

# Utjecaj elektromagnetskog zračenja i radijacije

---

**Brabenec, Matea**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Metallurgy / Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:115:976596>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET  
UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF METALLURGY

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb - Repository of Faculty of Metallurgy University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET

Matea Brabenec

ZAVRŠNI RAD

Sisak, rujan 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET

Matea Brabenec

UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE

ZAVRŠNI RAD

Voditelj: Prof.dr.sc Ivan Brnardić  
Suvoditelj: Igor Jajčinović, mag.ing.oecoing.

Članovi Povjerenstva za ocjenu i obranu završnog rada, uključujući i zamjenskog člana:

1. Prof.dr.sc Damir Hršak, predsjednik,
2. Prof.dr.sc Ivan Brnardić, član,
3. Igor Jajčinović, mag.ing.oecoing., član,
4. Prof.dr.sc. Anita Štrkalj, član,
5. Izv.prof.dr.sc. Ivan Jandrlić, član,
6. Prof.dr.sc. Zoran Glavaš, zamjenski član.

Sisak, rujan, 2022.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
METALURŠKI FAKULTET

UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF METALLURGY

IME: Matea

PREZIME: Brabenec

MATIČNI  
BROJ: BS-7/2019

Na temelju članka 19. stavak 2. Etičkog kodeksa Sveučilišta u Zagrebu dajem sljedeću

## IZJAVU O IZVORNOSTI

Izjavljujem da je moj **završni** / diplomski / doktorski rad pod naslovom:

UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE

---

---

izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Sisak,  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(vlastoručni potpis)

\_\_\_\_\_  
*Izrazi koji se koriste u ovoj Izjavi, a imaju rodno značenje, koriste se neutralno i odnose se jednako i na ženski i na muški rod.*

*Prvenstveno bih se željela zahvaliti svom voditelju prof.dr.sc. Ivanu Brndardiću i suvoditelju Igoru Jajčinoviću mag.ing.oecoing.koji su mi svojim savjetovanjem i posvećenim vremenom uvelike pomogli s izradom završnog rada.*

*Posebnu zahvalnost željela bih izraziti svojoj mami, sestri i dečku koji su mi bili velika podrška tijekom cijelog studija.*

# UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE

## SAŽETAK

Razvoj tehnologija, upotreba računala i mobitela doveli su do pojave jakog onečišćenja okoliša koji se događa pod utjecajem elektromagnetskog zračenja, a naziva se elektrosmogom. Glavni izvor elektrosmoga su električne željeznice, mobilne radioveze i odašiljači televizijskog i mobilnog signala. Ovim pojavama su najviše izloženi adolescenti i djeca zbog činjenice da su u razvoju, te samim time apsorbiraju veće količine zračenja. Upravo zbog utjecaja na okoliš i zdravlje čovjeka elektromagnetsko i radioaktivno zračenje su neprekidno u središtu zanimanja znanstvenih istraživanja.

U ovom radu će se definirati elektromagnetska zračenja, utjecaji na okoliš te opisati instrumenti i načini mjerenja. Budući da se radi o nevidljivim i mogućim opasnim vrstama štetnosti dati će se načini zaštite i osvrt na sigurnost radnika.

**Ključne riječi:** elektromagnetsko zračenje, radijacija, onečišćenje, štetni učinci.

# INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION AND RADIOACTIVITY

## SUMMARY

The development of technologies, the use of computers and mobile phones have led to the emergence of severe environmental pollution that occurs under the influence of electromagnetic radiation, and is called electrosmog. The main source of electrosmog are electric railways, mobile radio links and transmitters of television and mobile signals. Adolescents and children are the most exposed to these phenomena due to the fact that they are developing, and therefore absorb larger amounts of radiation. Accordingly, because of the impact on the environment and human health, electromagnetic and radioactive radiation are constantly at the center of scientific research interests.

This paper will define electromagnetic radiation, its effects on the environment, and describe the instruments and methods of measurement. Since these are invisible and potentially dangerous types of damage, the methods of protection will be described and an overview of worker safety will be given.

**Keywords:**electromagneticradiation, radiation, pollution, harmfuleffects.

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. OPĆI DIO.....	2
2.1. Elektromagnetsko zračenje.....	2
2.2. Ionizirajuće zračenje.....	2
2.2.1. Alfa zračenje.....	3
2.2.2. Beta zračenje.....	3
2.2.3. Neutronska zračenje.....	4
2.3. Neionizirajuće zračenje.....	4
2.4. Razvoj elektrodinamike.....	5
2.5. Osnovni pojmovi elektromagnetskog zračenja.....	6
2.5.1. Definiranje elektromagnetskog polja.....	6
2.6. Prirodne i antropogene vrste elektromagnetskih zračenja.....	8
2.6.1. Rendgensko zračenje.....	9
2.6.2. Gama zračenje.....	11
3. MJERENJE I DETEKTIRANJE ZRAČENJA.....	11
3.1. Fizikalne veličine i mjerne jedinice.....	11
3.2. Uređaji za mjerenje zračenja.....	12
3.2.1. Ionizacijska komora.....	13
3.2.2. Geiger-Mullerov brojač.....	14
4. DJELOVANJE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE NA ČOVJEKA i OKOLIŠ.....	15
4.1. Utjecaj zračenja na okoliš.....	15
4.2. Utjecaj zračenja na čovjeka.....	17
4.2.1. Neoionizirajuće zračenje.....	17
4.2.2. Ionizirajuće zračenje.....	20
6. ZAKLJUČAK.....	23
7. LITERATURA.....	24



## 1. UVOD

Elektromagnetsko zračenje je tip zračenja koje obuhvaća elektromagnetske valove svih duljina. Riječ je tako o infracrvenom zračenju, ultraljubičastom zračenju, rendgenskom zračenju te gama-zračenju. Spektar elektromagnetskog zračenja se dijeli na ionizirajuća i neionizirajuća zračenja. Cilj rada je uvidjeti kako mjeriti i otkriti elektromagnetsko zračenje i radijaciju, na koji načindjeluju u okolišu, koju štetnost imaju za samog čovjeka te dati mjere zaštite.

Izraz „zračenje“ označava energiju u obliku valova ili subatomske čestice u kretanju emitiranih atoma ili druga tijela, kada prelazi iz stanja više energije u stanje niže energije. Može se klasificirati kao ionizirajuće ili neionizirajuće, ovisno o učinku na atom. Pojam „zračenje“ obično se odnosi na ionizirajuće zračenje koje ima dovoljno energije da ionizira atome ili molekule, dok neionizirajuće zračenje nema dovoljno energije. U prirodi postoji radioaktivni materijal koji emitira ionizirajuće zračenje, a do sada je relativno dobro istražen, sa svih aspekata uključujući njegov učinak na žive organizme. Međutim, posljednjih godina posvećuje se sve veća pažnja na proučavanje neionizirajućeg zračenja zbog činjenice da okoliš sve više postaje „zagađen“ ovim zračenjem, te je opravdano pitanje: kolika je štetnost ovog zračenja na živa bića?

## 2. OPĆI DIO

### 2.1. Elektromagnetsko zračenje

Elektromagnetsko zračenje je tip zračenja koje obuhvaća elektromagnetske valove svih duljina te se dijeli na ionizirajuće i neionizirajuće. Riječ je o infracrvenom zračenju, ultraljubičastom zračenju, rendgenskom zračenju te gama-zračenju. U nastavku rada prikazat će se detaljizirani prikaz elektromagnetskog zračenja. Kada se radi o elektromagnetskim valovima, ističe se kako je riječ o valovima koji predstavljaju konkretno širenje elektromagnetskog polja, električni nabijena tijela su tijela koja proizvode električno polje u svom okolišu, dok električna struja unutar električnih vodiča proizvodi magnetsko polje. Ukoliko se unutar strujnog kruga mijenjaju električni napon ili pak struja tada dolazi do pojave elektromagnetskih valova koji se dalje šire u prostor. [1]

### 2.2. Ionizirajuće zračenje

U prirodi atomi se nalaze u neutralnom stanju. Iz tog razloga jasno je kako svaki pojedini atom mora imati jednak broj protona, odnosno jednak broj elektrona. Njihovi naboji se međusobno poništavaju padolazi do zaključka kako nema nikakvog naboja atoma kao jedne cjeline. Uslijed djelovanja izvana, elektron se može izbaciti iz elektronskog omotača unutar atoma prilikom čega jedan od protona ostaje bez kompenzacije naboja unutar omotača. Atom se pokazuje kao atom koji je nabijen s pozitivnim nabojem. Taj atom, tj. čestica, naziva se ionom dok se proces stvaranja navedenih nabijenih čestica iz neutralnih čestica naziva procesom ionizacije. Zračenje koje može izazvati proces ionizacije naziva se ionizirajućim zračenjem. Temeljno zajedničko svojstvo apsolutno svih vrsta ionizirajućeg zračenja je njihovo atomsko i subatomske podrijetlo, kao ujedno i vrlo velika energija koja im omogućuje da vrše ionizaciju. Način kako će do ionizacije doći se međusobno razlikuje od pojedinih vrsta zračenja. Moguće je razlikovati temeljne dvije skupine ionizirajućeg zračenja, a radi se o elektromagnetskom zračenju te čestičnom zračenju. [2]

Elektromagnetsko zračenje ili drugim riječima fotonsko zračenje je tip zračenja koji se razlikuje od drugih zračenja i to na temelju svoje valne frekvencije. Moguće je razlikovati rendgenske zrake i gama zrake. S obzirom da je elektromagnetsko zračenje temelj ovog rada navedeno će se obraditi u zasebnom poglavlju.

Čestična zračenja su zapravo zračenja vrlo brzih subatomske čestica i njihovih skupina pa je moguće razlikovati alfa, beta i neutronske zračenje. [2]

### 2.2.1. Alfa zračenje

Alfa zračenje je zračenje koje uzrokuju alfa čestice. Alfa čestice su čestice koje se sastoje od dva protona te od dva neutrona koja su međusobno povezana u jednu česticu koja je kao takva identična jezgri helija-4. Isto tako naglašava se kako se alfa čestice specifično proizvode u procesu koji se odnose na alfa raspade, no oni se mogu proizvesti i na druge načine. [2]

Alfa čestice su čestice koje su nazvane prema prvom slovu unutar grčke abecede. S obzirom da su identične jezgri helija mogu se zapisivati kao  $\text{He}^{2+}$  ili  ${}^4_2\text{He}^{2+}$  što ukazuje na ion helija s +2 naboja (nedostaju mu dva elektrona). Naime, jednom kada ion dobije elektrone iz svog okruženja tada će ujedno i alfa čestica postati električni neutralan atom helija. Alfa čestice obično emitiraju sve veće radioaktivne jezgre kao što su uran, torij, aktinij i radij, kao i transuranski elementi. Za razliku od ostalih vrsta raspada, alfa raspad kao proces mora imati atomsku jezgru minimalne veličine koja ga može podržati. Najmanja jezgra za koju je do danas utvrđeno da je sposobna za alfa emisiju su berilij-8 i najlakši nuklidi u teluru (element 52), s masenim brojevima između 104 i 109. Alfa raspad ponekad ostavlja jezgru u pobuđenom stanju, emisija gama zraka tada uklanja višak energije. Za razliku od beta propadanja, temeljne interakcije odgovorne za alfa raspad ravnoteža su između elektromagnetske i nuklearne sile. Alfa raspad je rezultat Coulomove odbojnosti između alfa čestice i ostatka jezgre, koje imaju pozitivan električni naboj ali nuklearna sila to kontrolira. Energija alfa čestice emitirane u alfa raspadu ovisi o poluživotu procesa emisije, s tim da su mnoge razlike veličine u poluživotu povezane s promjenama energije manjim od 50%, što pokazuje Geiger – Nuttall zakon. Energija emitiranih alfa čestica varira, pri čemu se alfa čestice veće energije emitiraju iz većih jezgri ali većina alfa čestica ima energije između 3 i 7 MeV (mega-elektron-volti), što odgovara ekstremno dugim i izuzetno kratkim poluživotimanukleida koji emitiraju alfa čestice. Energije i omjeri često su različiti i mogu se koristiti za identificiranje određenih nuklida kao u alfa spektrometriji. [2]

### 2.2.2. Beta zračenje

Beta zračenja ističe se visokom energijom elektrona koji ima iznimno veliku brzinu ili pozitronu vrši emitiranje radioaktivnog raspadanja atomske jezgre prilikom procesa beta raspada. Na ovaj način naglašava se kako zapravo postoje dva oblika beta raspada, a riječ je o  $\beta^-$  - raspadu i  $\beta^+$  raspadu koji proizvode elektrone, odnosno pozitrone. Beta čestice s energijom od 0,5 MeV imaju raspon od oko jednog metra u zraku, a udaljenost ovisi o energiji čestica.

Vidljivo je kako su beta čestice jedna vrsta ionizirajućeg zračenja pa se samim time u svrhu zaštite od zračenja smatraju više ionizirajućim od primjerice gama zraka, dok manje ionizirajućim od alfa zračenja. Što je veći ionizirajući učinak tada je i veća šteta na samom živom tkivu dok je manja prodorna snaga samog zračenja. Nestabilne atomske jezgre koja ima višak neutrona može proći  $\beta^-$ -raspad pri čemu se neutron pretvara u proton, elektron i elektronski antineutrino (antičesticaneutrina) (jed. 1) [2]:



Ovaj je proces posredovan slabom interakcijom.  $\beta$  - raspad se obično događa među nusproizvodima cijepanja bogatim neutronom koji se proizvode u nuklearnim reaktorima. Tim postupkom propadaju i slobodni neutroni. Oba ova postupka doprinose obilnim količinama beta zraka i elektronskih antineutrina proizvedenih gorivim šipkama u reakcijskom reaktoru.

Nestabilne atomske jezgre s viškom protona mogu proći  $\beta^+$  raspad koji se naziva i pozitronskim raspadom gdje se proton pretvara u neutron, pozitron i elektronski neutrino (jed. 2) [2]:



Beta-plus raspad može se dogoditi unutar jezgara samo kada je apsolutna vrijednost energije vezanja kćerine jezgre veća od one matične jezgre, tj. jezgra kćeri je stanje niže energije. [2]

### **2.2.3. Neutronska zračenje**

Neutronska zračenje je tip zračenja koje predstavlja roj brzih neutrona. Naglašava se kako su neutroni zapravo zajedno s protonima temeljni sastojak atomske jezgre. Samim time kada se neki neutron nalazi izvan jezgre tada je isti nestabilan. Nakon nekog vremena navedeni se raspada na ukupno tri elementarne čestice, a radi se o protonu, elektronu i antineutronu. Neutron ne ionizira atom na direktan način. Upravo zbog tog razloga on se otkriva na posredan način i to putem sekundarnih čestica koje se pojavljuju uslijed same interakcije neutrona s jezgrom atoma. Nema međudjelovanja neutrona i elektrona unutar atomskog omotača s obzirom da na neutron ne djeluje niti električno niti magnetsko polje. Iz tog razloga neutron će vrlo lako prodrijeti kroz tvar i to do atomske jezgre i tada na njega djeluju nuklearne sile.

Neutronska zračenja, predstavlja posljedicu nuklearnih procesa. Neutronska zračenja je komponenta kozmičkog zračenja te zračenja iz nestabilnih teških jezgara. [2]

## **2.3. Neionizirajuće zračenje**

Neionizirajuće zračenje obuhvaća opći naziv za dio elektromagnetskog spektra koji sadrži slabu energiju fotona, koja nije dovoljna kod razbijanja atomskih veza koje se nalaze u ozračenom materijalu, ali još uvijek posjeduje snažan efekt zagrijavanja. Čovjek je oduvijek izložen elektromagnetskim poljima koji su prirodnog izvora, primjerice sunčevom zračenju, magnetskom polju Zemlje, te poljima koja su nastala kao posljedica atmosferskog pražnjenja. Ipak možemo reći kako su prirodni izvori neionizirajućeg zračenja slabog intenziteta u usporedbi s onima koje stvaraju umjetni izvori. [3]

Dakle, može se reći da je čovjek izložen prirodnim i tehničkim vrstama neionizirajućeg zračenja. S obzirom na vrste neionizirajućeg zračenja ono može biti visokih frekvencija primjerice, mobilni telefoni, radari, primjena indukcijskih grijača u industriji itd.. Također tu su i niske frekvencije neionizirajućeg zračenja kao što su dalekovodi. [4]

U područje neionizirajućeg zračenja ubraja se: optičko zračenje u koje se svrstava infracrveno zračenje, ultraljubičasto zračenje, te vidljivi spektar. Pod pojmom infracrvenog zračenja misli se na elektromagnetske valove valne duljine između  $0,7\mu\text{m}$  i  $1000\mu\text{m}$ . Za ljudsko oko je infracrveno zračenje nevidljivo, ali se može osjetiti na koži kao osjećaj topline. Neki od izvora infracrvenog zračenja su proizvodnja stakla i čelika, infracrveni grijači itd.

Pod ultraljubičastim zračenjem smatra se zračenje koje se emitira kada pobuđeni atomi prelaze iz višeg energetskog stanja u niže, pri tome opuštajući fotone energija u području ultraljubičastog zračenja. Ultraljubičasto zračenje je iznimno štetno za ljudski organizam jer uzrokuje crvenilo kože, ubrzano starenje kože, te dugoročno izlaganje može dovesti i do raka kože, te oštećenja vida.

Ljudsko oko reagira samo na ograničene raspone valnih duljina, odnosno na vidljivu svjetlost, no odlično raspoznaje i vrlo male razlike unutar tog raspona. Upravo te razlike nazivaju se boje. Boje su vrlo male frekvencijske razlike u području vidljive svjetlosti. Najkraću valnu duljinu imaju ljubičasta i plava svjetlost, dok najdužu crvena svjetlost.

Radiovalovi i mikrovalno zračenje za razliku od optičkog zračenja prodire dublje i može djelovati na unutarnje organe. Izvori takvih vrsta zračenja su: mobiteli, radar, satelitske antene, mikrovalne pećnice itd. Postoji i treće područje neionizirajućeg zračenja, a to su zračenja iznimno niskih frekvencija. Ono uključuje izmjeničnu struju i neionizirajuće zračenje u rasponu od 1Hz do 300Hz. Budući da su to niske frekvencije čija je valna duljina reda veličine oko 1000km, stvaraju se statička elektromagnetska polja. Polja ekstremno niske frekvencije sadrže magnetsko i električno polje. Električno polje stvara napon i svojim povećanjem, povećava i snagu električnog polja, dok magnetska polja stvara struja koja teče vodičima i njenim povećanjem, povećava snagu magnetskog polja. Odnosno, napon proizvodi električno polje tj. struju, dok struja proizvodi magnetsko polje.

Osim uređaja neionizirajućeg zračenja moraju se napomenuti i prirodna zračenja. Pod prirodnim zračenjima smatraju se primjerice podzemni tokovi i geološki lomovi. Dokazano je da su prirodna zračenja upravo uzrokom bolesti biljaka, životinja i ljudijer slabe organizam i samim time ga čine neotpornim na razne bolesti. Prirodna zračenja su mala, međutim svakodnevnim izlaganjem djelovati će negativno na ljudsko zdravlje.[4]

## 2.4. Razvoj elektrodinamike

Kao rezultat brzog razvoja elektrodinamike u 19. stoljećuteorija o elektromagnetskim valovimanastala je kao poseban oblik elektromagnetskog polja. Početkom 19. stoljeća danski fizičar Hans CristianOersted i engleski fizičar Michael Faraday došli sudo teorije o nedjeljivosti električnih i magnetskih polja. Godine 1846. engleski znanstvenik James Clarc Maxwell objavio je cjelovitu teoriju elektromagnetskog polja, objašnjavajući u cijelosti osnove električne i magnetske pojave. Matematički je predstavio teoriju elektromagnetskog polja kasnije nazvanih Maxwellovih jednadžbi, koje se mogu izraziti u obliku sljedećih kratkih rečenica:

- Linije sila električnog polja imaju ishodište i završavaju električnim nabojima,

- Linije sila magnetskog polja su zatvorene krivulje,
- Promjenjivo magnetsko polje uzrokuje nastanak električnog polja,
- Uzrok su promjenjivog električnog polja i električnog naboja u magnetskim poljima kretanja.

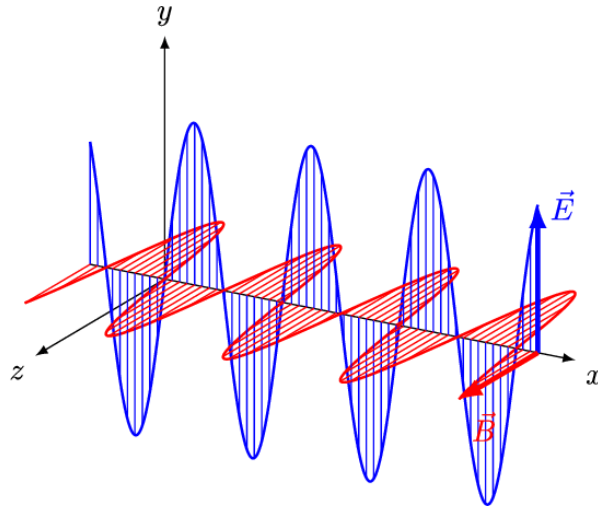
Iz Maxwellovih jednadžbi slijedi da su elektricitet i magnetizam različite pojave. Niti električno ni magnetsko polje neće nikuda otići sami, ali kako je Maxwell opisao, promjena magnetskog polja stvara promjenu u električnom polju i obrnuto. Promjene u tim poljima u prostoru oko neke raspodjele električnih naboja mogu se ako su ispunjeni određeni uvjeti manifestirati i kao elektromagnetski valovi koji se šire konstantombrzinom kroz prostor. Maxwell zaključuje da su svjetlosni valovi također elektromagnetski valovi. Eksperimentalnu potvrdu Maxwellovih postulata dao je 1887. njemački fizičar Heinrich Hertz. Njemu u čast jedinica za mjerenje frekvencije elektromagnetskih valova nazvana je (jedna oscilacija u sekundi) Hertz (Hz). U svom eksperimentu Hertz je mogao odašiljati istinski jak električni naboj od jedne bakrene žice do druge bakrene žice koja je bila postavljena na nekoliko metara.

Hertz je dokazao ono što je Maxwell upravo teoretizirao: da se elektromagnetski valovi kreću brzinom svjetlosti (što potvrđuje da su EM valovi vrsta svjetlosti i obrnuto) i pronašao način da proizvede električno i magnetsko polje. Elektromagnetski valovi dobiveni u Hertzovom eksperimentu imali su valnu duljinu od približno 1 metar što je milijun puta veće od valnih duljina vidljive svjetlosti. Svojstva tihvalova (refleksija, otklon, interferencija) odgovarala su svojstvima svjetlosti.[1]

## **2.5. Osnovni pojmovi elektromagnetskog zračenja**

### ***2.5.1. Definiranje elektromagnetnog polja***

Električki nabijena tijela su tijela koja unutar svog okoliša kreiraju električno polje. Električna struja unutar svoje okoline kreirat će magnetsko polje. Samim time elektromagnetski val je val koji podrazumijeva širenje promjenjivog elektromagnetskog polja i to kroz vakuum ili pak kroz neki drugi medij (slika 1). Ovaj se val stoga koristi za prenošenje informacija koje su upisane unutar vala, dok upravo navedeni prijenos informacija neće biti moguć bez prijenosa energije. [1]



Slika 1. Prikaz elektromagnetskog vala. [5]

Elektromagnetno (EM) polje je fizičko polje koje stvaraju nabijeni objekti i teoretski se proteže u beskonačnost. Djeluje Lorenzovom silom na nabijene objekte pronađene u njemu. Elektromagnetno polje je kombinacija električnog i magnetskog polja s električnim poljem koje nastaje stacionarnim nabojima i magnetskim nabojima u kretanju (električne struje). U prošlosti, teorije električnog i magnetskog polja razmatrane su odvojeno, a kasnije se i shvatilo da su električna i magnetska polja bila samo dva dijela jedne veće cjeline elektromagnetskog polja. Sa stajališta klasične teorije, EM polje se može smatrati glatkim kontinuiranim poljem koji se širi u obliku valova, dok se sa stajališta kvantne mehanike može promatrati kao da je sastavljeno od pojedinačnih fotona tijela. Prema tome, EM polje se može vidjeti kao kontinuirana ili diskretna struktura.

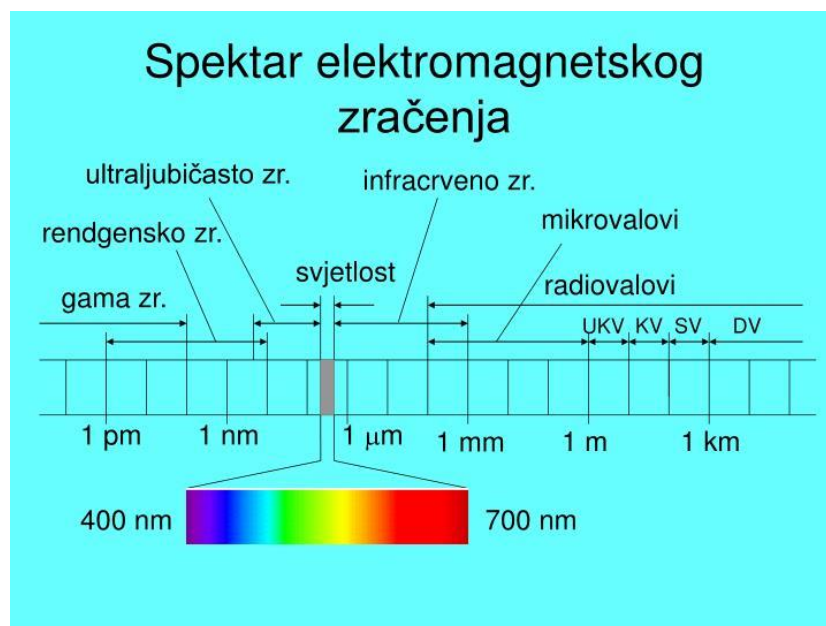
Kada se sagledava elektromagnetno polje, vrlo bitne stavke koje označavaju isto uključuju njegov intenzitet, amplitudu i frekvencije. Ove stavke su temeljne karakteristike elektromagnetskog polja, a kao takve mogu poprimiti bilo koju vrijednost. Ukoliko se radi o elektromagnetskom valu koji je ravan naglašava se kako se isti nalazi unutar slobodnog prostora, tj. vakuuma. Iz tog razloga on se promatra na većoj udaljenosti od samog izvora te sadrži električnu i magnetsku komponentu koje su okomite na smjer širenja zračenja. [1]

Jasno je kako se elektromagnetsko polje sastoji od električnog i od magnetskog polja. Električno polje u tom pogledu predstavlja na poseban način prikazano fizikalno stanje prostora unutar kojeg se električni naboj podstavlja pod djelovanjem sile. Radi se o vektorskoj veličini. Riječ je o polju koje je u ovisnosti od prostornih koordinata. Iznimno bitno fizikalno stanje ovog prostora je upravo električni naboj. On unutar svogokoliša kreira električno polje, u tom slučaju električna sila se definira kao vektorska veličina pa je upravo iz tog razloga i električno polje jedna vektorska veličina kojoj je moguće definirati jakost i smjer. Silnice električnog polja su tu kako bi se omogućila vizualizacija navedenog. Zamisljene sukao linije koje su usmjerene, a njihov smjer opisuje smjer električnog polja. Linije tada izlaze iz pozitivnih naboja dok s druge strane ulaze u negativne naboje. Temeljna karakteristika silnica je to što se one ne mogu sjeći, a njihova gustoća je takva da odgovara ukupnoj jakosti električnog polja. Ovo polje je tendencionalno te je usmjereno na točkama

silnice. Ono je odgovorno za veliku većinu pojava kao što su primjerice transmisija, refleksija ili apsorpcija zračenja.[6]

Magnetsko polje naglašava kako se tvari koje imaju svojstva privlačenja željeza, nikla, kobalta te drugih magnetskih legura nazivaju magnetnim. Prostor oko kao i unutar magneta u kojem djeluju magnetske sile nazivaju se magnetskim poljem. Isto tako došlo je i do utvrđivanja kako magnetsko polje postoji uvijek i u prostoru oko kojeg se vrši tok električne struje. Kao primjer navodi se zemaljska kugla koja je vrlo veliki magnet. U njihovom polju svaki se slobodno pokretljiv magnet orijentira prema sjeveru jednom stranom dok drugom stranom prema jugu. Iz toga slijedi kako svaki od magneta ima dva magnetska polja. Važno je istaknuti kako sam položaj magnetskih polova nije vremenski stalan i to sve dok magnetska igla ne pokazuje geografski, nego upravo magnetski smjer sjever-jug. Pol koji se okrene tako prema sjeveru je pol koji se naziva sjevernim, a suprotno južnim. Vrlo je bitno naglasiti kako su karakteristike magnetskog polja iznimno slične kao kod električnog s obzirom da se navedene mogu na vrlo jasan način prikazati na temelju silnica. Jakost sile se prikazuje gustoćom silnica, dok smjer sile te silnica predstavlja smjer konkretnog otklona sjevernog pola male magnetske igle.[7]

Elektromagnetsko zračenje je val koji se samo širi u prostoru ili kroz materiju, a ima električne i magnetske komponente koje osciliraju jedna prema drugoj u smjeru širenja vala ili energije. S obzirom na frekvenciju ove oscilacije, formiran je spektar EM zračenja koji sadrži RF (radio-frekvencijsko zračenje), MT (mikrovalovi), THz (Terahertz), infracrveno, vidljivo, ultraljubičasto, X i gama zračenje (slika 2).



Slika 2. Prikaz spektra elektromagnetskog zračenja. [8]

## 2.6. Prirodne i antropogene vrste elektromagnetskih zračenja

Ako u nekom prostoru postoji EM polje, to još uvijek nije dovoljno za formiranje EM vala, jer to zahtijeva neki dodatni uvjeti. Iz tog razloga, pojam zračenja često se odnosi samo na



stanja koja dopuštaju emisije EM valova, iako se stanje samog EM polja u nekom prostoru može smatrati stanjem energetskog zračenja iz sustava naboja stvorenog tim poljem. Imajući to na umu, elektromagnetsko zračenje može se podijeliti u dvije skupine: prirodno i tehničko zračenje.

Prirodno zračenje uključuje:

- Zemljino magnetsko polje (cca. 45  $\mu\text{T}$ ),
- neutralno električno zračno polje,
- Zemljina rezonantna frekvencija (približno 10 Hz),
- promjenjivo atmosfersko polje (0 - 30 Hz),
- radio valovi od sunca i svemira,
- infracrveno zračenje,
- svjetlosno zračenje,
- Rendgensko i gama zračenje i
- radijacijske čestice.

U svakodnevnoj komunikaciji pojam elektromagnetsko zračenje odnosi se na tehnički proizvedenu električnu energiju i magnetska polja.

Glavni izvori tehničkog zračenja su:

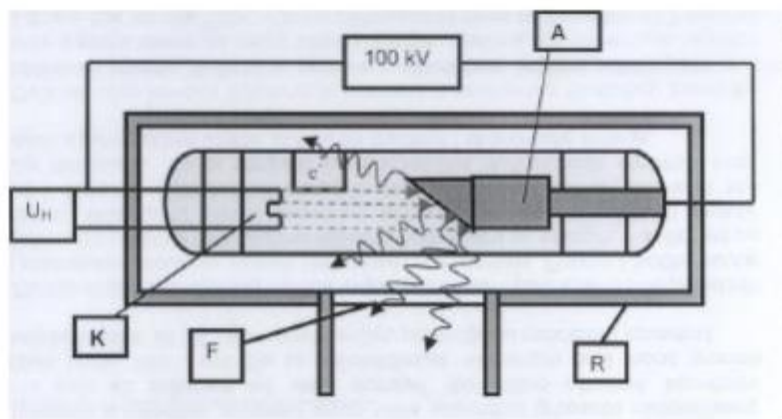
- elektrostatička polja,
- elektrane i uređaji,
- radijski i televizijski odašiljači,
- električni uređaji u industriji i kućanstvu,
- željeznička i tramvajska električna mreža,
- telekomunikacijska mreža,
- radarske instalacije,
- infracrveno zračenje,
- ultrazvučno zračenje i
- X-zrake.

U fizici postoji pojam koji jasno definira specifičnosti elektromagnetskog zračenja, tzv. spektar elektromagnetskog zračenja. Ovaj spektar klasificira zračenje prema valnoj duljini ili frekvenciji elektromagnetskih valova u skupine koji imaju slična svojstva.

Sve vrste elektromagnetskog zračenja imaju ista fizička svojstva u smislu divergencije, interferencije, spajanja i polarizacije, a razlikuju se po količini energije. Vidljivo je stoga kako elektromagnetsko zračenje predstavlja specifičnu fizikalnu pojavu koja se konkretno odnosi na područje širenja električnih ali isto tako i magnetskih valova. Riječ je prije svega o ultrasitnim česticama koje se nazivaju fotonima. Ono što je karakteristično za njih je da nemaju masu, a njihova brzina gibanja je poput brzine svjetlosti. Stoga na ovaj način sadržavaju određene količine energije. Iznimno je važno istaknuti kako su elektromagnetski valovi valovi koji predstavljaju tip valova koji pripada elektromagnetskom spektru. U nastavku će se prikazati istaknute vrste ionizirajućeg zračenja. [1,2,6]

### ***2.6.1. Rendgensko zračenje***

X-zrake odnosno rendgensko zračenje predstavlja zračenje koje je slično svjetlosti, no to je zračenje koje ima višu energiju. Strojevi koji su namijenjeni za generiranje x-zraka su strojevi koji imaju vakuumiranu staklenu cijev (slika 3). Na kraju ovih cijevi nalaze se postavljene elektrode, odnosno riječ je o negativnoj katodi i o pozitivnoj anodi. Dalje se na elektrode dovodi vrlo visok raspon koji kao takav može biti čak u rasponu od nekoliko tisuća volti do nekoliko stotina tisuća volti. Sama razlika potencijala tada navedene elektrone nakupljene na katodi dalje ubrzava prema anodi te potom isti udaraju u metalnu ploču s vrlo visokom energijom. Prilikom sudara s metalnom pločom elektrone dalje privlači vrlo pozitivno nabijena jezgra atoma metala. Na ovaj način dolazi do smanjenja energije samog elektrona. Drugim riječima na ovaj način dolazi do emisije x-zraka koje kao takve imaju vrlo veliku moć prodiranja.[1,9]



Slika 3. Rendgenska cijev. [10]

Dijelovi rendgenske cijevi koji su prikazani na slici 3 su:

1. K – katoda
2. A – anoda
3. F – otvor za prolaz zračenja
4. R – rendgensko kućište
5. U<sub>H</sub> – napon grijanja

Navedeno područje spektra se može podijeliti na mekane i na tvrde zrake, a sve ovisno o prodornosti istih. Naglašava se kako gotovo svaka osoba koja je bila izložena navedenom zračenju čak i u kratko vrijeme ekspozicije mora primijeniti zaštitnu pregaču. Iz navedenog je moguće zaključiti o vrlo štetnom djelovanju navedenog. S druge strane rendgensko zračenje smatra se vrlo korisnim za medicinski uvid u neprozirno tijelo ili pak s druge strane uvid u prtljagu u sklopu aerodromske sigurnosti. Na temelju kompjutorske tomografije pomoću x-zraka omogućuje se vrlo detaljna preslika tijela koja omogućuje otkrivanje čak i zloćudnih bolesti.[6]

### 2.6.2. Gama zračenje

Gama zraka predstavlja jedan specifičan paket elektromagnetske energije, odnosno foton. Gama fotoni predstavljaju fotone s najviše energije unutar elektromagnetskog spektra, a navedeno emitiraju jezgre nekih radioaktivnih atoma. Ističe se kako gama fotoni nemaju niti masu, a ni električni naboj. Ono što gama fotoni imaju je vrlo visoka energija, a radi se o energiji koja je otprilike 10 000 puta veća od energije samog fotona i to u vidljivom dijelu elektromagnetskog spektra. Uslijed vrlo visoke energije gama čestice dalje putuju brzinom svjetlosti, a u zraku one mogu prijeći čak na stotine tisuća metara prije nego li dođe do potrošnje energije. Isto tako gama zrake mogu proći kroz nekoliko vrsta materijala uključujući ujedno i ljudsko tkivo. Vrlo gusti materijali kao što je olovo, takvi se materijali koriste pri zaštiti od gama zračenja.

Gama zrake će postojati isključivo dok ima energije. Onda kada potroše svoju energiju, neovisno radi li se o zraku ili pak o čvrstom materijalu prestaju postojati.

Kozmičko gama zračenje, riječ je o zračenju koje ima vrlo visoku energiju. Upravo stoga se takvo zračenje može koristiti u energetici te u području zdravstva. Iznimno je potrebno istaknuti dva krajnje suprotstavljena gledišta. Vrlo velik broj ljudi smatra kako gama zračenje nuklearnih postrojenja predstavlja neprihvatljiv rizik kako za zdravlje tako ujedno i za okoliš. S druge pak strane, prilikom dijagnosticiranja tumora, ljudi se izlažu upravo navedenom zračenju unutar medicinske ustanove. [2,11]

## 3. MJERENJE I DETEKTIRANJE ZRAČENJA

U nastavku se navode fizikalne veličine i mjerne jedinice za mjerenje i detekciju zračenja kao ujedno i uređaji koji se koriste pri mjerenju i detektiranju zračenja.

### 3.1. Fizikalne veličine i mjerne jedinice

Na temelju Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja dolazi do definiranja temeljnih pojmova i mjerenih jedinica. Jakost električnog polja (E) unutar određene točke prostora može se definirati kao sila na jediničanelektrični naboj u navedenoj točki.[29] Sama jakost električnog polja predstavlja vektorsku veličinu koja se izražava u voltima po metru (V/m).Jakost magnetskog polja (H) predstavlja polje koje se može definirati silom na naboj u samom gibanju. Riječ je o vektorskoj veličini koja se izražava u A/m. Elektromagnetsko polječini vremenski promjenjiva električna i magnetska polja koja imaju frekvenciju do 300 GHz. Gustoće toka snage (S) predstavlja omjer snage te površine koja je okomita na smjer širenjaelektromagnetskog vala, a ona se izražava u vatima po metru kvadratnom ( $W/m^2$ ).[10]Slijedeća je stavka specifična gustoća apsorbiranesnage (SAR). Ovdje se radi o mjeri kojom se mjeri brzina apsorbirane energije i to prema jedinicama biološkog tkiva. Ona se izražava u vatima po kilogramu (W/kg). Specifična gustoća apsorbirane snage se koristi kao temeljna veličina unutar frekvencijskog područja koje je od 100 kHz do 10 GHz.

Područje povećane osjetljivosti, ovdje se podrazumijevaju sve zgrade koje imaju stambenu i poslovnu namjenu, odnosno radi se o školama, o ustanovama za predškolski odgoj, rodilištima, bolnicama, domovima za starije inemoćne, dječjim igralištima te turističkim objektima. Javna područja predstavljaju mjesta koja se odnose na urbana, odnosno ruralna područja na kojima nije ograničen slobodan pristup populaciji, a kao takva nisu u području povećane osjetljivosti, odnosno u području profesionalne izloženosti. Područje profesionalne izloženosti, riječ je o područjima u kojima radnik koji obavlja poslove koji se vežu za izvore elektromagnetskih polja može biti izložen elektromagnetskim poljima i to 40 sati tjedno prilikom čega je radnik upoznat s činjenicom izlaganja, a sama izloženost se kontrolira. [10]

Kada govorimo o mjerenju, naglašava se kako je za potrebe Europske komisije došlo do izrađivanja čak više od 130 pravilnika, zakona, različitih preporuka, koje su usmjerene na provođenje kontroliranja i regulacije područja zaštite od elektromagnetskih polja, a koje su usvojene od strane samih članica. U samom pogledu na konkretno mjerenje izloženosti koje se odnosi na elektromagnetska polja koja primjerice potiču od strane radijskih postaja, Pravilnikom se određuju zapravo tri grupe izloženosti, a radi se o području povećane osjetljivosti, javnom području i području profesionalne izloženosti.

Kako bi se prikazale granične razine izloženosti elektromagnetskog polja prikazat će se primjer granične vrijednosti na području profesionalne izloženosti kada je u pitanju radijska postaja. Na slijedećem tabličnom prikazu (tablica 1) su prikazane vrijednosti koje se ne smiju prijeći. [12]

Tablica 1. Prikaz granične razine na području profesionalne izloženosti.[13]

Frekvencija (kHz, MHz, GHz)	f	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage (ekvivalent ravnog vala) S (W/m <sup>2</sup> )
100-150 kHz		170	800 / f	10 <sup>3</sup> /f	-
0,15-1 MHz		170	1,6 / f	2/f	-
1-10 MHz		170	1,6 / f	2/f	-
10-400 MHz		54	0,14	0,18	7,77
400-2000 MHz		2,7xf <sup>1/2</sup>	7,2 x 10 <sup>-3</sup> f <sup>1/2</sup>	10 <sup>-2</sup> xf <sup>1/2</sup>	1,9x10 <sup>-3</sup> xf
2-10 GHz		121	0,32	0,4	38,8
10-300 GHz		121	0,32	0,4	38,8

### 3.2. Uređaji za mjerenje zračenja

Uređaji za mjerenje zračenja mogu se razvrstati u tri različite skupine: dozimetri, detektori i vizualizatori tragova.

**Dozimetri** su uređaji kojima se mjeri energija odnosno doza koju je neka vrsta zračenja predala tvari. Uređajima kao što su dozimetri pripada radiografski stroj pomoću kojeg se mjeri zacrnjenje koje je uzrokovano zračenjem, zatim ionizacijskim komorama kojima se mjeri jakost ionizacijske struje ili električno pražnjenje, te luminiscentni slojevi na kojima se mjeri jakost svijetla uzrokovano zračenjem.

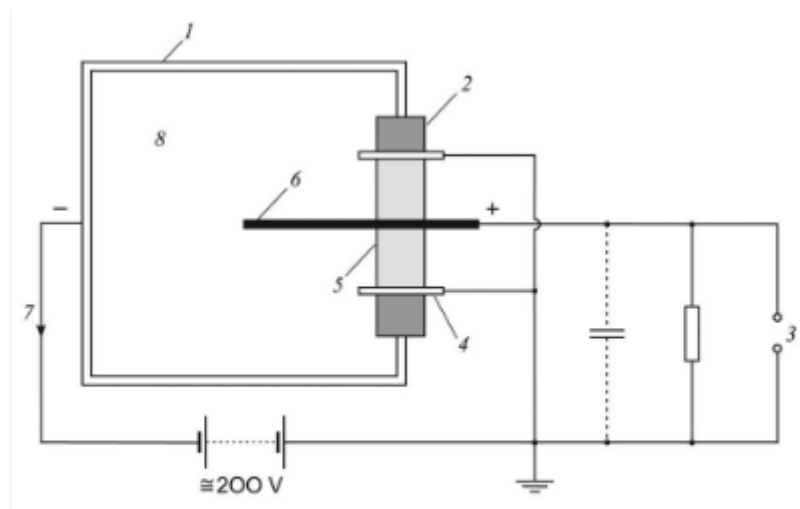
**Detektorisu** uređaji pomoću kojih se registriraju brojne naelektrizirane čestice, primjerice gama zračenje. Primjer takvih uređaja su Geiger- Mullerov brojač, poluvodički brojač, te scintilacijski brojač. Suvremeni brojači istovremeno mjere s više mjernih kanala i više detektora, stoga se prostorni raspored radioaktivne tvari u nekoj drugoj može odrediti vrlo precizno.

**Vizualizatori tragova** su uređaji pomoću kojih se na temelju međudjelovanja mogu trajno ili privremeno predvidjeti tragovi fotona ili čestica u nekoj tvari. Jedni od primjera takvih uređaja su upravo radiografski sloj i Wilsonovamaglena komora. Primjenjuju se prvenstveno u znanstvenim istraživanjima gdje se prilikom promatranja i mjerenja tragova fotona i čestica mogu saznati veliki broj njihovih svojstva.[2]

### 3.2.1. Ionizacijska komora

Ionizacijska komora (slika 4) služi kao detektor za mjerenje intenziteta i otkrivanje ionizirajućeg zračenja. Glavni dijelovi ionizacijske komore su zatvorena cilindrična komora u kojoj se nalazi plin pod određenim tlakom te dvije elektrode s različitim potencijalima.

Ionizacijska komora je jedan od prvih detektora ionizirajućeg zračenja, kod kojeg se načelo detekcije zasniva na sabiranju ionskih parova nastalih u plinu električkog polja komore. Prolaskom fotona ili nabijene čestice dovoljne količine energije kroz komoru, pobuđuju se molekule plina uzduž staze čestice. Prilikom ionizacije neutralne molekule nastaju slobodni elektroni i pozitivni ioni, koje se nazivaju ionska para. Iz nastalih ionskih para stvara se strujni signal koji se dalje može oblikovati u izlazni signal razmjern intenzitetu upadnog zračenja. [14]

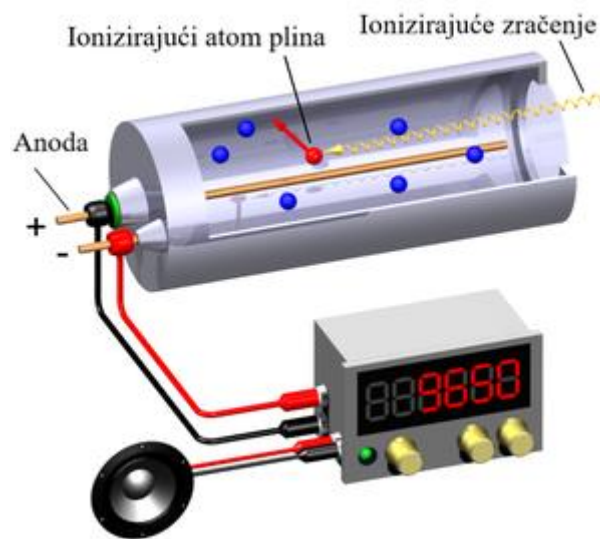


IONIZACIJSKA KOMORA, cilindrična komora (katoda), 2. vanjski izolator, 3. izlaz u pojačalo, 4. zaštitni prsten, 5. unutrašnji izolator, 6. anoda, 7. struja, 8. plin

Slika 4. Ionizacijska komora. [14]

### 3.2.2. Geiger-Mullerov brojač

Geiger- Mullerov brojač (slika 5) je uređaj koji služi za detekciju ionizirajućeg zračenja, tj. za brojanje prolaza ionizirajućih čestica ili fotona izveden u obliku elektronske cijevi. Najvažniji dio brojača je bakrena cijev ispunjena plinom (npr. neon ili argon) pod niskim tlakom i unutar koje se nalazi pozitivno nabijena žica. Katoda je plašt cijevi koji je negativno nabijen, dok je anoda tanka metalna žica koja prolazi kroz os cijevi. Kada dođe do ulaska zračenja kroz otvor tada dolazi do ionizacije plina, pa unutar cijevi nastaje struja od pozitivno nabijenih iona i izbačenih elektrona. Ioni se gibaju ubrzano prema katodi, dok se elektroni ubrzano gibaju prema anodi i pritom u plinu uzrokuju ionizacijsku lavinu. Time nakratko zatvaramo strujni krug dok se na otporniku u vanjskom dijelu kruga stvara naponski impuls. Ti se impulsi odbrojavaju u električnom brojaču. [4]



Slika 5. Geiger-Mullerov brojač [4]

## 4. DJELOVANJE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE NA OKOLIŠ I ČOVJEKA

### 4.1. Utjecaj zračenja na okoliš

Elektromagnetsko zračenje kao elektromagnetsko onečišćenje, utječe na različite elemente okoliša. Među elementima tog okoliša na prvo mjesto stavljamo sve žive organizme. 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 opisati svojim fizičkim parametrima kao što su: električni, magnetski, elektromagnetski, frekvencija i intenzitet.

Elektronički uređaji poput pametnih telefona, tableta, mikrovalnih pećnica, radija i televizora 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, magnetskih za transformatore, ili elektromagnetskih za antene) i zračenja puno nižih frekvencija, ali jačih intenziteta.[15]

Velik dio ekosustava oslanja se na rast biljaka, biljke su glavni proizvođači kisika i organskih spojeva. Stoga je osiguravanje zdravlja biljaka od vitalnog značaja. S obzirom da elektromagnetsko zračenje izaziva niz štetnih efekata što po zdravlje ljudi, tako i na sam razvoj biljaka, upravo iz tog razloga brojna istraživanja pokušavaju dokazati koliko je EM zračenje štetno za biljke. Jedno od istraživanja provedeno je na biljkama bosiljka, svrha eksperimenta bila je otkriti utječe li EM zračenje iz elektronike na rast biljaka. Biljke izložene EM zračenju bile su više, tanje i puno svjetlije zelene nijanse u usporedbi s neeksponiranim biljkama. Uz pomoć ovog eksperimenta mogu se vidjeti i proučavati učinci EM zračenja na rast organizama.[16]

Prema Europskoj komisiji izvori neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja mogu se klasificirati kao [15]:

- radiofrekvencijska polja (RF polja),
- polja srednje frekvencije (IF polja),
- polja ekstremno niske frekvencije (ELF polja) i
- statička polja.

Različite vrste elektromagnetskih polja i/ili elektromagnetskog zračenja odgovorne su za različite vrste fenomena koji se mogu uočiti kao rezultat izloženosti zračenju.

Na primjer, mikrovalno zračenje visoke energije na frekvencijama od 300 MHz do 300 GHz može biti kancerogeno i izazvati 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. Takva

elektromagnetska polja koja karakteriziraju frekvencije polja od 50 Hz ili 60 Hz su kvazistacionarna i njihove dvije komponente polja (električna i magnetska) mogu se smatrati odvojenima.

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, a ponekad i neutralan utjecaj elektromagnetskih polja i/ili elektromagnetskog zračenja. [15]

Iz tih razloga u posljednjim se desetljećima može uočiti značajan porast znanstvenih istraživačkih napora u smislu 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 (eng. *World Health Organization*) koja je 2007. godine predstavila zbirno izvješće međunarodnog istraživačkog programa pod nazivom Elektromagnetska polja. U tom je programu pregledano više od 1100 različitih znanstvenih publikacija i istraživačkih izvješća. U dijelu izvješća posvećenom učincima niskofrekventnih magnetskih polja od 50 Hz i 60 Hz navedeno je da nema čvrste osnove za pooštavanje strujnih ograničenja za dugotrajnu izloženost ovim poljima; međutim, savjetuje se oprez. U svibnju 2011. u Lyonu, Francuska, Međunarodna agencija za istraživanje raka i WHO okvalificirali su elektromagnetska polja radiofrekvencija kao potencijalno povećavanje rizika od razvoja malignog raka mozga, glioma, koji je uglavnom povezan s uporabom mobilnih telefona. [15]

Gore opisani problemi i danas ostaju neriješeni i rezultiraju velikim porastom interesa za sve aspekte elektromagnetskog onečišćenja, a posebno za njegov utjecaj na žive organizme. [15]

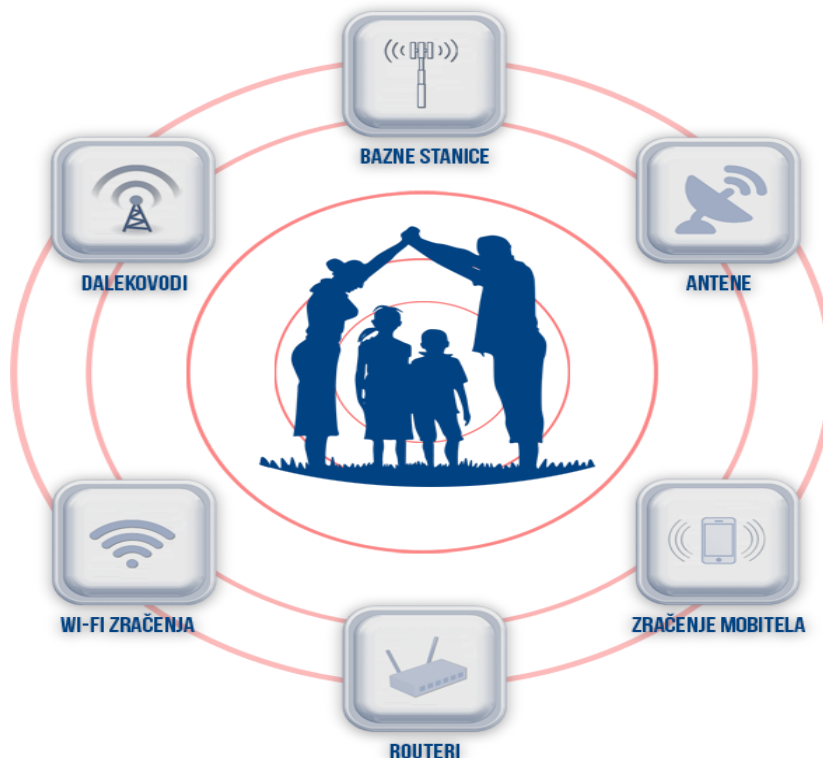


## 4.2. Utjecaj zračenja na čovjeka

### 4.2.1. Neionizirajuće zračenje

Ukoliko bi se usmjerilo na promatranje današnjeg vremena tada je moguće uvidjeti kako je razvoj tehnologija enorman, jednako kao i upotreba mobitela i računala. Upravo stoga dolazi do pojave jakog onečišćenja okoliša koji se događa pod utjecajem elektromagnetskog zračenja koje se naziva elektrosmogom. Navedeni u ljudskom organizmu izazivaju pojavu koja se naziva elektrostresom. Naime, na temelju različitih mikrovalova, odnosno valova koji potječu od same radiofuzije, zemaljske i satelitske televizije, različitih radarskih sustava i uređaja koji se koriste kako u industriji tako i u kućanstvu dolazi do stvaranja elektrosmoga. Navedenom doprinosi i ozonska rupa s obzirom da se upravo kroz nju na zemlju emitiraju ionizirajući te neionizirajući mikrovalovi.

Elektrosmog je takav da obuhvaća sva područja neionizirajućeg zračenja koje se nalazi u elektromagnetskom spektru. Klasičan primjer ovakvih izvora su satelitski toranj, električne željeznice, mobilne radioveze i slično (slika 6). Vrlo izloženi takvim pojavama su adolescenti. Razlog većoj izloženosti leži u činjenici što su njihove kosti daleko tanje nego li kod odraslih. Samim time djeca apsorbiraju veće količine zračenja što može dovesti do određenih tegoba. [17]



Slika 6. Izvori elektromagnetskog zračenja. [18]

Kada se radi o biološkom utjecaju na čovjeka, važno je istaknuti da isti nastaje onda kada se biološka promjena može izmjeriti u biološkom sustavu nakon što je došlo do uvođenja neke vrste podražaja. Samim time promatranje biološkog učinka samo po sebi ne mora na nužan način sugerirati postojanost same biološke opasnosti, odnosno postojanost određenog zdravstvenog učinka.

Sam biološki učinak zapravo postaje sigurnosnom opasnosti samo onda kada navedeno uzrokuje uočljivo narušavanje zdravlja samog pojedinca, odnosno njegova ili pak njezina potomstva. Samim time biološki učinci se stoga mogu promatrati u pogledu fizioloških, biokemijskih ili određenih promjena ponašanja koje su izazvane u samom organizmu, unutar tkiva ili stanica. Može se istaknuti kako sami NIR-ovi (eng. *nearinfraredradiation*) komuniciraju s tkivom stvaranjem topline, opasnosti su u ovisnosti od sposobnosti prodiranja u ljudsko tijelo te apsorpcijskim karakteristikama raznih tkiva. Isto tako još uvijek se može reći kako postoji mnoštvo neizvjesnosti oko same ozbiljnosti učinaka kako akutne tako ujedno i kronične izloženosti razno raznim vrstama NIR-ova. Javnost je prije svega zabrinuta upravo zbog rizika koji se odnosi na ELF-a (eng. *Extremelylowfrequency*), RF-a (radio-frekvencijsko zračenje) i MW-a.(eng.*microwave*). [17]

Ipak, svakako jedan od najvećih rizika za javnost je upravo rizik koji proizlazi iz prirodnog UV zračenja. Naime, ovdje je potrebno istaknuti kako šteta od optičkih zračenja je zapravo ograničena na oko i na kožu pa se samim time može podijeliti u dvije kategorije, a radi se o toplinskim te o fotokemijskim oštećenjima. Iako na ovaj način nema dovoljno energije za proces ioniziranja atoma, navodi se kako pojedinačni fotoni ultraljubičastog zračenja su takvi da mogu na nepovratan način oštetiti tkivo prekidanjem veza unutar molekula DNA i uzrokuju dugoročan rizik od raka, ovu informaciju moramo imati na umu prilikom određivanja izloženosti koja je dopuštena. Samo vidljivo svjetlo i IR (infracrveno zračenje) mogu stvoriti štetu i to samo pomoću multi-fotonskih interakcija koje su visokog intenziteta. Inducirani biološki učinci su u svojoj osnovi jednaki za oboje dok laseri, odnosno prava koherentna svjetlost, sposobni su proizvoditi veće količine zračenja i mogu zagrijati lokalizirane količine tkiva i to na dovoljno visoku temperaturu da isti proizvedu iznimno brze fizičke promjene. [17]

Priroda, opseg i fiziološka važnost bioloških učinaka izlaganja u ovisnosti je od brojnih čimbenika kao što je primjerice energija upadajućeg zračenja, gustoća snage jednog polja, snopa i slično. Ovisnost je ujedno i od samog trajanja izloženosti, uvjeta okoliša, prostorne orijentacije i bioloških značajki ozračenih tkiva. Donje polje frekvencije, odnosno od 300 Hz pa sve do 1 MHz navodi se kako indukcijske struje mogu ometati rad središnjeg živčanog sustava. Rasponi srednjih frekvencija, odnosno raspon od 100 kHz do 10 GHz, dolazi do apsorpiranja EMF koji generira toplinu.

Na samom gornjem području frekvencija, odnosno do 10 GHz pa sve do 300 GHz moguće je zagrijavanje površinskih tokova. Tako je opće poznato kako osim za optičko zračenje ovdje ujedno postoje i rijetki podaci koji se odnose na kvantitativne odnose i to između izloženosti razno raznim vrstama NIR-a te patoloških reakcija kod ljudi. Isto tako navodi se kako sami biološki učinci kao rezultat zagrijavanja tkiva RF zračenjem se ujedno nazivaju i „toplinskim“ efektima.

Uočljivo je kako samo tijelo ima učinkovite načine kojima regulira temperaturu, no ukoliko je izlaganje preintenzivno, tijelo se više ne može snaći. Iznimno velik dio trenutne rasprave stoga se odnosi na vrlo nisku razinu izloženosti RF zračenju primjerice mobilnih telefona te baznih stanica koje su usmjerene na proizvodnju „netermalnih“ učinaka. Upravo stoga neki eksperimenti će sugerirati kako mogu postojati biološki učinci koji su na razini ne

termalneizloženosti, no ipak dokazi koji se odnose na stvaranje opasnosti po zdravlje proturječni su te su stoga i nedokazani. Sama znanstvena zajednica skupa s međunarodnim tijelima priznaje kako je potrebno provesti daljnja istraživanja kako bi došlo do poboljšanja cjelokupnog razumijevanja unutar nekih područja. [17]

Dugotrajno izlaganje ljudi UV zračenju može rezultirati različitim akutnim te kroničnim zdravstvenim učincima. Učinci se očituju na koži, ali isto tako i oko imunološkog sustava. Tu su opekline od sunca te preplanulost kao najpoznatiji akutni učinci prekomjerne izloženosti UV zračenju. Dugoročni učinciprouzrokuju degenerativne promjene koje su izazvane upravo UV zračenjem i to u stanicama, u krvnim žilama, u vlaknastom tkivu. Sve navedeno dovodi do preranog starenja kože.

Isto tako ističe se kako UV zračenje može izazvati upalne reakcije oka kao što je primjerice fotokeratitis. Kronični učinci uključuju dva temeljna javnozdravstvena problema, a radi se o raku kože i mreni. Isto tako sve veći broj dokaza ujedno sugerira kako razina UV zračenja u okolišu može povećati rizik od zaraznih bolesti, može ograničiti učinkovitost samog cijepljenja. Iz tog razloga nužno su i hitno potrebni programi koji se odnose na zaštitu od sunca kako bi došlo do povećanja svijesti o zdravstvenim problemima. [17]

Iznimna pažnja posvećena je radiofrekventnim te mikrovalnim RF zračenjima, odnosno zračenja koja se prenose s baznih stanica te s mobilnih telefona. Tipična mjesta na kojima je javnost izložena se nalaze na razini tla, no isto tako u zgradama ispod antena, odnosno u zgradama koje su okrenute prema antenama. NRPB (eng. *National Radiological Protection Board*) je u tom pogledu izvršio mjerenja koja se odnose na razinu izloženosti na javno dostupnim mjestima, odnosno oko baznih stanica. Tako je primjerice jedna studija izvijestila o mjerenjima koja su provedena na ukupno 118 lokacija i to s čak 17 različitih mjesta baznih stanica. U tom pogledu utvrđeno je kako prosječna izloženost iznosila čak 0,00002% ICNIRP-ovih (eng. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) smjernica za javnu izloženosti. Ono što je potrebno istaknuti je kako niti na jednom mjestu nije došlo do utvrđivanja izloženosti koja je veća od 0,02%. [17]

Maksimalna izloženost je iznosila  $0,0083 \text{ mWcm}^{-2}$  i to na igralištu 60 metara od školske zgrade s antenom na krovu. Tipična gustoća snage je bila manja od  $0,001 \text{ mWcm}^{-2}$ , odnosno manje od 0,01% ICNIRP-ovih smjernica za javno izlaganje. Same gustoće snage unutar zatvorenog prostora su bile značajno manje od gustoće snage na otvorenom prostoru. Ukoliko se tako uzme u obzir RF zračenje apsolutno svih izvora kao što su mobilni telefon, FM radio, TV i ostalo navodi sekako maksimalna gustoća snage na bilo kojem mjestu je bila manja od 0,2% ICNIRP-ovih smjernica za javno izlaganje. [17]

Sam mobitel emitira RF zračenje koje je u svim smjerovima, a njegov je dio usmjeren na samo tijelo što bi značilo kako isti ne radi s fiksnom izlaznom snagom kada dođe do upućivanja poziva. Same maksimalne izlazne snage GSM telefona koji rade na području frekvencije 900 MHz i 1800 MHz su 2W, odnosno 1W, no isto tako tijekom poziva mogu smanjiti sam faktor na 1000.

Izloženost ujedno može nastati i kod kuće, odnosno na poslu, školi, a mjeri se osobnim nadzorom, odnosno nadziranjem okoliša. Električna polja ovise od veličine napona te udaljenosti od izvora. Općenito gledano navodi sekako su naponi stabilni, odnosno ostaju isti. Ipak, električna polja na lak način remete brojne zajedničke objekte. Izloženost magnetskim poljima proizlazi iz dalekovoda te upotrebeelektričnih uređaja. Nadalje, ambijentalna polja od opskrbe kuće su uvijek prisutna te izlažu cijelo tijelo dok ona od uređaja s prekidima izlažu dio tijela. Sama jakost magnetskog polja će ovisiti od same veličine struje kao i od udaljenosti uređaja. [17]

#### 4.2.2. Ionizirajuće zračenje

Kao što je već navedeno ionizirajuće zračenje je zračenje koje odaje radioaktivni materija, odnosno visokonaponska opreme, razne nuklearne reakcije. Riječ je o zračenju alfa, beta čestica, x-zraka i gama zračenja. Kada se radi o alfa i beta česticama navodi se kako je riječ o vrlo malim te ujedno brzo pokretnim komadićima atoma koje će radioaktivni atom odati kada se promjeni u neku drugu tvar. Što se tiče x-zraka i gama zraka, one predstavljaju vrstu elektromagnetskog zračenja. Navedene čestice i zrake samog zračenja nose dovoljnu količinu energije da mogu čak izbaciti elektrone iz samog atoma i molekula u koje su pogodili ili su prošli blizu. Ovaj se proces ujedno naziva ionizacijom po čemu i samo zračenje ima ime ionizirajuće zračenje.

Riječ je o zračenju koje putuje brzinom poput brzine svjetlosti, ono pogađa atome te molekule na svome putu i prilikom svakog udarca dolazi do gubitka određene energije. Kada sva ta energija nestane ništa konkretno ne ostaje. Ionizirajuće zračenje ne čini osobu radioaktivnom, nego ono samo ostavlja dio svoje energije unutar iste ili što god drugo da pogodi. Naime, kada ionizirajuće zračenje iz svemira udari u gornji sloj atmosfere jasno je kako će proizvesti pljusak brojnih kozmičkih zraka koje se na neprestan način izlažu svemu na zemlji, primjerice neki udaraju u plinove u zraku te ih pretvaraju u radioaktivni materijal, kao što je tricij ili ugljik 14. ostali radioaktivni materijali predstavljaju prirodni dio okoliša poput urana koji proizlazi od nastanka zemlje. Ostaliradioaktivni materijali se proizvode od industrije za detekciju dima, medicinskih uređaja i drugih svrha. Radioaktivni materijali s vremenom odaju svoje vlastito ionizirajuće zračenje i to sve dok radioaktivni atomi u konačnici ne propadnu. Primjerice, u svakom trenutku kada radioaktivni materijal uđe unutar okoliša, on se ponaša poput drugih tvari i to na način da pokušava dospjeti u zrak, u vodu, tlo, životinje i biljke, a istovremeno odaje i zračenje. Dio ionizirajućeg zračenja se proizvodi na zahtjev, odnosno kada liječnici upotrebljavaju x zrake. [17,19]

Ljudi su izloženi različitim vrstama i razinama ionizirajućeg zračenja. Može se navesti zračenje Sunca, tla, prirodnih izvora u samom tijelu, potrošačkim proizvodima, radioaktivnim materijalima koji se ispuštaju iz bolnica, nuklearnih elektrana i drugo. Svakako je potrebno istaknuti kako su navedenom zračenju ipak više izložene osobe kao što su piloti, astronauti, radnici u nuklearnim elektranama, rendgensko ili medicinsko osoblje. Svaki čovjek dodatno izlaganje dobiva upravo sa svakim rendgenskim pregledom ili nekim testom nuklearne medicine, a sam iznos je u ovisnosti od vrste i od broja pretraga.

Kada je riječ o ionizirajućem zračenju iz okoliša, nije dokazano kako izloženost utječe na ljudsko zdravlje. S druge strane izlaganje iznimno velikim dozama ionizirajućeg zračenja u konačnici može rezultirati vrlo velikim opeklinama na samoj koži, gubitkom kose, urođenim manama, bolestima, mučninom pa čak i smrću. Konkretna način na koji će utjecati je u ovisnosti od toga koliko soba tog istog ionizirajućeg zračenja primi i tijekom kojeg vremenskog razdoblja, kao i od osobnih čimbenike poput primjerice spola, dobi, prehrambenog statusa, zdravstvenog statusa u trenutku izloženosti. Samo povećanje doze jasno će rezultirati i težim učincima. Tako primjerice se pokazao povećan psihološki stres kod velike većine populacije koji su izloženi manjim dozama zračenja od nuklearnih nesreća. [17]

Izloženost ovoj vrsti zračenja može povećati ujedno i šanse za samo obolijevanje od raka. Jednako kao i kod svih ostalih učinaka na zdravlje, jasno je kako će vjerojatnost da osoba oboli od maligne bolesti biti u ovisnosti od same količine ionizirajućeg zračenja, dobi kada je navedena izložena, no ujedno i vrsti samog karcinoma.

Jednako poput odraslih, djeca su izložena manjim količinama ionizirajućeg zračenja s obzirom da ona dolaze iz tla na kojem navedena žive, hrane se, piju vodu, udišu zrak. Do sada nema nikakvih dokaza kako izlaganje normalnoj razini ionizirajućeg zračenja ima utjecaja na odrasle ili na djecu. Primjerice, ukoliko je trudnica izložena velikoj razini ionizirajućeg zračenja javlja se mogućnost da se dijete rodi s određenim abnormalnostima u mozgu. Isto tako postoji razdoblje od 8 tjedana tijekom rane trudnoće kada je dijete na poseban način osjetljivo na učinke samog ionizirajućeg zračenja iznad normalne. Kako se sama razina ionizirajućeg zračenja povećava ujedno dolazi i do rasta šanse za potencijalne abnormalnosti u mozgu. [17]

Potrebno je istaknuti kako postoje različite vrste testova koji se upotrebljavaju kako bi se uvidjelo je li osoba u konačnici bila izložena visokim dozama ionizirajućeg zračenja. Jedan od testova kojim se navedeno može ispitati su promjene u broju krvnih stranica, no svakako da će izlaganje u vrlo visokoj razini ujedno proizvesti i promjene u broju krvnih stanica. Drugi test je test kojim se proučavaju kromosomi. Isti se koristi za doze nekoliko puta veće od najveće dopuštene vrijednosti. Vidljivo je stoga kako postoji mnogo načina kojima se može provjeriti je li u tijelu postoje radioaktivni materijalni. Oni se mogu mjeriti u krvi, u slini, mokraći te cijelom tijelu pomoću specijaliziranih instrumenata koji će se birati na temelju vrste zračenja koje se mjeri. [17]

## 5. Načini zaštite od zračenja te sigurnost radnika

Kada govorimo o načinima zaštite od zračenja, tada istu možemo svrstati u tri skupine, a to su: dovoljna udaljenost od izvora što znači da se doza zračenja drastično smanjuje što većim udaljavanjem od izvora, zatim što kraće izlaganje izvoru zračenja pod čime mislimo na osobe koje su uz svakodnevne prirodne izvore zračenja izloženi i dodatnim izvorima zračenja, dakle ograničavanje trajanja izloženosti zračenju smanjit će dozu zračenja.

Pod treću skupinu zaštite od zračenja ubraja se korištenje štita, odnosno barijere od betona, olova i vode koja pružaju dobru zaštitu od gama zračenja. Upravo iz tog razloga se neki radioaktivni materijali spremaju pod vodom ili se njima rukuje pod vodom. Također postoje posebni plastični štitovi koji služe kako bi zaustavili beta čestice, dok sloj zraka zaustavlja alfa čestice. Postavljanjem dodatnog štita između izvora zračenja i ljudi može se uvelike smanjiti doza zračenja. [4]

Kako bi se radnici što je više moguće zaštitili od zračenja postoje temeljni akti zakonodavne zaštite od ionizirajućeg zračenja u Republici Hrvatskoj, a to su:

- Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja (NN 64/2006) [20],
- Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13) [21],
- Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18) [22],
- Pravilnik o stručnjacima za zaštitu od ionizirajućeg zračenja (NN 36/18) [23],
- Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za radu području izloženosti (NN 66/18) [24],
- Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te postupanjima u slučaju izvanrednog događaja (NN 24/18) [25],
- Pravilnik o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja, primjenu mjera radiološke sigurnosti i upravljanje tehničkim procesima u nuklearnim postrojenjima (NN 42/18) [26],
- Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom dozom ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja (NN 38/18) [27] i
- Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i medicinskog ozračenja (NN 42/18) [28].

Nadalje, kada se govori o osnovnim zahtjevima zaštite ljudi od elektromagnetskog zračenja govori se o zadovoljavanju temeljnih ograničenja. U svrhu smanjenja rizika od štetnih posljedica uzrokovanih elektromagnetskim zračenjem postoje zaštitne norme regulirane državnim i međunarodnim preporukama. Najšire prihvaćene međunarodne sigurnosne norme izdalo je međunarodno udruženje, *Institute of Electrical and Electronics Engineers i International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*, oba pravilnika propisuju granične vrijednosti iznad kojih se ne smije izložiti zračenjima.

Granice izlaganja temelje se na kratkotrajnim dokaznim štetnim učincima kojima je tijelo izloženo prilikom zračenja, kao što je primjerice stimulacija električno podražljivih stanica, te zagrijavanja tkiva svih vrsta. Polazi se od toga da postoji dio populacije koji je osjetljiviji na elektromagnetska zračenja, u tu skupinu spadaju djeca, trudnice, bolesni i osobe starije životne dobi. Profesionalna izloženost elektromagnetskom zračenju definira se kao izlaganje istom u svrhu svakodnevnog posla, gdje radnici moraju biti podvrgnuti redovitim zdravstvenim pregledima. [4]

## 6. ZAKLJUČAK

Elektromagnetsko zračenje je tip zračenja koje obuhvaća elektromagnetske valove svih duljina te se dijeli na ionizirajuće i neionizirajuće. Riječ je tako o infracrvenom zračenju, ultraljubičastom zračenju, rendgenskom zračenju te gama-zračenju.

Posljedice elektromagnetskog zračenja najčešće su po okoliš i čovjeka. Ukoliko bi se usmjerilo na promatranje današnjeg vremena tada je moguće uvidjeti kako je razvoj tehnologija veliki, jednako kao i upotreba mobitela i računala. Upravo stoga dolazi do pojave jakog onečišćenja okoliša koji se događa pod utjecajem elektromagnetskog zračenja koje se naziva elektrosmogom. Elektrosmogu ljudskom organizmu izaziva pojavu koja se naziva elektrostresom.

Elektromagnetsko zračenje kao elektromagnetsko onečišćenje, utječe na različite elemente okoliša, među elementima tog okoliša na prvo mjesto stavljaju se svi živi organizmi. Svakodnevno su živi organizmi izloženi različitim vrstama elektromagnetskog onečišćenja.

## 7. LITERATURA

- 1) Christensen D. M., Iddins C. J.; Sugarman, S. L.: Ionizing radiation injuries and illnesses, Emergency Medicine Clinics of North America, 2014 32 (1) 245–65.
- 2) Jakobović Z.: Ionizirajuće zračenje i čovjek, Školska knjiga, Zagreb, 1991.
- 3) Vujnovac V., Utjecaj neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, diplomski rad, 2012.
- 4) Besednik M., Priručnik za zaštitu od zračenja, Veleučilište u Karlovcu, završni rad, 2020.
- 5) <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/6b9de2eb-c6d7-412b-8afc-c0820325b64d/razlaganje-svjetlosti.html> (7.9.2022.)
- 6) Janković S., Eterović D.: Fizikalne osnove i klinički aspekti medicinske dijagnostike, Medicinska naklada, Zagreb, 2002.
- 7) Beiser A., Krauskopf B.K.: The physical Universe, eleventh edition, The McGraw-Hill Companies, Inc. 2006.
- 8) <https://www.slideserve.com/samuel-buck/spektar-elektromagnetskog-zračenja> (7.9.2022.)
- 9) Novaković M.: Zaštita od ionizirajućih zračenja: propisi u Republici Hrvatskoj s komentarima, Ekoteh-dozimetrija, Zagreb, 2001.
- 10) [https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2015/kontrola\\_spektra/VL-KS-UP-INTS-Uputa%20za%20mjerenje%20EMP%20za%20web-20150310.pdf?vel=3053282](https://www.hakom.hr/UserDocsImages/2015/kontrola_spektra/VL-KS-UP-INTS-Uputa%20za%20mjerenje%20EMP%20za%20web-20150310.pdf?vel=3053282) (7.9.2022.)
- 11) Hebrang A., Klarić-Čustović R.: Radiologija, Medicinska naklada, Zagreb, 2007
- 12) <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/fa4cd5a4-17e1-47c2-a2db-545721e1cce5/elektromagnetski-val.html> (7.9.2022.)
- 13) <https://mjerenjestetnihzračenja.com/> (7.9.2022.)
- 14) <https://cmo.hr/neionizirajuće-zračenje/> (7.9.2022.)
- 15) Redlarski G., Lewczuk B., Žak A., Koncicki A., Krawczuk M., Piechocki J., Jakubiuk K., Tojza P., Jacek J., Ambroziak D., Skarbek L., Gradolewski D.: The Influence of Electromagnetic Pollution on Living Organisms: Historical Trends and Forecasting Changes, BioMed Research International 2015 1-18.
- 16) Mahadevan A., Young G.: Electromagnetic Radiation From Electronics Does Affect Plant Growth, Journal of Emerging Investigators 2020 3 1-4.
- 17) [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/67989/1/Ablieieva\\_lecture\\_notes.pdf?jsessionid=83C4A19DC9621E1CB80CBDBF68664FFC](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/67989/1/Ablieieva_lecture_notes.pdf?jsessionid=83C4A19DC9621E1CB80CBDBF68664FFC) (7.9.2022.)
- 18) <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27753> (7.9.2022.)
- 19) Bolf N.: Ionizirajuće zračenje, Kemija u Industriji 2018 67 (7-8) 331-332.
- 20) Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja, NN 64/2006
- 21) Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti, NN 141/2013
- 22) Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, NN 53/2018
- 23) Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad u području izloženosti, NN 66/2018
- 24) Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad u području izloženosti, NN 66/2018



- 25) Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te postupanjima u slučaju izvanrednog događaja, NN 24/2018
- 26) Pravilnik o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja, primjenu mjera radiološke sigurnosti i upravljanje tehničkim procesima u nuklearnim postrojenjima, NN 42/2018
- 27) Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom doznom ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja, NN 38/2018
- 28) Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja, NN 42/2018
- 29) Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja NN 146/2014

# ŽIVOTOPIS

## OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Matea Brabenec

Datum i mjesto rođenja: 15. travnja 1999., Sisak

Adresa: Staro Pračno 100A, 44000 Sisak

Telefon: 099/634-87-44

E-mail: matea.brabenec12@gmail.com

## OBRAZOVANJE:

2006-2014– Osnovna škola „Braća Ribar“ Sisak

2014-2018– Tehnička škola Sisak, ekološki tehničar

2019.-2022. - Metalurški fakultet Sisak, preddiplomski sveučilišni studij Sigurnost, zdravlje na radu i radni okoliš.

## VJEŠTINE:

Rad na računalu

Strani jezik: Engleski

Vozački ispit – B kategorija