

# Utjecaj antena, radara i odašiljača na zdravlje čovjeka

---

Zelić, Daniel

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:689537>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Daniel Zelić**

**UTJECAJ ANTENA, RADARA I ODAŠILJAČA NA  
ZDRAVLJE ČOVJEKA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2017**

Zagreb, 16. lipnja 2017.

Zavod: **Samostalne katedre**  
Predmet: **Ekologija u prometu**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 3849

Pristupnik: **Daniel Zelić (0135232914)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Utjecaj antena, radara i odašiljača na zdravlje čovjeka**

### Opis zadatka:

U radu je potrebno navesti stanje i perspektivu telekomunikacijskih tehnologija u prometu kao posljedicu održivog razvoja. Navesti vrste elektromagnetskog zračenja. Objasniti netermičke efekte i biološke učinke na zdravlje čovjeka. Analizirati utjecaj radara, odašiljača i antena na zdravlje čovjeka. Prikazati i definirati SAR jedinicu. Analizirati djelovanje na ljude i zaštitu od utjecaja elektrosмога.

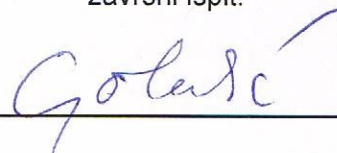
Zadatak uručen pristupniku: 10. ožujka 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

prof. dr. sc. Jasna Golubić



---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

# **UTJECAJ ANTENA, RADARA I ODAŠILJAČA NA ZDRAVLJE ČOVJEKA**

## **IMPACT OF ANTENNAS, RADARS AND TRANSMITTERS ON HUMAN HEALTH**

Mentor : prof. dr. sc. Jasna Golubić

Student : Daniel Zelić

JMBAG:0135232914

Zagreb, kolovoz 2017.

# UTJECAJ ANTENA, RADARA I ODAŠILJAČA NA ZDRAVLJE ČOVJEKA

## SAŽETAK

U ovom završnom radu obrađuje se elektromagnetsko zračenje. Navedene su vrste elektromagnetskog zračenja: ionizirajuće i neionizirajuće. Zatim su opisane te dvije vrste zračenja, po čemu se razlikuju, koje je opasnije te koja zračenja uključuje ionizirajuće, a koja neionizirajuće. U nastavku rada govori se o utjecaju elektromagnetskog zračenja na zdravlje čovjeka. Opisan je biološki utjecaj elektromagnetskog zračenja, te kakvi su to termički efekti, a kakvi netermički. Spominje se jedinica SAR. Definirano je njezino značenje, koja je mjerna jedinica, zašto se koristi, kako se mjeri i kolika je maksimalna SAR vrijednost prema europskim pravilima, a koja prema američkim. Pred kraj rada fokus je na antenama, radarima i odašiljačima, čemu služe te kakvo djelovanje imaju na zdravlje čovjeka. U zadnjoj cjelini definirani su pravilnici o minimalnim i sigurnosnim zahtjevima koji se koriste u Republici Hrvatskoj, a koji u Europi i Americi.

**Ključne riječi:** elektromagnetsko zračenje; utjecaj; zdravlje.

## SUMMARY

In this final work there is a talk about electromagnetic radiation. These types of electromagnetic radiation are mentioned: ionizing and non-ionizing. These two types of radiation are described and then there is a talk about difference between them, which radiation is more dangerous and what types of radiation includes ionizing and what types includes non-ionizing. After that there is a discussion about impact of electromagnetic radiation on human health. The biological influence of electromagnetic radiation is described, what are thermal effects and what are non-thermal effects. There is a explanation of SAR unit, what is the unit of measurement for SAR, for what it is used for, how it is measured, and what is the maximum SAR value according to European and American rules. Towards the end of the final work, the focus is shifted on antennas, radars and transmitters, for what are they used for and what is their impact on human health. In the final part of the work, the rules for minimum requirements and security requirements used in the Republic of Croatia, Europe and America are defined.

**Keywords:** electromagnetic radiation; impact; health.

## SADRŽAJ:

1.Uvod .....	1
2.Pojam elektromagnetskog zračenja .....	2
3.Vrste elektromagnetskog zračenja .....	6
3.1. Ionizirajuće zračenje .....	7
3.2. Neionizirajuće zračenje .....	11
4. Utjecaj elektromagnetskog zračenja .....	18
4.1. Biološki učinci zračenja .....	18
5. Utjecaj mobilne telefonije .....	26
5.1. Utjecaj baznih stanica na okoliš .....	27
5.2. Bazne stanice i rizik od raka .....	29
5.3. SAR.....	34
5.4. Radari, odašiljači i antene .....	40
6. Pravilnici o minimalnim i sigurnosnim zahtjevima .....	45
7. Zaključak .....	49
Literatura .....	50
Popis slika: .....	54
Popis tablica: .....	54

# 1.Uvod

Posljednjih godina našeg života dovelo je velikog porasta elektromagnetskog zračenja i izazvalo elektromagnetsko onečišćenje okoliša. Elektromagnetska zračenja izazivaju biokemijske promjene, stalan stres u središnjem živčanom sustavu, poremećaje funkcije mozga i psihička oštećenja.

Elektromagnetsko zračenje stvara svaki uređaj koji se napaja električnom energijom tj. sva pripadajuća instalacija: od dalekovoda, trafostanica do vodiča i prekidača u našim domovima.

Budući da utjecaj mobilnih komunikacijskih uređaja postaje sve zastupljeniji s obzirom na broj korisnika koji danas posjeduje mobilne telekomunikacijske uređaje u radu se daje njihov utjecaj na okoliš i zdravlje čovjeka kroz brojne znanstvene studije i pravilnike.

Završni rad konceptualno je podijeljen u sedam cjelina koje su međusobno povezane i čine jedinstvenu cjelinu.

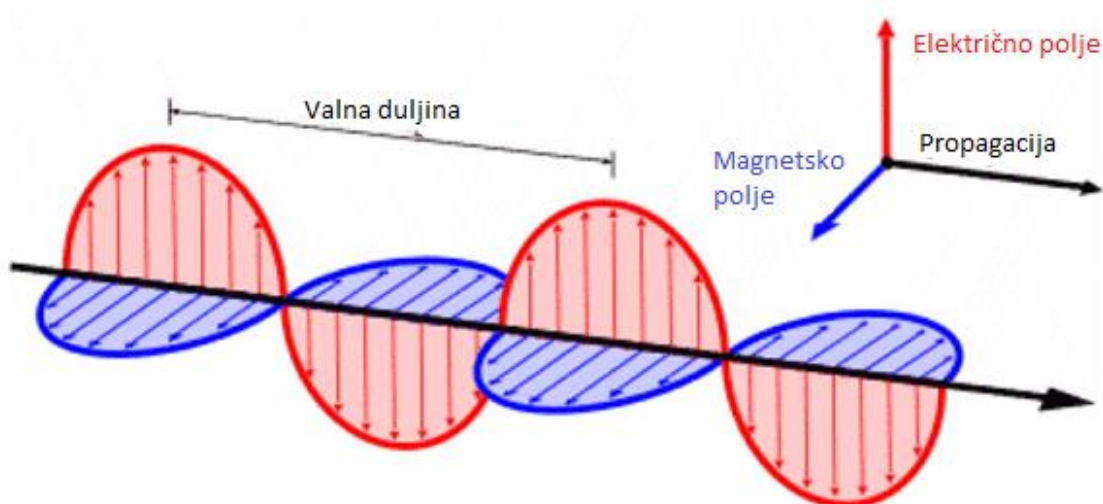
1. Uvod
2. Pojam elektromagnetskog zračenja
3. Vrste elektromagnetskog zračenja
4. Utjecaj elektromagnetskog zračenja
5. Utjecaj mobilne telefonije
6. Pravilnici o minimalnim i sigurnosnim zahtjevima
7. Zaključak

## 2.Pojam elektromagnetskog zračenja

Elektromagnetsko zračenje je fizikalna pojava širenja električnih i magnetskih valova, tj ultrasitnih čestica koje se zovu fotoni. Fotoni su čestice koje nemaju masu, a gibaju brzinom svjetlosti (300 000 km/s) i sadrže određenu količinu energije.

Elektromagnetski valovi pripadaju u elektromagnetski spektar od valova najmanje frekvencije i najveće valne dužine do valova najveće frekvencije i najmanje valne dužine. Što je frekvencija titraja valova veća i što je kraća valna dužina veća je energija valova. [1]

Elektromagnetski val je pojava kojom objašnjavamo širenje elektromagnetske energije u prostoru. Elektromagnetsko zračenje se sastoji od dviju međusobno sinkroniziranih komponenti električnog i magnetskog polja. Elektromagnetsko zračenje opisujemo intenzitetom tj. amplitudom i frekvencijom, a obje karakteristike mogu poprimiti bilo koju vrijednost od 0 do beskonačnosti. Ravnim valom nazivamo elektromagnetski val u slobodnom prostoru (vakuum ili zrak) koji promatramo na dovoljnoj udaljenosti od izvora. On sadrži dvije komponente, električku i magnetsku koje su međusobno okomite i okomite su na smjer širenja zračenja. U slobodnom prostoru elektromagnetski val se širi prema pravilu desne ruke.[4]



Slika 1. Elektromagnetski val [4]

Zbog ubrzanog tehnološkog razvoja elektromagnetsko zračenje je danas među najvećim prijetnjama prirodi, a i čovječanstvu. Elektromagnetsko zagađenje ne možemo osjetiti, a negativne zdravstvene posljedice doći će do izražaja tek nakon dužeg vremena.[2]

Za elektricitet i magnetizam se u početku smatralo da su odvojene sile. 1873. godine škotski fizičar James Clerk Maxwell je razvio jedinstvenu teoriju elektromagnetizma. Studij elektromagnetizma proučava kako električki nabijene



čestice reagiraju međusobno i kako reagiraju s magnetskim poljima. Postoje četiri glavne elektromagnetske interakcije:

- Sila privlačenja ili odbijanja između električnih naboja je obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti između njih
- Magnetski polovi dolaze u paru koji privlače i odbijaju jedni druge, kao i električni naboji
- Električna struja u žici proizvodi magnetsko polje čiji smjer ovisi o smjeru struje
- Električno polje stvara magnetsko polje i obrnuto

Razlikujemo:

- Prirodna i
- Umjetna elektromagnetska zračenja

Prirodna zračenja su:

- Magnetsko polje Zemlje
- Elektrostatsko polje atmosfere
- Prirodna radioaktivnost
- Sunčeva svjetlost
- Sva radijacija iz svemira

Zračenja koja je proizveo čovjek nazivamo umjetna zračenja, a možemo ih okarakterizirati kao elektrosmog tj. kao još jednu vrsta zagađenja cijele planete. Prirodna i umjetna zračenja mogu biti promjenjive prirode ili statična polja. Za primjer statične prirode je električno i magnetsko polje Zemlje, a to znači da tijekom dužeg perioda promatranja imaju konstantan iznos.

Prirodna zračenja može otkriti senzor kao rezultat jednog ili dva procesa. Zračenja Sunca mogu se odbiti ili emitirati od Zemljine površine. Umjetna zračenja se dogode kada instrument na daljinsko očitavanje šalje svoj energetski puls prema Zemljinoj površini. Izvori umjetnog zračenja su jaki radio, bazna stanica, kompjuteri, dalekovodi, električna vozila, elektrane, trafostanice, industrijska postrojenja, mjerni instrumenti, mikrovalne pećnice, televizori, hladnjaci, električni štednjaci itd.

Niskofrekventno područje je područje do 300 Hz. Ponekad se koristi sinonim ELF (extreme low frequency), ali to nije u posve točno jer ELF označava raspon od 3-30 Hz. Ovo područje obuhvaća naponsku mrežu koja radi na 50 Hz, odnosno emisiju elektromagnetskih zračenja svih elektroničkih naprava koje koristimo u kućanstvu i na radnom mjestu : [2]

- Računala

- Televizije
- Frižideri
- Bojleri
- Sušila za kosu itd.

te na elektrodistribucijske sustave:

- Trafostanice
- Dalekovode
- Kućne elektroinstalacije

Ovo područje obuhvaća i frekvencijski raspon moždanih valova čovjeka te tzv. Zemljinu rezonantnu frekvenciju (7.83 Hz Schumannova frekvencija). Niskofrekventni signal teško prodire kroz zapreke poput betona i ljudskog tkiva, ali to nadoknađuje svojom velikom snagom. Snaga opada relativno brzo od izvora zračenja.

Visokofrekventno područje je područje od 300 MHz do 5000 MHz koje se naziva mikrovalnim područjem. U tom frekventnom području radi većina današnje tzv. 'mainstream' tehnologije :

- Digitalna televizija
- Mobitelna, wireless i bluetooth komunikacija
- DECT bežični kućni telefoni
- TETRA sustavi za komunikaciju policije i službi za hitnu pomoć
- Mikrovalne pećnice i ostali standardi za mikrovalni prijenos podataka

Ljudi koriste tehnologiju iz visokofrekventnog područja za komunikaciju i zabavu. Signal iz ovog područja može prodrijeti duboko kroz ljudsko tkivo i raznih prepreka poput betona. Snaga mu opada s kvadratom udaljenosti od odašiljača. Zbog brze degradacije signala mobilne stanice se postavljaju u gustoj mreži po urbanim naseljima. [2]

Elektromagnetski spektar jest raspon svih elektromagnetskih zračenja. Elektromagnetski spektar se proteže od zračenja ispod frekvencija koje koristi suvremeni radio do gama zračenja i pokriva valne duljine od nekoliko tisuća kilometara do djelića veličine atoma. Elektromagnetski valovi izvan tih granica su jako rijetki.

Elektromagnetsko zračenje se prenosi posredstvom titrajućih elektromagnetskih polja koja putuju kroz zrak i vakuum, a za transport mu nije potreban nikakav medij. Kada radio valovi prolaze kroz električni vodič, osciliraju elektricitet magnetskog polja i u njemu inducira izmjeničnu struju i napon. To se može transformirati u audio i druge signale koji prenose informacije. Taj fenomen se zove radio. Zbog toga su prijenosi signala televizije, radija i mobitela klasificirani kao emisije radijskih frekvencija.

Sva ugrijana tijela zrače elektromagnetske valove. Kada se grije neko tijelo, znači da se u njega ulaže energija pa se tako atomima se povećava energija te prelaze u pobuđena stanja i počinju titrati. Jezgre atoma nose naboje, pa tako prilikom titranja atoma dolazi do titranja naboja. U točkama prostora oko naboja postoji električno polje, a ako se naboj giba znači da se uz električno polje pojavljuje i magnetsko polje. Naboj koji titra predstavlja izvor elektromagnetskog vala. [3]

Termalni efekt zračenja karakterizira povećanje tjelesne temperature. Elektromagnetska polja uzrokuju promjenjivu polarizaciju molekula i atoma koji čine ćelije rezultirajući velikom toplinom. Prekomjerna toplina može uzrokovati oštećenje pojedinih organa i cijelog ljudskog organizma. Posebno štetno je za organe kao što su oči, mozak, bubreg itd. Kako bi se zaštitili ljudi od posljedica elektromagnetskog zračenja koristili su se različiti načini i mjere kao što su vrijeme, udaljenost, zaštiti izvore zračenja, smanjiti zračenje direktno na izvoru, daljinsko praćenje, liječnički pregledi.

### 3.Vrste elektromagnetskog zračenja

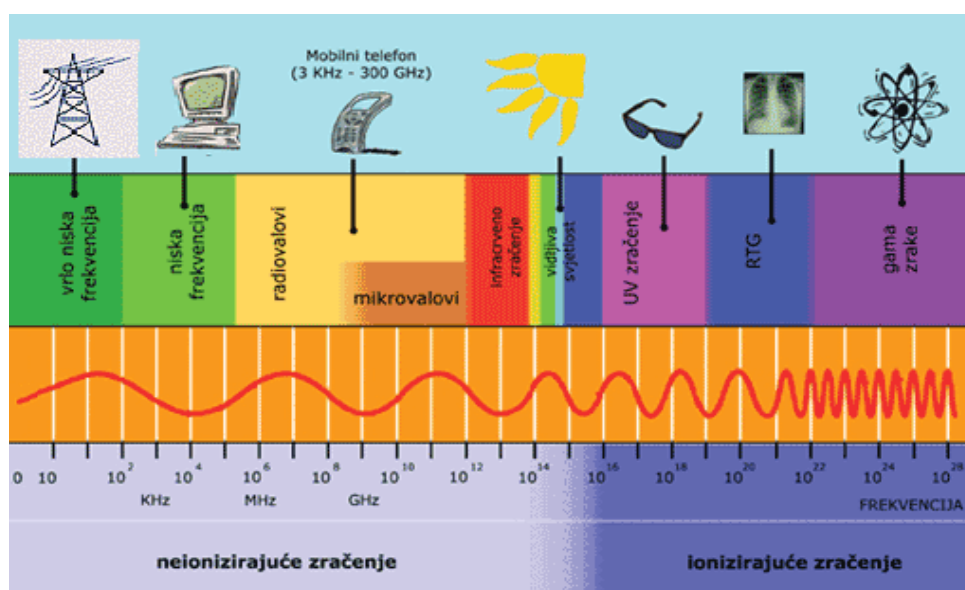
Elektromagnetski spektar je skupni pojam. Odnosi se na cijeli raspon i opseg frekvencija elektromagnetskog zračenja i njihovih pripadajućih valnih duljina fotona. Svi elektromagnetski valovi putuju istom brzinom u vakuumu (brzinom svjetlosti). Cjelokupna distribucija obuhvaća širok raspon frekvencija i valnih duljina, a sastoji se od mnogih podskupina, obično nazvanih dijelovima elektromagnetskog spektra. Različiti dijelovi nose različita imena na temelju razlika u ponašanju emisija, transmisija i apsorpcija odgovarajućih valova te na temelju njihovih različitih praktičnih primjena. Nema preciznih prihvaćenih granica između bilo kojeg od ovih susjednih dijelova, tako da rasponi imaju sklonost preklapanja.

Cijeli elektromagnetski spektar od najnižih do najviših frekvencija (najduže do najkraće valne duljine) uključuje sve radio valove (npr. komercijalni radio i televizija, mikrovalovi, radari), infracrveno zračenje, vidljiva svjetlost, ultraljubičasto zračenje, X-zrake i gama zrake. [45]

Električno i magnetsko polje su vezani u jednu specifičnu cjelinu i ne odvajaju se jedno od drugog. To je poznato iz činjenice da se pomoću magneta može inducirati struja, a oko svakog vodiča detektirati magnetsko polje. Spektar elektromagnetskog zračenja je pojam u fizici koji određuje specifičnosti ovog zračenja. [5]

Elektromagnetski spektar dijeli se na dva dijela:

- neionizirajuće
- ionizirajuće zračenje



Slika 2. Elektromagnetski spektar [5]

### 3.1. Ionizirajuće zračenje

Ionizirajuća zračenja su emisije čestica ili valova koji nastaju tako da nestabilni atomi elemenata emitiraju ili zrače suvišnu energiju. Način na koji jezgra gubi svoju suvišnu energiju, nastat će atom istog oblika niže energije, ali isto tako mogu se oblikovati drugačija jezgra i atom.

Ionizirajuće zračenje ima malu valnu duljinu od nekoliko pikometara do stotinjak nanometara. Ovo zračenje ima dovoljnu energiju da odvoji elektrone od atoma koji je upio emitiranu energiju zračenja. Tako nastaju ioni tj. atomi ili molekule koji su električki nabijeni.

Kada se govori o opasnostima od zračenja uglavnom se misli na ionizirajuće zračenje. Ovo zračenje ima dovoljnu energiju da ionizira atome u tijelu. Nastali ioni narušavaju biokemijske procese u stanicama, a zbog toga može doći do raznih poremećaja u njihovom funkcioniranju i dijeljenju. Tako čovjek može oboljeti od ozbiljnijih bolesti kao što je npr. rak. [6]

Specifični oblik ionizirajućeg zračenja naziva se čestično zračenje, koje se sastoji od atomske ili subatomske čestice (elektroni, protoni, itd.). Nosi energiju u obliku kinetičke energije ili mase u pokretu. Elektromagnetsko zračenje, u kojem se energija prenosi pomoću oscilirajućih električnih i magnetskih polja putuju kroz prostor brzinom svjetlosti.

Alfa i beta čestice smatraju se izravno ionizirajuće jer imaju naboj i stoga mogu izravno djelovati s atomskim elektronima putem Coulombove sile (kao kad se isti naboji međusobno odbijaju, dok se suprotni naboji međusobno privlače).

Neutron je posredno ionizirajuća čestica. Neizravno ionizira jer ne nosi električni naboj. Ionizacija je uzrokovana nabijenim česticama, koje se proizvode tijekom sudara s atomskim jezgrama.

Treći tip ionizirajućeg zračenja uključuje gama i X zrake, koje spadaju u posredno ionizirajuće zračenje. One su posredno ionizirajuće jer su električki neutralne i ne djeluju u međusobno s atomskim elektronima putem Coulombove sile. [49]

Produkt radioaktivnog raspada, nuklearne fisije, nuklearne fuzije, ekstremno toplih objekata i ubrzanih naboja može biti uzrok ionizirajućeg zračenja. Čestice moraju imati dovoljno energije i mogućnost reagiranja s elektronima da bi zračenje bilo ionizirajuće. Fotoni snažno reagiraju s nabijenim česticama pa su fotoni s dovoljnom količinom energije ionizirajući. U ultraljubičastom dijelu elektromagnetskog spektra fotoni postaju ionizirajući. Elektroni, pozitroni i alfa čestice su nabijene čestice koje snažno reagiraju s elektronima.

Neutroni slabo reagiraju s elektronima pa oni ne mogu direktno ionizirati atome. Neutroni mogu reagirati s atomskom jezgrom, ali to ovisi o jezgri i brzini neutrona. Na taj način mogu proizvesti nestabilne radioaktivne jezgre koje pri raspadu emitiraju

ionizirajuće zračenje. Jezgra radioaktivnog atoma emitira subatomske čestice i visoko-energetske fotone da bi se stabilizirala. Taj proces se naziva radioaktivni raspad.

Negativno nabijeni elektroni i pozitivno nabijene jezgre stvorene ionizirajućim zračenjem mogu oštetiti živo tkivo. Ako je razina zračenja dovoljno velika, posljedice se mogu vidjeti skoro pa odmah i to u obliku radijacijskog trovanja. Niža razina zračenja može uzrokovati karcinom i druge dugoročne probleme. Učinak vrlo malih doza ionizirajućeg zračenja još uvijek je predmet rasprava.

Radioaktivni materijali obično emitiraju alfa čestice, beta čestice ili gama zrake. List papira ili tanka čelična ploča mogu zaustaviti alfa i beta čestice. Emitiranjem unutar ljudskog tijela izazivaju najveća oštećenja. Gama zrake su slabije ionizirajuće od alfa i beta čestica, ali zahtijevaju deblju zaštitu poput olovne ploče. Gama zrake mogu uzrokovati oštećenja slična X-zrakama kao što su opekline, karcinomi i genetske mutacije.[14]

U ionizirajuće zračenje spadaju sljedeća zračenja: [6]

- alfa
- beta
- gama
- X zrake
- kozmičko zračenje
- neutroni



Slika 3. Simbol za ionizirajuće zračenje [47]

## **Alfa zračenje**

Alfa zračenje se sastoji od dvostruko pozitivno nabijenih čestica (dva protona i dva neutrona) koji su identični jezgrama helija. Njihova brzina je oko 1/20 brzine svjetlosti. To je dovoljno sporo da mogu imati relativno dugo međudjelovanje s materijom. Ovo je razlog zašto imaju jako ionizirajuće djelovanje. Njihov doseg je svega nekoliko centimetara, a može ih zaustaviti koža ili komad papira. Zbog svojeg ionizirajućeg djelovanja mogu biti jako opasne ako se unesu u tijelom kroz hranu ili putem udisanja. [6]

Kada je omjer protona i neutrona u jezgri određenih atoma prenizak, oni počinju emitirati alfa česticu kako bi uspostavili ravnotežu.. Atomi koji emitiraju alfa čestice uglavnom su jako veliki atomi, tj. imaju visoke atomske brojeve. Ima puno prirodnih i umjetnih radioaktivnih elemenata koji emitiraju alfa čestice. Prirodni izvori alfa čestica imaju atomski broj najmanje 82, uz neke iznimke. [15]

## **Beta zračenje**

Beta zračenje čine elektroni, negativno nabijene čestice koje putuju velikim brzinama. Njegovo ionizirajuće djelovanje je puno slabije od alfa zračenja, ali u zraku ima puno veći domet, od nekoliko metara. Može ga zaustaviti metalna ploča debljine svega nekoliko milimetara. Ako izvor dospije unutar organizma dolazi do velike opasnosti za zdravlje. [6]

Beta čestice su ekvivalentne elektronima. Razlika je u tome što beta čestice potječu iz jezgre, a elektroni se nalaze u omotaču. Električni naboj koji imaju beta čestice je  $-1$ . Masa beta čestice je približno 1/2000 mase protona ili neutrona. Brzina pojedinačne beta čestice ovisi o tome koliko energije ima i varira u širokom opsegu.

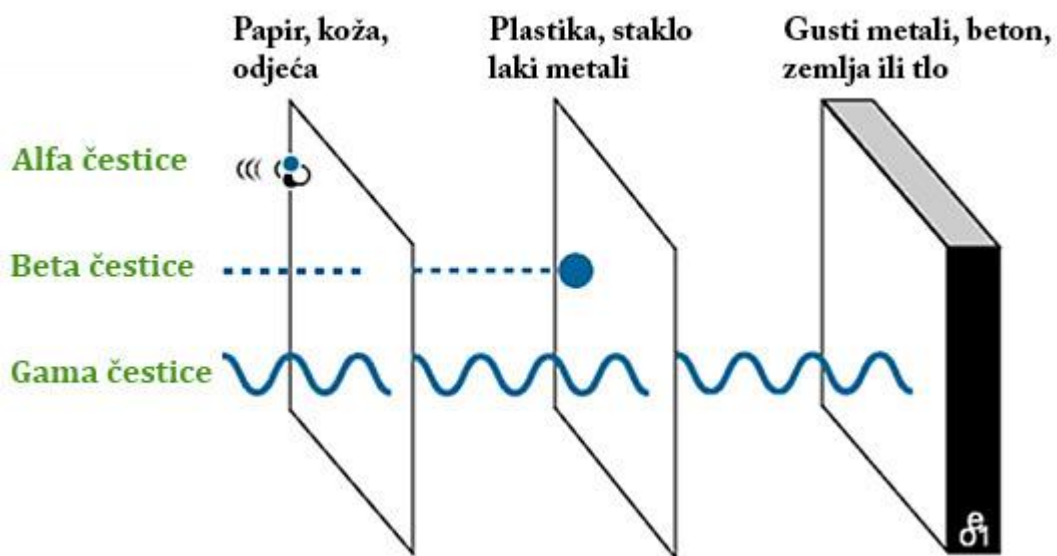
Beta čestice same po sebi nisu radioaktivne. Njihova energija u obliku brzine nanosi štetu živim stanicama na način da razbija kemijske veze i stvara ione. Beta emiteri imaju razne upotrebe, posebno se koriste u medicinskoj dijagnostici i liječenju. [17]

## **Gama zračenje**

Gama zračenje je elektromagnetsko zračenje velike energije koje potječe iz jezgre atoma. Ima slabije ionizirajuće djelovanje beta zračenja, ali zato ima veći domet. Gama čestice imaju veliku energiju pa putuju brzinom svjetlosti, a prije nego potroše energiju u zraku mogu prijeći i stotine tisuća metara. Imaju mogućnost prolaska kroz razne vrste materijala uključujući i ljudsko tkivo. Za zaštitu od gama zračenja koriste se jako gusti materijali, poput olova, betona ili vode. [6]

Do emisije gama zrake dolazi kada jezgra radioaktivnog atoma ima previše energije, a obično slijedi emisiju beta čestice. Radioaktivni elementi koji emitiraju gama zrake najrašireniji su izvori zračenja. Zbog svoje moći prodiranja gama zraka imaju razne primjene. Kada gama zrake prođu kroz materijal one ga ne čine

radioaktivnim. Najkorišteniji emiteri gama zraka su kobalt-60 koji ima primjenu u sterilizaciji medicinske opreme, pasteriziranju hrane, liječenju karcinoma, cezij-137 koji se koristi za liječenje karcinoma, mjerenje i kontrolu toka tekućina u industrijskim procesima, istraživanje podzemnih izvora nafte i tehnecij-99m za dijagnostičke studije u medicini. Gama zrake se koriste i za poboljšanje fizikalnih svojstava drva i plastike te za ispitivanje metalnih dijelova u industriji. Gama zrake postoje samo dok imaju energije, a kada ju potroše, bilo to u zraku ili u čvrstom materijalu one nestaju. [18]



Slika 4. Prodornost zračenja [19]

## X zrake

X (rendgensko) zračenje je elektromagnetsko zračenje velike energije, koje potječe iz elektrona. Ima malo veću valnu duljinu od gama zračenja, od 0.001 do 10 nm. Zbog svoje moći prodiranja X-zrake se koriste u medicinskoj dijagnostici, ali i u razne industrijske svrhe. X-zraka imaju veliku energiju koja može uzrokovati ionizaciju. Ako apsorbirana doza nije ispod određenog minimum X-zrake postati biološki opasne. Prolazi kroz ljudsko tijelo, a može se reducirati pomoću debelog sloja olova, betona ili vode. [6]

Primjena rendgenskog zračenja većinom se zasniva na prodiranju zračenja kroz tvar. Ako atomi neke tvari imaju veću masu jače apsorbiraju rendgensko zračenje. Na primjer olovo jače nego aluminijski, kalcij u kostima jače nego ugljik, kisik i vodik u mišićima. To se svojstvo koristi kako bi se vidjela unutrašnjost tijela. [20]



## **Kozmičko zračenje**

Kozmičko zračenje čine razne visokoenergetske čestice. Kozmičko zračenje čini otprilike 13% od ukupnog prirodnog pozadinskog zračenja.

Dijeli se na dva tipa:

- Primarno
- Sekundarno

Primarno kozmičko zračenje se sastoji od čestica jako velike energije do, a to su protoni, alfa čestice, teži ioni i elektroni. Veliki postotak primarnog kozmičkog zračenja dolazi izvan našeg Sunčevog sustava, dok jedan dio prolazi do našeg Sunca. Jako malo primarnog kozmičkog zračenja uspije doći do Zemljine površine. Velika većina reagira sa Zemljinom atmosferom i tako dolazi do sekundarnog kozmičkog zračenje. Sekundarno kozmičko zračenje se sastoji od fotona, elektrona, neutrona i gama zraka. Atmosfera i Zemljino magnetsko polje se ponašaju kao štit protiv kozmičkog zračenja i smanjuju količinu zračenja koja dolazi do površine. Utjecaj na kozmičko zračenje ima aktivnost Sunca čijim pojačanjem dolazi do pojačanja Zemljinog magnetskog polja i slabljenje učinka kozmičkog zračenja. [21]

## **Neutronske zračenje**

Neutronske zračenje spada u ionizirajuće zračenje. Često se pojavljuje kod nuklearnih reaktora i nuklearnih bombi. Sastoji se od neutrona, neutralnih subatomske čestice koje zajedno sa protonima grade atomski nukleus (jezgru). Neutroni se mogu naći u svim elementarnim jezgrama, osim u jezgru hidrogena. Neutronske zračenje je opasno za zdravlje, a smatra se četvrtim tipom zračenja po značaju. Odmah iza alfa i beta čestice te gama zraka. Ukoliko se čovjek izlaže jako velikoj dozi neutronske zračenja, njegovo tkivo može postati radioaktivno i posljedica je smrt. Ovo zračenje je najveću primjenu našlo u smrtonosnom oružju koje se koristi za uništavanje. [22]

## **3.2. Neionizirajuće zračenje**

Neionizirajuća zračenja su elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 3 000 000 GHz ) ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz. U međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione, tj. nemaju dovoljnu energiju da potpuno izbace elektrone iz njihove orbite i tako uvjetuju nastanak iona.

Neionizirajućem zračenju smo izloženi svakodnevno. Mikrovalne pećnice koriste mikrovalove za zagrijavanje hrane, tosteri koriste infracrvene valove, tijekom gledanja televizije, razgovora putem mobilnog uređaja, slušanja radija izloženi smo radiovalovima. Neki tipovi neionizirajućeg zračenja mogu oštetiti tkivo ako smo mu izloženi previše dugo.

U neionizirajuća zračenja spadaju sljedeća zračenja: [6]

- vidljivu svjetlost
- niskoenergetsko ultraljubičasto (Ultraviolet - UV) zračenje
- infracrveno (Infrared – IR ) zračenje
- radiovalna (Radiofrequency – RF) i mikrovalna (Microwave – MW) polja
- polja ekstremno niskih frekvencija ( Extremely Low Frequency – ELF)



Slika 5. Simbol za neionizirajuće zračenje [47]

### Vidljiva svjetlost

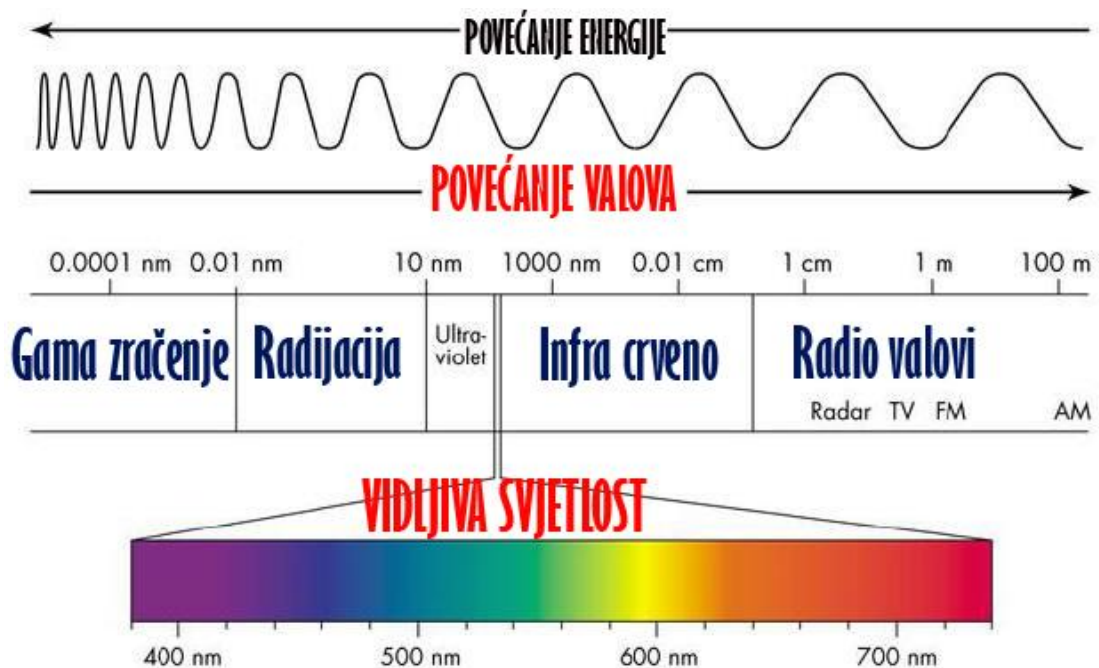
Svjetlo koje mi vidimo je samo jedan dio od vrste svjetla koja postoje. Elektromagnetski spektar obuhvaća širok raspon svjetlosnih valova. U njega spadaju radio valovi na najnižoj frekvenciji pa sve do gama zraka u svojoj najvišoj frekvenciji. Vidljiva svjetlost je u sredini i nalazi se između infracrvenih i ultraljubičastih zraka. Ostale vrste nevidljivog svjetla su radiovalovi, mikrovalovi i X-zrake. Vidljivi spektar svjetlosti ima valnu duljinu između 380 i 760 nanometara. Vidljiva svjetlost je sastavljena od boja. Proteže se od crvene boje pa sve do do ljubičaste. S time da svaka boja ima svoj raspon valnih duljina. [7]

Tablica 1. Vidljivi spektar i sedam glavnih boja [7]

Boja	Valna duljina (nanometar)
Crvena	~650 nm
Narančasta	~590 nm
Žuta	~570 nm
Zelena	~510 nm
Plava	~475 nm
Indigo	~445 nm
Ljubičasta	~400 nm

Elektromagnetske zrake nisu točno ograničene na određene valne duljine. One imaju sklonost da se miješaju zajedno, a to znači da vidljiva svjetlost može imati i neke od infracrvenih i ultraljubičastih zraka s kojima graniče. Kada je izvor svjetla u području ultraljubičastih zraka, svjetlo može oštetiti odjeću, slike i sve što je osjetljivo na ultraljubičasto svjetlo. Ako je izvor svjetla u infracrvenom spektru, infracrveno svjetlo u obliku topline zračenja može preplaviti vidljivo svjetlo.

Nisu sva infracrvena i ultraljubičasta svjetla loša. Ona imaju razne praktične primjene. Toplinske svjetiljke izrađene za uporabu u zimi dominiraju infracrvenim zrakama, dok recimo germicidne lampe i crna svjetla koriste ultraljubičasto zračenje. [7]



Slika 6. Vidljivi spektar zračenja [24]

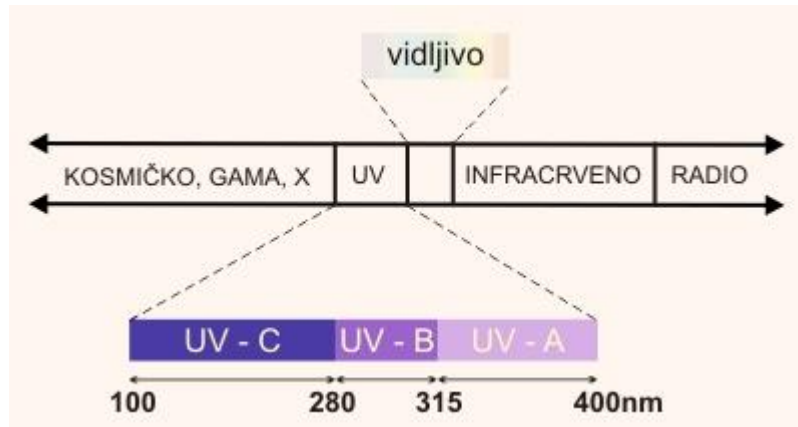
### Ultraljubičasto zračenje

Ultraljubičasto zračenje ili UV zračenje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama koje su manje od onih koje ima vidljiva svjetlost, ali veće od onih koje imaju neke X-zrake. [6]

Kada se promatra njegovo djelovanje na ljudsko zdravlje i okolinu ultraljubičasto zračenje se dijeli na :

- UV-A (400-315 nm)
- UV-B (315-280 nm)
- UV-C (280-100 nm)

U spektru Sunčevog zračenja na ultraljubičasto zračenje odlazi svega 10% energije. C- zrake se apsorbiraju u sloju atmosfere i zbog toga ne prodiru do površine Zemlje pa tako niti do naše kože. UV-A i UV-B zrake prodiru kroz vanjski sloj kože i mogu izazvati razna oštećenja poput opekline, raka kože, alergija i slično. Ljudi svjetlije puti su podložniji oštećenju stanica kože. [6]



Slika 7. Ultraljubičasti dio vidljivog spektra [8]

### Infracrveno zračenje

Infracrveno zračenje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama većim od valne duljine vidljive crvene svjetlosti, a manjim od valne duljine radiovalova.

Ima razne primjene. U vojsci se koristi za aktivno otkrivanje ciljeva u mraku. Termalno infracrveno zračenje emitiraju sva tijela ovisno o svojoj temperaturi pa se koristi se za alarmne uređaje, otkrivanje požara i u medicini. Blisko se infracrveno zračenje koristi u slobodnom prostoru za daljinsko upravljanje komunikacije kraćeg dometa, a kada ga se usmjeri pomoću svjetlovoda omogućuje jako brzi prijenos podataka i na veće udaljenosti. [6]

Razlikuju se : [9]

- IR A(kratkovalno infracrveno zračenje IR = 0,76 do 1,4  $\mu\text{m}$ )
- IR B ( srednje valno infracrveno zračenje IR= 1,4 do 3,0  $\mu\text{m}$ )
- IR C (dugovalno infracrveno zračenje IR= 3,0 do 10  $\mu\text{m}$ )

IR A posjeduje najveću energiju i prodire duboko u potkožno tkivo za razliku od IR B i IR C infracrvenog zračenja. Dubinsko zagrijavanje zračenjem IR A obnavlja unutarnju temperaturu tijela, te tako potiče intenzivnije znojenje i učinkovitije pročišćavanje. Srednje valno IR B i dugovalno IR C zračenje zagrijavaju samo površinski sloj kože.

Unutarnja energija tijela je osnovni izvor infracrvenog zračenja. Tijelo je izgrađeno od atoma i molekula, a zbog njihovog kretanja imamo i unutarnju energiju tijela. Svako tijelo na temperaturi iznad apsolutne nule, tj. 0 Kelvina emitira infracrveno zračenje. Čak i tijela koja se smatraju jako hladnim kao što je kocka leda, emitiraju infracrvene valove.

Jedan od najznačajnijih izvora infracrvene svjetlosti je Sunce. Naše tijelo je svakodnevno izloženo infracrvenom zračenju. Toplina koju osjećamo, a koja potječe od Sunca, otvorene vatre, radijatora, zagrijanog pločnika ili sličnog, primjer je infracrvenog zračenja. Naše oči ne primjećuju zračenje, ali naši živci u koži ga osjećaju kao toplinu. [10]



Slika 8. Infracrveno zračenje spektar [11]

## Radiovalno i mikrovalno zračenje

Radiovalno i mikrovalno zračenje su elektromagnetska zračenja frekvencijskog područja od 3 kHz do 300 GHz. Obično se mikrovalno zračenje smatra dijelom radiovalnog zračenja iako alternativna konvencija smatra radiovalno i mikrovalno zračenje kao dva zasebna spektralna područja. Mikrovalovi se nalaze u frekvencijskom području od 300 MHz do 300 GHz, a radiovalovi od 3 kHz do 300 MHz.

Radiovalno zračenje se ne smatra opasnim, ali opasnost opet postoji i to ovisi o frekvenciji, snazi izvora i vremenskom periodu izlaganja izvoru. Za razliku od optičkog zračenja mikrovalno i radiovalno zračenje prodire dublje i može djelovati na unutarnje organe. Problem izlaganja ljudi radiovalnom zračenju može se riješiti na način da se u obzir uzme frekvencija, modulacija, usmjerenost i relativna lokacija izvora. [12]

Tablica 2. Radio spektar od 3 Hz do 300 GHz [48]

Engleska kratica	Engleski naziv	Frekvencija	Valna duljina
ELF	Extremely Low Frequency	3 - 30 Hz	10 – 100 Mm
SLF	Super Low Frequency	30 - 300 Hz	1 – 10 Mm
ULF	Ultra Low Frequency	300 Hz – 3 kHz	100 km – 1 Mm
VLF	Very Low Frequency	3 kHz – 30 kHz	10 km – 100 km
LF	Low Frequency	30 kHz – 300 kHz	1 km – 10 km
MF	Medium Frequency	300 kHz – 3 MHz	100 m – 1 km
HF	High Frequency	3 MHz – 30 MHz	10 m – 100 m
VHF	Very High Frequency	30 MHz – 300 MHz	1 m – 10 m
UHF	Ultra High Frequency	300 MHz – 3 GHz	1 dm – 10 dm
SHF	Super High Frequency	3 GHz – 30 GHz	1 cm – 10 cm
EHF	Extremely High Frequency	30 GHz – 300 GHz	1 mm – 10 mm

### Polja ekstremno niskih frekvencija

Zračenje ekstremno niskih frekvencija uključuje izmjeničnu struju i neionizirajuće zračenje od 1 Hz do 300 Hz. Kod niskih frekvencija se stvaraju statička elektromagnetska polja. Polja ekstremno niske frekvencije sadrže razdvojeno, neovisno magnetsko električno polje. Električna polja stvaraju napon, a povećanjem napona povećava se i snaga električnog polja. Mjerna jedinica za električno polje je V/m, tj. volt po metru.

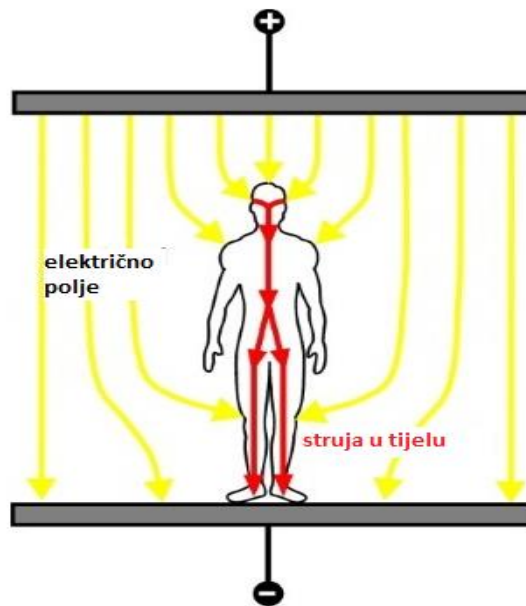
Magnetska polja stvaraju struju koja teče vodičima i njenim povećanjem se povećava snaga magnetskog polja. Magnetska polja se mjere jedinicama gaus ( G ) ili tesla ( T ). Napon proizvodi električno polje odnosno struju, a struja magnetsko polje. Električna oprema mora biti uključena da bi moglo nastati magnetsko polje. Za razliku od magnetskog polja električna polja postoje i onda kada je električna oprema isključena.

Utjecaj zračenja ekstremno malih frekvencija ovisi o: [13]

- jačini izvora magnetskog polja
- udaljenosti od izvora
- vremena provedenog u magnetskom polju

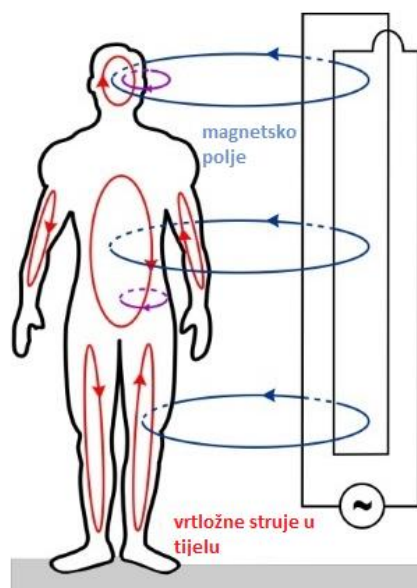
Električna polja ekstremno niskih frekvencija izobličena su prisutnošću tijela i stvaraju električna polja na površini tijela prijenosom naboja, čija snaga ovisi o veličini, obliku, dijelova i uzemljenju tijela te njegovoj orijentaciji u polju. Do danas

nisu poznati negativni efekti električnih polja ekstremno niskih frekvencija koji bi mogli proizaći iz punjenja površine tijela, osim mogućeg stresa uzrokovanog zbog duže izloženosti mikro šokovima.



Slika 9. Električna polja ekstremno niskih frekvencija [44]

Magnetska polja ekstremno niskih frekvencija prodiru u tijelu praktički bez prepreka. Mogući učinak je stimulirajući efekt magnetski induciranih električnih polja i tjelesnih struja (tzv. vrtložne struje) unutar tkiva. Snaga induciranih struja ovisi o frekvenciji, gustoći magnetskog polja i prostornoj raspodjeli (tj. snazi polja u svakoj točki u prostoru) magnetskog polja i području presjeka tijela, koju prodire magnetsko polje. Kada se prekorače određena ograničenja, to može uzrokovati osjetnu stimulaciju osjetljivih receptora, živaca i mišićnih ćelija. [44]



Slika 10. Magnetska polja ekstremno niskih frekvencija [44]

## 4. Utjecaj elektromagnetskog zračenja

Elektromagnetska zračenja mogu biti štetna ili blagotvorna neovisno o tome jesu li prirodna ili umjetna. Na primjer kozmičke zrake i svemirsko zračenje je štetno za ljudsko zdravlje, dok recimo magnetsko polje Zemlje nas štiti od štetnih posljedica takvog zračenja.

Sva umjetna EM zračenja producirana od razne tehnike su štetna za ljudsko zdravlje. Razlog tome je što rade u frekvencijskom spektru naših najosjetljivijih organa (mozga) kao što je niskonaponska mreža ili rade blizu rezonantne frekvencije vode od 2.4 GHz (npr. Wi-Fi tehnologija) koja je glavni gradivni element ljudskog tijela. Uvijek postoje iznimke i brojni istraživači su dokazali kako izlaganje elektromagnetskom zračenju niskog intenziteta i specifične frekvencije može pozitivno djelovati na zdravlje čovjeka.

Sva prirodna blagotvorna elektromagnetska zračenja su širokopojasna, tj. elektromagnetska emisija se odvija po skoro cijelom spektru frekvencija ili jako velikom dijelu spektru te ima tzv. kontinuirani spektar zračenja. Sva štetna umjetna tehnička zračenja imaju diskontinuirani spektar i obično emitiraju u uskom frekventnom području, a to može negativno djelovati na zdravlje čovjeka.

Neposredni termalni efekt zagrijavanja ljudskog tkiva vladajuća uprava priznaje kao jedini potencijalni rizik umjetnog tehničkog elektromagnetskog zračenja za zdravlje ljudi, a u stvarnosti predstavlja najmanju opasnost. Iza ovoga se kriju tzv. dugoročni kumulirajući netermalni negativni efekti na ljudsko zdravlje i još jedna skrivena komponenta, a to je tzv. informacijska ili skalarna komponenta koja u biti ima najštetnije djelovanje na čovjeka, biljke, klimu i životinje. [2]

### 4.1. Biološki učinci zračenja

100 bilijuna stanica ljudskog tijela međusobno komunicira putem elektromagnetskih signala i kroz biokemijske reakcije. Ti signalni putevi prenose informacije koje se prevode u sve biokemijske i fiziološke procese tijela. Neprekidno izlaganje elektromagnetskom zračenju može drastično iskriviti i narušiti te stanične komunikacijske puteve i na kraju izazvati nekakvu bolest.

Biološki stres izazvan elektrozaagađenjem duboko ugrožava normalnu fiziologiju i međustaničnu komunikaciju. Stanične funkcije se narušavaju, stanične membrane otvrdnjavaju, hranjive tvari ne mogu ući, a toksini ne mogu izaći. Raspad zdravih staničnih procesa dovodi do biološkog kaosa u našim tijelima. Čak i male doze elektromagnetske radijacije tzv. netermalni efekt elektromagnetskog zračenja jako loše djeluju na zdravlje čovjek. [2]

Popis simptoma i bolesti koje su posljedica izlaganja elektromagnetskom zračenju: [2]

- rak
- sterilnost
- spontani pobačaji i urođeni defekti



- pretilost
- gubitak apetita
- mučnina
- poteškoće u kretanju
- sindrom kronične premorenosti
- nesanica
- glavobolje
- tjeskoba
- nervoza i razdražljivost
- depresija
- poremećaj koncentracije i poteškoće u učenju
- hiperaktivnost
- gubitak pamćenja
- vrtoglavica
- drhtavica
- ASD poremećaji autističnog spektra kod djece
- Alzheimerova bolest
- oštećenje vida i sluha
- kožni problemi (osip)
- kardiovaskularni problemi (aritmija)

Elektromagnetska polja mogu izazvati biološke učinke koji ponekad mogu dovesti do negativnih učinaka na zdravlje. Važno je razlikovati ta dva pojma. [25]

Kad elektromagnetska polja uzrokuju fiziološke promjene u biološkom sustavu govorimo o biološkom učinku.

Mogući scenariji su sljedeći:

- stanice nisu oštećene zračenjem i nema negativnog učinka
- stanice su oštećene, ali uspiju popraviti štetu i zatim rade normalno bez negativnog učinka
- stanice su oštećene, poprave štetu i rade abnormalno (ako su morale napraviti neku funkciju prije popravka) –može doći do raka ili tumora
- stanice su jako oštećene i neke stanice umiru

Istraživanje biološkog djelovanja elektromagnetskih polja zahtjeva suradnju na raznim poljima: [26]

- medicina
- biologija
- biokemija
- elektrotehnika (fizika)
- epidemiološke studije

- zakonska regulativa te načini zaštite od zračenja

Negativan učinak na zdravlje se javlja kad je biološki učinak izlaganja polju izvan normalnih granica koje organizam može kompenzirati. [25]

Sprega elektromagnetskih polja i organizma ovisi o frekvenciji elektromagnetskih polja kojem je tkivo izloženo. Što je veća frekvencija većinom se promatra utjecaj magnetskog polja, a na velikim frekvencijama utjecaj električnog polja. Polje se mjeri u bliskom ili dalekom polju od izvora. Osnovni biološki učinak elektromagnetskih polja na visokim frekvencijama je zagrijavanje tkiva. Zagrijavanje tkiva naziva se termički, tj. toplinski učinak. Nastaje kada je ukupna elektromagnetska energija apsorbirana u ljudskom tijelu dovoljno velika da izazove porast temperature u tijelu i naruši unutarnje mehanizme za termoregulaciju.

Promjena temperature utječe na funkcije u organizmu. Promjene mogu biti: [26]

- Toplinski učinci nastaju kod porasta temperature u tkivu od 1°C kao rezultat apsorbirane elektromagnetske energije
- Atoplinski učinci elektromagnetskog polja nastaju kod promjene temperature u tkivu koje nije veliko zbog mehanizama za termoregulaciju
- Netoplinski učinci elektromagnetskih polja manji su od energije koja se oslobađa u organizmu normalnim tjelesnim funkcijama

Ne moraju svi biološki učinci biti škodljivi. Na primjer kod povećanja sunčevog zračenja može doći do povećanja protoka krvi u koži. Neki učinci mogu biti pogodni pa na primjer tijekom hladnog dana ako nas obasja sunčeva svjetlost osjetit ćemo toplinu. Isto tako mogu dovesti do pozitivnih učinaka na zdravlje kao što sunčeva svjetlost pomaže tijelu da proizvede vitamin D. Tu imamo i negativne biološke učinke na zdravlje čovjeka kao što su opekline ili rak kože. [25]

Postoje tri kategorije eksperimenata: in vitro, in vivo i in silico.

In vitro se odnosi na tehniku obavljanja danog postupka u kontroliranom okruženju izvan živog organizma. Mnogi eksperimenti u staničnoj biologiji provode se izvan organizma ili ćelija. Jedan od nedostataka in vitro eksperimenata je da ne uspijevaju precizno replicirati stanično stanje organizma. Zbog ovoga in vitro studije mogu dovesti do rezultata koji ne odgovaraju okolnostima koje se pojavljuju oko živog organizma. Do posljednjih nekoliko godina nastojanja za otkrivanjem i identifikacijom mikro organizama u ljudskom tijelu su isključilo ovisila o in vitro studijima.

In vivo se odnosi na eksperimentiranje koristeći cijeli živi organizam za razliku od djelomičnog ili mrtvog organizma. Istraživanja na životinjama i klinička ispitivanja su dva oblika in vivo istraživanja. In vivo se često koristi umjesto in vitro jer je prikladnije za promatranje cjelokupnih učinaka u eksperimentima na živim organizmima. Iako postoje mnogi razlozi za vjerovanje da in vivo studije imaju potencijal za ponuditi

uvjerljiv uvid o medicini i bolesti, postoji i niz razloga da ti zaključci mogu biti pogrešni. Na primjer terapija može ponuditi kratkoročnu koristi, ali dugoročnu štetu.

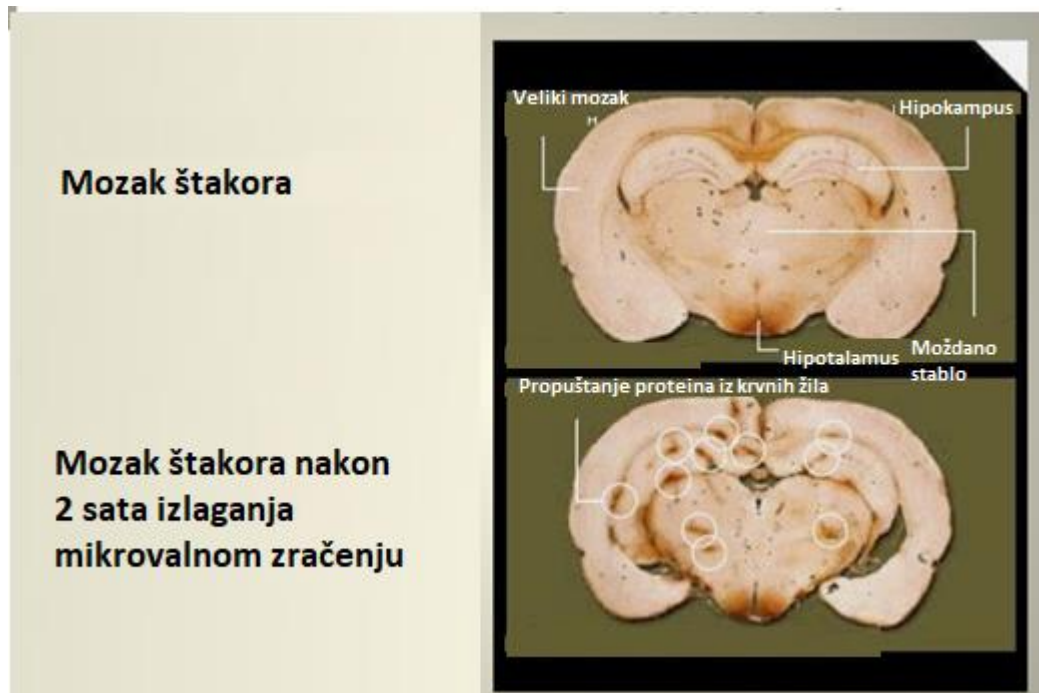
In silico je izraz za izvođenje na računalu ili putem kompjuterske simulacije. Odnosi se na biološke eksperimente koji se izvode isključivo na kompjuteru. [39]

Mobilni uređaji rade na frekvencijama od 800, 900 i 1800 MHz. 3G tehnologija radi na frekvencijama od 1900 do 2200 MHz. Kompjuteri i laptopi rade na frekvencijskom pojasu 1000 – 3600 MHz, a većina Wi-Fi sustava radi na oko 2450 MHz, što je ista frekvencija kao i za mikrovalnu pećnicu. Povećana uporaba bežičnih komunikacija dovela je do raznih zdravstvenih pitanja. Razne epidemiološke i eksperimentalne studije došle su do povezanosti između bioloških efekata i elektromagnetskog zračenja.

Efekt mikrovalnog zračenja može se klasificirati kao termalni i netermalni efekt. Termalni efekt je u velikoj mjeri proučavan i odnosi se na toplinu koja nastaje uslijed apsorpcije mikrovalnog zračenja. Izlaganje termalnog učinka može izazvati umor, katarakt i smanjiti koncentraciju. Netermalni efekti zračenja utječu na propusnost stranične membrane. Trenutni sigurnosni standardi se temelje isključivo na termalnim efektima zanemarujući netermalne efekte zračenja.

Princip mikrovalnog zagrijavanja je sličan onom u mikrovalnoj pećnici gdje se voda u hrani prva zagrijava. Apsorpcija mikrovalnih efekata je veća u dijelovima tijela koji sadrže više tekućine (voda, krv, itd.) kao što je mozak koji se sastoji od 90% vode. Učinak je izraženiji tamo gdje je slabiji protok tekućine, na primjer oči, mozak, zglobovi, srce, abdomen itd. Efekt se pokazao mnogo veći kod djece i trudnica. Postoje mnogi izvještaji da zračenje mobilnih uređaja uzrokuje rak, ali kompanije s mobilnim uređajima to pobijaju.

Mozak je zaštićen krvno moždanom barijerom koja omogućuje hranjivim tvarima da prođu iz krvi u mozak, ali isto tako štiti mozak od otrova. Od 1988. godine dr. Leif Salford je radio mnogim eksperimentima u kojima su izlagali mlade laboratorijske štakore mobilnim uređajima ili drugim izvorima mikrovalnog zračenja tražeći albumin u moždanom tkivu. Albumin je protein koji je normalna komponenta krvi, ali u normalnim okolnostima ne prolazi krvno moždanu barijeru. Prisutnost albumina u moždanom tkivu je znak da su krvne žile oštećene i da je mozak izgubio dio svoje zaštite. [40]



Slika 11. Utjecaj zračenja na mozak [50]

Pokusi [40] su pokazali da je kod izloženih životinja došlo do propuštanja albumina iz krvnih žila na neprikladna mjesta mozga, koja se na slici 11 mogu vidjeti kao tamne mrlje (označene krugovima). Bliži pogled na ćelije unutar mozga kod izloženih životinja je pokazao da je došlo do raspršivanja i grupiranja neurona zbog gubitka unutarnje strukture ćelija. Neuronska oštećenja ovakve vrste ne moraju imati neposredne posljedice, ali dugoročno gledano moglo bi doći do smanjenja kapaciteta mozga.

Ovi pokusi su ponavljani kroz sljedećih 18 godina i rezultati su uvijek isti potvrđujući da mikrovalno zračenje u dozama koje su jednake emisijama mobilnih uređaja uzrokuje pojavljivanje albumina u moždanom tkivu. Dobro je napomenuti da je krvno moždana barijera ista kod štakora i kod ljudi.

U drugom istraživanju [40], samo jedno izlaganje mobilnom uređaju od dva sata trajno oštećuje krvno moždanu barijeru. Na autopsiji 50 dana nakon istraživanja pronađeno je da je oštećeno ili uništeno do 2% moždanih ćelija kod životinja uključujući ćelije u području mozga koje je zaduženo za učenje, memoriju i kretanje. Poznato je da je ova barijera oštećena kod Parkinsonove i Alzheimerove bolesti. Stoga postoji rizik da bi poremećaj ove zaštitne barijere mogao oštetiti mozak.

Slični mehanizmi štite oko i fetus (placentna barijera), a mikrovalno zračenje ih oštećuje. Iz tog razloga trudnice bi uporabu mobilnih uređaja trebale smanjiti na minimum.

U istraživanjima [40] koja je vodio Carl Blackman pokazalo se da slaba elektromagnetska polja uklanjaju ione kalcija vezane za membrane živih ćelija, a to može dovesti do razvijanja privremenih pora i propuštanja. Propuštanje iona kalcija u citosol (tekućina koja se nalazi unutar ćelije) djeluje kao metabolički stimulans koji ubrzava rast i iscjeljivanje, ali isto tako potiče rast tumora. Propuštanje iona kalcija u moždane ćelije stvara živčane impulse za bol i druge neurološke simptome. Isto tako dovodi do smanjene osjetljivosti mozga na manje podražaje. Ovo bi moglo biti djelomično odgovorno za povećane nezgode kod vozača koji koriste mobilne uređaje.

Elektromagnetsko zračenje izaziva propuštanje membrane zbog gubitka iona kalcija. Propuštanje u membrani lizosoma (specifične organele u kojima se odvija razgradnja nefunkcionalnih proteina ili oštećenih staničnih dijelova) oslobađa enzim koji uništava DNA. Druga mogućnost oštećenja DNA je formiranjem slobodnih radikala unutar ćelija. Slobodni radikali ubijaju ćelije tako da oštećuju makro molekule kao što je DNA, proteini i membrane. Nekoliko izvještaja je pokazalo da elektromagnetska polja povećavaju aktivnost slobodnih radikala u ćelijama. Kada stopa oštećenja DNA premašuje granicu do koje se DNA može popraviti postoji mogućnost zadržavanja mutacija i poticanje nastanka rada.

U istraživanju [40] 1997. godine miševi koji su bili izlagani mobilnim uređajima. Nakon pet godina izlaganja miševi više nisu mogli imati potomke. To pokazuje da radiofrekvencijsko zračenje može prijeći s jedne generacije na drugu.

U jednom studiju [40] pokazalo se da djeca koja se oporavljaju od neke teže bolesti u područjima visokih frekvencija imaju manje šanse za preživljavanje. Isto tako djeca koja su odrasla u kućama koje su bile udaljene manje od 300 metara od dalekovoda imaju pet puta veći rizik od dobivanja neke vrsta raka tijekom života.



Slika 12. Prodiranje zračenja u glavu [40]

Kad zračenje dođe do glave prodire kroz lubanju. Na slici 12 su rezultati pokusa [40] iz 1997. godine koja su pokazala kako zračenje prodire kroz lubanju. Kod odrasle osobe 25%, kod desetogodišnjaka 50% i kod petogodišnjaka 75%. Što je dijete mlađe to je dublje prodiranje iz razloga što su njihove lubanje tanje i još uvijek se razvijaju.

Melatonin je snažan antioksidans i antidepresiv koji ojačava imunološki sustav. Regulira naš 24-satni ciklus. Kada je dostupnost melatonina smanjena može doći do raznih poremećaja uključujući poremećaje sa spavanjem i psihološku neravnotežu kao što je depresija. Elektromagnetsko zračenje smanjuje razinu melatonina kod ljudi. Melatonin štiti mozak od oštećenja koja mogu dovesti do raznih bolesti kao što su Alzheimer i Parkinsonova bolest. Isto tako može doći i do raka.

Proteini toplinskog šoka (HSPs), koji se nazivaju i proteini stresa su grupa proteina koji su pronađeni u gotovo svim živim organizmima. Izražaj ovih proteina je povećan kada su ćelije podlije gnute različitim vrstama stresa kao što su toplina, hladnoća, teški metali, trovanje, gubitak kisika. Uočeno je da vrlo niske razine ELF i RF zračenja uzrokuju da ćelije proizvode proteine za stres, što znači da ćelije prepoznaju ELF i RF zračenje kao štetno. Ako su ćelije predugo pod stresom može doći do njihovog oštećenja.

Pokazalo se da elektromagnetska polja utječu na fiziologiju mozga. Korištenje mobitela ometa fazu 4 spavanja (druga faza dubokog sna). Ova faza je važna za potpuni oporavak mozga i tijela. Telefonski pozivi, SMS poruke i puno korištenje kompjutera povezani su s poremećajima spavanja. Korištenje SMS usluga je također povezano sa simptomima depresije.

Zračenje mobilnih uređaja ometa navigacijsku opremu stoga je njihova uporaba zabranjena u zračnim letovima.

U većini zemalja standardi za mobilno zračenje temelje se na pretpostavci da je jedini biološki učinak mikrovalnog zračenja zagrijavanje. Međutim veliki broj dokaza pokazuje da netermalni učinci postoje i da se mogu pojaviti na mnogo manjoj razini zračenja ne uzrokujući zagrijavanje. Netermalni efekti radiofrekvencijskog zračenja akumuliraju se tijekom vremena. Nakon 24 sata izlaganja niskoj razini radiofrekvencijskog zračenja dolazi do oštećenja DNA. Postoji povećani rizik od glioma i akustičkog neuroma nakon deset godina korištenja mobilnih uređaja sa trenutnim standardima izloženosti zračenju. Sve upućuje na činjenicu da trenutni standardi za izloženost zračenju nisu sigurni za dugoročno vrijeme.

Postoje značajni utjecaji baznih stanica na okoliš. Istraživanja [40] pokazuju da ptice izložene slabim elektromagnetskim poljima budu dezorijentirane i počinju letjeti u svim smjerovima.

Neki poljoprivrednici su primijetili da krave koje pasu u blizini baznih stanica imaju veću vjerojatnost od preranog porođaja, deformacije teladi, mrtvorodenčadi,

raznih problema s ponašanjem i opći pad zdravlja. Premještanje goveda daleko od baznih stanica dovelo je do neposrednog poboljšanja zdravlja. U jednom istraživanju [40] krave koje su bile držane blizu TV-a i baznih stanica kroz dvije godine, imale su smanjenu proizvodnu mlijeka zajedno sa povećanim zdravstvenim problemima i abnormalnim ponašanjem. U jednom eksperimentu jednu kravu s abnormalnim ponašanjem su maknuli od antene i ponašanje se normaliziralo nakon pet dana. Nakon što je krava vraćena blizu antene simptomi su se vratili.

Jedan studij [40] u Engleskoj je pokazao da su se pčele odbile vratiti u košnice gdje je postojala DECT (standard za bežični prijenos podataka) bazna stanica. DECT bazna stanica se često koristi u kućama i uredima. Ona kontinuirano emitira isto zračenje kao i mobilni uređaji. Raspravljano je da povećana uporaba mobilnih uređaja može biti razlog zašto čitave kolonije pčela polako nestaju u Europi i Americi. Pčele su važni oprašivači za poljoprivredu. Nestankom pčela moglo bi doći i do krize hrane. U drugom studiju u Indiji otkriveno je da elektromagnetska zračenja od baznih stanica mogu dovesti do bolesti biljaka i životinja, a dovela su i do nestanka leptira, nekih kukaca i ptica poput vrapca.

U studijima [40] u kojima su ljudi bili izloženi zračenju na svojem poslu pokazalo se da su imali povećane zdravstvene rizike. Oni koji se bave elektronikom imaju 10% do 20% veću vjerojatnost dobivanja raka mozga i razvitka Ne-Hodgkinovog limfoma. Ne-Hodgkinov limfom predstavlja tumor koji nastaje zloćudnom preobrazbom stanica limfocitnog reda. Drugi studij [40] pokazuje da radnici koji su u kategoriji od 10% najviše izloženih zračenju imaju dvostruko veću šansu za umiranje od raka prostate od onih koji su izloženi manjim razinama.

U jednom studiju [40] je otkriveno da su u Mumbai-ju glavnom gradu države Maharashtra zračenja baznih stanica prelazila granice sigurnosti. Prema studiju sigurna granica zračenja za čovjeka je do  $50 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (mikrovata po metru kvadratnom), a gornja granica je  $100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Istraživanja su pokazala da su očitavanja zračenja na nekoliko stambenih površina prelazila  $1000 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Izlaganje tako velikom zračenju dovodi do problema kao što su gubitak apetita, iritacije, umor, problemi s koncentracijom, glavobolje, problemi s vidom, neplodnost i deformacija fetusa. Medicinski stručnjaci smatraju da je to spor i nevidljivi ubojica.

## 5. Utjecaj mobilne telefonije

Pokretni telefoni su radiofrekventni (RF) odašiljači koji emitiraju maksimalnu snagu u rasponu od 0.2 W do 0.6 W. Radiofrekventna polja iz prirodnih izvora imaju jako malu gustoću snage. Prirodno radiofrekventno zračenje dolazi od Sunca i njegova jakost je manja od 0.01 mW/m. Pokretni telefoni danas su sastavni dio suvremenih telekomunikacija. U mnogim zemljama čak i više od polovice stanovništva koristi pokretne telefone i taj broj drastično raste.

Radiofrekventna polja na frekvenciji pokretnih telefona prodiru u izložena tkiva na dubinu od približno 1 cm. Radiofrekventna energija se apsorbira u tijelu i proizvodi toplinu koju normalni tjelesni procesi za termoregulaciju odvođe. Zbog velike uporabe uređaja kao što su pokretni telefoni dolazi do potrebe za oblikovanjem studija koji istražuju posljedice lokaliziranog izlaganja glave radiofrekventnom zračenju. Do sada su provedene četiri epidemiološke studije o razvoju raka kod korisnika pokretnih telefona i nijedna od njih nije pokazala povećani rizik. Dosadašnja znanstvena istraživanja ne pokazuju postojanje negativnih učinaka na zdravlje kod izlaganja niskim netermičkim jakostima elektromagnetskih polja pokretnih telefona. 1997. godine jedna studija [25] je pokazala da radiofrekventna polja izazivaju razvoj limfoma kod genetički promijenjenih miševa. Izvijesteno je i o drugim učincima uporabe pokretnih telefona kao što su promjene u krvnom tlaku, moždanoj aktivnosti (EEG), vremenu reakcije i strukturi sna. [25]

Mobilni terminalni uređaji emitiraju elektromagnetske valove niske frekvencije tj. radio valove i to samo kada su uključeni.. Mobilni telefoni komuniciraju na način da odašilju radio valove preko mreže antena koje zovemo bazne stanice. Radio valovi su oblik neionizirajućeg zračenja i izazivaju zagrijavanje tkiva, ali ne značajno. Povezuje ih se i s poticanjem nastanka karcinoma, ali još uvijek nedovoljno konzistentno.

Najvažniji izvor zračenja mobilnih uređaja dolazi iz antene koja se nalazi unutar uređaja, a to znači da antenu držimo tik uz površinu glave. Neki pametni telefoni imaju antenu u donjem dijelu aparata tako da bude što dalje od glave tijekom razgovora. Što je antena bliža tijelu, veća je količina zračenja koju apsorbira naše tijelo. Što mobitel više udaljavamo od glave, utjecaj zračenja se drastično smanjuje. Na primjer ako poduplamo udaljenost mobitela od glave izloženost zračenju se smanjuje čak za 4 puta. Kada je signal slabiji mobilni uređaj koristi više energije i to povećava količinu zračenja.

Kod bežičnih telefona količina zračenja je puno manja nego kod mobilnih uređaja, a razlog tomu je da je bazna stanica blizu pa im je potrebniji signal puno slabiji. U ovom slučaju bazna stanica predstavlja mjesto na kojem čujemo i punimo slušalicu. Za razliku od bežičnih telefona i mobilnih uređaja klasični telefoni nemaju nikakvo zračenje. [27]



## 5.1. Utjecaj baznih stanica na okoliš

Bazne stanice omogućavaju mobilni komunikaciju, uključujući pozive i prijenos podataka. Bazne stanice se sastoje od različitih elektroničkih komponenti i antena. Mogu se nalaziti na krovovima, izvan ili unutar zgrada. Emitiraju visokofrekventna HF polja u rasponu od nekoliko stotina MHz do nekoliko GHz. Frekvencijski pojasevi se razlikuju ovisno o tehnologiji (GSM, UMTS, CDMA2000, 4G) i državi. Visokofrekventna polja omogućuju prijenos velike količine podataka putem vakuuma i zraka, a kod velikih brzina mogu proći i kroz čvrsti materijal. Kod velikih udaljenosti, signal mora biti prenesen komunikacijskom mrežom koja se sastoji od baznih stanica i često podržana žičnom mrežom.

Snaga baznih stanica varira između 10 i 50 vata (W) ovisno o području koji se mora pokriti i broju procesiranih poziva. To je malo ako se usporedi s ostalim transponderima poput radija i televizije, koji inače rade snagom koja se kreće između nekoliko kilovata (kW) to nekoliko megavata (MW). Jakost polja drastično se smanjuje s udaljenošću od izvora. Izloženost visokofrekventnim poljima se razlikuje od izloženosti mobilnim uređajima. Visokofrekventna izloženosti mobilnim uređajima je ograničena vremenom, a najveća opasnost je za glavu i za dijelove tijela koji su blizu mobilnog uređaja. Kod baznih stanica cijelo tijelo je izloženo zračenju. Zračenje od baznih stanica nije toliko intenzivno koliko kod korištenja mobilnih uređaja, ali pojavljuje se neovisno o tome jel se mobilni uređaj koristi ili ne.

Visokofrekventna polja imaju mogućnost probijanja u tijelo (što je veća frekvencija, manja se dubina probijanja). Posljedica je povećanje topline u ljudskom tkivu. Tijelo ima mogućnost da regulira unutarnju temperaturu tijela. Kada se pređe određena granica ovisno o vremenu izloženosti, visokofrekventna polja i popratna temperatura mogu izazvati ozbiljne posljedice za zdravlje kao što su toplotni udar i oštećenje tkiva.

Rizik od tumora kada se mobilni uređaj drži blizu uha bio je u središtu mnogih epidemioloških studija. Nekolicina epidemioloških studija su pokazale blagi porast rizika od tumora mozga za malu skupinu dugotrajnih i velikih korisnika mobilnih uređaja, dok neka nisu prijavila nikakva povećanja. Eksperimentalna studija na životinjama i ćelijama nisu potvrdila rezultate istraživanja epidemioloških studija i nema biofizičkih mehanizama koji bi mogli objasniti kancerogenost na tako niskim razinama izlaganja. Povećani rizik promatran u nekim epidemiološkim studijama ne slaže se s učestalošću pojavljivanja ovih tumora u populaciji. To je važno s obzirom na rasprostranjenost i značajan porast korištenja mobilnih telefona u općoj populaciji tijekom posljednjih nekoliko desetljeća.

Razna istraživanja [41] su provedena o odnosu između visokofrekventnih polja i posljedica kao što su glavobolje, problemi s koncentracijom, kvalitetom sna, kardiovaskularnim učincima itd. Do danas ova istraživanja nisu pokazala takve

zdravstvene učinke. Jedino otkriće je da ima mali efekt na funkcije mozga, izmjereno s elektroencefalografijom (EEG). Biološka implikacija tih malih promjena je i dalje nejasna. Na primjer, nije dokazano da utječu na kvalitetu sna ili se povezuju s bilo kojim drugim neželjenim učincima. Sva ova istraživanja o visokofrekventnim poljima dovode do zaključka nije povezana izloženost visokofrekventnim poljima ispod toplinskog praga s nepovoljnim učincima na zdravlje.

Kako bi se izbjegle zdravstvene opasnosti od izloženosti visokim frekvencijama (HF-u) koje emitiraju mobilni telefoni mora se ograničiti povećanje temperature u tijelu. To se može postići ograničavanjem apsorpcije energije HF-a izraženo u smislu specifične apsorpcije elektromagnetske energije (SAR). U svojim smjernicama ICNIRP preporučuje različite SAR vrijednosti koje se odnose na izloženost cijelog tijela.

Wi-Fi je termin koji se obično koristi za označavanje bežične lokalne mreže (WLAN), koji se koristi za razmjenu podataka između elektroničkih uređaja i bežično povezivanje. Na primjer, koristi se za povezivanje osobnih računala, tableta ili pametnih telefona međusobno i na Internet. Glavni valni pojasevi koje koriste Wi-Fi mreže nalaze se u rasponu visokih frekvencija (HF) elektromagnetskog spektra (nekoliko GHz).

Bežične pristupne točke (WAP) često se postavljaju u kućama i javnim zgradama kao što su zračne luke i stanice, hoteli i restorani, bolnice, škole i uredi, kako bi se omogućio pristup Internetu svim uređajima koji su povezani s njima bežično. Vanjske Wi-Fi mreže su dostupne u gradovima širom svijeta i u ovom slučaju pokrivenost velikog područja zahtijevat će brojne bežične pristupne točke.

Izlaganja HF-u od Wi-Fi-ja imaju iste karakteristike kao i izlaganja HF-u od baznih stanica i mobilnih telefona. Izlaganje bliskom polju uređaja povezanih na ruter ograničeno je u vremenu i najveće je za dijelove tijela koji su najbliži uređaju. Izlaganje dalekom polju rutera izloženo je cijelo tijelo. Manjeg je intenziteta, ali kroz duže vrijeme pošto HF emisije nastavljaju djelovati neovisno o tome radi li uređaj ili ne. [41]

Mobilni telefoni su se prvi put počeli koristiti u Americi 1990.-ih godina. Od tada njihova uporaba se drastično povećala. Velika uporaba mobilnih telefona dovela do povećanja broja baznih stanica. Bazne stanice imaju elektroničku opremu i antene koje primaju i odašilju radiofrekvencijske RF signale.

Mobilni telefoni komuniciraju s obližnjim stanicama putem radiofrekvencijskih valova, oblik energije u elektromagnetskom spektru između FM radiovalova i mikrovalova. Spadaju u neionizirajuće zračenje. To znači direktno ne oštećuju DNA u ćelijama, dok se za ionizirajuće smatra da mogu izazvati rak. Visoki nivo radiofrekvencijskih valova može zagrijati ljudsko tkivo, ali nivo energije koji koriste mobilni telefoni i stanice je puno niži.

## 5.2. Bazne stanice i rizik od raka

Kada osoba uspostavi poziv, signal se šalje od mobilne antene do antene najbliže bazne stanice. Bazna stanica odgovara na ovaj signal dodjeljivanjem dostupnog radiofrekvencijskog kanala. Radiofrekvencijski valovi prenose glasovne informacije do bazne stanice. Glasovni su signali zatim poslani u komutacijski centar koji preusmjerava poziv na odredište. Glasovni se signali prenose natrag i naprijed tijekom poziva.

Radiofrekvencijski valovi se od bazne stanice šalju u okoliš i na taj način ljudi mogu biti izloženi.

Energija antena mobilnih ćelijskih sustava je usmjerena paralelno s tlom. Antene baznih stanica koriste veću snagu od mobilnih antena, ali puno manju snagu od radijskih i televizijskih odašiljačkih postaja. Energija drastično pada kako se udaljenost od antena povećava. Razina izloženosti radiovalovima u razini tla je vrlo niska u usporedbi s razinom blizu antene. Izloženost radiovalovima od antena mobilnih ćelijskih stanica je neznatna iz nekoliko razloga. Razina snage je relativno niska, antene su postavljene visoko iznad razine tla, signali se prenose povremeno, a ne konstantno. Kada se ćelijska antena nalazi na krovu, moguće je da osoba koja se nalazi na krovu bude izložena većem nivou radiofrekvencijskog zračenja nego ako se recimo nalazi na tlu.

Razina radiofrekvencijske energije unutar zgrada gdje je bazna stanica montirana je puno niža nego izvan zgrade ovisno o materijalu od kojeg je napravljena zgrada. Drvo ili cementni blokovi smanjuju razinu radiofrekvencijskog zračenja za faktor od oko 10. Razina energije iza antene je stotina tisuća puta manja nego ispred antene. Ako je recimo antena postavljena na stranu zgrade, razina izloženosti u prostoriji iza zida je obično znatno ispod preporučenih granica izlaganja.

Neki su ljudi pokazali zabrinutost zbog toga što živeći, radeći ili odlaskom u školu blizu mobilne ćelijske stanice može povećati rizik od raka ili drugih zdravstvenih problema. U ovom trenutku postoji vrlo malo dokaza koji podupiru tu ideju. Postoje neke važne točke koje se protive tomu da mobilne ćelijske stanice mogu izazvati rak.

Prvo, razina energije radiofrekvencijskih (RF) valova relativno je niska, posebno u usporedbi s vrstama zračenja za koje se zna da povećavaju rizik od raka, kao što su gama zrake, rendgenske snimke i ultraljubičasto (UV) svjetlo. Energija RF valova koja se daje mobilnim telefonima nije dovoljna da razbije kemijske veze u DNA molekulama, tako da ti jači oblici zračenja mogu dovesti do raka.

Drugi problem ima valnu duljinu. RF valovi imaju velike valne duljine, koje se mogu koncentrirati samo na koji centimetar. Zbog toga je malo vjerojatno da bi energija RF valova mogla biti dovoljno koncentrirana da utječe na pojedine stanice u tijelu.

Treće, čak i ako RF valovi nekako mogu utjecati na stanice u tijelu pri većim dozama, razina RF valova prisutnih u razini tla je vrlo niska - znatno ispod preporučenih granica. Razine energije iz RF valova u blizini tornjeva mobitela se ne razlikuju značajno od pozadinske razine RF zračenja u urbanim područjima iz drugih izvora kao što su radio i televizijske postaje. [42]

Jako malo istraživanja se fokusiralo isključivo na mobilne ćelijske stanice i rizik od raka. U jednom velikom studiju [42], britanski su istraživači uspoređivali grupu u kojoj je bilo preko tisuću obitelji malodobne djece s rakom i sličnu grupu obitelji djece bez raka. Nisu pronašli nikakvu povezanost između izloženosti majke tornjevima tijekom trudnoće (na temelju udaljenosti od kuće do najbližeg tornja i količine energije koje su davali obližnji tornjevi) i rizika od ranog raka u djetinjstvu.

U drugom istraživanju [42], istraživači su usporedili skupinu u kojoj je bilo preko 2600 djece s rakom i sličnu skupinu djece bez raka. Otkrili su da oni koji su živjeli u gradu bi mogli biti mogli izloženi većoj od prosječne količine RF zračenja zbog mobilnih stanica i imati nešto veći rizik od raka, iako ne od bilo kakvog određenog tipa raka (poput leukemije ili tumora mozga). Ova istraživanja procjenjuje izloženosti djece ovisno o broju mobilnih tornjeva u njihovom gradu i koliko su jaki signali iz tornjeva. Problem je što nisu promatrali izloženost svakog djeteta zasebno na temelju udaljenosti njegovog doma ili škole od tornja. Ovo ograničenje smanjuje povjerenje u rezultate istraživanja.

Jedno istraživanje [42] je tražilo znakove DNA i oštećenja ćelija u krvnim stanicama kao mogući pokazatelj potencijalnog uroka raka. Otkrili su da šteta nije bila ništa veća kod ljudi koji su živjeli u blizini mobilnog tornja u odnosu na one koji nisu živjeli blizu tornja.

Količina izloženosti onih koji žive u blizini mobilne ćelijske stanice je puno manja nego kod korištenja mobilnog uređaja. Oko 30 istraživanja [42] su rađena zbog moguće veze između uporabe mobitela i tumora kod ljudi. Većina studija do danas nije pronašla vezu između korištenja mobitela i razvoja tumora, iako su ova istraživanja imala neka važna ograničenja.

Istraživanja [42] u laboratorijima su istražila da li vrste radiofrekvencijskih valova koje se koriste u telekomunikacijama mogu prouzročiti oštećenja DNA. Većina tih istraživanja je podržala ideju da radiofrekvencijski valovi od mobilnih uređaja i baznih stanica nemaju dovoljno energije da izravno oštete DNA. Zbog tog razloga nije jasno zašto mobiteli i bazne stanice mogu uzrokovati rak, ali istraživanja na tom području nisu gotova.

Neki znanstvenici su izvijestili da radiofrekvencijski valovi mogu proizvesti druge učinke u ljudskim ćelijama i doprinijeti rastu tumora. Bez obzira na to ta istraživanja nisu potvrđena i ti učinci nisu viđeni u istraživanju koje je proučavalo krvne stanice kod ljudi koji su živjeli blizu mobilnih ćelijskih stanica.

Nekoliko istraživanja [42] je obavljeno na miševima i štakorima i istražilo da li radiofrekvencijska energija može uzrokovati razvoj tumora. Ova istraživanja nisu pronašla nikakve dokaze o razvoju tumora.

Jedno veliko istraživanje [42] je obavljeno od američkog NTP-a (Nacionalni toksikološki program). Izlagali su veliku grupu miševa i štakora radiofrekvencijskoj energiji oko 9 sati po danu, počevši prije njihovog rođenja. Nakon dvije godine istraživanja su otkrile povećane (iako još uvijek niske) rizike od tumora mozga i srca kod muških štakora izloženih radiofrekvencijskom zračenju. Kod ženskih štakora nije bilo povećanog rizika. Ovi rezultati se ne mogu primijeniti na ljudima zbog nekih aspekata ovog istraživanja kao što su visoke doze radiofrekvencijskog zračenja i dugog vremena izlaganja štakora. Ipak, rezultati pokazuju na mogućnost da signali koji se koriste u komunikaciji mobilnih uređaja mogu potencijalno utjecati na ljudsko zdravlje.

Tri stručne agencije koje se bave uzrocima raka IARC (Internacionalna agencija za istraživanje raka), NTP (Nacionalni toksikološki program) i EPA (Agencija za zaštitu okoliša) nisu klasificirale mobilne ćelijske stanice kao potencijalne izvore raka.

Američka FCC (Federalna komunikacijska komisija) agencija je rekla sljedeće o baznim stanicama blizu domova i škola. Razine izloženosti na tlu emisijama radiofrekvencijskih signala iz antena i PCS-a (Osobne komunikacijske usluge) su obično tisuće puta ispod sigurnosnih granica. Ove sigurnosne granice donijela je FCC na temelju preporuka stručnih organizacija i odobrila agencija savezne vlade odgovorna za zdravlje i sigurnost. Stoga, nema razloga vjerovati da takve bazne stanice mogu predstavljati potencijalnu opasnost za zdravlje studenata ili stanovnika koji žive u blizini.

Međunarodna agencija za istraživanje raka (IARC) [42] je klasificirala radiofrekvencijska polja kao eventualno kancerogene za ljude temeljem dokaza o mogućem povećanju rizika od tumora mozga među korisnicima mobilnih uređaja i neodgovarajućih dokaza za ostale vrste raka. IARC je također primijetio da izlaganje mozga radiofrekvencijskim poljima iz baznih stanica postavljenih na krovove ili tornjeve je manje od 1/100 (jedne stotine) izloženosti mobilnim telefonima.

Ako živite blizu bazne stanice i zabrinuti ste za svoje zdravlje možete zatražiti od vladine agencije ili privatnih tvrtki da se izmjeri snaga radiofrekvencijskih polja kako bi se osiguralo da je to unutar prihvatljivih granica. [42]

Mnogi faktori utječu na količinu radiofrekvencijske energije kojoj je osoba izložena. To uključuje:

- Vrijeme koje osoba provede na mobilnom uređaju
- Da li osoba upotrebljava zvučnik za vrijeme razgovora. Na taj način mobilni uređaj je udaljen od glave

- Udaljenost i put do najbliže bazne stanice. Mobilni uređaji se prilagođavaju tako da koriste minimalnu snagu za dobar signal. Što je mobilni uređaj dalje od bazne stanice potrebna je veća energija za dobar signal.
- Trenutni mobilni promet na određenom području. Veći promet zahtjeva više energije.
- Model mobitela koji se koristi. Različiti mobiteli daju različitu energiju

Nekolicina studija istražilo je moguće veze između uporabe mobitela i tumora. Većina tih istraživanja usmjerena je na tumore mozga. U mnogim od ovih studija pacijenti s tumorima mozga uspoređeni su s ljudima bez tumora mozga, u ovisnosti o njihovoj uporabi mobilnih uređaja.

Došli su do različitih rezultata:

- U većini studija nije zabilježeno da su pacijenti s tumorima više koristili mobilne uređaje od onih bez tumora. Ovaj zaključak je istinit ako se svi tumori gledaju kao grupa ili ako se uzimaju u obzir specifični tipovi tumora
- Većina studija ne pokazuje sklonost tomu da rizik tumora raste s većom uporabom mobilnih uređaja
- Većina studija ne pokazuje da se tumori mozga češće javljaju na strani glave gdje osoba drži mobilni uređaj
- Zabilježeno je da je Švedska istraživačka grupa zabilježila povećani rizik od tumora na strani glave gdje osoba drži mobilni uređaj nakon 10 godina njegovog korištenja. Teško je reći što zaključiti iz ovih istraživanja pošto ostale studije nisu imale takve rezultate i u Švedskoj nije zabilježeno povećanje tumora mozga za vrijeme tih godina.

Studij [42] pod imenom Interphone obavio je istraživanje o korištenju mobilnih uređaja nad 5000 ljudi s tumorima (gliomi i meningeomi) i nad sličnom grupom ljudi bez tumora. Istraživanje nije pronašlo nikakvu vezu između rizika od tumora na mozgu i učestalosti poziva, duljeg vremena pozivanja ili korištenja mobilnog uređaja tijekom 10 ili više godina. Pojavila se mogućnost o povećanom riziku od glioma i meningioma kod 10% ljudi koji su najviše koristili mobilne uređaje. Ovaj nalaz je bilo teško protumačiti jer su neki ljudi u istraživanju pokazali nevjerojatnu veliku uporabu mobilnih uređaja. Istraživači studija su izjavili da su određeni nedostaci spriječili donošenje bilo kakvih čvrstih zaključaka i da je potrebno više istraživanja.

Drugi dio studija je usporedio više od 2000 ljudi s akustičnim neuromom i preko 2000 ljudi bez tumora. Kao i kod glioma i meningeoma nije bilo nikakve povezanosti između korištenja mobilnih uređaja i akustičnih neuroma.

U jednom velikom studiju [42] uspoređivali su sve ljude u Danskoj koji su imali mobilnu pretplatu između 1982. i 1995. godine (oko 400 000 ljudi) s ljudima bez pretplate kako bi istražili moguće rizike od tumora. Čak i nakon 13 godina korištenja

mobilnih uređaja nije došlo do nikakvog povećanja rizika od tumora mozga, tumora žlijezde slinovnice ili općenito raka.

Ovaj studij je također imao određene nedostatke. Istraživanje se temeljilo na tome da li su ljudi imali pretplatu na mobilne uređaje ili ne. Nije se mjerilo koliko su ljudi često koristili svoje mobilne uređaje i da li su ih uopće koristili. Jesu li osobe bez mobilne pretplate koristili tuđe mobilne uređaje. Teško da se ta istraživanja mogu primijeniti na osobe koje danas koriste mobilne uređaje. Razlog tomu je što su mobilni uređaji u to vrijeme zahtijevali veću snagu nego današnje vrijeme i isto tako u to vrijeme ljudi su puno manje koristili mobilne uređaje nego danas.

Većina studija koja su se obavljala na ljudima do sada nisu pronašla vezu između korištenja mobilnih uređaja i tumora. Međutim, sva ova istraživanja su imala neka važna ograničenja zbog kojih se ne može zaključiti da li mobilni uređaji uzrokuju rak ili ne.

Prvo, istraživanja još nisu bila u stanju proučavati ljude tijekom dugom vremena. Kada se tumori formiraju nakon izlaganja uzroku raka potrebna su desetljeća da se razviju. Budući da su mobilni uređaji u širokoj upotrebi samo 20 godina u većini zemalja nije moguće isključiti buduće učinke na zdravlje koji se još nisu pojavili

Drugo, upotreba mobitela stalno se mijenja. Ljudi koriste svoje mobilne uređaje puno više danas nego što su koristili npr. prije 10 godina, a sami mobilni uređaji su jako različiti od onoga što se koristilo u prošlosti. Zbog toga je teško znati da li bi rezultati raznih studija koji su se bavili korištenjem mobilnih uređaja u proteklom godinama bili i danas primjenjivi.

Treće, većina dosadašnjih istraživanja usmjerena je na odrasle, a ne na djecu. Mobilna telefonija danas je rasprostranjena čak i kod mlađe djece. Moguće je da, ako postoje zdravstveni učinci, mogu biti izraženiji kod djece jer njihova tijela mogu biti osjetljivija na radiofrekvencijsku energiju. Druga je zabrinutost da će životna izloženost djece energiji mobilnih uređaja biti veća od onih odraslih koji su ih kasnije počeli koristiti.

Konačno, većina studija se oslanja na ljudsko pamćenje tj. koliko su otprilike koristili mobilne uređaje. U takvim studijama teško je protumačiti povezanost između mobilnih uređaja i raka. Ljudi s rakom traže razne razloge za to pa ponekad mogu i nesvjesno govoriti o većoj uporabi mobilnih uređaja nego što zapravo jest.

Sve dok nije sigurno da li mobilni uređaji imaju negativne posljedice na zdravlje osobe koje su zabrinute time mogu smanjiti svoju izloženost radiofrekvencijskim valovima na sljedeće načine.

Koristiti zvučnik ili tzv. hands-free uređaje koji ne zahtijevaju uporabu ruku. Na taj način se antena udaljuje od glave što smanjuje količinu radiofrekvencijskih valova koji dopiju do glave. Mogu se koristiti slušalice koje ne emitiraju gotovo nikakve radiofrekvencijske valove (iako sam mobilni uređaj i dalje emitira male količine radiofrekvencijskih valova koji mogu doseći dijelove tijela ako je dovoljno blizu).

Bluetooth slušalice imaju SAR vrijednost od oko 0.001 W/kg što je za 1000 puta manje od SAR granice postavljene za mobilne uređaje.

Slanje poruka umjesto razgovora može biti druga opcija za smanjenje izloženosti. Ali to nije uvijek dobar izbor, pogotovo kod vožnje. Iz sigurnosnih razloga jako je važno ograničiti uporabu mobilnih uređaja za vrijeme vožnje.

Ograničiti upotrebu mobilnih uređaja kod djece. Ovo je jedan od najočitijih načina za ograničavanje izloženosti radiofrekvencijskim valova mobilnih uređaja.

Neki ljudi mogu razmotriti opciju da kod kupnje mobilnog uređaja odaberu onaj manjom SAR vrijednosti. SAR vrijednost za određeni mobilni uređaj se može provjeriti na web stranici proizvođača. [42]

### 5.3. SAR

Kada se čovjek izlaže poljima velikih frekvencija pa tako i GSM zračenju koje dolazi od baznih postaja to se kvantificira specifičnom gustoćom apsorbirane snage tj. specifičnim stupnjem apsorpcije elektromagnetske energije (Specific Absorption Rate - SAR). SAR je temeljna dozimetrijska količina za izlaganje na frekvencijama između 100 kHz i 6-10 GHz, a istraživanja su pokazala da je najpouzdanija za utvrđivanje pragova za biološke učinke. U praksi se ipak najčešće koristi frekvencija od minimalno 1 MHz i u takvim se situacijama radi o neionizirajućem zračenju, koje je karakteristično za mobilne telefone i različite oblike baznih stanica. Ako se koristi frekvencija koja je manja od 100 kHz tada se govori o gustoći struje, a ne o specifičnoj mjeri apsorpcije kao dozimetrijskoj veličini, nego o gustoći struje, što ne uzrokuje zagrijavanje tkiva, već neuromišićne stimulacije. Ukoliko je frekvencija veća, dolazi do pojave mikrovalnog zračenja, a to uzrokuje površinsko zagrijavanje ljudskog tijela. [31]

SAR se mjeri u W/kg, a brojčane vrijednosti su međunarodno standardizirane. Prema europskim pravilima uređaj može maksimalno imati SAR od 2 W/kg, dok prema američkom propisu SAR može maksimalno biti 1,6 W/kg. To bi značilo da 2 W vršna snaga odgovara 250 puta mW maksimalnoj prosječnoj prenesenoj snazi za GSM 900 MHz. WiFi bežični usmjerivači rade na 2.4 GHz. Sve bazne stanice koje su postavljene u Republici Hrvatskoj imaju manje vrijednosti emitiranih radio valova nego što je definirano međunarodnim normama, no ipak postoji mogućnost da se to u budućnosti promjeni. Iz tog razloga i Hrvatska definira zakonske propise kojima definira najveće vrijednosti specifične mjere apsorpcije. [32]

SAR se definira kao vremenska promjena prirasta energije  $dW$  kojeg apsorbira element mase  $dm$  sadržan u elementu volumena  $dV$  gustoće mase  $\rho$  i izražava se u W/kg.

$$SAR = \frac{d}{dt} * \frac{dW}{dm} = \frac{d}{dt} * \frac{dW}{\rho * dV} \quad 1)$$



SAR predstavlja mjeru lokalnog zagrijavanja tkiva te se određuje iz relacije:

$$SAR = C * \frac{dT}{dt} \quad 2)$$

gdje oznake imaju sljedeće značenje:

- $dT$  [°C] - diferencijalno mali porast temperature u infinitezimalnom vremenskom intervalu  $dt$  [s]
- $C$  [J/kg°C] - specifični toplinski kapacitet tkiva.

S aspekta gustoće toplinskih izvora SAR se definira preko relacije:

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} * |E|^2 \quad 3)$$

gdje je značenje oznaka:

- $\sigma$  [S/m] - vodljivost tkiva
- $E$  [V/m] - efektivna (srednja kvadratna) vrijednost električnog polja koje se inducira u tkivu
- $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] - gustoća mase

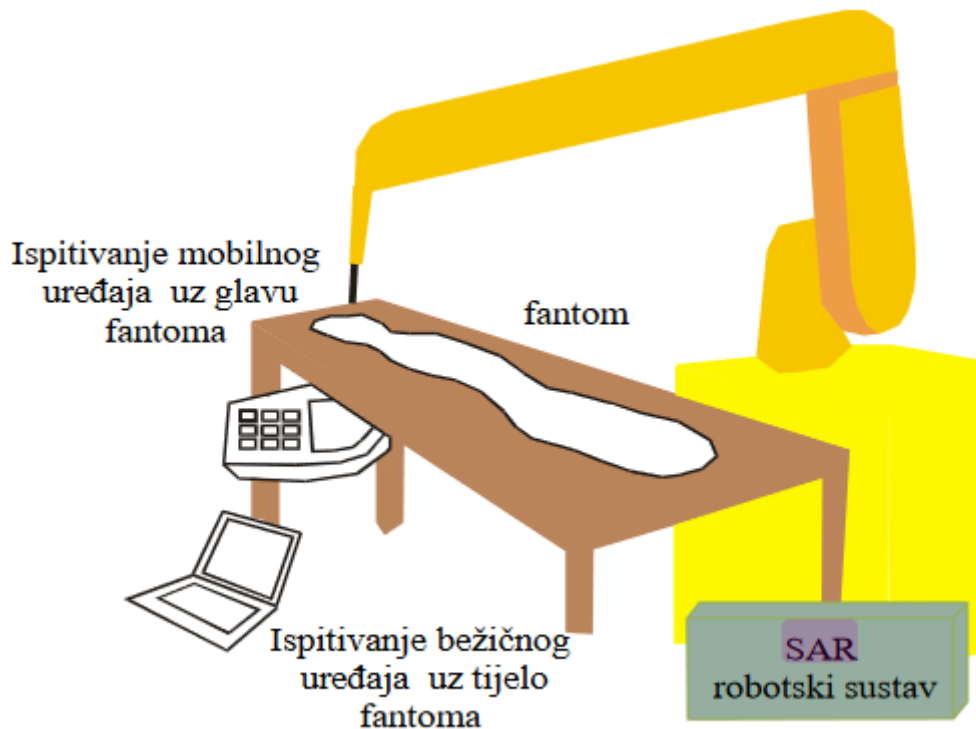
SAR se određuje pomoću teorijske i eksperimentalne dozimetrije tj. proračunom ili mjerenjem. Kod mjerenja SAR-a rade se eksperimenti na životinjama i fantomima. Fantomi su modeli ljudskog tijela napravljeni od sintetičkog materijala čija električna svojstva odgovaraju ljudskom tkivu. [31]

Od kada se primjenjuje u praksi, specifična mjera apsorpcije je postala standard kojim se mjeri stupanj sigurnosti korištenja mobilnih uređaja. Specifična mjera apsorpcije omogućava mjerenje apsorpcije koja se pojavljuje u ljudskom tijelu temeljem upijanja radio-frekvencijske energije. Prilikom zračenja koje se pojavljuje tijekom jako velikog izlaganja mobilnoj tehnologiji dolazi do mikrovalne pojave i pripadajućih termalnih efekata. Termalni efekti su u praksi puno poznatiji i istraživaniji nego što je to slučaj s drugim mikrovalnim pojavama, jer kombinacija netermalnih i subtermalnih svojstava negativno utječe na imunološki, živčani i endokrini sustav.

SAR se procjenjuje na jedan od sljedećih načina: [26]

- Mala antena za mjerenje električnog polja smješta se u tkivo. Ako su vodljivost i gustoća tkiva poznati, SAR se računa prema gornjem izrazu.

- Mala sonda za mjerenje temperature smješta se unutar tkiva (može i pomoću infracrvene kamere). SAR se određuje mjerenjem promjene temperature u nekom vremenu i uz poznavanje specifičnog toplinskog kapaciteta tkiva.
- Pomoću numeričkih metoda, npr. FDTD (metoda konačnih razlika), koja simulira prostornu raspodjelu zračenja u tkivu



Slika 13. Mjerenje SAR-a u bliskom polju [26]

SAR se mjeri u bliskom i u dalekom polju. Za antene se u većini slučajeva koriste dipoli. Mobilni telefon smije biti udaljen od fantoma najviše 20 cm. Za mjerenja u bliskom polju koriste se osjetila za mjerenje električnog ili magnetskog polja. Fantom je najčešće ispunjen homogenom tekućinom. Robot traži najjači signal i uz pomoć računala pretvara izmjereni signal u SAR.

Za model glave se koristi specifična antropomorfna lutka (SAM). Kod glave treba modelirati različita tkiva: mišiće, mozak, hrskavicu i oči. Za model cijelog tijela rabi se stakloplastika. Desna ruka je u položaju kao da drži uređaj ispred usta a lijeva ruka je ispružena prema gore. Na stražnjoj strani su otvori za mjerenja. Debljina materijala može biti od 3 do 4 mm. Fantomi se pune tekućinom koja se sastoji od vode, šećera, ulja i kemikalija.

Osjetila mjere električno i magnetsko polje te temperaturu u jednoj ili u sve tri osi. Trebaju biti zaštićena od statičkih polja, a mogu biti i ugrađena u optička vlakna.

Numerička dozimetrija u dalekom polju odnosi se na izloženost baznim postajama. Razine izloženosti na ulicama grada puno su manje nego od mobilnih

telefona. Kod numeričke simulacije neki parametri se mogu mijenjati dok druge drže konstantnim. [26]

Prilikom testiranja specifične mjere apsorpcije se koriste različiti položaji glave i tijela te se u svima određuje utjecaj zračenja. Specifična se mjera apsorpcije utvrđuje temeljem najveće moguće potvrđene snage, a to u stvarnosti često nije slučaj, tj. mjera je daleko ispod utvrđene najveće vrijednosti. Do toga dolazi prvenstveno kada je mobilni uređaj što bliže odašiljaču signala, odnosno što je on udaljeniji, izlazna snaga je veća, a samim time i zračenje.

Jedna od najčešće korištenih metoda u mjerenju specifične mjere apsorpcije je metoda pulsne energije. Metoda pulsne energije se provodi kroz niz specifičnih koraka od kojih se svaki mora provesti na točno utvrđeni način kako bi se dobili dobri rezultati. Fantom, model ljudskog tijela ulazi u mjerenje tek u petom koraku.

U prvom koraku metode pulsne energije potrebno izmjeriti gubitke koji nastaju na promatranoj frekvenciji na prijenosnim vodovima između spojnice i pripadajućeg osciloskopa, čija je impedancija podešena na  $50\Omega$ . Nakon toga slijedi mjerenje faktora atenuacije i snage koju odašilje spojnica.

U trećem se koraku mjeri ukupna električna duljina i sama atenuacija temeljem radio frekvencijskih konektora i pripadajuće zavojnice

U četvrtom koraku parametri impulsa podešavaju se na način prikladan za mjerenje specifične mjere apsorpcije.

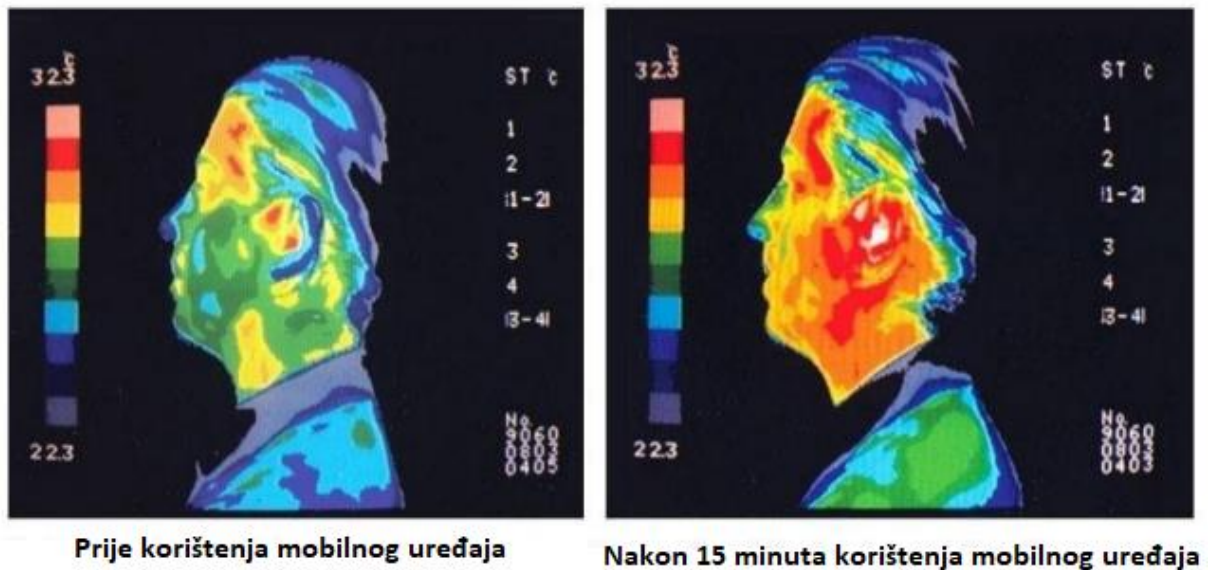
Tek u petom koraku dolazi do primjene fantoma koji se smješta u neposrednu blizinu same zavojnice, nakon čega slijedi postupak mjerenja. Da bi se omogućilo mjerenje specifične mjere apsorpcije, potrebno je odabrati jednu najbolju lokaciju na fantomu, koja se skenira uz pomoć već prije podešenog pulsa pod kutem od  $90^\circ$  i nakon nekog vremena  $180^\circ$  i vremenom ponavljanja od 500 ms. Navedena će metoda rezultat izraziti u voltima, pa je potrebno preračunavanje u snagu, odnosno vate. [36]

Ako nije moguće korištenje metode pulsne energije, moguće je samo mjeriti rast temperature fantoma na odgovarajućem mjestu tijekom kojeg je perioda potrebno održavanje signala šuma koji utječe na porast temperature.

Bez obzira koja se metoda koristi za mjerenje specifične mjere apsorpcije, potrebno je pravilno korištenje mjerne sonde. Sonda treba biti dovoljno mala da nema rezonancije preko frekvencijskog spektra i dovoljno precizna za prostornu registraciju terena. Zatim sonda mora biti osjetljiva i izotropna i približena lokaciji mjerenja što je više moguće. Ona je nadalje vrlo važna jer mora biti formirana na način da ne ometa strukturu fantoma i samim time utječe na konačne rezultate. Kada se koristi u praksi, sonda ima mogućnost mjerenja specifične mjere apsorpcije u iznosima do čak  $100 \text{ W/kg}$ .

Mjerenja koja se provode u praksi pokazuju da je zračenje mobilnih uređaja najveće u trenutku kada se on nalazi prislonjen na uho, odnosno kada se korisnik

javlja na poziv. U tom se trenutku pojavljuju vrijednosti zračenja koje dosežu do 2 W/kg, što je utjecaj samo na vanjski uho. Ovisno o tome na kojem se uhu razgovor provodi, zrači se gotovo cijela polutka glave, iako u unutrašnjosti s tek vidljivim vrijednostima zračenja. To se može vidjeti na slici 14. Iako su u trenutku javljanja na poziv ostvaruje najveća razina zračenja, mobilni telefoni šire radio valove čak i kada miruju nekorišteni, ali tada je razina zračenja manja. [36]



Slika 14. Razgovor putem mobilnog uređaja [37]

Crvena i žuta boja pokazuje termalni efekt zagrijavanja koji može izazvati negativne posljedice na zdravlje.

Da bi se olakšalo provođenje samog postupka mjerenja specifične mjere apsorpcije donesena je direktiva IEC 62209-1 koja detaljno opisuje postupak mjerenja.

Svaki sustav temeljem kojeg se provodi mjerenje specifične mjere apsorpcije mora sadržavati četiri osnovne stavke:

- fantom,
- elektroničku instrumentaciju
- uređaj za skeniranje
- mobilni uređaj

Od svega ovoga možda je najteže odabrati prikladan fantom. Sve navedene stavke moraju zajedno djelovati kao jedan sustav, na koji se po potrebi može dodatno kalibrirati sam mjerni uređaj kao i sustav za prikupljanje podataka.

Prije samog početka mjerenja specifične mjere apsorpcije potrebno je izvršiti odgovarajuće pripreme u smislu provjere sustava, pripreme mobilnog uređaja, određivanja frekvencije na kojoj će se provesti mjerenje te pripreme testova.

Nakon svega toga može se pristupiti mjerenju kroz sljedeće korake: [38]

- Mjerenje lokalne specifične mjere apsorpcije u rasponu od najviše 10 mm u odnosu na unutrašnju površinu fantoma
- Mjerenje distribucije specifične mjere apsorpcije unutar fantoma na odabranom području skeniranja
- Identificiranje pozicije najveće vrijednosti specifične mjere apsorpcije
- Mjerenje specifične mjere apsorpcije s korakom grida od najviše 8 mm
- Primjena interpolacije i ekstrapolacije za određivanje lokalnih vrijednosti specifične mjere apsorpcije potrebnih za određivanje prosjeka

Da bi neki od mobilnih uređaja bio lansiran na tržište, on se mora biti provjeriti od strane nadležnih tijela koja provode testiranja prema uputama Međunarodne komisije o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. Da bi se potaknula svijest o kancerogenom djelovanju mobilnih uređaja na ljudsko tijelo, broje svjetske udruge i organizacije nastoje što češće objavljivati razinu zračenja u nekim najpoznatijim i drugim mobilnim uređajima te samim time potaknuti ljude na što rjeđe korištenje mobilnih uređaja

Tablica 3. Popis mobilnih terminalnih uređaja sa jako malim zračenjem [33]

Redni broj	Mobilni terminalni uređaj	SAR [W/kg]
1.	Verykool Vortex RS90	0.18
2.	Samsung Galaxy Note	0.19
3.	ZTE Nubia 5	0.225
4.	Samsung Galaxy Note 2	0.28
5.	Samsung Galaxy Mega	0.321
6.	Kyocera Dura XT	0.328
7.	Pantech Discover	0.35
8.	Samsung Galaxy Beam	0.36
9.	Samsung Galaxy Stratosphere II	0.37
10.	Pantech Swift	0.386

Tablica 4. Popis mobilnih terminalnih uređaja sa jako velikim zračenjem [33]

Redni broj	Mobilni terminalni uređaj	SAR [W/kg]
1.	Motorola Droid Maxx	1.54
2.	Motorola Droid Ultra	1.54
3.	Alcatel One Touch Evolve	1.49
4.	Huawei Vitria	1.49
5.	Kyocera Hydro Edge	1.48
6.	Kyocera Kona	1.45
7.	Kyocera Hydro XTRM	1.44
8.	BlackBerry Z10	1.42
9.	BlackBerry Z30	1.41
10.	Nokia Lumia 925	1.40

## 5.4. Radari, odašiljači i antene

RADAR je skraćenica nastala od engleskih riječi Radio Detection and Ranging, a to znači otkrivanje i određivanje udaljenosti najkraćim radiovalovima. To je elektronski uređaj za otkrivanje nekog objekta, npr. broda, zrakoplova, vozila, za mjerenje njegove udaljenosti i brzine kao i za upravljanje njime u tami i po magli. [28]

Sastoji se od : [35]

- antene
- radioodašiljača
- radioprijamnika
- računala za obradu i prikaz podataka

Kad emitirani snop naiđe na neki objekt, on će se od njega odbiti i na ekranu katodne cijevi prijemnika izazvati pojavu siluete objekta te dati procjenu njegove udaljenosti. Parabolična okrugla ploča odašiljača vrti se u krugu. Mjerni instrumenti mjere gustoću snage električnog polja odaslano iz radarske antene, izraženo u W ili mW na površini od 1 cm<sup>2</sup>. Biološki efekti radarskog zračenja najsigurnije se procjenjuju biodozimetrijom, tj. mikroskopskim promatranjem promjena na kromosomima u krvnim stanicama periferne krvi.

Za populaciju koja se može slučajno naći u blizini radarskog uređaja važno je znati da što se dalje nalazi od odašiljača, to je manja gustoća snage odaslanih radarskih valova. U krugu od 94 m od odašiljača gustoća snage je manja od 10 mW/cm<sup>2</sup> pa u rijetkim slučajevima može doći do nekakvih posljedica za zdravlje. U krugu do 200 m mogu nastati neznatne kromosomske promjene, a preko te udaljenosti posljedice nisu ni moguće. Sigurnost suvremenih komunikacija brodovima i zrakoplovima nezamisliva je bez radarskih uređaja. S radarskim uređajima radi čovjek i zato znanost istražuje ima li kakvih opasnosti za čovjeka i ako ih ima kolike su. U Hrvatskoj se ističu radovi Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada u Zagrebu i Pomorskog instituta u Splitu. Odnose se na zaposlene na palubama brodova, na zaposlene u zrakoplovstvu, na servisere radarskih uređaja, na populaciju van radarske struke. [28]

Gustoća snage do :

- 1 mW/cm<sup>2</sup> ne zahtijeva nikakvu kontrolu
- 5-10 mW/cm<sup>2</sup> ne izaziva promjene, ali se ipak osoblje kontrolira
- 10-20 mW/cm<sup>2</sup> izaziva jedino pad mitotske aktivnosti u kromosomima stanične jezgre
- preko 20 mW/cm<sup>2</sup> izaziva kromosomske aberacije koje su reverzibilne, tj. za neko vrijeme nestaju
- preko 100 mW/cm<sup>2</sup> mogu izazvati veliku štetu

Male doze izazivaju povišenje temperature u pojedinim tkivima i organima. Srednje doze izazivaju neurovegetativne smetnje slične onima pri neurozi, tzv. radarski sindrom, kao i promjene u spermijima, zamućenje očne leće i umjereno smanjenje broja krvnih zrnaca.. [28]

Pri radu s radarskim uređajima neophodne su preventivne i zaštitne mjere:

- određene su granične razine doza preko kojih radarski uređaj ne smije biti instaliran
- mjeri se zračenje u okolišu izvora zračenja
- određuje se vremensko ograničenje profesionalne izloženosti zračenju
- pri popravcima uređaj mora biti isključen, a kad ne može biti mora se nositi zaštitna odjeća od nikla i zaštitne naočale koji odbijaju 99% zračenja
- provodi se periodički zdravstveni nadzor osoblja; radarski objekt mora biti ograđen u širokom krugu van kojega stanovnici ne mogu biti ozračeni

Njih propisuje Zakon o zaštiti od neionizirajućih zračenja od 13. listopada 1999., čije provođenje nadzire Hrvatski zavod za zaštitu od zračenja, uz pomoć Povjerenstva za zaštitu od neionizirajućih zračenja i Ministarstva zdravstva te Ministarstva za zaštitu okoliša. [28]

Antena naprava koja služi za emitiranje i prijem elektromagnetskih valova. Električki gledano: [29]

- prijelazna struktura između pojnog voda i otvorenog prostora kojim se elektromagnetski val širi
- prilagođava impedanciju odašiljača na impedanciju slobodnog prostora

Kod antena možemo promatrati nekoliko bitnih parametara po kojima se antene razlikuju:

- rezonantna frekvencija
- usmjerenost (dobitak)
- polarizacija
- impedancija
- dijagram zračenja

- ovisno o sustavu u kojem ih želimo koristiti, birat ćemo različite tipove antena prema obliku i parametrima
- za prijenosne uređaje osnovni parametar pri dizajnu bit će oblik, odnosno restrikcije zbog kućišta uređaja

Antene mogu biti različitih oblika kako bi im svojstva bila prilagođena za specifične potrebe. Osnovna podjela antena je sljedeća:

- žične antene
- otvor antene
- mikrotrakaste (microstrip) antene
- reflektor antene
- leća antene
- antenski nizovi



Slika 15. Antena riblja kost [29]

Na slici 15 prikazana je Yagi antena odnosno riblja kost. Yagi antene su usmjerene antene koje se sastoje od dipola i nekoliko parazitnih elemenata. Parazitni elementi su reflektori i direktori. Ove antene najčešće sadrže jedan reflektor koji je nešto duži od dipola. Yagi antene su usmjerene antene zbog toga što zrače snagom samo u jednom smjeru, koji omogućava prijenos i prijam signala s manje smetnji. Usmjerenost antene može se odrediti iz relativne raspodjele karakteristične snage zračenja antena. Svoju prvu primjenu pronašle u vojnoj industriji, tj. za vrijeme 2. svjetskog rata. Nakon rata pojavom televizijskog emitiranja potaknut je razvoj Yagi antena. Postavljale su se na krovove kuća i služile kao antena za prijem televizijskog signala u VHF i UHF području, te u manjoj mjeri kao antena za FM radio. Antene su uređaji koji prenose ili primaju elektromagnetske valove. Ako antena prima signal ona taj signal, koji se sastoji od elektromagnetskog vala pretvara u električnu struju, a ukoliko se signal emitira onda radi suprotno. Antene su dizajnirane da zrače elektromagnetsku energiju s posebnim zračenjem i s posebnim polarizacijskim svojstvima. [43]



Odašiljač je izvor signala koji transformira signal poruke u oblik pogodan za prijenos radiovalom. [29]

Kada se uspostavlja poziv, radiosignali se šalju s pokretnog telefona do najbliže bazne stanice koja ih prenosi prema drugim pokretnim telefonima ili u fiksnu mrežu. Pokretni telefoni i odašiljači koji se postavljaju na bazne stanice proizvode radio-frekvencijska polja, slična onima koja emitiraju TV odašiljači i radiouređaji koje upotrebljavaju taksisti, hitne službe ili TV mreže.

Pokretni telefoni ne mogu raditi bez baznih stanica tj. bez odašiljača. Bazne su stanice niskonaponski radioodašiljači s antenama koje prenose i primaju radiosignale pokretnih telefona. Bez njih nije moguće uspostaviti poziv.

Antene u mobilnoj telefoniji usmjerene su i zrače točno u određenom smjeru. U ostalim smjerovima i nakon nekoliko metara udaljenosti od bazne stanice zračenje je zanemarivo. Kako bi se omogućilo priključenje velikog broja korisnika teritorij je podijeljen na manja geografska područja koja se nazivaju ćelije.

Ćelije mogu biti velike ili male, a bazne stanice uglavnom se grade na razdaljinama od 200-500 metara u gradovima te na 2-5 kilometara u ruralnim područjima. Mogu biti postavljene kao samostojeći objekti u okolišu, na krovovima, uličnoj rasvjeti, drveću ili na postoljima za zastave. Odašiljači se vrlo često montiraju tako da se uklapaju u izgled zgrada oko nas. Veličina stanice također ovisi o izgledu okoline. Radiosignale ometaju drveća, zgrade, udoline i brda, tako da bazne stanice trebaju biti bliže jedna drugoj. Bazne stanice ograničene su i brojem poziva koje mogu istovremeno prenositi. Veliki vanjski odašiljači mogu prenositi oko 100 do 150 istovremenih poziva, dok male bazne stanice za unutrašnje prostore mogu istovremeno prenositi oko tridesetak poziva. Kako bi se pružila što kvalitetnija usluga korisnicima u područjima gdje je promet pozivima jako visok, potrebno je postaviti dodatne bazne stanice.

Postavljanje baznih stanica određeno je potrebom pokrivanja određenog područja zbog visoke uporabe ili lošeg signala. Tip bazne stanice određuje niz faktora. Na primjer nove krovne makro antene pokrivaju veća područja od mikro antena, koje se upotrebljavaju da bi pokrile male rupe u pokrivenosti i nadoknadile kapacitete u područjima visoke uporabe. Dijeljenje mjesta postavljanja i odašiljačkih stupova visoko je na mjestu prioriteta pri izgradnji mreže. Gdje god je to moguće i gdje dizajn mreže to dopušta, operateri se trude dijeliti bazne stanice ili postojeća postrojenja. Kako bi se što više umanjilo narušavanje okoliša, operateri upotrebljavaju najmanje moguće bazne stanice i popratnu infrastrukturu u svakom pojedinom slučaju. [30]

Elektrosmog je elektromagnetsko zračenje koje u ljudskog organizmu proizvodi elektrostres. Do njega dolazi zbog povezivanja elektronskih računala, informacijskih mreža, baza podataka i potrošačke elektronike. Elektromagnetska zračenja izazivaju biokemijske promjene i stalan stres u središnjem živčanom sustavu, ometaju funkcije mozga i dovode do psihičkih oštećenja. Elektromagnetska se zračenja miješaju u zbivanja u stanicama i utječu na genetske informacije. Tako mogu dovesti do raka, oštećenja nasljednih svojstava i defektne novorođenčadi. [6]

Uzroci elektrosmoga uključuju mobilne i bežične telefone, WiFi, bežične mreže, prijenosne tornjeve i bilo što električno, bežično ili na baterije što se koristi u domu. Mnogi ljudi osjećaju razne simptome, uključujući veliku nelagodu pri izloženosti visokim razinama elektrosmoga. Ovi simptomi mogu izazvati napadaje panike, poremećaje u spavanju, depresiju, kronični umor, srčane palpitacije, probleme s kožom i nepravilan krvni tlak.[34]

Na današnjem tržištu se može pronaći razna preventivna rješenja za elektromagnetska polja . Ona uključuju uređaje koji imitiraju prirodne frekvencije kako bi se raspršile smetnje u strujama. Ako se ovi uređaji konstantno koriste djeluju tako da smanjuju simptome te s vremenom dovode do poboljšanja zdravlja. [34]

Na Zemlju dolaze ionizirajući i neionizirajući mikrovalovi sa Sunca i svemira kroz ozonsku rupu i tako pridonose elektromagnetskom smogu. Svojstvo elektromagnetskog smoga je da ga našim osjetilima ne možemo osjetiti, ali njegovo štetno djelovanje na naš organizam osjećamo.

Zbog štetnog djelovanja elektromagnetskog smoga na čovjeka, životinje i šume potrebno je provesti zaštitu i to u dvije faze: [6]

- ograničavanjem povećanja jakosti tih polja
- provedbom mjera za smanjenje jakosti tih polja

## 6. Pravilnici o minimalnim i sigurnosnim zahtjevima

Da bi se umanjio rizik od štetnih učinaka elektromagnetskog zračenja propisana su ograničenja regulirana nacionalnom i međunarodnom legislativom kojom su definirane granične vrijednosti karakterističnih parametara elektromagnetskog polja kojima ljudi mogu biti izloženi.

Najšire prihvaćene međunarodne sigurnosne smjernice izdala su međunarodna udruženja:[31]

- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP); (1998.)
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); (1992.).

ICNIRP i IEEE propisuju granične vrijednosti iznad kojih ljudi ne bi smjeli biti izloženi. Granice propisane pravilnikom IEEE prihvaćene su u SAD-u, kao i u još nekoliko zemalja, dok je većina zemalja zapadne Europe prihvatila norme propisane ICNIRP smjernicama.

Međunarodnim normama i preporukama prema ICNIRP-u propisane su granične vrijednosti karakterističnih parametara elektromagnetskog polja u dvije kategorije:

- temeljna ograničenja – veličine međudjelovanja elektromagnetske energije s biološkim tkivom, izražene kao gustoća apsorbirane snage SAR [W/kg] i gustoća inducirane struje J [A/m<sup>2</sup>] i gustoća inducirane snage S [W/m<sup>2</sup>]
- referentne razine – veličine koje opisuju upadno elektromagnetsko polje – jakost električnog polja E [V/m], jakost magnetskog polja H [A/m] i gustoća snage elektromagnetskog vala S [W/m<sup>2</sup>].

Zaštita ljudi od elektromagnetskog zračenja podrazumijeva zadovoljavanje temeljnih ograničenja. Proračuni i mjerenja veličina kojima su definirana osnovna ograničenja SAR-a čine postupke tzv. dozimetrije unutarnjeg polja. Alternativa se svodi na proračune i mjerenja parametara polja kojima su definirane referentne razine. U ovom slučaju radi se o postupcima dozimetrije upadnog polja, tj. o proračunima i mjerenjima jakosti električnog polja E, magnetskog polja H te gustoće snage S. U praksi se procjena štetnosti isključivo svodi na zadovoljavanje referentnih razina. [31]

U Republici Hrvatskoj danas postoje dva pravilnika za zaštitu od neionizirajućeg zračenja: [31]

- Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja koji je prema Zakonu o zaštiti od neionizirajućeg zračenja donijelo Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske u prosincu 2003. godine
- Pravilnik o ograničenjima jakosti elektromagnetskih polja za radijsku opremu i telekomunikacijsku terminalnu opremu koji je na temelju Zakona

telekomunikacijama u prosincu 2004. godine donijelo Ministarstvo mora, turizma, prometa i razvitka.

Vrijedi istaknuti da su granice izloženosti u oba pravilnika nekoliko puta niže nego u većini međunarodnih normi.

Za područje između 10 MHz i 10 GHz temeljno ograničenje izraženo je sa SAR. U tablicama 5 i 6 prikazana su ograničenja za specifičnu apsorbiranu snagu uprosječenu po cijelom tijelu, lokalizirane specifične apsorbirane snage u glavi i trupu te lokalizirane specifične apsorbirane snage u udovima za profesionalnu i opću populaciju prema Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja.

Tablica 5. Temeljna ograničenja za profesionalnu populaciju. [31]

Frekvencija f	Specifična apsorbirana snaga uprosječena po cijelom tijelu SAR (W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u glavi i trupu SAR (W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u ekstremitetima SAR (W/kg)
10 MHz-10 GHz	0.4	10	20

Tablica 6. Temeljna ograničenja za opću populaciju. [31]

Frekvencija f	Specifična apsorbirana snaga uprosječena po cijelom tijelu SAR (W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u glavi i trupu SAR (W/kg)	Specifična apsorbirana snaga lokalizirana u ekstremitetima SAR (W/kg)
10 MHz-10 GHz	0.08	2	4

Prema vrijednostima koje su prikazane u tablicama vidi se da oni koji se profesionalno bave ovim područjem, mogu imati nešto veći utjecaj specifične mjere apsorpcije, nego što je to slučaj kod ostalih. U skladu s time, prosječna specifična mjera apsorpcije u ljudskom tijelu iznosi 0,4 W/kg, kod profesionalne populacije, odnosno 0,08 W/kg kod opće populacije. U ostalim je dijelovima tijela ona nešto viša. Prikazane se vrijednosti specifične mjere apsorpcije odnose na 6-minutni period, što znači da ako se čovjek izlaže zračenju dulje od 6 minuta, prosječna vrijednost specifične mjere apsorpcije će biti veća.

Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) objavila je izvješće koje ukazuje da nema dokaza da zračenja uređaja mobilne telefonije izazivaju rak, ali je zbog opreznosti u svojoj preporuci limitirala gustoću snage na vrijednost od  $f/200$  W/m<sup>2</sup> za frekvencijsko područje od 400 MHz do 2 GHz i to za široku populaciju.

Referentne granične razine električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage ekvivalentnog ravnog vala za izloženost profesionalne i opće populacije prikazane su u tablicama 7 i 8.

Tablica 7. Granične razine električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage za profesionalnu populaciju. [31]

Frekvencija F	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage (ekvivalentnog ravnog vala ) $S_{ekv}$ (W/m <sup>2</sup> )
400 - 2000 MHz	$1.375 f^{\frac{1}{2}}$	$0.0037 f^{\frac{1}{2}}$	$0.0046 f^{\frac{1}{2}}$	f/200

Tablica 8. Granične razine električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage za opću populaciju. [31]

Frekvencija f	Jakost električnog polja E (V/m)	Jakost magnetskog polja H (A/m)	Gustoća magnetskog toka B (μT)	Gustoća snage (ekvivalentnog ravnog vala ) $S_{ekv}$ (W/m <sup>2</sup> )
400 - 2000 MHz	$0.55 f^{\frac{1}{2}}$	$0.00148 f^{\frac{1}{2}}$	$0.00184 f^{\frac{1}{2}}$	f/1250

Referentne granične razine dane su za efektivne vrijednosti jakosti nesmetanog polja i gustoće magnetskog toka, a vrijede za jednoliku izloženost cijelog ljudskog tijela elektromagnetskim poljima.

Učinci zračenja na ljude variraju ovisno o čimbenicima kao što su dob, tip tijela i stanju zdravlja. Mjerenje SAR-a nije tako precizno, činjenica koju FCC (Federalna komunikacijska komisija) priznaje i istraživanja [46] su pokazala da se netermalni biološki učinci zračenja pojavljuju na SAR razinama ispod granice koju je odredio FCC. Radiofrekvencijsko zračenje proizvodi termalne i netermalne efekte u biološkim sustavima. Termalni efekt se inducira kao porast temperature, a popraćen je fiziološkim odgovorima ovisno o intenzitetu i trajanju zračenja. Netermalni učinci pokazuju promjene u ćelijskom metabolizmu uzrokovane rezonantnom apsorpcijom i induciranim elektromagnetskim poljima, a kada je uključen živčani sustav često dolazi od specifičnog ponašanja. Studija su pokazala da netermalni učinci zračenja mogu uključivati oštećenje imunološkog sustava, poremećaje u ćelijama, pucanje DNK lanca i razne druge probleme.

FCC je implementirao prve standarde za zračenje 1996. godine. Ove granice su postavljene kako bi se zaštitilo od visokih doza toplinskih učinaka. FCC ograničenja za izlaganje zračenju mobilnih uređaja temeljene su na IEEE preporukama. Za glavu do 1.6 W/kg, za cijelo tijelo do 0.08 W/kg, a za ruke, zapešća, stopala i gležnjeve do 4 W/kg.

FCC industrija i znanstvena zajednica prepoznaju značajne probleme kod preciznog mjerenja SAR-a. Studija [46] su pokazala da je teško usporediti mjerenja SAR-a za dvije različite glave, zbog različite dobi i tipa tijela. Iako su napravljena značajna poboljšanja kod mjerenja, FCC je izjavio da i dalje postoje problemi. Dva

studija [46] u Japanu su pokazala da kada su subjekti izloženi zračenju velike snage cijelo tijelo može pokazivati veće razine SAR-a od trenutnih standarda.

Trenutni standardi SAR-a za radiofrekvencijsko zračenje temelje se na pokusima nad životinjama provedenih krajem sedamdesetih i početkom osamdesetih. Na temelju tih studija je FCC, na preporuku IEEE usvojio SAR vrijednost od 4 W/kg kao polaznu točku za određivanje zakonskih ograničenja SAR-a za mobilne uređaje. Agencija za zaštitu okoliša (EPA) je zaključila da se biološki učinci zračenja pojavljuju na SAR razini od 1 W/kg tj. četiri puta manjoj razini od one koju je odabrala IEEE. Na temelju EPA analize, vršna granica za SAR bi trebala biti 1 W/kg. EPA je 1984. objavila recenzirani rad u kojem je pokazano da SAR ne bi smio biti veći od 0.4 W/kg, što je deset puta manje od onoga što je odabrao IEEE. Ovaj zaključak potkrepljuje sve veći broj studija širom svijeta koji promatraju biološke učinke zračenja. IEEE je preporučio SAR vrijednost od 4 W/kg da bude granična vrijednost i uzima u obzir samo kratkotrajnu izloženost, a ne dugotrajno ili kronično izlaganje.

Trenutni standardi za SAR mogu predstavljati poseban rizik za zdravlje djece. Dječja tkiva imaju veći broj iona u odnosu na odrasle, što rezultira većom vodljivosti i povećanom sposobnošću apsorpcije zračenja. Dječje glave su isto tako tanje što smanjuje udaljenost od slušalice do mozga. Ovi faktori utječu na veću izloženost djece SAR-u. Prema jednoj studiji [46] modeli za testiranje su dizajnirani tako da odgovaraju djetetu od pet do osam godina i pokazalo se da glava djeteta apsorbira dvostruko više zračenja nego kod odraslih.

## 7. Zaključak

U ovom radu obrađivalo se elektromagnetsko zračenje i kako ono utječe na zdravlje čovjeka, razlika između termalnih i netermalnih učinaka, što je to SAR i kako utječu antene, radari i odašiljači na zdravlje čovjeka. Elektromagnetsko zračenje se može opisati kao fizikalna pojava širenja električnih i magnetskih valova, a dijeli se na ionizirajuće i neionizirajuće

Ionizirajuće zračenje je zračenje koje ima dovoljnu energiju da odvoji elektrone od atoma koji je upio emitiranu energiju zračenja. Neionizirajuća zračenja su elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione ( tj. nemaju dovoljnu energiju da potpuno izbace elektrone iz njihove orbite i tako uvjetuju nastanak iona). Neionizirajuća zračenja imaju malu energiju pa nisu toliko štetna koliko ionizirajuća zračenja.

Elektromagnetska polja mogu izazvati biološke učinke koji ponekad mogu dovesti do negativnih učinaka na zdravlje. Biološki učinak se javlja kad izlaganje elektromagnetskim poljima uzrokuje fiziološke promjene u biološkom sustavu koje se mogu otkriti mjerenjem ili opažanjem. Negativne posljedice zračenja ne moramo osjetiti odmah nego se mogu pojaviti i nakon nekoliko godina.

SAR je specifični stupanj apsorpcije elektromagnetskog zračenja. Obično se koristi za mjerenje apsorbirane snage mobilnih uređaja. Različiti mobilni uređaji imaju drugačije SAR vrijednosti. SAR vrijednosti su određene kako bi se zaštitilo korisnike mobilnih uređaja od toplinske energije proizvedene mikrovalnim zračenjem, ali opet to ih ne štiti od netermalnih učinaka. Netermalni efekti se pojavljuju na mnogo manjoj razini zračenja ne uzrokujući zagrijavanje i mogu imati razne negativne efekte na zdravlje čovjeka.

Antena je električni uređaj koji pretvara električnu energiju u radio valove i obrnuto. Usmjerene su i zrače u točno određenom smjeru. U svim ostalim smjerovima, a posebno prema dolje, zračenje je zanemarivo, kao i nakon nekoliko metara udaljenosti od bazne stanice.

Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (IEEE) i Međunarodna udruga za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) izdali su granične vrijednosti iznad kojih ljudi ne bi smjeli biti izloženi zračenju. U SAD-u i još nekoliko zemalja prihvaćene su granice koje izdaje IEEE, a u većini zemalja zapadne Europe prihvaćene su norme propisane od strane ICNIRP-a.

Teško bi bilo zamisliti današnji život bez uporabe raznih vrsta zračenja koja imaju široku primjenu u medicini i telekomunikacijama. U telekomunikacijama se pretežito koriste neionizirajuća zračenja tj. najviše radiovalna i mikrovalna zračenja. Postoje razni načini pomoću kojih možemo umanjiti utjecaj zračenja mobilnih uređaja. Tijekom razgovora mobilne uređaje bi trebali držati što dalje od uha, razgovori bi trebali biti što kraći, a tijekom spavanja mobilne uređaje držati što dalje od glave.

## Literatura

[1]URL: [http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod\\_em.htm](http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod_em.htm) (pristupljeno: lipanj, 2016)

[2]URL: <https://matrixworldhr.com/2015/02/17/elektromagnetsko-zracenje-zdravlje-i-djeca/> ( pristupljeno: lipanj, 2016)

[3]URL:<http://boo.mi2.hr/~marcell/www.slobodastvaralastvu.net/www.slobodastvaralastvu.net/TehnoLogije/ElektromagnetskiSpektar750f.html?op=comment> (pristupljeno: lipanj, 2016)

[4]URL:[http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni\\_komunikacijski\\_sustavi/Materijali/01-Uvodno\\_predavanje\\_i\\_radiovalovi.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni_komunikacijski_sustavi/Materijali/01-Uvodno_predavanje_i_radiovalovi.pdf) (pristupljeno: lipanj, 2016)

[5]URL: [http://www.megon.net/docs/1\\_tko\\_to\\_tamo\\_zraci/osnove\\_o\\_zracenju.htm](http://www.megon.net/docs/1_tko_to_tamo_zraci/osnove_o_zracenju.htm) (pristupljeno: kolovoz, 2016)

[6]URL: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija\\_u\\_prometu/Materijali/tk\\_i\\_okolis.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija_u_prometu/Materijali/tk_i_okolis.pdf) (pristupljeno: kolovoz, 2016)

[7]URL: <https://rasvjeta-mea-futura.com/vidljivi-spektar-zracenja/> (pristupljeno: kolovoz, 2016)

[8] URL: <http://www.fhmzbih.gov.ba/latinica/ZRAK/Z-UV.php> (pristupljeno: kolovoz, 2016)

[9]URL: <http://www.gradimo.hr/clanak/savjeti-za-infracrvene-pocetnike/43120> (pristupljeno: kolovoz,2016)

[10]URL: <http://apartmanijahorina.com/wp-content/uploads/2013/10/IC-Sauna.pdf> (pristupljeno: kolovoz, 2016)

[11]URL: <https://www.val-znanje.com/index.php/tekstovi/zdravlje-i-lijecenje/272-fir-dugovalne-infracrvene-zrake-energija-ozdravljenja> (pristupljeno: svibanj, 2017)

[12]URL: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/svec/IZVORI%20NEIONIZIRAJU%C4%86EG/radio.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2016)

[13]URL: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/svec/IZVORI%20NEIONIZIRAJU%C4%86EG/elif.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2016)

[14]URL: [http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod\\_io.htm](http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/uvod_io.htm) (pristupljeno: kolovoz, 2016)



- [15] URL: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/alfa.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [16] URL: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=1643> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [17] URL: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/beta.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [18] URL: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/gama.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [19] URL: <http://radioaktivniotpad.org/radioaktivnost/> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [20] URL: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=52438> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [21] URL: <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/librenjak/kozmicko.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [22] URL: <http://fizika.blogger.index.hr/post/neutronske-zracenje/4444943.aspx> (pristupljeno: kolovoz, 2016)
- [23] URL: [http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_04\\_38\\_1316.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_38_1316.html) (pristupljeno: rujan, 2016)
- [24] URL: <https://matrixworldhr.com/2012/05/03/dnk-prirodni-svjetlosni-internet-i-bioenergetsko-polje-ljudi/> (pristupljeno: svibanj, 2017)
- [25] URL: <http://ljskola.hfd.hr/arhiva/2001/susac-ana/susac-ana.pdf> (pristupljeno: svibanj, 2017)
- [26] URL: [https://www.fer.unizg.hr/\\_download/repository/BUPE2-1\\_14-15\\_Dozimetrija\\_elektromagnetskih\\_polja.pdf](https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/BUPE2-1_14-15_Dozimetrija_elektromagnetskih_polja.pdf) (pristupljeno: svibanj, 2017)
- [27] URL: <http://www.zzjzdnz.hr/hr/zdravlje/okolis-i-zdravlje/379> (pristupljeno: svibanj, 2017)
- [28] URL: <http://www.zzjzpgz.hr/nzl/19/radar.htm> (pristupljeno: svibanj, 2017)
- [29] URL: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni\\_komunikacijski\\_sustavi/Materijali/03-MKS\\_Antene.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/M/Mobilni_komunikacijski_sustavi/Materijali/03-MKS_Antene.pdf) (pristupljeno: svibanj, 2017)
- [30] URL: <http://www.zzjzpgz.hr/nzl/31/dodatak.htm> (pristupljeno: svibanj, 2017)
- [31] Poljak D.: Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja-dozimetrija upadnog polja, Sigurnost, svez.54, br.2, pp.173-187, 2012. (lipanj, 2017)

- [32]URL: <http://www.racunalo.com/zracenje-mobitela-vjecna-prica-o-stetnom-nedjelovanju-na-ljudski-organizam/> (pristupljeno lipanj, 2017)
- [33]URL: <http://cellphones.procon.org/view.resource.php?resourceID=003054> (pristupljeno: lipanj,2017)
- [34]URL: <http://www.adr-natura.hr/faq/41-sto-je-elektrosmog> (pristupljeno: lipanj, 2017)
- [35]URL: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=51409> (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [36]URL: [http://www.ets-lindgren.com/pdf/sar\\_lo.pdf](http://www.ets-lindgren.com/pdf/sar_lo.pdf) (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [37]URL: <https://www.slideshare.net/deepuarun/cellppt1> (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [38]URL: <https://ia801009.us.archive.org/22/items/gov.in.is.iec.62209.1.2005/is.iec.62209.1.2005.pdf> (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [39]URL: [https://mpkb.org/home/patients/assessing\\_literature/in\\_vitro\\_studies](https://mpkb.org/home/patients/assessing_literature/in_vitro_studies) (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [40]URL: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?assetKey=AS%3A273811469996039%401442293149230&id=55a39dbb60614b5e2a8b4613> (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [41] URL: <http://www.icnirp.org/> (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [42] URL: <https://www.cancer.org/> (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [43] URL: <http://www.antenna-theory.com/antennas/travelling/yagi.php> (pristupljeno: srpanj, 2017)
- [44]URL: <https://www.emf-portal.org/en/cms/page/effects-low-frequency> (pristupljeno: kolovoz, 2017)
- [45]URL: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-spectrum> (pristupljeno: kolovoz, 2017)
- [46]URL: <http://www.cellphone-health.com/lowest-radiation-cell-phones.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2017)
- [47] URL: <https://www.iso.org/home.html> (pristupljeno: kolovoz, 2017)
- [48] URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Radio\\_spectrum](https://en.wikipedia.org/wiki/Radio_spectrum) (pristupljeno: kolovoz, 2017)
- [49] URL: <http://www.who.int/en/> (pristupljeno: kolovoz, 2017)

[50] URL: <http://www.popsci.com/scitech/article/2004-02/fresh-fears-over-cellphones>  
(pristupljeno: kolovoz, 2017)

## Popis slika:

Slika 1. Elektromagnetski val .....	2
Slika 2. Elektromagnetski spektar .....	6
Slika 3. Simbol za ionizirajuće zračenje .....	8
Slika 4. Prodornost zračenja .....	10
Slika 5. Simbol za neionizirajuće zračenje .....	12
Slika 6. Vidljivi spektar zračenja .....	13
Slika 7. Ultraljubičasti dio vidljivog spektra .....	14
Slika 8. Infracrveno zračenje spektar .....	15
Slika 9. Električna polja ekstremno niskih frekvencija .....	17
Slika 10. Magnetska polja ekstremno niskih frekvencija .....	17
Slika 11. Utjecaj zračenja na mozak .....	22
Slika 12. Prodiranje zračenja u glavu .....	23
Slika 13. Mjerenje SAR-a u bliskom polju .....	36
Slika 14. Razgovor putem mobilnog uređaja .....	38
Slika 15. Antena riblja kost .....	42

## Popis tablica:

Tablica 1. Vidljivi spektar i sedam glavnih boja .....	12
Tablica 2. Radio spektar od 3 Hz do 300 GHz .....	16
Tablica 3. Popis mobilnih terminalnih uređaja sa jako malim zračenjem .....	39
Tablica 4. Popis mobilnih terminalnih uređaja sa jako velikim zračenjem .....	40
Tablica 5. Temeljna ograničenja za profesionalnu populaciju. ....	46
Tablica 6. Temeljna ograničenja za opću populaciju. ....	46
Tablica 7. Granične razine električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage za profesionalnu populaciju. ....	47
Tablica 8. Granične razine električnog i magnetskog polja, gustoće magnetskog toka i gustoće snage za opću populaciju. ....	47



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Utjecaj antena, radara i odašiljača na zdravlje čovjeka**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 29.8.2017

Student/ica:

(potpis)