

# UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE

---

Štulec, Ana

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2023

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:128:607200>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**



**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  
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Ana Štulec

# **UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE**

DIPLOMSKI RAD

Karlovac, 2023.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Graduate study of Safety and Protection

Ana Štulec

# **EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION AND RADIATION**

FINAL PAPER

Karlovac, 2023.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni diplomski studij Sigurnost i zaštita

Ana Štulec

# **UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA I RADIJACIJE**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: dr. sc. Slaven Lulić, prof. struč. stud.

Karlovac, 2023.

## PREDGOVOR

*Želim se zahvaliti svome mentoru dr. sc. Slavenu Luliću, prof. struč. stud. na svoj susretljivosti i strpljenju te savjetima i velikoj pomoći tijekom odabira teme i izrade ovog diplomskog rada. Hvala na zanimljivim, motivirajućim i drugačijim predavanjima koje ste mi održali kroz sve godine studiranja. Bilo je lijepo biti Vaš student!*

*Želim se zahvaliti i svojoj obitelji, najmilijima! MAMA i TATA, neizmjereno vam hvala! Uz mene ste u svakom trenutku mog života, puni razumijevanja i strpljenja, uvijek s motivacijom i poticajem za budućnost.*

*I posljednje, ali ne i manje važno. Hvala svoj ekipi koja je tu za mene i uz mene sve ove godine!*

## SAŽETAK

Kako bi se što bolje razumijeli učinci elektrosмога i zaštita od zračenja potrebno je prvo se upoznati za značenjima pojmova radijacije, elektrosмога, radioaktivnosti i ionizacije. Cilj ovoga rada je što bolje prikazati učinak elektrosмога na živa bića te kako se zaštititi od svih vrsta zračenja. Poznato je da se spektar elektromagnetskog zračenja sastoji od zračenja iznimno niskih frekvencija, radiovalova, mikrovalova, infracrvenog zračenja, vidljivog spektra, ultraljubičastog zračenja, rendgenskog zračenja, gama zračenja te čestičnog zračenja. Danas je dobro poznato da zračenja imaju učinak na živa bića, tako izlaganje iznimno niskofrekventnim zračenjima, radiovalovima i mikrovalovima izaziva zagrijavanje tkiva živih bića. Infracrvene zrake u dodiru s tijelom uzrokuju titranje i okretanje atoma i molekula tijela. Vidljiva svjetlost na živa bića utječe promjenom stanja fotona, dok ultraljubičasto zračenje ima štetan utjecaj na živa bića, ali isto tako ovo zračenje se koristi u medicini kao oblik terapije. Ionizacija može uzrokovati ozbiljne biološke i kemijske promjene u tijelu, pa tako primjerice gama zračenje sa sobom nosi teška oštećenja tkiva živih organizama. U organizmu postoje tkiva koja su najosjetljivija na ionizirajuće zračenje, a to su visokoproliferativna tkiva. Temeljem znanstvenih istraživanja donesene su osnovne smjernice i preporuke za zaštitu od zračenja. Kako bi se što bolje provodila zaštita od zračenja u Republici Hrvatskoj postoji mnogo važećih zakona i pravilnika koje je potrebno koristiti i poštivati.

**Ključne riječi:** elektromagnetsko zračenje, radijacija, elektrosmog, izloženost ljudi, onečišćenje

## SUMMARY

### EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION AND RADIATION

In order to better understand the effects of electrosmog and radiation protection, it is necessary to first familiarize yourself with the meanings of the terms radiation, electrosmog, radioactivity and ionization. The aim of this paper is to show as best as possible the effect of electrosmog on living beings and how to protect yourself from all types of radiation. It is known that the spectrum of electromagnetic radiation consists of radiation of extremely low frequencies, radio waves, microwaves, infrared radiation, visible spectrum, ultraviolet radiation, X-ray radiation, gamma radiation and particle radiation. Today, it is well known that radiation has an effect on living beings, so exposure to extremely low-frequency radiation, radio waves and microwaves causes heating of living beings' tissues. In contact with the body, infrared rays cause the atoms and molecules of the body to vibrate and rotate. Visible light affects living beings by changing the photon state, while ultraviolet radiation has a harmful effect on living beings, but this radiation is also used in medicine as a form of therapy. Ionization can cause serious biological and chemical changes in the body, so, for example, gamma radiation causes severe tissue damage to living organisms. In the body, there are tissues that are most sensitive to ionizing radiation, and these are highly proliferative tissues. Based on scientific research, basic guidelines and recommendations for protection against radiation have been adopted. In order to implement radiation protection as well as possible in the Republic of Croatia, there are many valid laws and regulations that must be used and respected.

**Key words:** electromagnetic radiation, radiation, electrosmog, human exposure, pollution

## SADRŽAJ

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA.....	I
PREDGOVOR .....	II
SAŽETAK .....	III
SUMMARY .....	IV
SADRŽAJ .....	V
1. UVOD .....	1
2. NEIONIZIRAJUĆA ZRAČENJA.....	2
2.1. Zračenja iznimno niskih frekvencija.....	2
2.2. Radiovalovi .....	3
2.3. Mikrovalovi .....	3
2.4. Infracrveno zračenje.....	3
2.5. Vidljiva svjetlost.....	4
2.6. Ultraljubičasto zračenje .....	5
3. IONIZIRAJUĆA ZRAČENJA.....	6
3.1. Elektromagnetsko zračenje .....	6
3.1.1. Rendgensko zračenje .....	7
3.1.2. Gama zračenje.....	8
3.2. Čestična zračenja.....	8
3.2.1. Alfa zračenje .....	8
3.2.2. Beta zračenje.....	9
3.2.3. Neutronske zračenje .....	10
4. UČINCI NA ŽIVO BIĆE .....	11
4.1. Učinci neionizirajućeg zračenja na živa bića .....	11
4.1.1. Zračenja iznimno niskih frekvencija, radiovalovi i mikrovalovi.....	11

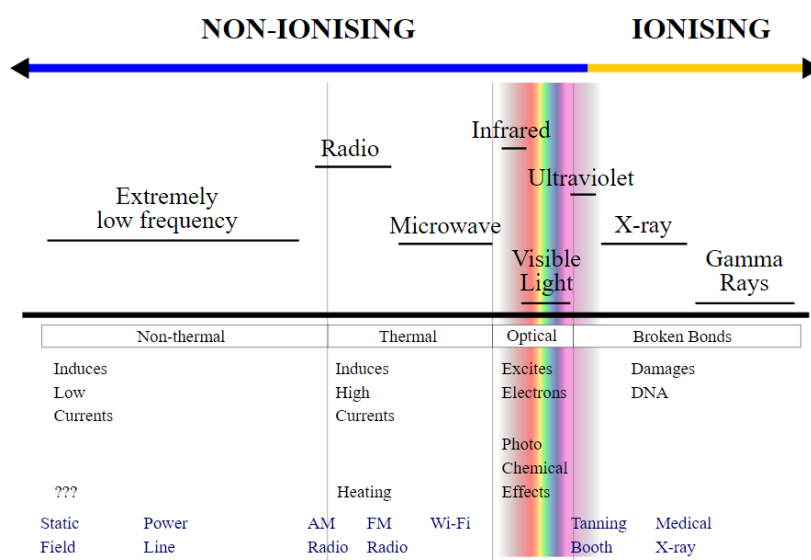


4.1.2. Infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost i ultraljubičasto zračenje.....	13
4.2. Učinci ionizirajućeg zračenja na živa bića .....	14
5. ZAŠTITA.....	17
5.1. Zaštita od neionizirajućeg zračenja .....	18
5.2. Zaštita od ionizirajućeg zračenja .....	20
5.3. Zakoni, pravilnici i norme .....	21
6. ZAKLJUČAK.....	23
7. LITERATURA .....	24
8. POPIS SIMBOLA I KRATICA .....	30
9. POPIS SLIKA .....	31
10. POPIS TABLICA .....	32

# 1. UVOD

U današnje vrijeme prisutna je velika izloženost štetnim utjecajima onečišćenja tla, vode, zraka, raznim herbicidima i pesticidima, kemijskim tvarima, ali i elektromagnetskom zračenju odnosno elektrosmogu. Pojam zračenje odnosno radijacija označava energiju koju prenose elektromagnetski valovi ili čestice koje se gibaju, dok pojam elektrosmog označava sva onečišćenja koja su izazvana električnim i magnetskim poljima nastalim zbog električne opreme, računala, mobilnih i bežičnih telefona, električnih vodova, radara, električnih kućanskih aparata, raznih električnih satova i radioaparata te mikrovalnih pećnica. Cilj ovoga rada je prikazati utjecaj elektrosmoga na živa bića te kako se zaštititi.

Spektar elektromagnetskog zračenja (slika 1) sastoji se od neionizirajućeg i ionizirajućeg zračenja. U neionizirajuća zračenja pripadaju zračenja iznimno niskih frekvencija, radiovalovi, mikrovalovi, infracrveno zračenje, vidljivi spektar odnosno vidljiva svjetlost i ultraljubičasto zračenje. Nadalje, kod ionizirajućeg zračenja postoji podjela na dvije skupine zračenja i to su elektromagnetska zračenja te čestična zračenja. U ionizirajuća elektromagnetska zračenja pripadaju rendgensko i gama zračenje, a u čestična zračenja alfa, beta i neutronska zračenje. Sva ta zračenja su elektromagnetski valovi koji se prostorom šire brzinom svjetlosti  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s. Svako od navedenih zračenja biti će detaljnije objašnjeno u zasebnim poglavljima u nastavku rada.



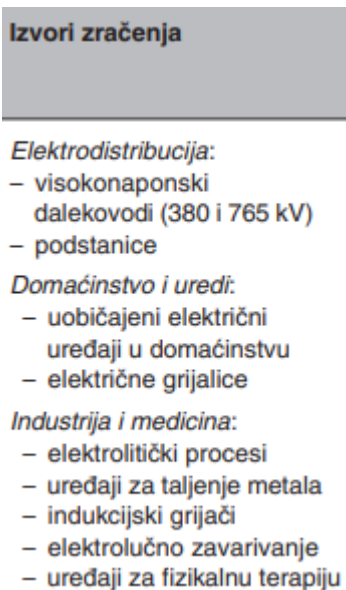
Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja [7]

## 2. NEIONIZIRAJUĆA ZRAČENJA

Kako je ranije navedeno neionizirajuća zračenja su dio spektra elektromagnetskog zračenja, a podijeljena su na zračenja iznimno niskih frekvencija, radiovalove, mikrovalove, infracrveno zračenje, vidljivu svjetlost i ultraljubičasto zračenje. Neionizirajućim zračenjem se smatra svako zračenje koje u interakciji s tkivima ne ionizira molekule i atome.

### 2.1. Zračenja iznimno niskih frekvencija

U zračenja iznimno niskih frekvencija svrstavaju se sva zračenja valnih duljina većih od  $10^3$  metara. Najčešća izloženost ovom zračenju se javlja kod umjetnih izvora koji su najčešće povezani uz proizvodnju, distribuciju i uporabu električne energije. Neki od umjetnih izvora ove vrste zračenja prikazani su na slici 2.



Slika 2. Izvori zračenja iznimno niskih frekvencija [8]

## 2.2. Radiovalovi

Radiovalovi su vrsta elektromagnetskog zračenja koja se nalazi na najnižoj frekvenciji i najduljoj valnoj duljini u elektromagnetskom spektru. Radiovalovi i televizijski valovi pripadaju skupini neionizirajućih zračenja i oni se nalaze u rasponu valnih duljina od nekoliko kilometara do 0,3 metara. Radiovalovi su valovi kojima se služimo u radiokomunikacijama i telekomunikacijama, a njihov izvor su elektronski uređaji, najčešće titrajni krugovi. Također važno je napomenuti da dio radiovalova emitiraju planeti i zvijezde čime svakodnevno takvo zračenje pada na Zemlju iz Svemira.

## 2.3. Mikrovalovi

Svi valovi valnih duljina od 0,3 metra do 1 milimetra označavaju se kao mikrovalovi. Mikrovalovi se primjenjuju kod nekih komunikacijskih sredstava i u radarskoj tehnici, kao bežične mreže i sateliti. Mikrovalni radarski sustavi pružaju informacije o zračnom prometu i vremenskim prilikama te se intenzivno koriste u vojne i policijske svrhe [9]. Frekvencije koje imaju mikrovalovi vrlo su bliske frekvencijama titranja molekula tvari stoga se upotrebljavaju i kod proučavanja i mijenjanja svojstava nekih tvari.

## 2.4. Infracrveno zračenje

Infracrveno zračenje je vrsta elektromagnetskog zračenja koje se nalazi u spektru između vidljive svjetlosti i mikrovalnog zračenja. Infracrveno zračenje karakteriziraju duže valne duljine od vidljive svjetlosti, što znači da ima manju frekvenciju i nižu energiju od svjetlosti koju možemo vidjeti golim okom. Dakle infracrveno zračenje je svako zračenje koje ima valnu duljinu između 1 milimetra i 780 nanometara. Ova vrsta zračenja emitira se i apsorbira iz neke tvari na temelju njihove temperature. Sve tvari s temperaturom iznad apsolutne nule emitiraju infracrveno zračenje, pri čemu više topline znači veću emisiju samog zračenja. Ovo svojstvo omogućuje upotrebu infracrvenog zračenja u industrijama, medicini, nekim granama kemije, biologije i fizike koje se bave proučavanjem molekulske strukture tvari te u astronomiji. Zbog toga što su izvori

infracrvenog zračenja užarena tijela i molekule dio tog zračenja živa bića osjećaju kao toplinu.

## 2.5. Vidljiva svjetlost

Dio elektromagnetskog spektra koji je vidljiv ljudskom oku naziva se vidljivi spektar odnosno vidljiva svjetlost. To je uski raspon elektromagnetskog zračenja koji se doživljava kao boje. Spektar vidljive svjetlosti obuhvaća valne duljine od otprilike 380 nanometara što vidimo kao ljubičasto-plavi kraj spektra pa sve do oko 750 nanometara što vidimo kao crveni kraj spektra. Jedino taj mali dio spektra elektromagnetskog zračenja naziva se svjetlost, a izvor vidljive svjetlosti je omotač atoma. Vidljivo područje bijele svjetlosti sastoji se od nekoliko boja, a one su zajedno sa rasponom valnih duljina prikazane u tablici 1.

Tablica 1. Raspodijela bijele svjetlosti prema rasponu valnih duljina [4]

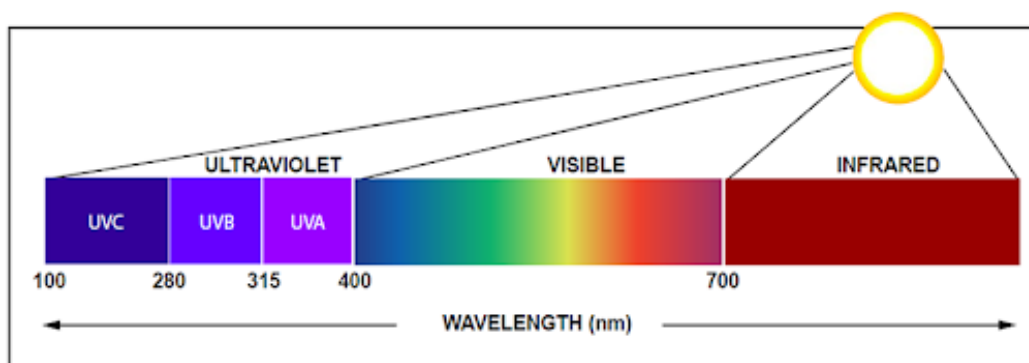
Boja	Valna duljina (nm)
Crvena	640-750
Narančasta	590-640
Žuta	570-590
Zelena	480-570
Plava	430-480
Ljubičasta	380-430

Ljudsko oko nije podjednako osjetljivo na sve boje vidljivog spektra, već je najosjetljivije na žutozelenu svjetlost duljine vala oko 555 nanometara [4]. Valove vidljive svjetlosti u mraku zrači svako tijelo kada se ugrije na temperaturi većoj od 525°C, također važno je napomenuti da su valovi vidljive svjetlosti sadržani i u sunčevoj svjetlosti.

## 2.6. Ultraljubičasto zračenje

Ultraljubičasto odnosno ultravioletno (UV) zračenje je svako zračenje valnih duljina od 15nm do 400nm. Ono se nalazi između vidljive svjetlosti i rendgenskog zračenja odnosno x-zraka. Zbog toga što ima kraću valnu duljinu i višu frekvenciju od vidljive svjetlosti ultraljubičasto zračenje nije vidljivo ljudskom oku. Atomi i molekule zrače ovu vrstu valova. Upotreba ultraljubičastog zračenja je gotovo u svim područjima ljudske djelatnosti, ali važno je napomenuti da zračenje ove vrste ima jako biološko djelovanje.

Ultraljubičasto zračenje podijeljeno je u tri glavne kategorije UVA, UVB i UVC zračenje, a ovisi o valnim duljinama (Slika 3).



Slika 3. Spektar ultraljubičastog zračenja [10]

UVA zračenje ima najdulje valne duljine u ultraljubičastom spektru i ono doseže raspon od 320 do 400 nanometara. Većina UVA zračenja prolazi kroz Zemljinu atmosferu i dopire do površine Zemlje. UVB zračenje ima valne duljine od 280 do 320 nanometara. Manji dio zračenja prolazi kroz Zemljinu atmosferu, a mnogo više tog zračenja ozonski sloj apsorbira. UVC zračenje ima najkraće valne duljine od ova tri zračenja. Njegove valne duljine su od 100 do 280 nanometara. Srećom, većinu UVC zračenja ozonski sloj apsorbira i ono ne doseže površinu Zemlje. UVC zračenje koristi se u industriji i medicini za dezinfekciju, budući da može ubiti ili deaktivirati mikroorganizme poput bakterija i virusa.

### 3. IONIZIRAJUĆA ZRAČENJA

Ionizirajuće zračenje je vrsta zračenja koju karakteriziraju vrlo kratke valne duljine i velike energije te visoke frekvencije. Zbog velike energije ovo zračenje ima sposobnost izbaciti elektrone iz atoma ili molekula, čime se stvaraju pozitivno i negativno nabijene ione odnosno izaziva se proces ionizacije. Ova sposobnost stvaranja iona čini ionizirajuće zračenje različitim od neionizirajućeg zračenja i čini ga potencijalno opasnim za žive organizme. Ionizacija može uzrokovati ozbiljne biološke i kemijske promjene u tijelu i okolišu. Kod ionizirajućeg zračenja postoji podjela na dvije skupine zračenja i to su elektromagnetska zračenja (fotonska) te čestična zračenja (korpuskularna). U elektromagnetska zračenja pripadaju rendgensko i gama zračenje, a u čestična zračenja se ubrajaju alfa, beta i neutronska zračenje.

Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO), ionizirajuće zračenje je vrsta energije koju oslobađaju atomi koja putuje kao elektromagnetski valovi (gama ili X-zrake) ili čestice (neutroni, beta ili alfa). Spontani raspad atoma naziva se radioaktivnost, a višak emitirane energije je oblik ionizirajućeg zračenja [11]. Ionizirajuće zračenje je popratna pojava mnogih prirodnih događanja u mikrosvijetu i dio je kozmičkoga zračenja te umjetno potaknutih procesa u nuklearnim reaktorima ili nuklearnim eksplozijama. Međudjelovanje ionizirajućega zračenja i tvari osobito je ovisno o nositeljima zračenja (fotoni ili čestice) i njihovoj energiji [12]. Geiger-Müllerov brojač je naprava odnosno mjerni instrument za otkrivanje ili detekciju ionizirajućega zračenja.

#### 3.1. Elektromagnetsko zračenje

Elektromagnetsko odnosno fotonsko zračenje dijeli se na rendgensko zračenje i gama zračenje. Fotonsko zračenje je vrsta elektromagnetskog zračenja koje ima visoke frekvencije i veliku energiju. Ovo zračenje ima dovoljno energije da razbije veze između atoma i molekula, što može uzrokovati ozbiljne biološke i genetske promjene u živim organizmima.

### 3.1.1. Rendgensko zračenje

Nevidljive zrake koje izazivaju fluorescenciju 1895. godine otkrio je Wilhelm Conrad Röntgen [13]. Rendgensko zračenje odnosno x-zrake pripadaju spektru ionizirajućeg zračenja i ono se nalazi između ultraljubičastog i gama zračenja. Rendgensko zračenje ima valne duljine od 0,001 nanometara do 10 nanometara. Zbog malih valnih duljina poznato je da zračenje ima veće frekvencije i veliku energiju, a samim time postaje i vrlo prodorno. Ono prolazi kroz neprozirna tijela i jako slabo se apsorbira.

Rendgensko zračenje koristi se u medicini, znanosti i industriji. Uz pomoć karakteristične emisije i apsorpcije rendgenskoga zračenja identificiraju se kemijski elementi i upoznaje struktura atoma. Rendgensko zračenje pristiglo iz svemira omogućava stjecanje spoznaja o koronama zvijezda, pulsarima, crnim rupama i aktivnim galaktikama [14]. Ova vrsta zračenja izaziva fluorescenciju pa se ta pojava koristi za detekciju zračenja, a samo rendgensko zračenje proizvodi se umjetnim putem i ono nastaje u rendgenskoj cijevi kada brzi elektroni ubrzani u akceleratorima čestica ili elektronskoj cijevi udaraju mete. Udarom elektrona u metu velik dio njegove energije pretvara se u toplinu, a svega 3-4% energije se pretvara u rendgensko zračenje. Kod udaranja u metu nastaju dvije različite komponente rendgenskog zračenja, a to su zaključno zračenje koje nastaje naglim kočenjem brzih elektrona u meti, to zračenje ima kontinuirani spektar i druga komponenta rendgenskog zračenja koja je karakterizirana linijskim spektrom te se javlja samo kada su energije elektrona jako velike. Karakteristike linijskog spektra ovise o materijalu od kojeg je načinjena meta anoda.

Max von Laue je 1912. na mjesto optičke rešetke stavio je kristal i pokazao da rendgensko zračenje nakon ogiba na kristalu stvara slične ogibne slike kao što ih stvara svjetlost nakon prolaska kroz optičku rešetku. Iz ogibne slike mogli su se izračunati valna duljina rendgenskoga zračenja i razmak između atoma u kristalnoj rešetki. Najkraće valne duljine rendgenskoga zračenja zalaze u područje gama-zračenja, a najdulje graniče s ultraljubičastim zračenjem [14].



### 3.1.2. Gama zračenje

Gama zračenje ( $\gamma$ -zrake) čine elektromagnetski valovi vrlo visoke frekvencije i energije, a njegove valne duljine kreću se od  $10^{-10}$  metara do  $10^{-14}$  metara. Gama zračenje ima nuklearno porijeklo i nastaje kod promjena stanja atomske jezgre [4]. Otkrili su ga 1898. Maria Curie-Skłodowska i Pierre Curie, proučavajući prirodnu radioaktivnost. Pri radioaktivnom raspadanju nakon alfa-zračenja ili beta-zračenja, atomske jezgre često emitiraju gama zračenje, koje se može poprilično razlikovati po energiji. Za određivanje energije niskoenergijskog gama zračenja koriste se valna svojstva difrakcije u kristalima, a energija visokoenergijskog gama zračenja određuje se uz pomoć međudjelovanja s elektronima [15]. Gama zračenje je vrlo prodorno i ono slabi kod prolaza kroz tvari zbog toga što se raspršuje i apsorbira. Primjena gama zračenja je u medicini, tehnici i industriji. Zbog svoje velike prodornosti fotoni gama zračenja oštećuju elektronske omotače atoma i molekula na koje naiđu što kao posljedicu ima negativne posljedice odnosno teška oštećenja tkiva živih organizama.

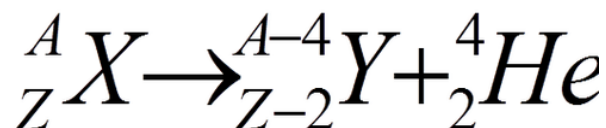
### 3.2. Čestična zračenja

Čestična zračenja još se nazivaju i korpuskularna zračenja, a u njih se ubrajaju alfa zračenje, beta zračenje i neutronska zračenje. Svi procesi u kojima se atomska jezgra spontano mijenja bez vanjskih utjecaja naziva se radioaktivni proces ili raspad. Čestice koje jezgra tada emitira naziva se radioaktivno zračenje. Kod nekih radioaktivnih raspada jezgra gubi samo energiju, ali ne mijenja svoju građu, a kod nekih raspada mijenja se i građa jezgre.

#### 3.2.1. Alfa zračenje

Alfa zračenje ( $\alpha$ -zrake) pripadaju spektru čestičnog ionizirajućeg zračenja koje se sastoji od roja brzih alfa čestica koje su izbačene iz teških atomskih jezgri radioaktivnim alfa raspadima. Alfa zračenje je otkrio E. Rutherford 1898. godine i to je zračenje koje je moglo prolaziti kroz aluminijsku pločicu debljine 0,02 milimetra. Kod interakcije alfa zračenja i neke tvari dolazi do izmjene energije i strukture ozračene tvari [16]. Kod nekih radioaktivnih jezgri dolazi do spontanog emitiranja dva protona i dva neutrona u obliku jezgre  ${}^4_2\text{He}$  i taj proces je poznat

pod nazivom alfa raspad, a prikazan je na slici 4. Kod takvog raspada dolazi do strukturne promjene u jezgri odnosno iz početne jezgre nastaje nova jezgra uz ispuštanje alfa zraka.



Slika 4. Alfa raspad [18]

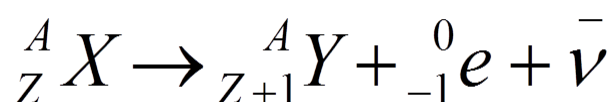
Čestice alfa zračenja imaju značajnu masu u usporedbi s drugim ionizirajućim česticama, njihova masa iznosi  $6,4 \times 10^{-27}$  kilograma. Osim toga, čestice alfa zračenja imaju dvostruki pozitivan električki naboj. Priroda zračenja ovih čestica su helijeve jezgre dok brzina iznosi  $0,06c$ . Energija čestice iznosi 6 MeV i ima prodornost 5 centimetara u zraku. Također, čestice alfa zračenja imaju sposobnost fluorescencije. Alfa čestice imaju kratki domet i ne prodiru duboko u tijelo ili materijal. Izvor ovog zračenja su radioaktivni materijali poput urana, torija i plutonija, a upotreba se javlja u medicini.

### 3.2.2. Beta zračenje

Beta zračenje ( $\beta$ -zrake) je dio spektra čestičnog ionizirajućeg zračenja koje se sastoji od roja beta čestica, brzih elektrona ili pozitrona izbačenih iz teških atomskih jezgara. Propuštajući radioaktivno zračenje kroz tanke listiće aluminija, E. Rutherford je 1898. utvrdio da se zračenje koje je prolazilo kroz pločice deblje od 0,02 milimetra razlikuje od alfa zračenja i nazvao ga je beta zračenje [19]. Beta radioaktivnost je proces kod kojeg neke jezgre spontano mijenjaju svoju građu tako da se jedan neutron u njima pretvori u proton ili jedan proton u jedan neutron. Razlikuju se dva tipa beta raspada, a to su beta minus i beta plus raspad. Razlika između njih je u tome što beta minus čestice imaju negativni naboj, dok beta plus čestice imaju pozitivan naboj. Kod interakcije beta zračenja i tvari dolazi do izmjene energije i strukture ozračene tvari zbog čega je izlaganje beta zračenju štetno za živa bića. Priroda zračenja beta čestica su elektroni, a naboj je upola manji od naboja čestica alfa zračenja. Masa ovih čestica iznosi  $9,1 \times 10^{-31}$  kilograma dok je brzina manja od  $0,98c$ . Čestice beta zračenja imaju energiju

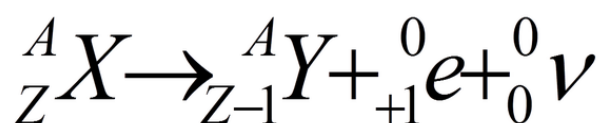
1MeV i prodornost 5 metara u zraku te 0,1 centimetar u aluminiju. Kao i alfa čestice i beta čestice imaju sposobnost fluorescencije.

Beta minus raspad je raspad kod kojega se jedan neutron u jezgri pretvara u proton dok iz jezgre izlijeću dvije čestice, a to su elektron i antineutrino. Broj protona u jezgri se povećava za jedan, a broj neutrona se smanjuje za jedan. (slika 5)



Slika 5. Beta minus raspad [18]

Beta plus raspad čini raspad gdje se jedan proton u jezgri pretvara u jedan neutron, a iz jezgre izlijeću dvije čestice, one su antielektron i neutrino. U jezgri se tada broj protona smanjuje za jedan dok se broj neutrona povećava za jedan. (slika 6)



Slika 6. Beta plus raspad [18]

### 3.2.3. Neutronska zračenje

Neutronska zračenje je vrsta čestičnog ionizirajućeg zračenja koja se sastoji od roja brzih neutrona koji se kreću kroz prostor. Neutroni su subatomske čestice koje nemaju naboj, što ih razlikuje od protona koji su pozitivno nabijeni i elektrona koji su negativno nabijeni. Neutronska zračenje je često povezano s nuklearnim reakcijama i procesima te nastaje kao posljedica istih, također se javlja u svemiru kao kozmičko neutronska zračenje. Neutroni se mogu pojaviti s različitim energijama, ovisno o izvoru i reakciji koja ih proizvodi. Niskoenergetski neutroni imaju veću vjerojatnost za interakciju s materijalom i stvaranje ionizacije. Ovo zračenje se primjenjuje u znanstvenim istraživanjima, medicini i industriji.

## 4. UČINCI NA ŽIVO BIĆE

Danas je dobro poznato da pod toksičnim utjecajima živa bića postaju bolesna, tako je poznato i da nas ometaju negativni učinci elektromagnetskih polja uređaja i okoliša. Zračenje može imati različite učinke na živa bića, ovisno o vrsti zračenja, dozi i trajanju izloženosti zračenje može biti korisno ili štetno. U današnje vrijeme dolazi do pojave sve većeg broja osoba koji na utjecaj elektrosмога reagiraju pojavom bolesti. Tu se primjerice javlja slabljenje imunološkog sustava i kardiovaskularnih bolesti, dolazi do pojave bolesti centralnog živčanog sustava pa čak i do pojave karcinoma.

Sve češće razmišljamo o kućanskim i mobilnim aparatima, kompjuterima, njihovim električnim i elektromagnetskim zračenjima, te posljedicama koje ti aparatu uzrokuju. Takvi uređaji emitiraju elektromagnetske valove koji istovremeno produciraju toplinu i zračenje. Toplina koju proizvodi elektromagnetski val je bezopasna za ljudski mozak, ali frekvencija emitiranja valova može dovesti do problema u radu mozga. Posljedice ne moraju biti trenutne, i najčešće nisu, već osobe u dužem vremenskom periodu osjećaju posljedice dugotrajne izloženosti elektromagnetskim valovima [1].

### 4.1. Učinci neionizirajućeg zračenja na živa bića

Djelovanje neionizirajućeg zračenja na živa bića biti će opisano kroz svaku vrstu zračenja zasebno započevši od zračenja iznimno niskih frekvencija pa sve do djelovanja ultraljubičastog zračenja.

#### 4.1.1. Zračenja iznimno niskih frekvencija, radiovalovi i mikrovalovi

Cilj je današnjih multidisciplinarnih istraživanja utvrđivanje bioloških učinaka pojedinih frekvencijskih pojasa elektromagnetskog spektra i njihova mogućeg učinka na zdravlje, kao i utvrđivanje bitnih biofizikalnih odrednica koje određuju stupanj i narav bioučinkovitosti elektromagnetskih polja. U tu svrhu provode se mnogobrojna epidemiološka istraživanja na profesionalno i rezidencijalno izloženim skupinama te istraživanja na dobrovoljcima, životinjama i sustavima in vitro. Dobiveni rezultati pružaju podlogu za definiranje granica dopustive izloženosti opće i profesionalne populacije izvorima ELF-polja [8]. Kada su u pitanju zračenja izrazito niskih frekvencija i njihov utjecaj na biološke

sustave potrebo je napomenuti da se unutar organizma tokom fizioloških procesa oslobađa električna struja gustoće raspona od 1 do 10 mA/m<sup>2</sup>. Gustoća struje u tkivima ovisi o frekvenciji magnetskog polja, gustoći magnetskog toka, polumjeru induktivne zavojnice i električnoj provodljivosti tkiva. Dosadašnja istraživanja su pokazala da gustoća manja od 1mA/m<sup>2</sup> nema bioloških učinaka na tijelo, a u tablici 2 biti će prikazan učinak kod neposrednog izlaganja tijela izvorima zračenja frekvencija 50/60Hz.

Tablica 2. Učinak kod neposrednog izlaganja tijela izvorima zračenja frekvencija 50/60Hz uz vrijednosti jakosti električnog polja, magnetske indukcije i gustoće električne struje unutar tkiva [8]

Jakost električnog polja (kV/m)	Magnetska indukcija (mT)	Gustoća električne struje (mA/m <sup>2</sup> )	Učinak
<3	<0,06	<1	Bez učinka
3-30	0,06-06	1-10	Zanemarivi biološki učinci
30-300	06-6	10-100	Magnetofosfeni, moguće promjene u aktivnosti CNSa, promjene u staničnom metabolizmu indukcija cijeljenja frakture kostiju
>300	6-60	100-1000	Promjene u aktivnosti CNSa, promjene u staničnom metabolizmu, mogući štetni učinci
	>60	>1000	Direktna stimulacija mišića i perifernih živaca, moguće ekstrasistole i ventrikularna fibrilacija, utvrđeni štetni učinci

Wertheimer i Leeper su 1979. godine istraživajući utvrdili povezanost blizine dalekovoda u mjestima stanovanja s pojavom karcinoma kod djece. U istraživanjima [21-34] ispitivao se karcinogeni učinak magnetske komponente zračenja izrazito niskih frekvencija u blizini električnih vodova na dječju populaciju. Razina izloženosti zračenja utvrdila se izravnim mjerenjima i uz pomoć proračuna. Rezultati istraživanja [21, 25, 28, 32 i 33] pokazali su statistički značajnu povezanost izloženosti i pojave leukemije kod djece.

Neka istraživanja [36, 37, 38, 39 i 40] o karcinogenom učinku ove vrste zračenja kod upotrebljavanja različitih malih električnih uređaja poput sušila za kosu i električnih aparata za brijanje nisu pokazala povezanost zračenja i pojave karcinoma kod žena i muškaraca te pojavu leukemije kod odraslih.

Kod izlaganja živih bića zračenjima radiovalova i mikrovalova dolazi do zagrijavanja tkiva zbog apsorpcije energije koja je izazvala rotaciju molekula tkiva. A količina apsorbiranog zračenja uvelike ovisi o karakteristikama osobe poput njene visine i dobi te o udaljenosti osobe od izvora zračenja. Djelovanje ovih vrsta zračenja na živa bića kao rezultat također imaju pojavu električne struje unutar tijela koja se kreće u zatvorenim petljama. Početkom 2011. godine u Francuskoj su Međunarodna agencija za istraživanje raka i Svjetska zdravstvena organizacija kvalificirali radio frekventna elektromagnetska polja kao moguće povećanje rizika od oboljenja malignim rakom mozga koji je najčešće povezan sa korištenjem mobilnih telefona.

#### 4.1.2. Infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost i ultraljubičasto zračenje

Infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost i ultraljubičasto zračenje se ubrajaju u optička zračenja koja osim Sunca proizvode i laserski uređaji, žarulje i fluorescentne cijevi. Ova zračenja na živa biće učinak ostvaruju preko toplinskog ili fotokemijskog učinka. Infracrveno zračenje kao i zračenje radiovalova i mikrovalova na živo biće utječe u obliku pojave toplinskog efekta i zagrijavanja tkiva. Infracrvene zrake u dodiru s tijelom uzrokuju titranje i okretanje atoma i molekula tijela.

Vidljiva svjetlost na živa bića utječe u obliku fotosenzibilizacije, a ona nastaje kada fotosenzibilne tvari upijaju fotone vidljive svjetlosti i tada dođe do

prelaska u aktivno stanje. To stanje fotona pokreće kemijske reakcije kojima nastaju različiti produkti koji oštećuju tkiva.

Kod velikih izloženosti ultraljubičastom zračenju dolazi do oštećenja DNK i bjelančevina, također može doći do pojave opekotina, preranog starenja kože, oštećenja vida odnosno očiju, pojave sunčanice i povećanja rizika od razvoja karcinoma kože. Kod velikog izlaganja UVA i UVB zračenju, primjerice u solarijima, povećava se rizik od raka kože jer to zračenje štetno utječe na kožu, a samim time se povećava rizik i od drugih zdravstvenih problema. Ultraljubičasto zračenje ima štetan utjecaj na živa bića, ali isto zračenje može biti i korisno, tako se primjerice u medicini koriste UV svjetiljke kao fototerapija za liječenje bolesti kože, a također se upotreba takvih lampi koristi za sterilizaciju površina i dezinfekciju vode. Bez ultraljubičastog zračenja život na zemlji ne bi bio moguć jer je ono zaslužno za proces fotosinteze kojom se dobiva glukoza i kisik. Isto tako ultraljubičasto zračenje je zaslužno za život nekih vrsta životinja poput kukaca, ptica i sobova.

#### 4.2. Učinci ionizirajućeg zračenja na živa bića

Ljudsko tijelo je složeni sustav koji se sastoji od različitih podsustava i stanica, a samo neke od tih stanica su moždane stanice, krvne stanice i mišićne stanice koje imaju svoju jedinstvenu ulogu u organizmu. Genetski materijal svake stanice je smješten u jezgri stanice u obliku gena. Geni u stanici određuju njenu funkciju, a ako su oštećeni moguća je pojava i razvijanje raka. Važno je napomenuti da ne postoje uobičajni tipovi raka koji nastaju zbog izlaganja zračenju, no neke vrste pokazuju veći porast stope na danu dozu zračenja nego druge. Isto tako poznato je da rizik od razvoja raka ovisi o izloženosti zračenju i dobi odnosno vremenu izloženosti što znači da je veći rizik pojave i razvoja raka kod onih organizama koji su od malena izloženi zračenju.

Kod interakcije ionizirajućeg zračenja sa stanicama može se pojaviti oštećenje stanice i genetskog materijala, a to oštećenje može dovesti do smrti stanice ili štetnih promjena u DNK ako se oštećenje ne ispravi. Zdravstveni učinci ionizirajućeg zračenja mogu se podijeliti u dvije skupine, a to su stohastičke i determinističke. Stohastički učinci se javljaju nasumično i vjerojatnost te pojave

raste s primljenom dozom dok ozbiljnost učinka ne ovisi o samoj dozi. Kao glavni učinak se javlja tumor koji može nastati iz doze zračenja vrlo često i mnogo godina nakon samog izlaganja. Pretpostavka je da se ovi učinci na zdravlje ne mogu gledati kroz prag doze jer nemaju prag ispod kojeg se ne pojavljuju. Zbog toga se nijedna razina doze zračenja ne smatra potpuno sigurna za živo bića te samim time doze zračenja moraju biti što niže. Deterministički učinci se pojavljuju onda kada se dosegne granična doza, a to znači da se očekuje da doze zračenja koje su unešene u organizam, a nalaze se ispod praga granične doze da neće izazvati određeni učinak.

Svijet je učio o učincima ionizirajućeg zračenja proučavajući posljedice tragičnih događaja (bombardiranje Hirošime i Nagasakija, nuklearni pokusi na sjevernom Altaju, kvar reaktora Windscale ili Černobil) i ljudi su naučili povezivati pojam ionizirajućeg zračenja s takvim okolnostima. No, kako se pokazalo iz perspektive dugogodišnjeg istraživanja učinaka ovih katastrofa, jedna od najvećih prijetnji zračenja je strah i nedostatak pouzdanih informacija. Primjer je činjenica da su nedugo nakon černobilske katastrofe tisuće Ukrajinke i Bjeloruskinja koje su čekale djecu odlučile (bez pravog razloga) prekinuti trudnoću. Broj nepotrebnih pobačaja između 1986. i 1987. u ove dvije zemlje bio je 1/3 svih beba rođenih u istočnoj Europi u to vrijeme [11].

U ionizirajuća zračenja ubrajaju se rendgensko i gama zračenje te kozmičko zračenje. U korpuskularna zračenja pripadaju alfa zrake, beta zrake (elektroni), protoni i neutroni. Interakcijom tih zračenja s tkivom dolazi do stvaranja određenog broja ionskih parova, to je tzv. linearni prijenos energije i o njemu ovisi biološki učinak zračenja, a on označava količinu energije ionizacijskog zračenja koja se apsorbira po jedinici prijeđenog puta. Rendgensko, beta i gama zračenje ubrajaju se u zračenja niskog linearnog prijenosa energije, dok se alfa zrake, protoni i neutroni ubrajaju u zračenje visokog linearnog prijenosa energije.

Kod ozračenog organizma prve promjene su vidljive na razini atoma i molekula i one su kratkotrajne te traju svega  $10^{-16}$  sekundi. Potom slijede promjene na molekulama u vidu pucanja vodikovih veza, stvaranja slobodnih



radikala i pojave produkata radiolize vode. Nakon nekoliko sati do nekoliko dana nastaju biokemijska oštećenja i morfološke promjene stanica te tada dolazi do djelovanja oštećenih molekula na metaboličke procese i nastajanje toksičnih produkata. Također se javljaju oštećenja staničnih membrana i promjene u citoplazmi, prestanak dijeljenja i na kraju smrt same stanice koja nastupa više sati odnosno više dana nakon ozračivanja. Potpuni oporavak ili smrt mogu uslijediti nakon nekoliko tjedana ili mjeseci, dok genetske posljedice u potomstvu ostaju desetljećima prisutne. U organizmu postoje tkiva koja su najosjetljivija na ionizirajuće zračenje, a to su visokoproliferativna tkiva poput stanica koštane srži, krvotvornih tkiva, bazalni slojevi kože, zametni epitel, gamete i crijevna sluznica.

Ionizirajuće zračenje može se podijeliti na kronično i akutno te opće i lokalno. Lokalna oštećenja koja su izazvana ionizirajućim zračenjem najčešće pogađaju kožu i tada nastaju opekline drugog i trećeg stupnja, eritem, te rizik od razvoja infekcije, ishemije i sepse. Kada je ozračeno cijelo tijelo dolazi do nastanka kronične ili akutne radijacijske bolesti, pri čemu akutna ozračenost nastaje kod kratkotrajne ozračenosti velikim dozama zračenja, a kronična ozračenost je posljedica trajnog ili višekratnog ozračivanja organizma. Kronična radijacijska bolest se očituje u obliku encefalomijelitisa, povišenjem intrakranijskog tlaka, kroničnim aktiničkim dermatitisom, fibrozom pluća, kataraktom i intestinalnom stenozom. Akutna radijacijska bolest se dijeli u četiri stadija od kojih prvi traje jedan do dva dana i uključuje umor, oslabljenost, mučnine i povraćanja te limfopenije. Drugi stadij ima trajanje tjedan do dva pri čemu se osoba osjeća dobro, ali se pojavljuje limfopenija, monocitopenija, granulocitopenija, trombocitopenija, oligospermija i azospermija kod muškaraca. Dva do tri tjedna traje treći stadij koji je okarakteriziran jasnim znakovima bolesti zračenja, a to znači da nestaju krvne stanice i zbog toga se razvijaju infekcije, krvarenja i anemije. Kod četvrtog stadija dolazi do oporavka bolesnika ili njegove smrti unutar sva mjeseca. Također kao posljedica genske mutacije povećana je mogućnost razvoja maligne bolesti kostiju, mozga, štitnjače i krvotvornog sustava.

## 5. ZAŠTITA

Kao osnovna i najbitnija stavka zaštite potrebno je vršiti tri kontrole i to su kontrola prije postavljanja izvora elektromagnetskog polja, kontrola nakon puštanja izvora elektromagnetskog polja u rad te vršiti redovite kontrole tijekom rada izvora elektromagnetskog polja. Kod kontrole prije postavljanja izvora vlasnik izvora mora zatražiti od nadležnog tijela suglasnost za postavljanje izvora. Kao uvjet za dobivanje te suglasnosti postavljena je izrada elaborata o očekivanim razinama elektromagnetskog polja u okolini izvora, koje moraju biti unutar propisnih granica. Kontrola nakon puštanja izvora elektromagnetskog polja u rad znači da se prvo mjerenje provodi odmah nakon puštanja izvora elektromagnetskog polja u rad. Tim mjerenjem mora se dokazati da su unutar dozvoljenih ograničenja stvarne razine elektromagnetskog polja. Ako se prvo mjerenje pokaže valjanim Ministarstvo zdravstva izdaje osobrenje za uporabu tog izvora elektromagnetskog polja. I posljednje, no ne i manje važno je vršenje redovnih kontrola tijekom rada izvora odnosno vlasnik je obvezan svake dvije godine osigurati novo mjerenje razina elektromagnetskog polja i te rezultate dostaviti nadležnoj instituciji.

Na temelju znanstvenih istraživanja donesene su osnovne smjernice od strane Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućih zračenja (ICNIRP- International Commisission on Non-Ionizing Radiation Protection) koje je prihvatila i Europska Unija putem Preporuke Vijeća Europske Unije 1999/519/EC (od 12.07.1999.) o ograničenjima izloženosti opće populacije elektromagnetskim poljima u rasponu od 0 Hz do 300 GHz [46].

Republika Hrvatska je među prvim zemljama u Europi preuzela sve relevantne zakonske akte i poduzela je daljnje korake, primjenjujući pricip predostrožnosti. Tako su u Republici Hrvatskoj preporučene granične vrijednosti spuštene na niže odnosno strože vrijednosti graničnih razina te se neprestano prati razvoj događaja povezan sa utjecajem elektromagnetskih polja na zdravlje ljudi. Također redovito se ažurira Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja koji je stroži od većine pravilnika u zamljama Europske unije te je usklađen s pozitivnim propisima koje nalaže Europska unija.

Prema Međunarodnoj komisiji za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) najvažniji pokretač kod zaštite od neionizirajućeg i ionizirajućeg zračenja je sprječavanje štete živim bićima i okolišu. Tako je za ljude cilj osigurati zaštitu svih jedinki, dok je za okoliš cilj zaštititi vrste, ekosustave od štetnih učinaka zračenja. U proces zaštite uključeno je donošenje informativnih odluka čak i onda kada nije dostupno potpuno znanje o rizicima koji su povezani sa izloženosti zračenju.

Temeljna načela zaštite od zračenja prema ICNIRPu su prilagodba, optimizacija i ograničenje. Prilagodba označava da bi svaka odluka trebala donijeti više koristi nego štete kada ona utječe na promjenu situacije izloženosti zračenju. Načelo optimizacije govori kako sve izloženosti treba održavati na niskoj razini koliko je to moguće, a uzimajući u obzir ekonomske i društvene čimbenike. Također uz ograničenja individualne izloženosti kako bi se ograničila nejednakost u raspodjeli doza i kao posljednje načelo, potrebno je primjenjivati ograničenje doza zračenja na način da ukupna doza za bilo kojeg pojedinca ne prelazi odgovarajuće preporučene granice, a izuzeće su medicinske izloženosti pacijenata.

### 5.1. Zaštita od neionizirajućeg zračenja

Zaštita od neionizirajućeg zračenja ima za cilj smanjiti izloženost ovim vrstama zračenja na razinu koja ne predstavlja rizik za zdravlje ljudi. Iako neionizirajuće zračenje obično ima manji potencijal za oštećenje tkiva od ionizirajućeg zračenja i dalje je vrlo važno poduzeti mjere zaštite ako je izloženost produljena ili intenzivna.

Nekoliko općih smjernica za zaštitu od neionizirajućeg zračenja:

1. Procjena izloženosti: Prvi korak u zaštiti od neionizirajućeg zračenja je procijeniti razinu izloženosti. To uključuje mjerenje ili procjenu izvora zračenja, intenziteta i trajanja izloženosti.
2. Pravilna uporaba uređaja: Kada se koriste električni uređaji koji stvaraju elektromagnetska polja, poput mobilnih telefona, bežičnih rutera ili

mikrovalnih pećnica, potrebno je slijediti upute proizvođača i koristiti ih na način koji minimalizira izloženost zračenju.

3. Udaljenost od izvora zračenja: potrebno je povećati udaljenost od izvora neionizirajućeg zračenja. Na primjer, smanjiti vrijeme provedeno u neposrednoj blizini visokofrekventnih izvora poput bežičnih rutera.
4. Korištenje zaštitnih barijera: U nekim situacijama, kao što su rad s laserskim uređajima ili izlaganje jakom svjetlu, može biti potrebno koristiti zaštitne naočale ili odgovarajuću zaštitnu opremu za zaštitu očiju.
5. Smanjenje trajanja izloženosti: Kod rada s izvorima neionizirajućeg zračenja, potrebno je pokušati smanjiti trajanje izloženosti koliko je god moguće. Na primjer, pauze tijekom rada s računalom mogu pomoći smanjiti izloženost plavoj svjetlosti.
6. Korištenje ekrana i filtera: Zaštita od plave svjetlosti iz računalnih ekrana može se postići korištenjem filtera ili aplikacija koje smanjuju emisiju plave svjetlosti.
7. Edukacija i svijest: Osoblje koje je izloženo neionizirajućem zračenju u industrijskim ili radnim okruženjima treba biti obučeno o sigurnosnim mjerama i rizicima te o načinima kako se zaštititi.
8. Pravilna organizacija radnog mjesta: Organizacija radnog mjesta može uključivati postavljanje radnih stanica, opreme i uređaja na način koji minimalizira izloženost zračenju.
9. Praćenje sigurnosne smjernice: potrebno je držati se smjernica i propisa koji su usmjereni na zaštitu od neionizirajućeg zračenja u sektoru rada ili industriji.
10. Redovito provjeravanje i održavanje opreme: Redovito provjeravati i održavati opremu koja stvara neionizirajuće zračenje kako bi se osigurala njihova ispravnost i sigurnost.

## 5.2. Zaštita od ionizirajućeg zračenja

Zaštita od ionizirajućeg zračenja izuzetno je važna kako bi se minimalizirali potencijalni rizici za zdravlje ljudi izloženih ovom vrstom zračenja.

Nekoliko smjernica za zaštitu od ionizirajućeg zračenja:

1. Minimaliziranje izloženosti: Prvi i najvažniji korak je minimaliziranje izloženosti ionizirajućem zračenju. To uključuje smanjenje vremena provedenog u blizini izvora zračenja i maksimalno moguće povećanje udaljenosti od izvora.
2. Zaštita za vrijeme dijagnostičkih i terapijskih postupaka: Ako vam je propisan rendgenski pregled, CT skeniranje, ili terapija ionizirajućim zračenjem, slijedite upute zdravstvenih radnika i medicinskih tehničara. Oni će osigurati da budete izloženi samo potrebnoj dozi zračenja.
3. Zaštitna oprema: Kada se radi s izvorima ionizirajućeg zračenja u medicinskim ili industrijskim poslovima, koristite odgovarajuću zaštitnu opremu kao što su olovne pregače, rukavice i naočale. Ove komponente mogu značajno smanjiti izloženost.
4. Kvalificirano osoblje: Rad s ionizirajućim zračenjem treba provoditi kvalificirano osoblje koje je obučeno za pravilno rukovanje s izvorima zračenja i za primjenu sigurnosnih mjera.
5. Monitoring izloženosti: Redovito pratiti i bilježiti izloženost ionizirajućem zračenju za osobe koje rade u okruženjima s potencijalno visokim razinama zračenja.
6. Regulacija i zakoni: Pratiti zakone i regulacije koje se odnose na zaštitu od ionizirajućeg zračenja u vašoj zemlji ili regiji. Ovi zakoni postavljaju standarde za sigurnost i zaštitu u različitim industrijama.
7. Obuka i svijest: Osigurati da osoblje koje radi s ionizirajućim zračenjem bude svjesno potencijalnih rizika i da ima odgovarajuću obuku kako bi znalo kako pravilno rukovati izvorima zračenja.
8. Kvaliteta opreme: Održavati i provjeravati kvalitetu opreme koja stvara ionizirajuće zračenje kako bi se osigurala njihova ispravnost i sigurnost.

9. Postupci u hitnim situacijama: Razviti plan za postupanje u slučaju nesreće ili incidenta s izvorima ionizirajućeg zračenja kako bi se osigurali brza i učinkovita reakcija i zaštita osoblja i javnosti.
10. Redoviti zdravstveni pregledi: Osobe koje redovito rade s ionizirajućim zračenjem trebaju proći redovite zdravstvene preglede kako bi se pravodobno otkrila bilo kakva oštećenja ili promjene povezane s izloženošću zračenju.

Zaštita od ionizirajućeg zračenja zahtijeva pažnju na detalje, obrazovanje i strogo pridržavanje sigurnosnih smjernica kako bi se minimalizirali rizici i osigurala sigurnost za osoblje i širu javnost.

### 5.3. Zakoni, pravilnici i norme

U Republici Hrvatskoj trenutno je jako puno važećih zakona, pravilnika i normi vazanih uz zaštitu od zračenja, a neki od njih su:

1. Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN 091/2010) [48]
2. Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN 114/2018) [49]
3. Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/2014) [50]
4. Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 031/2019) [51]
5. Pravilnik o zdravstvenim uvjetima kojima moraju udovoljavati radnici koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja (NN 059/2016) [52]
6. Pravilnik o temeljnim zahtjevima za uređaje koji proizvode optičko zračenje te uvjetima i mjerama zaštite od optičkog zračenja (NN 003/2020) [53]
7. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/2013) [54]
8. Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 053/2018) [55]
9. Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 006/2022) [56]
10. Pravilnik o ustroju i provedbi mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja (NN 028/2015) [57]

11. Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te postupanjima u slučaju izvanrednog događaja (NN 024/2018) [58]
12. Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te postupanjima u slučaju izvanrednog događaja (NN 070/2020) [59]
13. Uredba o osnivanju Hrvatskog zavoda za zaštitu od zračenja (NN 051/1997) [60]
14. Pravilnik o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja, primjenu mjera radiološke sigurnosti i upravljanje tehničkim procesima u nuklearnim postrojenjima (NN 042/2018) [61]
15. Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN 014/2019) [62]
16. Pravilnik o stručnjacima za zaštitu od ionizirajućeg zračenja (NN 36/18) [63]
17. Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad u području izloženosti (NN 66/18) [64]
18. Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom dozom ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja (NN 38/18) [65]
19. Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja (NN 042/18) [66]

## 6. ZAKLJUČAK

Ovim radom se prikazao način učinaka elektromagnetskog zračenja poznatog i kao elektrosmog na živa bića. U radu je prikazan spektar elektromagnetskog zračenja koji se sastoji od zračenja iznimno niskih frekvencija, radiovalova, mikrovalova, infracrvenog zračenja, vidljivog spektra, ultraljubičastog zračenja, rendgenskog zračenja, gama zračenja te čestičnog zračenja te su prikazane valne duljine svakog zračenja.

Radom je potvrđeno da sva vrsta zračenja imaju učinak na živa bića bio on štetan ili koristan. Izlaganje neionizirajućim zračenjima ima slabiji utjecaj na živa bića, ali ono izaziva zagrijavanje tkiva te se potencijalno povećava rizik od oboljenja malignim bolestima. Izloženost ionizirajućim zračenjima može prouzročiti ozbiljne biokemijske promjene u organizmu, a najosjetljivija tkiva na ionizirajuće zračenje tkiva krvotvornih organa, bazalni slojevi kože, stanice koštane srži, crijeva sluznica te tkiva zameta i gameta.

Temeljem dosadašnjih znanstvenih istraživanja donesene su osnovne smjernice i preporuke za zaštitu od ionizirajućeg i neionizirajućeg zračenja. Kako bi se što bolje provodila zaštita od zračenja u Republici Hrvatskoj postoji mnogo važećih zakona i pravilnika koje je potrebno koristiti i poštivati.

Smatra se da postoji desetak općih smjernica za zaštitu od neionizirajućeg zračenja, a one se temelje na procjeni izloženosti, pravilnoj upotrebi uređaja, udaljenosti od izvora zračenja, korištenju zaštitnih barijera, smanjenju trajanja izloženosti, korištenju ekrana i filtera, edukaciji, svjesti, pravilnoj organizaciji mjesta rada, praćenju sigurnosnih smjernica te redovitom provjeravanju i održavanju opreme.

Također postoji i desetak smjernica kod zaštite od ionizirajućeg zračenja koje se temelje na minimaliziranju izloženosti, zaštiti tokom dijagnostičkih pretraga i terapijskih postupaka, redovitim zdravstvenim pregledima, zaštitnoj opremi, kvaliteti opreme, kvalificiranom osoblju, praćenju izloženosti, regulaciji, zakonima, obuci i svjesti.



## 7. LITERATURA

- [1] Poliklinika Analiza, Elektrosmog i mogućnost uklanjanja njegovog štetnog utjecaja, dostupno na: <https://poliklinika-analiza.hr/elektrosmog-i-mogucnost-uklanjanja-njegovog-stetnog-utjecaja/>
- [2] GEMET- General Multilingual Environmental Thesaurus, Electrosmog, dostupno na: <http://www.eionet.europa.eu/gemet/concept/2628>
- [3] Bolf N., Osvježimo znanje, Kem. Ind. 67 (7-8) (2018) str. 331–332
- [4] Brković N., Fizika 3: udžbenik za 3. razred gimnazija, Luk d.o.o., Zagreb 1998., Str. 83-106
- [5] Cindro N., Fizika 2 Elektricitet i magnetizam, drugo izdanje, Školska knjiga, Zagreb 1988
- [6] Jakobović Z., Ionizirajuće zračenje i čovjek, Školska knjiga, Zagreb 1991.
- [7] Wikipedia contributors. (2023, July 20). Electromagnetic radiation and health. In Wikipedia, The Free Encyclopedia, dostupno na: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electromagnetic radiation and health&oldid=1166204343](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electromagnetic_radiation_and_health&oldid=1166204343)
- [8] Bušljeta I., Gomzi M., Biološki učinci neionizirajućeg zračenja: elektromagnetska polja izrazito niskih frekvencija (2000)., Arhiv za higijenu rada i toksikologiju, 51 (1), str. 35-51
- [9] Robert F. Cleveland, Jr. Jerry L. Ulcek, Questions and Answers about Biological Effects and Potential Hazards of Radiofrequency Electromagnetic Fields, OET BULLETIN 56, Fourth Edition, August 1999.
- [10] Metaling, UV sterilizacija i UV dezinfekcija, dostupno na: <https://powertech.rs/index.php/home/uv-dezinfekcija-sterilizacija-menu>
- [11] HEALTHYADMIN, Ionizirajuće zračenje – karakteristike i vrste. Učinci ionizirajućeg zračenja na zdravlje, dostupno na: <https://hr.healthy-food-near-me.com/ionizing-radiation-characteristics-and-types-health-effects-of-ionizing-radiation/#ionizing-radiation-ndash-what-is-it>

- [12] Ionizirajuće zračenje, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27754>
- [13] Hebrang, A., Klarić-Čustović, R., Rendgensko zračenje, Radiologija, Medicinska naklada Zagreb, Zagreb, 2007.
- [14] Rendgensko zračenje. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=52438>
- [15] Gama-čestica, (2023, ožujka 13), Wikipedija, Slobodna enciklopedija, dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/w/index.php?title=Gama-%C4%8Destica&oldid=6604117>
- [16] Gama-zračenje, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=21168>
- [17] Alfa-zračenje, Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Pristupljeno 3. 9. 2023. <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=1643>
- [18] Fizika za osnovce, Radioaktivnost, dostupno na: [Radioaktivnost - Fizika za osnovce \(weebly.com\)](http://Radioaktivnost-Fizika-za-osnovce.weebly.com)
- [19] Beta-zračenje. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021., dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=7314>
- [20] Neutronske zračenje, dostupno na: <http://struna.ihjj.hr/naziv/neutronske-zracenje/21320/>
- [21] Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am J Epidemiol 1979;109:273–84.

- [22] Fulton JP, Cobb S, Preble L, Leone L, Forman E. Electrical wiring configuration and childhood leukemia in Rhode Island. *Am J Epidemiol* 1980;111:292–6.
- [23] Tomenius L. 50-Hz electromagnetic environment and the incidence of childhood tumors in Stockholm county. *Bioelectromagnetics* 1986;7:191–207.
- [24] Savitz DA, Wachtel H, Barnes FA, John EM, Tvrdik JG. Case-control study of childhood cancer and exposure to 60-Hz magnetic fields. *Am J Epidemiol* 1988;128:21–38.
- [25] Coleman MP, Bell CMJ, Taylor HL, Primic-Zakelj M. Leukemia and residence near electricity transmission equipment: a case-control study. *Br J Cancer* 1989;60:793–8.
- [26] Myres A, Clayden AD, Cartwright RA, Cartwright SC. Childhood cancer and overhead powerlines: a case-control study. *Br J Cancer* 1990;62:1008–14.
- [27] London SJ, Thomas DC, Bowman JD, Sobel E, Cheng TC, Peters JM. Exposure to residential electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia. *Am J Epidemiol* 1991;134:923–37.
- [28] Lowenthal RM, Panton JB, Baikie MJ, Lickiss JN. Exposure of high-tension power lines and childhood leukemia: a pilot study [pismo]. *Med J Aust* 1991; 155:347.
- [29] Feychting M, Ahlbom A. Magnetic fields and cancer in children residing near Swedish high voltage power lines. *Am J Epidemiol* 1993;138:467–81.
- [30] Olsen JH, Nielsen A, Schulgen G. Residence near high-voltage facilities and the risk of cancer in children. *BMJ* 1993;307:891–5.
- [31] Verkasalo PK, Pukkala E, Hongisto MY, Valjus JE, Jarvinen PJ, Heikkila KV i sur. Risk of cancer in Finnish children living close to power lines. *BMJ* 1993;307:895–9.

- [32] Petridou E, Hsieh CC, Skaldikis Y, Toupadaki N, Athanassopoulos Y. Suggestion of concomitant changes of electric power consumption and childhood leukemia in Greece. *Scand J Soc Med* 1993;21:281–5.
- [33] Michaelis J, Shüz J, Meinert R, Menger M, Grigat JP, Kaatsch P i sur. Childhood leukemia and electromagnetic fields: results of population-based case-control study in Germany. *Cancer Causes Control* 1997;8:167–74.
- [34] Linet MS, Hatch EE, Kleinerman RA i sur. Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. *N Eng J Med* 1997;337:1–7.
- [35] Tynes T, Haldorsen T. Electromagnetic fields and cancer in children residing near Norwegian high-voltage power lines. *Am J Epidemiol* 1997; 145:219–26.]
- [36] Vena JE, Graham S, Hellman R, Swanson M, Brasure J. Use of electric blankets and risk of post-menopausal breast cancer. *Am J Epidemiol* 1991; 134:180–5.
- [37] Vena JE, Freudenheim JL, Marshall JR Laughlin R, Swanson M, Graham S. Risk of premenopausal breast cancer and use of electric blankets. *Am J Epidemiol* 1994; 140:974–9.
- [38] Preston-Martin S, Peters JM, Yu MC, Garabrant DH, Bowman JD. Myelogenous leukemia and electric blanket use. *Bioelectromagnetics* 1988; 9:207–13.
- [39] Lovely RH, Buschbom RL, Slavich AL, Anderson LE, Hansen NH, Wilson BW. Adult leukemia risk and personal appliance use: a preliminary study. *Am J Epidemiol* 1994;140:510–7.
- [40] Verreault R, Weiss NS, Hollenbach KA, Strader CH, Daling JR. Use of electric blankets and risk of testicular cancer. *Am J Epidemiol* 1990;131:759–62.
- [41] Beritić-Stahuljak D, Brumen V. Zdravstveni učinci fizikalnih čimbenika okoliša. U: Valić F i sur., ur. Zdravstvena ekologija. Zagreb: Medicinska naklada; 2001. Str. 77-85.
- [42] Poljak D. Izloženost ljudi neionizacijskom zračenju . Zagreb: Kigen ; 2006

- [43] Gamulin S, Marušić M, Kovač Z i sur. Fizički etiološki čimbenici. U: Gamulin S, Marušić M, Kovač Z i sur. (ur.). Patofiziologija. 7. izd. Zagreb: Medicinska naklada; 2011. Str. 734-45.
- [44] Alanko T, Hietanen M. Occupational exposure to radiofrequency fields in antenna towers. Radiat Prot Dosimetry. 2007;123(4):537-9.doi: 10.1093/rpd/ncl505
- [45] Ryan JL. Ionizing Radiation: The Good, the Bad, and the Ugly. JID. 2012;132(3):985-93.
- [46] Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske, dostupno na: [Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske - Zaštita od zračenja \(gov.hr\)](http://www.mz.hr/)
- [47] ICNIRP STATEMENT PRINCIPLES FOR NON-IONIZING RADIATION PROTECTION, HEALTH PHYS 118(5):477–482; 2020
- [48] Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN 091/2010)
- [49] Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o zaštiti od neionizirajućeg zračenja (NN 114/2018)
- [50] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 146/2014)
- [51] Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja (NN 031/2019)
- [52] Pravilnik o zdravstvenim uvjetima kojima moraju udovoljavati radnici koji obavljaju poslove s izvorima neionizirajućeg zračenja (NN 059/2016)
- [53] Pravilnik o temeljnim zahtjevima za uređaje koji proizvode optičko zračenje te uvjetima i mjerama zaštite od optičkog zračenja (NN 003/2020)
- [54] Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/2013)
- [55] Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 053/2018)

- [56] Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 006/2022)
- [57] Pravilnik o ustroju i provedbi mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja (NN 028/2015)
- [58] Uredba o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te postupanjima u slučaju izvanrednog događaja (NN 024/2018)
- [59] Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja te postupanjima u slučaju izvanrednog događaja (NN 070/2020)
- [60] Uredba o osnivanju Hrvatskog zavoda za zaštitu od zračenja (NN 051/1997)
- [61] Pravilnik o obrazovanju potrebnom za rukovanje izvorima ionizirajućeg zračenja, primjenu mjera radiološke sigurnosti i upravljanje tehničkim procesima u nuklearnim postrojenjima (NN 042/2018)
- [62] Zakon o zaštiti od svjetlosnog onečišćenja (NN 014/2019)
- [63] Pravilnik o stručnjacima za zaštitu od ionizirajućeg zračenja (NN 36/18)
- [64] Pravilnik o zdravstvenim uvjetima izloženih radnika i osoba koje se obučavaju za rad u području izloženosti (NN 66/18)
- [65] Pravilnik o granicama ozračenja, preporučenom dozom ograničenju i procjenjivanju osobnog ozračenja (NN 38/18)
- [66] Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja (NN 042/18)

## 8. POPIS SIMBOLA I KRATICA

c – brzina svjetlosti izražena u metrima po sekundi

Hz – herc, hertz, mjerna jedinica frekvencije

°C – celzij, termodinamička temperatura

eV – elektronvolt

mA/m<sup>2</sup> – miliamper po metru kvadratnom, mjerna jedinica gustoće električne struje

UV – oznaka ultraljubičastog, ultravioletnog zračenja

UVA – oznaka ultraljubičastog zračenja valnih duljina između 320 i 400 nanometara

UVB – oznaka ultraljubičastog zračenja valnih duljina između 280 i 320 nanometara

UVC – oznaka ultraljubičastog zračenja valnih duljina između 100 i 280 nanometara

WHO – World Health Organization, Svjetska zdravstvena organizacija

ELF-polja – zračenja izrazito niske frekvencije

DNK – deoksiribonukleinska kiselina

ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, Međunarodna komisija za zaštitu od neionizirajućih zračenja

NN – Narodne Novine

## 9. POPIS SLIKA

Slika 1. Spektar elektromagnetskog zračenja [6]

Slika 2. Izvori zračenja iznimno niskih frekvencija [7]

Slika 3. Spektar ultraljubičastog zračenja [10]

Slika 4. Alfa raspad [18]

Slika 5. Beta minus raspad [18]

Slika 6. Beta plus raspad [18]



## 10. POPIS TABLICA

Tablica 1.: Raspodijela bijele svjetlosti prema rasponu valnih duljina [4]

Tablica 2. Učinak kod neposrednog izlaganja tijela izvorima zračenja frekvencija 50/60Hz uz vrijednosti jakosti električnog polja, magnetske indukcije i gustoće električne struje unutar tkiva [8]