje harmonika, fotokemijske reakcije, fotonaponski učinak za ionizirajuće zračenje na dalekom ultraljubičastom, rendgenskom i gama zračenju), apsorbirano elektromagnetno zračenje jednostavno taloži svoju energiju zagrijavanjem materijala.

To se događa za infracrveno, mikrovalno i radio valovno zračenje. Intenzivni radio valovi mogu toplinski spaliti živo tkivo i mogu kuhati hranu. Osim infracrvenih lasera, dovoljno intenzivni vidljivi i ultraljubičasti laseri mogu lako zapaliti papir.

Ionizirajuće zračenje stvara elektrone velike brzine u materijalu i razbija kemijske veze, ali nakon što se ti elektroni mnogo puta sudare s drugim atomima, većina energije na kraju postaje toplinska energija u malom djeliću sekunde. Ovaj proces čini ionizirajuće zračenje daleko opasnijim po jedinici energije od neionizirajućeg zračenja. Ovo upozorenje vrijedi i za UV, iako gotovo sav nije ionizirajući, jer UV može oštetiti molekule zbog elektroničke pobude, koja je daleko veća po jedinici energije od učinaka zagrijavanja.

Infracrveno zračenje u spektralnoj raspodjeli crnog tijela obično se smatra oblikom topline, budući da ima ekvivalentnu temperaturu i povezano je s promjenom entropije po jedinici toplinske energije. Međutim, "toplina" je tehnički izraz u fizici i termodinamici i često se miješa s toplinskom energijom.

Bilo koja vrsta elektromagnetske energije može se transformirati u toplinsku energiju u interakciji s materijom. Dakle, svako elektromagnetsko zračenje može "zagrijati" (u smislu povećanja temperature toplinske energije) materijala kada se apsorbira.

Inverzni ili vremenski obrnut proces apsorpcije je toplinsko zračenje. Velik dio toplinske energije u materiji sastoji se od slučajnog gibanja nabijenih čestica, a ta energija se može izračiti iz materije. Rezultirajuće zračenje može naknadno biti apsorbirano drugim komadom materije, pri čemu taložena energija zagrijava materijal.

Elektromagnetsko zračenje u neprozirnoj šupljini u toplinskoj ravnoteži je zapravo oblik toplinske energije, s maksimalnom entropijom zračenja [7].

### **3.5. Biološki učinci**

Bioelektromagnetika je proučavanje interakcija i učinaka EM zračenja na žive organizme. Učinci elektromagnetskog zračenja na žive stanice, uključujući i one kod ljudi, ovise o snazi i frekvenciji zračenja. Za niskofrekventno zračenje (radiovalovi prema vidljivoj svjetlosti) najbolje shvaćeni učinci su oni koji nastaju samo zbog snage zračenja, koja djeluje zagrijavanjem kada se zračenje apsorbira.

Za ove toplinske učinke važna je frekvencija jer utječe na intenzitet zračenja i prodor u organizam (npr. mikrovalovi bolje prodiru od infracrvene). Općenito je prihvaćeno da niskofrekventna polja koja su preslaba da bi izazvala značajno zagrijavanje ne bi mogla imati nikakav biološki učinak.

Unatoč općeprihvaćenim rezultatima, provedena su neka istraživanja koja pokazuju da slabija netermalna elektromagnetska polja, uključujući slaba ELF magnetska polja, iako se potonje ne kvalificiraju striktno kao EM zračenje, i modulirana RF i mikrovalna polja imaju biološke učinke. Temeljni mehanizmi interakcije između biološkog materijala i elektromagnetskih polja na netoplinskim razinama nisu u potpunosti shvaćeni. Svjetska zdravstvena organizacija klasificirala je radiofrekventno elektromagnetsko zračenje u Skupinu 2B – vjerojatno kancerogena. Ova skupina sadrži moguće karcinogene kao što su olovo, DDT i stiren.

Na primjer, epidemiološke studije koje traže vezu između korištenja mobitela i razvoja raka mozga bile su uglavnom neuvjerljive, osim da pokažu da učinak, ako postoji, ne može biti velik [7].

Na višim frekvencijama (vidljivim i izvan njih), učinci pojedinačnih fotona postaju važni jer oni sada imaju dovoljno energije pojedinačno da izravno ili neizravno oštete biološke molekule. Svjetska zdravstvena organizacija svrstala je sve UV frekvencije kao karcinogene grupe 1. Ultraljubičasto zračenje od izlaganja suncu primarni je uzrok raka kože.

Dakle, na UV frekvencijama i višim (a vjerojatno donekle i u vidljivom rasponu) elektromagnetsko zračenje čini više štete biološkim sustavima nego što predviđa jednostavno zagrijavanje. To je najočitiije u "dalekom" (ili "ekstremnom") ultraljubičastom. UV, s rendgenskim i gama zračenjem, nazivaju se ionizirajućim zračenjem zbog sposobnosti fotona tog zračenja da proizvode ione i slobodne radikale u materijalima (uključujući živo tkivo).

Budući da takvo zračenje može ozbiljno oštetiti život, smatra se daleko opasnijim (u smislu štete nastale po jedinici energije ili snage) od ostatka elektromagnetskog spektra.

Izloženost elektromagnetskim poljima nije nova pojava. Međutim, zbog rastuće potražnje za električnom energijom, sve naprednijom tehnologijom i promjenama u društvenom ponašanju, koje su stvarale sve više umjetnih izvora, izloženost okoliša umjetnim elektromagnetskim poljima tijekom 20. stoljeća, se stalno povećavala. Danas je svaka osoba izložena složenoj mješavini slabih električnih i magnetskih polja, tijekom boravka u kući ili na poslu, od proizvodnje i prijenosa električne energije, industrijske opreme i kućanskih aparata, sve do telekomunikacija i emitiranja.

Radi kemijskih reakcija koje se javljaju kao dio normalnih tjelesnih funkcija, u ljudskom tijelu postoje male električne struje, tako i u odsutnosti vanjskih električnih polja. Npr, živci prijenosom električnih impulsa prenos signale. Većina biokemijskih reakcija od probave do moždanih aktivnosti ide zajedno s preuređivanjem nabijenih čestica. Srce je također električki aktivno što se može vidjeti pomoću elektrokardiograma.

Niskofrekventna električna polja utječu na svaki materijal sastavljen od nabijenih čestica, kao i na ljudsko tijelo. Električna polja djelovanjem na vodljive materijale, utječu na raspodjelu električnih naboja na njihovoj površini. Oni uzrokuju da struja teče kroz tijelo do tla. Niskofrekventna magnetska polja induciraju cirkulirajuće struje unutar ljudskog tijela čija jačina ovisi o intenzitetu vanjskog magnetskog polja. Ukoliko su zadovoljavajuće veličine,

struje mogu dovesti do stimulacije mišića i živaca, te mogu imati utjecaj na ostale biološke procese. Magnetska i električna polja induciraju struje i napone u tijelu, te i izravno ispod visokonaponskog prijenosnog voda, su inducirane struje dosta manje usporedivši s graničnim vrijednostima za nastanak udara ili ostalih električnih učinaka.

Glavni biološki učinak elektromagnetskih polja radiofrekventnih polja je zagrijavanje. Ova činjenica se zapravo koristi za mikrovalne pećnice za zagrijavanje hrane.

Razine radiofrekventnih polja izloženih čovjeku znatno su manje od potrebnih za značajno zagrijavanje. Temelj za trenutne smjernice je učinak grijanja radio valova [8].

Znanstvenici istražuju mogućnosti da se učinci ispod praga za zagrijavanje tijela javljaju zbog dugotrajne izloženosti. Do današnjeg dana nisu dokazani štetni učinci na zdravlje radi niske razine, dugotrajne izloženosti radiofrekvencijskim ili frekvencijskim poljima, no znanstvenici se svejedno trude istraživati to područje.

Biološki učinci mjerljivi su odgovori na promjenu u okolišu ili na podražaj. Ove promjene nisu uvijek štetne po ljudsko zdravlje. Npr, slušanje muzike, gledanje filma, čitanje knjiga, jedenje kruške ili treniranje košarke proizvest će mnoštvo bioloških učinaka, ali se ne može očekivati da će ijedna aktivnost imati zdravstvene učinke. Tijelo se prilagođuje brojnim i raznim utjecajima s kojima se susrećemo u svodnevnom okruženju. Normalnim dijelom naših života čine konstantne promjene, ali tijelo nema odgovarajuće kompenzacijske mehanizme za sve biološke učinke. Promjene koje nisu povratne, te opterećuju sustav u dugom vremenskom razdoblju mogu predstavljati opasnost za zdravlje.

Zdravstveni učinak koji je štetan narušava zdravlja izložene osobe ili njezina potomstva. Biološki učinak zapravo može, a i ne mora rezultirati kao štetan zdravstveni učinak.

Nije upitno da elektromagnetska polja koja su iznad određenih razina izazivaju biološke učinke. Eksperimenti pokazuju da kratkotrajnom izloženosti razinama prisutnim u kući i okolišu ne dolazi do vidljivih štetnih učinaka.

Međunarodnim i nacionalnim smjernicama su ograničene sve izloženost višim razinama koje bi mogle zapravo biti štetne. Trenutna diskusija ima fokus na može li ikako dugotrajna niska izloženost utjecati na dobrobit ljudi i izazvati biološke odgovore [8].

#### 4. ZAŠTITA OD ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

Preventivne mjere sugerirale su i američke regulatorne agencije Food and Drug Administration i Federal Communications Commission (FCC), a i neke europske regulatorne agencije. Oni predlažu da je bolje pridržavati se jednostavnih uputa pri korištenju mobilnih telefona kako bismo smanjili mogućnost njihovog štetnog utjecaja. To su upotreba handsfree uređaja, skraćivanje vremena razgovora, učestalija upotreba na otvorenom i područjima jačeg signala, izbjegavanje korištenja u zatvorenim prostorima i automobilima bez vanjske antene, držanje telefona dalje od glave za vrijeme uspostave poziva kad je doza zračenja najveća, ograničavanje upotrebe kod djece i korištenje vanjskih auto antena. Ovim postupcima pokušava se spriječiti djelovanje zračenja na ljudsko tijelo.

Sa sve više dostupnih istraživačkih podataka, sve je manje vjerojatno da izloženost elektromagnetskim poljima predstavlja ozbiljnu opasnost po zdravlje, no ipak, ostaje određena nesigurnost. Izvorna znanstvena rasprava o tumačenju kontroverznih rezultata pomaknula se i postala društveno, ali i političko pitanje.

Javna rasprava o elektromagnetskim poljima usredotočuje se na potencijalne štete elektromagnetskih polja, ali često zanemaruje prednosti povezane s tehnologijom elektromagnetskog polja. Bez struje društvo bi stalo. Slično, emitiranje i telekomunikacije postali su jednostavna činjenica suvremenog života. Bitna je analiza ravnoteže između troškova i potencijalnih opasnosti.

Međunarodne smjernice i nacionalni sigurnosni standardi za elektromagnetska polja razvijeni su na temelju trenutnih znanstvenih spoznaja kako bi se osiguralo da polja s kojima se ljudi susreću nisu štetna za zdravlje. Kako bi se nadoknadile nesigurnosti u znanju (zbog, na primjer, eksperimentalnih pogrešaka, ekstrapolacije sa životinja na ljude ili statističke nesigurnosti), veliki sigurnosni čimbenici uključeni su u granice izloženosti. Smjernice se redovito pregledavaju i po potrebi ažuriraju [8].

Sugerirano je da bi poduzimanje dodatnih mjera opreza za rješavanje preostalih neizvjesnosti moglo biti korisna politika koju treba usvojiti dok znanost poboljšava znanje o zdravstvenim posljedicama. Međutim, vrsta i opseg odabrane politike opreza kritično ovise o snazi dokaza o zdravstvenom riziku te razmjeru i prirodi mogućih posljedica. Reakcija opreza trebala bi biti proporcionalna potencijalnom riziku.

Razvijeno je nekoliko politika koje promiču oprez kako bi se riješila zabrinutost u vezi s pitanjima zdravlja i sigurnosti javnosti, na radu i okolišu povezanim s kemijskim i fizičkim agensima.

Jedan od ciljeva Međunarodnog EMF projekta je pomoći nacionalnim tijelima da usporede prednosti korištenja tehnologija elektromagnetskog polja u odnosu na mogućnost otkrivanja opasnosti po zdravlje. Nadalje, SZO će izdati preporuke o zaštitnim mjerama, ako budu potrebne. Trebat će nekoliko godina da se potrebno istraživanje završi, evaluira i objavi.

U međuvremenu je Svjetska zdravstvena organizacija izdala niz preporuka [9]:

- Strogo pridržavanje postojećih nacionalnih ili međunarodnih sigurnosnih standarda: takvi standardi, temeljeni na sadašnjem znanju, razvijeni su kako bi zaštitili sve u populaciji s velikim faktorom sigurnosti.
- Jednostavne zaštitne mjere: barijere oko izvora jakih elektromagnetskih polja sprječavaju neovlašteni pristup područjima gdje se mogu prekoračiti granice izlaganja.
- Konzultacije s lokalnim vlastima i javnošću o postavljanju novih dalekovoda ili baznih stanica za mobilne telefone: odluke o lokaciji često su potrebne kako bi se uzela u obzir estetika i javna osjetljivost. Otvorena komunikacija tijekom faza planiranja može pomoći u stvaranju razumijevanja javnosti i većeg prihvaćanja novog objekta.
- Komunikacija: učinkovit sustav zdravstvenih informacija i komunikacije između znanstvenika, vlada, industrije i javnosti može pomoći u podizanju opće svijesti o programima koji se bave izloženosti elektromagnetskim poljima i smanjiti nepovjerenje i strahove.

Zemlje postavljaju vlastite nacionalne standarde za izloženost elektromagnetskim poljima. Međutim, većina ovih nacionalnih standarda oslanja se na smjernice koje je postavila Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP). Ova nevladina organizacija, formalno priznata od strane SZO, ocjenjuje znanstvene rezultate iz cijelog svijeta. Na temelju dubinskog pregleda literature, ICNIRP izrađuje smjernice koje preporučuju ograničenja izloženosti. Ove smjernice se povremeno pregledavaju i ažuriraju ako je potrebno. Razine elektromagnetskog polja variraju s frekvencijom na složen način. Navođenje svake vrijednosti u svakom standardu i na svakoj frekvenciji bilo bi teško razumjeti [10].



## 5. ZAKLJUČAK

U radu je obrađena problematika elektromagnetskog onečišćenja, odnosno zračenja te utjecaja na okoliš, žive organizme te ljude. Zemlja je od samog početka radioaktivna kako od izvora koji se na njoj nalaze od početka tako i od kozmičkog zračenja koje varira po stupnju prolaska kroz atmosferu.

Čovjek se evolucijom prilagodio na određenu razinu zračenja kako bi mogao opstati ali je i razvojem tehnologije povećao razinu zračenja na Zemlji. Pretpostavlja se da je razina elektromagnetska zračenja u proteklih sto godina porasla za čak sto do dvjesto puta. Tehnologija se naglo počela razvijati nakon njenog nastanka tako da se čovjekov organizam nije stigao prilagoditi na količinu elektrosmoga koji ona proizvodi.

Također, tehnologija je relativno mlada ljudska aktivnost i razina štetnosti elektrosmoga se ne može mjeriti sa štetnošću ionizirajućeg zračenja ali to ne znači da nema negativnog utjecaja na ljudski organizam. Zbog toga se još ne može u potpunosti očitati njezin štetan utjecaj na čovjeka i okoliš ali s vremenom bi mogao postati velik problem za čovječanstvo. Iz tog razloga je bitno da se počnu donositi odluke kako smanjiti razinu elektrosmoga i kako nastaviti razvijati tehnologiju pod uvjetom da ne prijete čovjekovom zdravlju.

Na temelju pregleda rezultata istraživanja u radu, a vezanih uz utjecaj elektromagnetskog onečišćenja ili elektromagnetskog zračenja na žive organizme, mogu se formulirati sljedeći kritični zaključci: dostupna literatura pruža raspršene i dvosmislene informacije o sigurnosti elektromagnetskog onečišćenja ili elektromagnetskog zračenja; utjecaj elektromagnetskog onečišćenja na žive organizme je vidljiv te je sve veći broj oboljelih ljudi od elektromagnetskog zračenja, uslijed tehnološkog razvoja.

Što je još važnije, unatoč opsežnosti dostupnih rezultata istraživanja koji su izneseni u radu, još uvijek nisu dati jasni odgovori na pitanje u kojoj mjeri utječe elektromagnetsko onečišćenje na žive organizme.

Dosadašnja istraživanja u području utjecaja elektromagnetskih polja ili elektromagnetskog zračenja na žive organizme nemaju sveobuhvatan karakter, pa nije moguće formulirati nikakve veze između karakteristika elektromagnetskog polja i utjecaja polja.

Kao što je navedeno, suvremen način života i nove tehnologije postale su izvor konstantno prisutnog elektromagnetskog onečišćenja od generiranih elektromagnetskih polja i rezultirajućeg elektromagnetskog zračenja. U većini slučajeva ovo onečišćenje je mnogo jače u usporedbi s bilo kojim prirodnim izvorom elektromagnetskih polja ili zračenja.

Uzrokovana šteta ovom vrstom onečišćenja je zapravo i dalje upitna jer nema konkretnih i konačnih dokaza o negativnom utjecaju na ljude. To je unatoč činjenici da su elektromagnetska onečišćenja ekstremno niskih frekvencija klasificirana kao potencijalno kancerogena. Na temelju tih razloga posljednjih desetljeća se može vidjeti značajan rast svih znanstvenih istraživanja koji imaju cilj razumijevanje utjecaja elektromagnetskog zračenja na žive organizme.

## 6. LITERATURA

- [1] Brković N. (1998) Fizika 3: udžbenik za 3. razred gimnazija. Elektromagnetni valovi. 2.izd. Zagreb: Luk d.o.o., str. 83-98.
- [2] Dyche J., Anch A. M., Fogler K. A. J., Barnett D. W., Thomas C. (2012) Effects of power frequency electromagnetic fields on melatonin and sleep in the rat. *Emerging Health Threats Journal*. str. 1–8,
- [3] Goldoni, J. (1993) *Zaštita od ionizirajućih zračenja u medicini*; Zagreb,
- [4] Hebrang, A., Čustović R. ur. (2007) *Radiologija*. 3. izd. Zagreb: Medicinska naklada, str. 10-22
- [5] Janković B. D., Marić D., Ranin J., Veljić J. (1991) Magnetic fields, brain and immunity: effect on humoral and cell-mediated immune responses. *International Journal of Neuroscience*. str. 25–43.
- [6] Kottou S, Nikolopoulos D, Vogliannis E, Koulougliotis D, Petraki E, Panayiotis H, Yannakopoulos PH. (2014) How Safe is the Environmental Electromagnetic Radiation? *J Phys Chem Biophys*. str. 140-146.
- [7] Mahajan A, Singh M. (2012) Human Health and Electromagnetic Radiations. *IJEIT*., str. 95-97.
- [8] Ryan JL. (2012) Ionizing Radiation: The Good, the Bad, and the Ugly. *JID*. str. 985-993.
- [9] Szuba M., Dołowy K., Duszyński J., et al. (2008) *Power Lines and Substations in Human Environment*. Warsaw, Poland: Registor of PSE Operator S.A.;
- [10] Wertheimer N., Leeper E. (1988) Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology*. str. 273–284

## **7. PRILOZI**

### **7.1. Popis slika**

Slika 1. Prikaz elektromagnetskog spektra.....	4
Slika 2. Širenje elektromagnetskog vala .....	5

### **7.2. Popis tablica**

Tablica 1. Prikaz frekvencija.....	6
------------------------------------	---