

# Biološki učinci elektromagnetskog zračenja u urbanom okruženju

---

**Kordić, Anica**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:619483>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-06-30**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Anica Kordić**

**BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG**  
**ZRAČENJA U URBANOM OKRUŽENJU**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2020.**

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA U URBANOM OKRUŽENJU**

### **BIOLOGICAL EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN URBAN SURROUNDINGS**

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Studentica: Anica Kordić

JMBAG: 0135242585

Zagreb, rujan 2020.

Zagreb, 16. ožujka 2020.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**  
Predmet: **Mobilni komunikacijski sustavi**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 5558

Pristupnik: **Anica Kordić (0135242585)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Biološki učinci elektromagnetskog zračenja u urbanom okruženju**

### Opis zadatka:

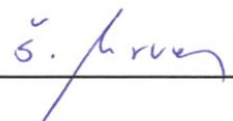
Izložiti teoriju elektromagnetskog zračenja uz karakterizaciju pojedinih područja s obzirom na frekvenciju i dominantni način širenja zračenja. Navesti vrste elektromagnetskog zračenja s obzirom na njihovo djelovanje na materiju kroz koju to zračenje prolazi. Opisati terminalne komunikacijske uređaje i klasificirati ih s obzirom na izračenu snagu. Komentirati izračenu snagu baznih stanica i provesti proračun opadanja te snage s obzirom na udaljenost od bazne stanice te navesti potencijalni negativni utjecaj takvog zračenja na ljude. Objasniti metode kojima se postiže manje zračenje, a veća učinkovitost pri prijenosu podataka kod novih komunikacijskih tehnologija. Navesti kakva je zakonska regulativa u pogledu maksimalno izračene snage i maksimalne razine električnog polja s obzirom na radiokomunikacijske sustave u Republici Hrvatskoj.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



# BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA U URBANOM OKRUŽENJU

## SAŽETAK

Cilj ovog rada je prikazati sve strane elektromagnetskog zračenja u komunikaciji i načine zaštite od elektromagnetskog zračenja. U današnjem vremenu i globalnoj tehnološkoj sferi vrlo je bitno sagledati razvoj i način komunikacije, primjerice mobilne komunikacije koja je postala stup razvoja informacijsko-komunikacijskog prometa. Komunikacija danas je neopisivo važna za sve grane u ljudskom životu samim time ima pozitivne i negativne utjecaje. Sve prednosti korištenja mobilnih komunikacija korisnici su svjesni dok za negativne strane informiranost i svijest korisnika je vrlo mala. U radu su prikazani biološki učinci elektromagnetskih polja te utjecaji na živa bića i na okružje u kojem se nalaze. Kod teorije elektromagnetskih valova podrazumijevaju se svojstva, vrste valova te spektar valova. Gledano s biološkog stajališta učinci elektromagnetskog zračenja imaju veliki utjecaj na ubrano okružje te isto tako gledano s tehnološkog aspekta ovi valovi nose veliku ulogu u samoj mobilnoj komunikaciji.

**KLJUČNE RIJEČI:** elektromagnetsko zračenje; električno polje; magnetsko polje; mobilne komunikacije; zaštita; biološki utjecaj

# **BIOLOGICAL EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION IN URBAN SURROUNDINGS**

## **SUMMARY**

This paper presents all the sides of electromagnetic radiation in communication and the ways of protection from it. Nowadays, in global technological sphere, it is vital to consider the development and the way of communication, for example, mobile communication which has become the pillar of developing information communication traffic. Today, communication is extremely important in all the branches of life, and by that, it has its positive and negative impacts. Users are aware of all the advantages of using mobile communication, while the awareness of the disadvantages is quite low. In this paper, biological effects of electromagnetic fields and impacts on urban district are being shown. When speaking of theory of electromagnetic waves, the properties, the wave types and spectral fan of waves are determined. Watching it from biological point of view, the effects of electromagnetic radiation have huge impact on urban district and these waves provide great service in the mobile communication itself.

**KEYWORDS:** electromagnetic radiation; electric field; magnetic field; mobile communications; protection; biological influence

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJA ELEKTROMAGNETSKIH VALOVA .....	3
2.1 Svojstva elektromagnetskih valova .....	4
2.1.1 Električno polje.....	6
2.1.2 Magnetsko polje .....	6
2.2 Maxwelllove jednačbe .....	7
2.3 Spektar elektromagnetskih valova .....	8
3. VRSTE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA .....	10
3.1 Ionizirajuće zračenje .....	11
3.2 Neionizirajuće zračenje.....	12
4. TERMINALNI KOMUNIKACIJSKI UREĐAJ KAO IZVOR ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA.....	14
5. IZRAČENE SNAGE BAZNIH STANICA I NEGATIVNI UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA NA LJUDE U URBANIM OKRUŽENJIMA.....	18
6. SMANJENJE RAZINE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA UPOTREBOM NOVIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA.....	22
7. ZAKONSKA REGULATIVA O ELEKTROMAGNETSKOM ZRAČENJU .....	24
7.1 Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja .	24
7.2 Zakon o zaštiti od neionizacijskog zračenja .....	25
7.3 Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja.....	27
8. ZAKLJUČAK.....	31
9. LITERATURA .....	32
POPIS KRATICA.....	33
POPIS SLIKA.....	35
POPIS TABLICA .....	35

# 1. UVOD

U današnjem vremenu korisnici su svjesni brzine širenja bežične komunikacije i njihovih brojnih umreženih odašiljača razmještenih po cjelokupnoj površini Zemlje, s težištem na urbanim sredinama. Sveukupno djelovanje elektromagnetskog zračenja ima posljedice na zdravlje i živote ljudi te dovodi do nekih novih bolesti, koje ranije ljudski rod nije poznao.

Kako su mobilne telekomunikacije područje ljudskog djelovanja koje se iznimno brzo razvija u proteklih dvadesetak godina, još uvijek ne postoji dovoljno saznanja o uzročno-posljedičnim vezama elektromagnetskog zračenja i zdravlja ljudi te utjecaja na ostali živi svijet, ali se te veze u posljednje vrijeme intenzivno istražuju. Završni rad sastoji se od devet cjelina koje su tematski podijeljene kako bi razrada teme bila detaljno opisana i sam zadatak rada ispunjen;

1. Uvod
2. Teorija elektromagnetskih valova
3. Vrste elektromagnetskog zračenja
4. Terminalni komunikacijski uređaji kao izvor elektromagnetskog zračenja
5. Izračene snage baznih stanica i negativni utjecaj elektromagnetskog zračenja na ljude u urbanim sredinama
6. Smanjenje razine elektromagnetskog zračenja uporabom novih komunikacijskih tehnologija
7. Zakonska regulativa o elektromagnetskom zračenju
8. Zaključak.

Prvo poglavlje završnog rada je Uvod u kojem se iznosi predmet rada, cilj, svrha te njegova struktura.

Drugo poglavlje rada je Teorija elektromagnetskih valova koja ima zadatak da prikaže elektromagnetske valove njihova svojstva te funkciju.

Treće poglavlje Vrste elektromagnetskog zračenja se veže na drugo poglavlje te iscrpno daje prikaz spektra valova.



Četvrto poglavlje vezano je uz terminalne komunikacijske uređaje koji su izvor elektromagnetskog zračenja i pojam SAR je opisan.

Peto poglavlje je temelj završnog rada gdje je sve fokusirano na negativnim utjecajima elektromagnetskog zračenja.

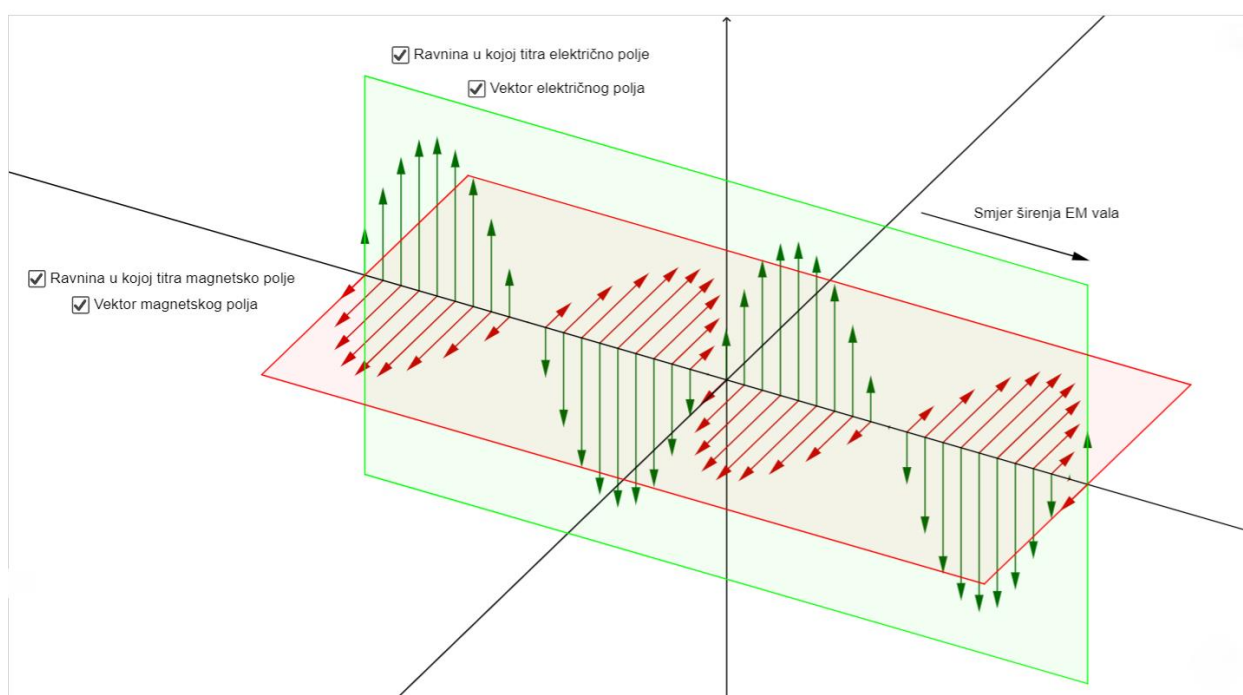
Šesto poglavlje rada je Smanjenje razine elektromagnetskog zračenja uporabom novih komunikacijskih tehnologija gdje je glavna misao na zaštiti svih sudionika urbanog okružja.

U sedmom poglavlju opisna je zakonska regulativa o elektromagnetskom zračenju u Republici Hrvatskoj.

Osmi dio rada je Zaključak koji čini zadnje poglavlja i u njemu je izneseno subjektivno razmišljanja autora o problematici obrađenoj u završnom radu.

## 2. TEORIJA ELEKTROMAGNETSKIH VALOVA

Električki nabijena tijela proizvode u svom okolišu električno polje, a električna struja u vodičima proizvodi u svojoj okolini magnetsko polje. [1] Elektromagnetski val je širenje promjenjivoga elektromagnetskog polja kroz vakuum ili neki medij. EM val koristi se za prijenos informacije koje su upisane u val, taj prijenos informacija nije moguć bez prijenosa



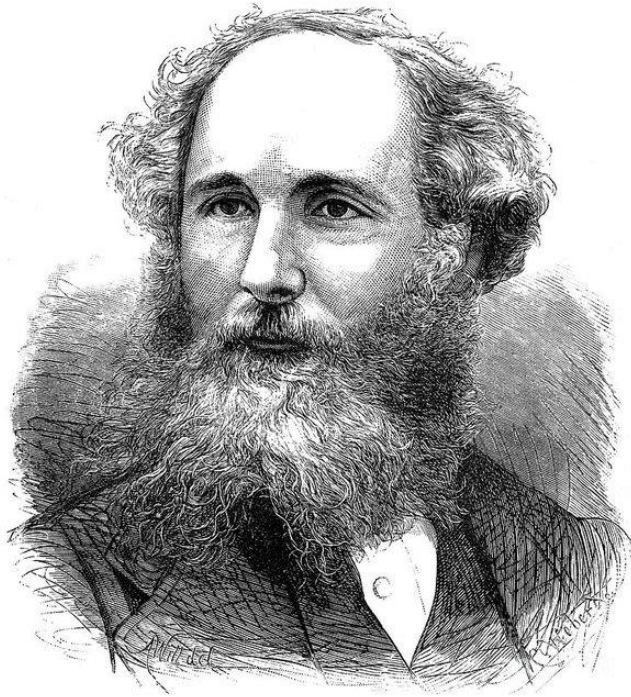
Slika 1. Širenje elektromagnetskog vala, [2]

energije.

Čovjek je oduvijek bio izložen elektromagnetskim poljima prirodnih izvora; sunčevom zračenju, magnetskom polju Zemlje, te poljima nastalim uslijed atmosferskog pražnjenja. Uz navedene prirodne izvore zračenja u čovjekovom okruženju danas djeluju i umjetno stvorena polja koja mnogo većim intenzitetom i drugačijom spektralnom slikom bitno odudaraju od prirodnog elektromagnetskog okružja.

Škotski fizičar, James Clerk Maxwell je postavio četiri jednadžbe (*Maxwellove jednadžbe*) u kojima je izražen kontinuitet električnog i magnetskoga polja te je izloženo načelo po kojem promjene u električnom polju uzrokuju promjene u magnetskome polju i obrnuto. [3]

Povezanost s elektromagnetskim valovima je utvrdio da postoji uzajamno djelovanje između električnog i magnetskog polja. Promjenljivo magnetsko polje proizvodi električno, a promjenljivo električno polje – magnetsko. [1]



Slika 2. James Clerk Maxwell, [4]

## 2.1 Svojstva elektromagnetskih valova

Proces uzajamnog proizvođenja električnog i magnetskog polja širi se po prostoru konačnom brzinom, koja je jednaka brzini svjetlosti. Širenje toga procesa naziva se elektromagnetski val u najširem smislu. Ako vodičem protječe struja koja se vremenski mijenja harmonički određenom frekvencijom, elektromagnetsko je polje sinusno promjenljivo s istom frekvencijom, a u prostoru se dobiva valni efekt. To je elektromagnetski val u užem smislu. [1]

Elektromagnetski valovi određeni su frekvencijom  $f$  u [Hz] i energijom koju prenose od izvora u medij kroz koji se šire. Snagu definiramo kao energiju po jedinici vremena, a gustoću snage kao protok energije kroz jediničnu površinu u jedinici vremena. Zanimljivost

kod Poyntingovog vektora je to što gleda u smjeru osi  $z$  prema pravilu desne ruke, a ima mjernu jedinicu  $[W/m^2]$  te formula glasi:

$$\mathbf{\Gamma} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}. \quad (1)$$

Primjer gdje se valni efekt širi brzinom  $v$  ili  $c$  koja je zadana te iznosi  $3 \times 10^8$  [m/s], polje se mijenja frekvencijom  $f$  u [Hz], duljine vala  $\lambda$  je u [m], a dolazimo do formule koja glasi:

$$\lambda = \frac{v}{f}. \quad (2)$$

Sredstvo koje ispunjava prostor sudjeluje aktivno u širenju elektromagnetskih valova, ali se opire prodiranju vala. Zbog toga se val u sredstvu širi manjom brzinom nego u praznom prostoru.

Drugi primjer, gdje je brzina elektromagnetskoga vala u vakuumu  $c_0$ , a u prostoru ispunjenom nekim sredstvom  $c$ , njihov omjer definira indeks loma:

$$n = \frac{c_0}{c}. \quad (3)$$

Kroz prostor energija koju posjeduju EM valovi po jedinici površine se smanjuje obrnuto proporcionalno udaljenosti od izvora iz jednostavnog razloga što se njihova energija rasprostire na sve veću površinu sfere prostora. Također nastaju gubici EM energije zbog apsorpcije kroz atmosferu Zemlje. Pri tome vrijedi temeljno pravilo da su gubici veći za EM valove manjih valnih duljina, a manji za EM valove većih valnih duljina. Kod EM valova male valne duljine se prostiru skoro pravocrtno jer njihova refrakcija ima male vrijednosti, a kod elektromagnetskih valova velikih valnih duljina pri prostiranju blago prate zakrivljenost Zemlje. [5]

Elektromagnetski valovi iskorištavaju se za prijenos različitih signala na daljinu. U emisijskim uređajima proizvode se promjenljive električne struje koje prolaze vodičima te tako stvaraju elektromagnetske valove.

Prvi je Nikola Tesla primijenio antenu u emisijskom uređaju. Kako je njegova pozornost ponajprije bila usmjerena na bežični prijenos električne energije, Tesla je 1897. izgradio veliku odašiljačku i prijamnu postaju na osami u Colorado Springsu i u njoj je usavršavao sustave za bežični prijenos signala i električne energije, uz primjenu napona od nekoliko milijuna volta. Pri bežičnom prijenosu električne energije na daljinu glavna je poteškoća bila, a ostala je i do danas, malena učinkovitost sustava. Za zamišljeni svjetski

sustav radiokomunikacija počeo je 1901. graditi veliku radijsku postaju na Long Islandu u New Yorku. Za antenu je bio izgrađen stup visok 57 m, na vrhu s kupolom od žica, promjera 20 m. [1]

EM valove opisuju parametri frekvencije, valne duljine, brzine širenja i polarizacije. Polarizacija opisuje smjer titranja vektora električnog polja te postoje tri osnovne vrste polarizacije. Horizontalna, vertikalna te kružna, ako se koriste dvije ortogonalne polarizacije omogućava se prijenos dviju različitih informacija u istom frekvencijskom pojasu, bez da si one međusobno smetaju.

### 2.1.1 Električno polje

Električno polje je posebno fizikalno stanje prostora u kojem je električki naboj pod djelovanjem sile te je vektorska veličina. To je polje koje ovisi samo o prostornim koordinatama. Posebno fizikalno stanje prostora je električni naboj, a u svojem okolišu stvara električno polje. Električna sila je vektorska veličina pa je samim time i električno polje vektorska veličina koje je definirano jakosti i smjerom svake točke.

Silnice električnog polja služe za vizualizaciju električnog polja. One su zamišljene usmjerene linije čiji smjer opisuje smjer električnog polja, one izlaze iz pozitivnih naboja, a ulaze u negativne naboje. Karakteristika silnica je to što se ne mogu sjeći, a gustoća silnica odgovara jakosti električnog polja. Električno polje tangencijalno je usmjereno na točkama silnice. [6]

Električno polje odgovorno je za većinu pojava kao što su transmisija, refleksija, refrakcija i apsorpcija zračenja. Oscilirajuće električno polje karakterizirano je valnom duljinom, frekvencijom i amplitudom (visinom vala).

### 2.1.2 Magnetsko polje

Tvari koje imaju svojstva privlačenja predmeta od željeza, nikla, kobalta i njihovih legura magnetske su te se nazivaju magnetima i to prirodnim. Umjetni magneti su oni koji se prave tako da se željezo ili čelik podvrgnu djelovanju nekog drugog magneta. Prostor oko i

unutar prirodnih i umjetnih magneta u kojem djeluju magnetske sile naziva se magnetsko polje. Utvrđeno je da magnetsko polje postoji uvijek i u prostoru oko toka električne struje.

Zemaljska kugla je veliki magnet u čijem se polju svaki slobodno pokretljivi magnet orijentira jednom stranom prema sjeveru, a drugom prema jugu. Svaki magnet ima dva različita magnetska polja. Sjeverni magnetski pol igle se orijentira prema sjeveru Zemlje, a na sjeveru Zemlje se nalazi južni magnetski pol. Magnetski i zemljopisni polovi Zemlje nisu u istoj točki. Zemljin magnetski pol je točka u kojoj je Zemljino magnetsko polje okomito, to jest gdje je magnetska deklinacija  $90^\circ$ . Magnetska deklinacija je kut između magnetskog i zemljopisnog (geografskog) meridijana.

Položaj magnetskih polova nije vremenski stalan (neprestane promjene) dok magnetska igla ne pokazuje geografski, već magnetski sjever – jug. Onaj pol koji se okrene prema sjeveru naziva se sjevernim polom, a suprotni južnim polom. Na polovima magnetske sile su najjače, karakteristika kod magnetskih polova je međusobna privlačnost, a istoimeni polovi se odbijaju. [7]

Karakteristike magnetskog polja su slične kao i kod električnog jer se jasno mogu prikazati silnicama tako da se u magnetsko polje oko magneta postavi mala magnetska igla ili željezna piljevina. Jakost sile prikazana je gustoćom silnica, a smjer sile i silnica je smjer otklona sjevernog pola male magnetske igle.

## 2.2 Maxwellove jednadžbe

Maxwellove jednadžbe čine klasičnu elektromagnetsku teoriju, one opisuju osnovnu povezanost između električnog i magnetskog polja koje je opisano magnetskim tokom ili magnetskom indukcijom, a s tom informacijom dolazi se do zaključka da je elektromagnetski val transverzalan zato što su oba polja okomita na smjer širenja vala.

Postoje četiri Maxwellove jednadžbe koje opisuju elektromagnetski val, a navedene su u diferencijalnom i integriranom obliku te opisane s pripadajućim zakonom:

1. Gaussov zakon = električni naboj je izvor električnog polja. Ukupni električni tok kroz zatvorenu plohu proporcionalan je količini električnog naboja koji se nalazi unutar volumena te plohe.

$$\nabla \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}, \quad \oint_s \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_V \rho dV. \quad (4)$$

2. Magnetsko polje nema izvora (ne postoje magnetski monopoli), to jest ne postoji izvor magnetskog polja, iz kojega bi proizlazio magnetski tok različit od nule. U svakoj točki prostora, količina silnica magnetskog polja koja ulazi u tu točku jednaka je količini silnica koje izlaze iz te točke.

$$\nabla \vec{B} = 0, \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0. \quad (5)$$

3. Faradayev zakon elektromagnetske indukcije: svaka promjena magnetskoga polja stvara električno polje.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}, \quad \oint_K \vec{E} d\vec{S} = -\frac{d}{dt} \iint_S \vec{B} d\vec{S}. \quad (6)$$

4. Poopćeni Ampèreov zakon: oko vodiča kojim teče električna struja inducira se magnetsko polje i svako promjenljivo električno polje inducira magnetsko polje.

$$c^2 \nabla \times \vec{B} = \frac{\vec{J}}{\epsilon_0} + \frac{d\vec{E}}{dt}, \quad c^2 \oint_K \vec{B} d\vec{S} = \frac{1}{\epsilon_0} \iint_S \vec{J} d\vec{S} + \frac{d}{dt} \iint_S \vec{E} d\vec{S}. \quad (7)$$

Rješenja Maxwellovih jednadžbi su valne jednadžbe koje zadovoljavaju oba polja (električno i magnetsko). Komponente oba polja ravnog elektromagnetskog vala međusobno su okomite jedna na drugu kao i na smjer širenja vala. Svojstvo elektromagnetskih valova je to što u vakuumu putuju brzinom svjetlosti. [9]

### 2.3 Spektar elektromagnetskih valova

Elektromagnetski val je usmjereno širenje vremenski promjenjivog električkog i magnetskog polja u nekoj sredini. Svaki sustav unutar kojeg se generiraju elektromagnetski valovi, a nije potpuno zatvoren vidljivim oklopotom, gubi energiju, odnosno, zrači.

Elektromagnetski frekvencijski spektar je skup frekvencija te započinje s ekstremno niskim frekvencijama i proteže se do ekstra visokih frekvencija, potom slijedi optički spektar gdje je infracrveno svjetlo, vidljivo svjetlo, ultraljubičasto svjetlo te X zrake i kozmičke zrake.

Tablica 1. Frekvencijski spektar elektromagnetskih polja

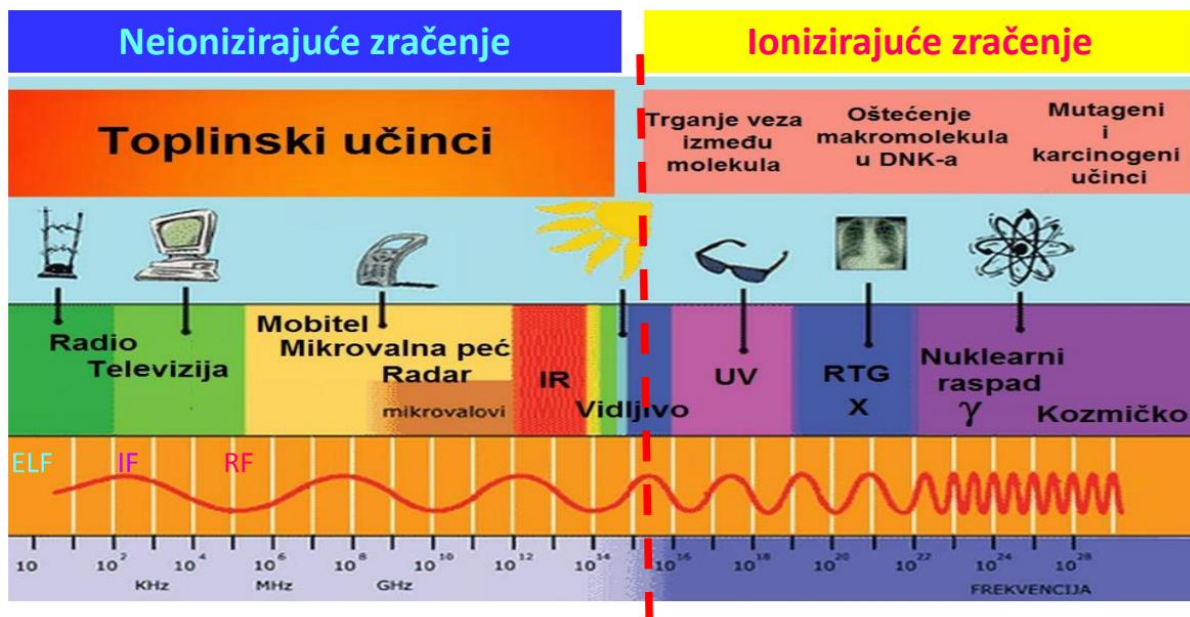
Raspon frekvencije	Naziv frekvencije
3 – 3000 Hz	ekstremno niske frekvencije
3 – 30 kHz	vrlo niske frekvencije
30 – 300 kHz	niske frekvencije
300 – 3000 kHz	srednje frekvencije
3 – 30 MHz	vrlo visoke frekvencije
300 – 3000 MHz	ultra visoke frekvencije
3 – 30 GHz	super visoke frekvencije
30 – 300 GHz	ekstra visoke frekvencije
0,3 – 390 THz	infracrveno svjetlo
390 – 770 THz	vidljivo svjetlo
770 – 30000 THz	ultraljubičasto svjetlo
30000 THz –	X zrake i kozmičke zrake



### 3. VRSTE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

Zračenje je energija u obliku valova ili čestica. Zračenje se može podijeliti u dvije glavne vrste, ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Zračenje koje nosi dovoljno energije za razbijanje kemijskih veza i stvaranje iona naziva se „ionizirajuće zračenje”. Ionizirajuće zračenje može biti u obliku čestica, kao što su alfa čestice i neutroni ili u obliku zraka, kao što su gama zrake i rendgenske zrake. Neionizirajuće zračenje sastoji se od električnih i magnetskih polja, kao na primjer kod mikrovalnih pećnica i radiovalova te polja niske frekvencije koja stvaraju električni uređaji i strujni vodovi. [10]

Elektromagnetsko zračenje pokazuje svojstva i čestice i vala. Gledajući kao val, elektromagnetsko zračenje se sastoji od međusobno okomito oscilirajućeg električnog i magnetskog polja. Gledajući elektromagnetsko zračenje kao česticu, ono se sastoji od „paketa“ energije koje nazivamo fotonima. Energija pojedinog fotona je direktno proporcionalna njegovoj frekvenciji.



Slika 3. Podjela elektromagnetskog zračenja, [11]

### 3.1 Ionizirajuće zračenje

*„Po njemu nazvane zrake pokazuju liječniku unutrašnjost živog tijela, inženjeru unutrašnjost njegovih tvorevina, istraživaču donose vijest o unutrašnjoj građi atoma“*, citiran natpis sa spomenika Wilhelma Conrada Röntgena u njemačkom muzeju u Münchenu. Röntgenovo otkriće X zraka omogućilo je liječnicima pogled unutar ljudskog tijela bez kirurških zahvata te se ionizirajuće zračenje koristi za dijagnosticiranje i liječenje.

Zračenje ili radijacija jest pojava prijenosa energije u obliku fotona ili čestica. Zračenje koje ima dovoljno energije da u međudjelovanju s tvari ionizira tu tvar naziva se ionizirano zračenje to jest promjena materije u mikrosvijetu. Promjene materije odnose se na promjene energetskog stanja atoma ili sastava atoma i atomske jezgre, pri čemu se emitiraju fotoni ili elementarne čestice. Pobudom ili ioniziranjem atoma u živoj stanici zračenje utječe na životne funkcije stanice, a time i na živa tkiva, organe i organizme. [14]

Kada se govori o opasnostima od zračenja uglavnom se misli na ionizirajuće zračenje. Ovo zračenje ima dovoljnu energiju da ionizira neke atome u tijelu zatim tako nastali ioni narušavaju biokemijske procese u stanicama, što može dovesti do raznih poremećaja u njihovom funkcioniranju i dijeljenju. Prema frekvencijskom spektru u ionizirajuća zračenja ubrajaju se:

- $\alpha$  zračenja
- $\beta$  zračenja
- $\gamma$  zračenje
- X zrake ili rendgensko zračenje
- kozmičko zračenje
- neutronske zračenje.

Posebnost kod alfa zračenja je to što se sastoji od dvostruko pozitivno nabijenih čestica, a to su dva protona i dva neutrona identičnih jezgra helija. Šire se brzinom od oko 1/20 brzine svjetlosti, što je dovoljno sporo da mogu imati relativno dugo međudjelovanje s materijom. Zbog tog djelovanja imaju jako ionizirajuće djelovanje. Doseg alfa zračenja je nekoliko centimetara, a zaustavlja ga već koža ili komad papira. No, nije toliko bezopasno zračenje jer ako se unesu u tijelo hranom ili udisanjem, može biti opasno zbog svog jakog ionizirajućeg djelovanja.

Beta zračenje čine elektroni, a čestice su negativno nabijene. Čestice putuju velikom brzinom, ali ionizirajuće zračenje nema toliku snagu kao  $\alpha$  zračenje. Bitna razlika između alfa i beta zračenja je u dometu koji u zraku ide do nekoliko metara. Zaustavlja ga već metalna ploča od nekoliko milimetara debljine, također je opasno za organizam ako se unese.

Gama zračenje stvaraju elektromagnetski valovi koji posjeduju veliku energiju, a potječu iz same jezgre atoma. Domet i brzina  $\gamma$  zračenja ovise o brzini svjetlosti koja omogućava da u zraku valovi mogu prijeći stotine tisuća metara prije nego što potroše energiju. Prodornost valova je velika te mogu proći kroz mnogo vrsta materijala uključujući i ljudsko tkivo.

Rendgensko zračenje je elektromagnetsko zračenje velike energije, koje potječe iz elektrona. Moć prodiranja X zrake čini idealnim za korištenje u medicinskoj dijagnostici, ali i u razne industrijske svrhe. Međutim, visoka energija X zraka može uzrokovati ionizaciju i čini X zrake biološki opasnim ako apsorbirana doza nije ispod preporučenog minimuma. Prolazi kroz ljudsko tijelo, a može se reducirati pomoću debelog sloja olova, betona ili vode. [12]

Kozmičko zračenje čine razne visokoenergetske čestice. Podjela ovog zračenja je na: primarno i sekundarno. Primarno kozmičko zračenje dolazi iz svemira do Zemljine atmosfere, sastoji se od atomskih jezgara. Sastav ovog zračenja je 90% proton te ostatak čini helijeva jezgra. Sekundarno kozmičko zračenje nastaje sudarom primarnoga zračenja s jezgrama koje se nalaze u atmosferi

Zadnje zračenje je neutronska, sama korijen riječi odaje da se sastoji od brojnih brzih neutrona koji su po masi vrlo slični protonima. Da bi se zaštitili, koriste se tvari koje imaju električni naboj, a neutronska zračenje može biti posljedica nuklearnih reakcija.

### 3.2 Neionizirajuće zračenje

Neionizirajuće zračenje je opći naziv za dio elektromagnetskog spektra sa slabom energijom fotona, koja nije dovoljna za razbijanje atomskih veza u ozračenom materijalu, ali još uvijek ima snažan efekt zagrijavanja. Prirodni izvori neionizacijskog zračenja su Sunce, udaljene zvijezde, ostali kozmički izvori te zemaljski izvori kao što su munje. Nabrojani izvori su slabog intenziteta u usporedbi s razinama elektromagnetske energije u prirodi, koju

stvaraju umjetni izvori. Elektromagnetski spektar neionizirajućeg zračenja se širi od ekstremno niskih do vrlo visokih frekvencija prema radiofrekvencijama, infracrvenom zračenju sve do vidljivih svjetlosti i ultraljubičastih zraka.

Infracrveno zračenje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama većim od valne duljine, a manjim od valne duljine radiovalova. Ljudskim okom nije moguće vidjeti infracrvene zrake, ali osjet topline bi bio moguć ako bi se zrake usmjerile prema ljudskoj koži.

Vidljive svjetlosti sprežu se u snop elektrona te onda on udari u fosforni sloj na unutrašnjoj površini zaslona, a zatim to uzrokuje vidljive svjetlosti koja omogućuje da se vidi ono što zraka opisuje po zaslonu.

Ultraljubičasto zračenje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnim duljinama manjim od onih koje ima vidljiva svjetlost, ali većim od onih koje imaju neke X zrake. Osim što ultraljubičaste zrake dolaze iz spektra Sunca mogu se dobiti i umjetnim putem. Jedini problem s ultraljubičastim svjetlom je taj što ga naše oko direktno gleda. [12]

Neionizirajuće zračenje ne nosi dovoljno energije za oštećivanje DNA na isti način kao ionizirajuće zračenje, no prenosi energiju na tkiva ili materijale, na primjer zagrijavanjem. Na taj način rade mikrovalne pećnice. [13]

Pojam elektrosмога u širem smislu obuhvaća sva područja neionizirajućih zračenja u golemom elektromagnetskom spektru od statičkih polja preko polja ekstremno niskih frekvencija, radiofrekvencija do polja najviših frekvencija ultraljubičastog svjetla.

## 4. TERMINALNI KOMUNIKACIJSKI UREĐAJ KAO IZVOR ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA

U posljednjih nekoliko godina sve je izraženiji porast gustoće različitih mikrovalova. Oni potječu od radiodifuzije, televizije (zemaljske i satelitske), sve većeg broja navigacijskih vojnih i meteoroloških radarskih sustava te mnoštva različitih aparata i uređaja u industriji, kućanstvima i uredima. [12]

Svaki uređaj napajan istosmjernom ili izmjeničnom strujom stvara elektromagnetsko polje u svojoj blizini. Radio uređaji koriste antene i pojačala koji služe za pojačavanje signala te za prenošenje radio signala na veće udaljenosti. Svako pojačanje signala generira određenu količinu elektromagnetskog zračenja.



Slika 4. Bazna stanica, [22]

Mobilna telefonija temelji se na dvosmjernoj komunikaciji između mobilnog terminalnog uređaja te bazne stanice. Radio komunikacija se temelji na radio frekvenciji od 30 kHz do 300 GHz. Glavni izvor RF zračenja su antene baznih postaja. Radijacija mobilnih terminalnih uređaja generirana je na predajniku i prenosi se antenom. Antene baznih postaja su glavni izvor izlaganja RF zračenju. Nalaze se na uzdignutom mjestu gdje nema nikakvih fizičkih prepreka koje bi spriječile emitiranje. [15]

Pojačanje usmjerenih antena iznosi između 10 dBi i 20 dBi, što znači da je emitirana snaga između 10 i 100 puta veća u željenom smjeru u odnosu na izotropni radijator - idealizirani izvor zračenja koji zrači jednako u svim smjerovima. Tako zračenje iza usmjerene antene može biti 300 puta manje nego ono u glavnom snopu. Uz horizontalnu, zračenje antena ima i vertikalnu usmjerenost, s vrlo uskim dijagramom zračenja, u pravilu blago nagnutim prema dolje, bilo mehanički ili elektronički. [20]

Svi uređaji koji se nalaze u blizini čovjeka imaju izvor koji je povezan ili s električnim ili s magnetskim i/ili elektromagnetskim poljem. Uređaji ili postrojenja imaju neku vrstu zračenja, [12]:

- radiofonija svih valnih dužina
- mobilne radioveze (mobitel i sl.)
- odašiljači (TV i radio tornjevi, lokalni odašiljači)
- radari (zrakoplovi, zračne luke, promet i sl.)
- elektrane, trafostanice, dalekovodi
- kućna električna (televizori, bojleri, mikrovalne pećnice i sl.)
- prijevozna sredstva (tramvaji, električne željeznice, vozila)
- industrijske primjene (elektroliza, kaljenje i sl.)
- sustavi osiguranja od provala (banke, itd.)
- medicinske primjene (tomografija, itd.).

Izlaganje RF zračenju emitiranog od strane antena (baznih stanica) znatno je manje jačine (mjereno pri korisniku) u odnosu na zračenje mobilnih terminalnih uređaja koji su u blizini tijela. Generalno mobilni uređaji novijih generacija (3G, 4G) rade s manjom razinom u odnosu na mobilne terminalne uređaje starije generacije. GSM uređaji uobičajeno emitiraju veće količine EM zračenja od CDMA uređaja. [15]

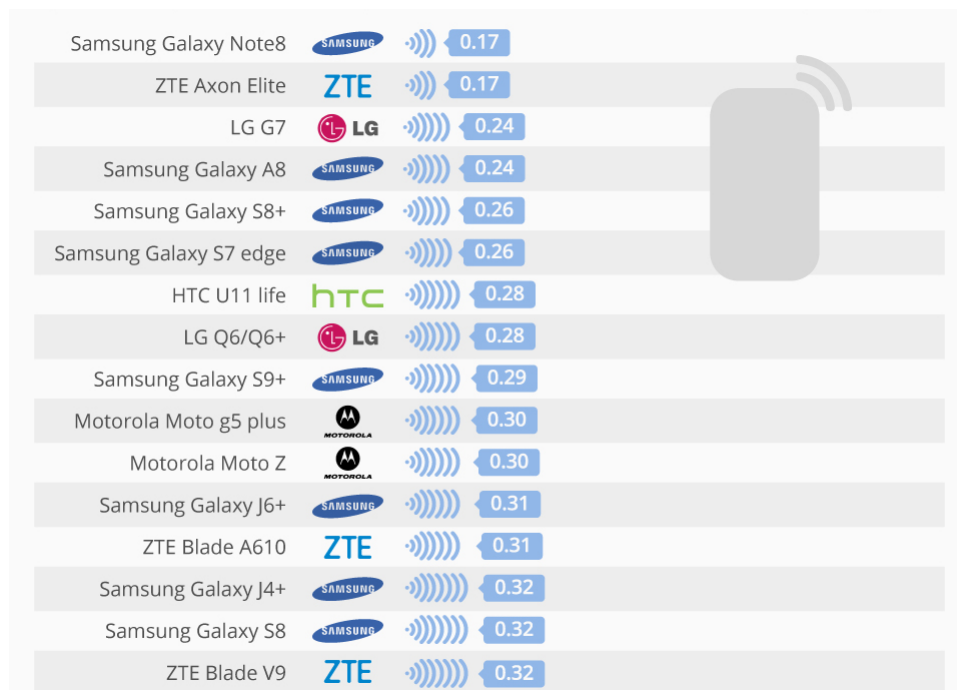
Specifični stupanj apsorpcije elektromagnetskog zračenja, SAR mjera je stupnja apsorpcije energije radiovalova u tjelesnom tkivu emitirana od strane izvora (mobilni terminalni uređaj). Jedan od najobjektivnijih pokazatelja intenziteta radijacije ljudskog organizma neionizirajućim zračenjem te ne postoji bolji parametar kojim bi se mogle procijeniti moguće opasnosti kod upotrebe mobilnog telefona. Kumulativna izloženost zračenju mobilnog terminalnog uređaja vezana je uz način korištenja uređaja, količinu vremena provedenog s uređajem te specifičnu razinu emitiranja SAR-a. [15]

Formula za izračun SAR-a raspisana je kroz derivaciju gdje je prvi izraz jednak deponirane snage po masi tkiva, a koji se u praksi računa pomoću dvije potonje formule,  $\sigma$  je specifična vodljivost tkiva,  $\rho$  je gustoća tkiva,  $E$  je efektivna vrijednost električnog polja,  $j$  je gustoća promjenjivih struja. Granice izloženosti radijskim valovima su SAR stupnjevi, a izražavaju se u jedinici [W/kg].

$$SAR = \frac{\partial P}{\partial m} = \frac{\sigma}{\rho} E^2 = \frac{1}{\sigma \rho} j^2. \quad (9)$$

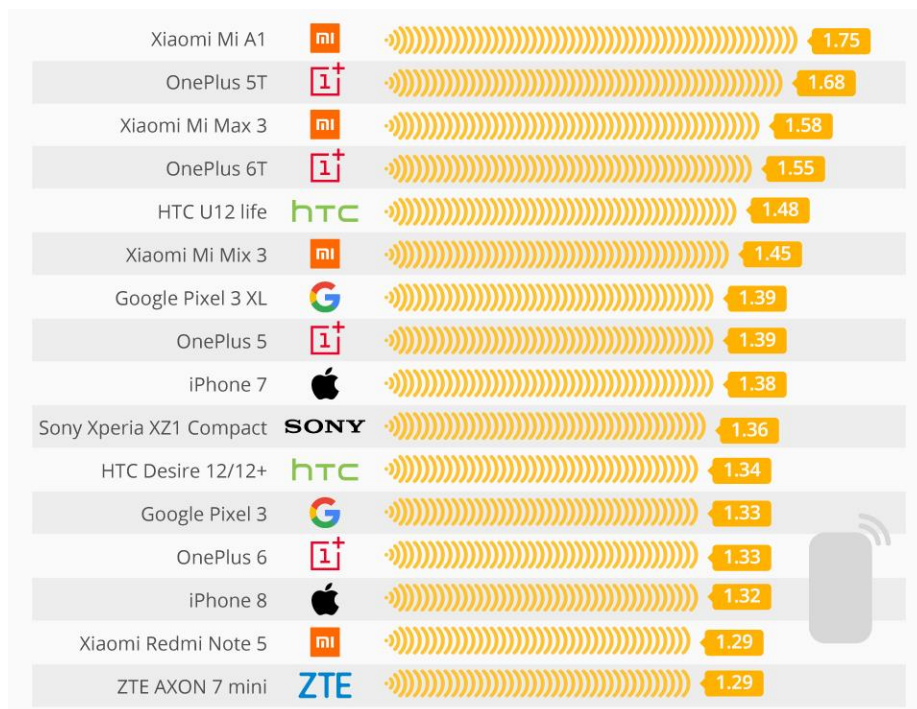
U Sjedinjenim Američkim Državama limit za SAR iznosi 1,6 W/kg, a u Europskoj uniji limit za SAR iznosi 2 W/kg. Bazne stanice u Hrvatskoj koje emitiraju radiovalove znatno su ispod normi postavljenih međunarodnih smjernica.

Njemački savezni ured za zaštitu od zračenja ima bazu pametnih terminalnih uređaja te njihove razine zračenja koje emitiraju. Popis mobilnih terminalnih uređaja na slici 6. poredan je prema padajućem kriteriju razine zračenja te je Sony Xperia M5 na prvom mjestu s brzinom apsorpcije od 0,14 W/kg. [16]



Model	SAR (W/kg)
Samsung Galaxy Note8	0.17
ZTE Axon Elite	0.17
LG G7	0.24
Samsung Galaxy A8	0.24
Samsung Galaxy S8+	0.26
Samsung Galaxy S7 edge	0.26
HTC U11 life	0.28
LG Q6/Q6+	0.28
Samsung Galaxy S9+	0.29
Motorola Moto g5 plus	0.30
Motorola Moto Z	0.30
Samsung Galaxy J6+	0.31
ZTE Blade A610	0.31
Samsung Galaxy J4+	0.32
Samsung Galaxy S8	0.32
ZTE Blade V9	0.32

Slika 5. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najnižim SAR-a, [16]



Slika 6. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najvišim SAR-a, [16]



## 5. IZRAČENE SNAGE BAZNIH STANICA I NEGATIVNI UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA NA LJUDE U URBANIM OKRUŽENJIMA

Općenito, zračena snaga baznih postaja ovisi o broju kanala po baznoj postaji, broju privremeno uspostavljenih veza, te kvaliteti i sadržaju prenesene informacije. Snaga odašiljača pojedine bazne postaje dimenzionira se na razinu koja omogućava uporabu mobilne postaje unutar područja pokrivanja. Pri tome se ne dopušta izlazak značajne razine signala izvan planiranog područja pokrivanja.

U svrhu pokrivanja cjelovitog područja uslugom i ostvarivanja kapaciteta za dovoljno slobodnih kanala, odnosno za svakog korisnika unutar ćelije, potreban je signal odgovarajuće snage. Porast pretplatnika uvjetuje instaliranje sve većeg broja baznih postaja koje su neminovno sve bliže jedna drugoj. S druge strane ove bazne postaje rade s nižom razinom snage da bi se spriječilo neželjeno međudjelovanje između susjednih baznih postaja. [20]

Budući da svaka bazna postaja ima ograničen kapacitet, u urbanim područjima, gdje je veći broj korisnika, a time i zahtjev za većim kapacitetom, nužan je veći broj baznih postaja, pa su ćelije manje. Smanjivanjem veličine ćelije smanjuje se i udaljenost između baznih i mobilnih postaja.

U ruralnim područjima snaga se dimenzionira tako da pokriva udaljena područja (10-30 km) s ograničenim brojem upotrijebljenih frekvencijskih pojaseva dok se u urbanim područjima snaga raspodjeljuje na nekoliko korisničkih pojaseva unutar manjeg područja (500 m). [20]

Razine izračenih polja uvelike ovise o vrsti antena, lokaciji i udaljenosti od bazne postaje. Efektivna izotropno zračena snaga je važan parametar u analizi zračenja antenskog sustava bazne postaje. EIRP je jedinica kojom se mjeri jačina izračenog polja, tipično iz radio antene. U RF sustavima EIRP je vrijednost snage koju bi trebala zračiti izotropna antena da bi signal na prijemnoj anteni bio iste razine kao i s antenom koja se koristi u smjeru njene glavne laticе. EIRP vrijednost uzima u obzir gubitke u kabelima, konektorima i dobitak antene. Dobitak se izražava u [dBi] (decibel prema izotropnoj anteni).

Osnovni biološki učinci zbog međudjelovanja elektromagnetskog polja i biološkog sustava s obzirom na frekvencijsko područje i odgovarajuće dozimetrijske veličine prikazani su u Tablici 2.

Tablica 2. Međudjelovanje elektromagnetskih polja i ljudskog tijela

Frekvencijsko područje	Biomehanizam	Dozimetrijska veličina
Polja niskih frekvencija (3 kHz – 100 kHz)	Neuromišićne stimulacije	Gustoća struje u pobuđenom tkivu J [A/m <sup>2</sup> ]
Radiovalovi (100 kHz – 3 GHz)	Zagrijavanje tkiva	Specifična razina apsorpcije SAR [W/kg]
Mikrovalno zračenje (3 GHz – 300 GHz)	Površinsko zagrijavanje	Gustoća snage S [W/m <sup>2</sup> ]

Zračenje elektromagnetske energije predstavlja ili neželjeni gubitak energije ili željeni proces odašiljanja valova u slobodni prostor. Prilagodna jedinica između izvora i valova koji se šire u slobodnom prostoru naziva se antena ili radijator.



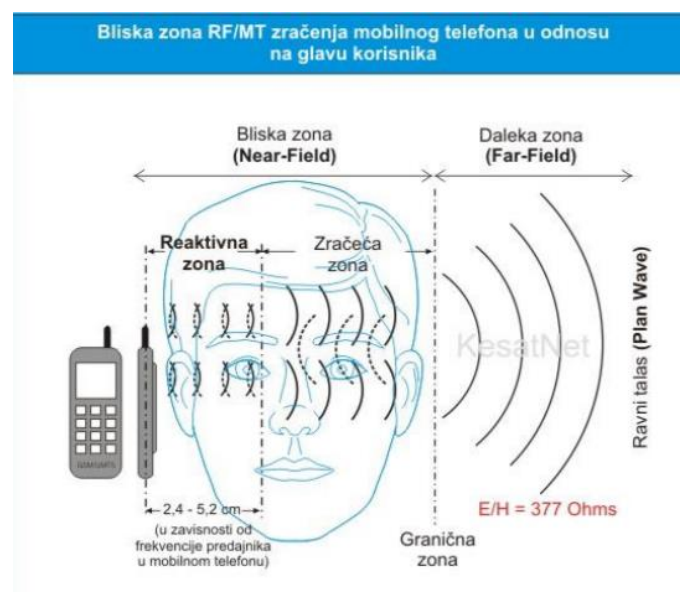
Slika 7. Utjecaji zračenja na ljudski organizam, [15]

Biološki učinak se javlja kad izlaganje elektromagnetskim poljima uzrokuje fiziološke promjene u biološkom sustavu koje se mogu otkriti mjerenjem ili opažanjem. Negativni učinci na zdravlje javljaju se kad je biološki učinak izlaganja polju izvan normalnog raspona

koje organizam može kompenzirati. Pokazalo se da izlaganje poljima izaziva biološke učinke kao što su zagrijavanje, mijenjanje kemijskih reakcija ili induciranje električnih struja u tkivima i stanicama.

Elektromagnetsko zračenje djeluje na ljudsko zdravlje posebno što su sveprisutni uređaji iz područja neionizirajućeg spektra. Nisu poznati mehanizmi koji bi dokazali da neionizirajući spektar uzrokuje tumorske bolesti ili oštećuje DNA. Studije na životinjama nisu potvrdile indikacije da neionizirajuće zračenje uzrokuje tumore te nekoliko značajnih istraživanja nije dokazalo štetnost zračenja Wi-Fi mreža. Suglasna većina istraživanja da značajan biološki efekt energije zračenja RF valova jest zagrijavanje zato što porast temperature koje nastaje kao rezultat izloženosti zračenju RF valova. [15]

Ionizirajuće zračenje je pojava za koju ljudska osjetila nisu razvijena, za razliku od mnogih drugih pojava u prirodi. Čovjek može biti izložen i smrtonosnoj dozi ionizirajućeg zračenja, a da u samom trenutku zračenja ništa ne osjeti. Posljedice zračenja, bez osjetilne veze s uzrokom zapažaju se tek nakon nekog vremena, od nekoliko sati do nekoliko dana ili čak godina, što ovisi o vrsti i svojstvima tog zračenja.



Slika 8. Prikaz bliske i daleke zone RF zračenja, [15]

U slučaju kad je mobilni terminalni uređaj prislonjen na uho korisnika, taj dio glave se nalazi u bliskoj zoni zračenja RF predajnika mobilnog terminalnog uređaja. Posebnu opasnost predstavlja reaktivni dio ove zone koji se prostire od antene mobilnog uređaja prema glavi na rastojanju od 2,4 do 5,2 centimetra. [17]

Istraživanje bioloških efekata elektromagnetskog polja sjedinjuje brojne aspekte kao što su biološki, medicinski, biokemijski, epidemiološki, okolišni, zatim aspekt određivanja potencijalnih rizika po zdravlje. Zračenje kod djece (mlađa populacija) apsorbira veće količine EM zračenja iz sljedećih razloga:

- njihovo moždano tkivo upija više
- lubanja je tanja
- relativna veličina je manja.

Visokoenergetska polja predstavljaju krajnji frekvencijski pojas elektromagnetskog spektra, sposoban da ionizira molekule ozračene tvari, uključujući tu i biološke medije. Mali je broj osoba koje su bez potrebne zaštite izložene tim poljima iz profesionalnih razloga, a gotovo cjelokupna opća populacija u razvijenim zemljama izložena je niskim razinama elektromagnetskog zračenja u svojim domovima i na radnim mjestima.

Mjeru u kojoj zračenja elektromagnetskog spektra predstavljaju zdravstvenu prijetnju teško je odrediti, jer se pojedini učinci mogu manifestirati sa značajnom vremenskom odgodom i/ili povezati s drugim rizičnim čimbenicima prisutnim u suvremenoj populaciji (stres, loše prehrambene navike, tjelesna neaktivnost), no ova intrigantna tema svakako i dalje ostaje predmetom brojnih istraživanja. [19]

## 6. SMANJENJE RAZINE ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA UPOTREBOM NOVIH KOMUNIKACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Osnovni zahtjevi pri zaštiti ljudi od EM zračenja jesu zadovoljenje temeljnih ograničenja. Ako nije moguće izračunati ili mjeriti osnovna ograničenja, za procjenu štetnosti može se uzeti usporedba s reformnim graničnim razinama. U svrhu smanjenja rizika od eventualnih štetnih posljedica elektromagnetskog zračenja postoje zaštitne norme regulirane državnim preporukama, te su navedene u Poglavlju 7.

Najšire prihvaćene međunarodne sigurnosne smjernice izdala su međunarodna udruženja *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* i *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.

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 smjericama. Međunarodnim normama i preporukama prema ICNIRP-u propisane su granične vrijednosti karakterističnih parametara elektromagnetskog polja u dvije kategorije, [20]:

- 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 (incidentno) elektromagnetsko polje – jakost električnog polja  $E$  [V/m], jakost magnetskog polja  $H$  [A/m] i gustoća snage elektromagnetskog vala  $S$ .

Zaštita ljudi od elektromagnetskog zračenja u prvom redu podrazumijeva zadovoljavanje temeljnih ograničenja. Proračuni i mjerenja veličina kojima su definirana osnovna ograničenja (SAR,  $J$ ) čine postupke koji se zove dozimetrija unutarnjeg polja. Alternativa se svodi na proračune i mjerenja parametara polja kojima su definirane referentne razine. Postupak dozimetrije upadnog polja proračunava i mjeri jakosti električnog ( $E$ ) i magnetskog ( $H$ ) polja te gustoće snage ( $S$ ). [20]

Neke od mjera koje se mogu poduzeti za zaštitu od neionizirajućeg zračenja jesu ove:

- propisivanje graničnih razina i nadzor nad izloženosti ljudi neionizirajućim zračenju
- proračun i procjena razine zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
- mjerenje razine zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
- smanjivanje razine zračenja u okolišu, vremensko ograničavanje izloženosti ljudi
- prikladno označavanje prostora, izobrazba i stručno usavršavanje zaposlenih glede zaštite od neionizirajućeg zračenja. [23]

Hrvatska udruga za zaštitu od elektromagnetskog zračenja se zalaže za sigurno korištenje mobilnih telefona i svih uređaja koji proizvode elektromagnetno zračenje. Udruga želi povećati svijest korisnika o opasnostima zračenja te da korisnici nisu svjesni rizika. Preporučene mjere kako bi smanjili rizik od štetnih posljedica za zdravlje prilikom korištenja mobitela:

- Mjere opreza pri korištenju mobilnog telefona:
- Ne prislanjati mobitel uz glavu prije uspostave poziva
- Koristiti zvučnik ili žičane slušalice (kad god je to moguće)
- Izbjegavati razgovor kada je signal mobilne mreže slab
- Birati modele sa što nižom vrijednošću specifične apsorpcije (SAR)
- Izbjegavati nošenje uz tijelo
- Ne držati mobitel uz glavu za vrijeme spavanja (ne koristiti ga kao budilicu)
- Ako mobitel držite u spavaćoj sobi ili ga koristite kao budilicu postavite ga na zrakoplovni način rada
- Umjesto govornih poziva prednost davati korištenju tekstualnih poruka (SMS, mail, chat...)
- Kad je to moguće, prednost davati korištenju Wi-Fi mreža u odnosu na mobilne (povezivanje u pravilu traje kraće)
- Kod duljih razgovora mijenjati stranu glave
- Izbjegavati telefoniranje u malom prostoru [25].

## 7. ZAKONSKA REGULATIVA O ELEKTROMAGNETSKOM ZRAČENJU

Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj vezana uz područje elektromagnetskog zračenja provodi se pomoću zakona te pravilnika. Zakoni su relativno stari kao na primjer, Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja čak iz 2006. godine, a Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja nešto je mlađeg datuma iz 2010. godine. Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih zračenja tiskan je 2014. godine.

Zakoni definiraju pojmove, način rukovanja s izvorom zračenja te zaštitu od istog. Golemi problem nastaje kad korisnici i/ili sudionici nisu upućeni u problematiku i opasnost elektromagnetskog zračenja te nisu svjesni veličine posljedica za njihovo zdravlje i okolinu.

### 7.1 Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja

Proglašavam Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja, kojega je Hrvatski sabor donio na sjednici 26. svibnja 2006. godine. [22]

*Iz Članka 2, pojam Ionizirajuće zračenje jest elektromagnetsko i čestično zračenje čijim prolazom u tvari izravno ili neizravno nastaju parovi pozitivno i negativno električki nabijenih čestica-iona. Prema Članku 3, izvori ionizirajućeg zračenja jesu:*

- rendgenski uređaji, akceleratori i drugi električni uređaji koji proizvode ionizirajuće zračenje,
- radioaktivni izvori,
- uređaji s radioaktivnim izvorima,
- radioaktivni otpad,
- postrojenja, sve tvari i predmeti iz nuklearnoga gorivnog ciklusa bez obzira na namjenu, oblik, fizikalno ili kemijsko stanje, koje mogu uzrokovati ozračenje pojedinca ili radioaktivno onečišćenje okoliša iznad granica utvrđenih na temelju ovoga Zakona,
- radioaktivne tvari koje se nalaze u okolišu zbog nuklearnih eksplozija, izvanrednih događaja ili zbog kakva drugog razloga koji je posljedica čovjekove djelatnosti,

- prirodne radioaktivne tvari sa svojstvima promijenjenim korištenjem tehnoloških postupaka,
- uređaji i tvari koji su onečišćeni radioaktivnom tvari iznad propisanih granica.

Članak 4 jasno kaže da ovaj se Zakon ne odnosi na prirodnu razinu ionizirajućeg zračenja podrijetlom iz svemira, Zemljine kore ili ljudi ako nije promijenjena ljudskom djelatnošću. U Zakonu su *Načela zaštite od ionizirajućeg zračenja koja u Članku 5* kažu da se mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja mora se osigurati provedba načela opravdanosti, optimalizacije i ograničenja ozračenja.

Postoje *Granice ozračenja stanovništva i Dobna granica za izložene radnike* koje su spomenute u Članak 11 i Članak 12, gdje je jasno definirano da “Pojedini stanovnik ne smije u jednoj godini primiti efektivnu dozu višu od 1 mSv (milisievert) od izvora ionizirajućeg zračenja koji su uključeni u djelatnosti s izvorima ionizirajućih zračenja.” te da osobe mlađe od 18 godina ne smiju raditi na poslovima gdje mogu biti ozračene.

Zakon kaže da izloženi radnici moraju imati posebno stručno obrazovanje o primjeni mjera zaštite od ionizirajućeg zračenja. Posebne mjere se pridodaju provjeri zdravstvene sposobnosti. Prostor, uređaji i postrojenja u kojima su smješteni izvori ionizirajućeg zračenja ili se obavljaju djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja mora biti odobren od Državni zavod za zaštitu od zračenja.

Uvoz i izvoz izvora ionizirajućeg zračenja mogu obavljati pravne i fizičke osobe na temelju dozvole Državnog zavoda za zaštitu od zračenja. Prijevoz i provoz radioaktivnih izvora mogu obavljati pravne i fizičke osobe uz odobrenje Državnog zavoda za zaštitu od zračenja.

Nositelj odobrenja obvezan je osigurati i snositi troškove zbrinjavanja radioaktivnog otpada, kao i iskorištenih zatvorenih radioaktivnih izvora te izvora ionizirajućeg zračenja koje ne namjerava dalje koristiti te je zabranjeno uvoz, prerada, skladištenje i zbrinjavanje radioaktivnoga otpada koji nije nastao u Republici Hrvatskoj. Kazne su novčane za sve fizičke i pravne osobe koje ne poštuju ovaj zakon. [22]

## 7.2 Zakon o zaštiti od neionizacijskog zračenja



Svrha ovog Zakona je smanjivanja opasnosti za zdravlje osoba koje rukuju izvorima neionizirajućeg zračenja i osoba koje su izložene neionizirajućem zračenju. Prema Članku 2, *neionizirajuće zračenje* jesu elektromagnetska polja i elektromagnetski valovi frekvencije niže od 3.000.000 GHz ili ultrazvuk frekvencije niže od 500 MHz koji u međudjelovanju s tvarima ne stvaraju ione, a *izvor neionizirajućeg zračenja* jest svaki uređaj koji proizvodi jednu ili više vrsta neionizirajućeg zračenja.

Odredbе ovoga Zakona ne odnose se na neionizirajuće zračenje podrijetlom iz svemira ili na prirodne izvore neionizirajućeg zračenja. Zakonom su propisane mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja, a to su:

1. propisivanje graničnih razina i kontrola izloženosti ljudi neionizirajućem zračenju
2. proračun i procjena razina zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
3. mjerenje razine zračenja u okolišu izvora neionizirajućeg zračenja
4. vremensko ograničavanje izloženosti ljudi neionizirajućem zračenju
5. označivanje izvora neionizirajućeg zračenja i prostora u kojima su smješteni
6. uporaba zaštitne opreme pri radu s izvorima neionizirajućeg zračenja ili radu u prostorima s neionizirajućim zračenjem
7. određivanje uvjeta za smještaj, nabavu i uporabu izvora neionizirajućeg zračenja
8. obrazovanje i stručno usavršavanje rukovatelja vezano uz zaštitu od neionizirajućeg zračenja
9. utvrđivanje i praćenje zdravlja osoba koje su na radnim mjestima izložene neionizirajućem zračenju
10. osobna i uzajamna zaštita ljudi od izlaganja neionizirajućem zračenju
11. osiguranje stručnih radnika, tehničkih, financijskih i drugih uvjeta za provedbu mjera zaštite od neionizirajućeg zračenja
12. vođenje evidencije o izvorima neionizirajućeg zračenja i o izloženosti rukovatelja izvorima neionizirajućeg zračenja

13. nadzor nad izvorima neionizirajućeg zračenja i nad primjenom mjera zaštite.

Odgovornost i troškove provedbe mjera zaštite od neionizirajućeg zračenja snosi pravna ili fizička osoba kojoj je dana dozvola za uporabu i stavljanje u promet izvora neionizirajućeg zračenja. Kaznene odredbe su isto novčane kao u Zakonu o ioniziranom zračenju. Stručnim poslovima zaštite od neionizirajućeg zračenja smatraju se:

1. ispitivanja kakvoće izvora neionizirajućeg zračenja u propisanim rokovima
2. mjerenje razine neionizirajućeg zračenja u prostorima u kojima se upotrebljavaju i u okolišu
3. davanje mišljenja u postupku utvrđivanja ispunjavanja uvjeta za uporabu izvora neionizirajućeg zračenja
4. provjera ispravnosti zaštitnih sredstava i opreme
5. izrada procjena i izvješća o opasnostima i učincima neionizirajućeg zračenja na ljude i okoliš
6. posebno stručno obrazovanje rukovatelja s izvorima neionizirajućeg zračenja.

### 7.3 Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja

Prema Pravilniku [23] koje je donesen od strane ministara zdravlja uz prethodno pribavljeno mišljenje ministra pomorstva, prometa i infrastrukture, definirani su neki pojmovi kao što su:

- Elektromagnetska polja jesu vremenski promjenjiva električna i magnetska polja frekvencije do 300 GHz.
- Gustoća snage (S) je omjer snage i površine okomite na smjer širenja elektromagnetskog vala, a izražava se u vatima po metru kvadratnom [ $W/m^2$ ]. Rabi se kao temeljna veličina za frekvencijsko područje od 10 GHz do 300 GHz, a kao referentna veličina od 10 MHz do 300 GHz.
- Specifična gustoća apsorbirane energije (SA) jest apsorbirana energija elektromagnetskog vala po jedinici mase biološkog tkiva te se izražava u džulima po

kilogramu [J/kg]. Rabi se kao temeljna veličina kod vremenski promjenjivih elektromagnetskih polja.

- Unutarnje (inducirano) električno polje ( $E_i$ ) – predstavlja polje inducirano u biološkom tkivu uslijed vanjskog električnog i magnetskog polja generiranog od izvora neionizirajućeg zračenja. Vektorska je veličina i izražava se u voltima po metru [V/m].

Prethodno definirani pojmovi su bitni za Članak 4 jer temeljna maksimalna - ograničena vezana za njih ovisno o frekvencijskom području:

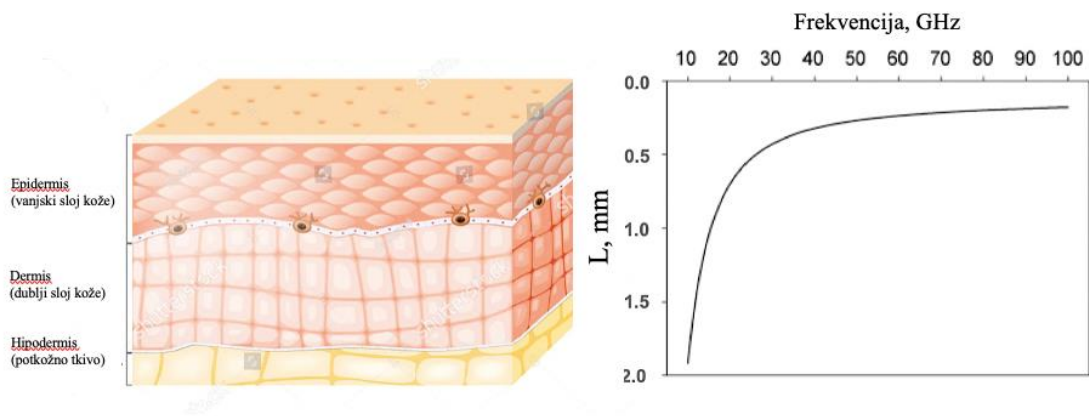
- a) unutarnje (inducirano) električno polje od 1 Hz do 10 MHz
- b) specifična gustoća apsorbirane snage od 100 kHz do 10 GHz
- c) gustoća snage od 10 GHz do 300 GHz.

## 8. TEHNIČKE ODREDNICE PETE GENERACIJE I POPRAVNE POJAVE

Peta generacija je nova generacija mobilne mreže odnosno tehnološki napredak i nadogradnja 4G. 4G se koristi od 2012. godine u Republici Hrvatskoj, a od 2008. godine se koristi u svijetu. Razlika u odnosu na prijašnju (4G) tehnologiju je to što se koristi drugačija frekvencija. Prijašnje generacije koriste frekvenciju od 0,7 do 2,7 GHz, dok će 5G u početku biti na frekvencijama od 0,6 do 6 GHz, a kasnije će se proširiti na frekvencijski pojas od 26 do 90 GHz. Znatno je smanjena latencija, točnije vrijeme potrebno da signal s jednog uređaja dođe na drugi. Latencija u 3G mreži iznosila je 100 milisekundi, u 4G mreži 50 milisekundi, a u 5 generaciji očekivana je latencija od 1 milisekunde. Omogućuje spajanja više terminalnih uređaja odnosno povezivanje svih uređaja u jednu cjelinu, zvanu IoT. 5G poboljšava performanse pouzdanosti, sigurnosti te brzini. Brzina preuzimanja u 4G kreće se od minimalne 10 MB/s do maksimalne 100 MB/s, dok u 5G mreži od 1 GB/s do 10 GB/s.

Znači ako se uspoređi djelovanje 5G signala u odnosu na ono 4G signala iste razine i bliske frekvencije, ne može se govoriti o povećanom riziku. Tehnologija 5G nije ništa opasnija od postojećih bežičnih komunikacijskih tehnologija uz istu razinu izloženosti. Frekvencije djelovanja 5G mreža u području 700 MHz i 3,5 GHz ne razlikuju se od ostalih bežičnih tehnologija, a novina je područje rada od 26 GHz. Na nižim frekvencijama (700 MHz) mogu se ostvariti veće ćelije odnosno bolje pokrivanje signalom, ali zbog raspoloživih užih širina kanala ostvarive prijenosne brzine ne mogu biti jako velike. Ovo područje je prikladno za pokrivanje ruralnih područja i prometnica jer tu ne postoji tolika potreba za kapacitetom, a zgodno je i za spajanje senzora. Područje od 3,5 GHz pruža dovoljan kapacitet i tek će se ovdje vidjeti značajnije povećanje brzina u odnosu na 4G. [26]

S porastom frekvencije dubina prodiranja u ljudski organizam sve je manja, tako da je efektu zagrijavanja izložena samo koža, slika 9. Ovaj efekt nije posljedica tehnologije nego frekvencije rada.



Slika 9. Prodornost elektromagnetskih valova u ljudsko tijelo, [27]

Frekvencijama iznad 6 GHz, dubina penetracije polja u tkiva je mala pa SAR više ne predstavlja pogodnu mjeru za određivanje apsorpcije energije u tijelu. U ovom slučaju je gustoća apsorbirane snage elektromagnetskog polja puno prikladnija dozimetrijska veličina. Polja visokih frekvencija u 5G frekvencijskom području ne prodiru značajnije u tijelo, već uglavnom ostaju na površini tijela pa se gustoća snage apsorbirane na površini tijela može povezati s lokalnim površinskim zagrijavanjem. [30]

Prijenosna frekvencija je uobičajeno nekoliko redova veličine veća od širine kanala, a širina kanala nam govori koliku prienosnu brzinu slanja podataka možemo ostvariti. Signali se odašilju iz antenskih sustava koji su povezani s baznim postajama. Bazna postaja je primopredajnik s kojim komunicira mobilna stanica i koja signale prosljeđuje u/iz nepokretnog dijela mreže. Područje (prostor) u kojem postoji dovoljna razina signala za pouzdanu komunikaciju naziva se ćelija. Znači, antenski sustav skupa s baznom postajom opskrbljuje ćeliju adekvatnim signalom. [30]

Odašiljači su obično snage do 200 W i njihovo je zračenje najčešće usmjereno u horizontalnom smjeru te intenzitet opada s kvadratom udaljenosti. Zračenje takvih antena je opasno ako se nalazimo u području samog snopa i na maloj udaljenosti odnosno na 50 do 100 metara, a na većim udaljenostima intenzitet zračenja vrlo je nizak. 5G antene su na puno manjim udaljenostima pa je potrebna znatno niža snaga odašiljača od svega 10-tak W. Posebnom tehnikom faznog pomaka zračenje 5G antena je usmjereno prema individualnom korisniku. Na taj se način dodatno štedi energija odašiljača i minimizira ozračnost okoline. [27]

## 9. ZAKLJUČAK

Informacijski promet u današnjem suvremenom društvu ima velik utjecaj na razvoj komunikacije tehnologije koja mijenja način na koji ljude žive i rade. Mobilni terminalni uređaj u svakodnevnom životu postao je nezamjenjiv. Omogućuje nam komunikaciju u pokretu, unaprjeđuje kvalitetu života i poslovanja te njime možemo primiti i poslati informaciju s bilo koje lokacije u bilo koje vremensko doba.

Korisnici mobilnih uređaja izloženi su jakostima zračenjima više razine, koja mogu biti viša od dopuštenih granica. Napredne moderne tehnologije, primjerice tehnologija GSM, koriste uređaje čija je jakost elektromagnetskih polja unutar dopuštenih granica, ali su ta zračenja ipak više razine od onog koje nailazimo u prirodnom okruženju.

Utjecaj elektromagnetskog zračenja na zdravlje ljudi je problem društva koji nije dovoljno istražen. Prisutnost zračenja u našem okolišu i njegova potencijalna šteta za ljudsko zdravlje je znanstveno, tehničko i društveno pitanje. Iako još nemamo dovoljno korisnih saznanja o utjecaju zračenja na zdravlje ljudi, neka saznanja ipak postoje, a unatoč tome smatram da su ljudi nedovoljno informirani vezano za ovaj problem, te nisu osviješteni da bi se trebali više zaštititi od zračenja javnim mjerama za zaštitu od zračenja.

## LITERATURA

- [1] Leksikografski zavod Miroslav Krleža. Preuzeto sa: <http://www.lzmk.hr/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [2] Geogebra. Preuzeto sa: <https://www.geogebra.org/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [3] Poljak, D. Izloženost ljudi neionizacijom zračenju. Zagreb: Kigen; 2006.
- [4] Fineartamerica. Preuzeto sa: <https://fineartamerica.com/featured/1-james-clerk-maxwell-granger.html?product=poster> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [5] Pomorski fakultet u Rijeci. Preuzeto sa: [https://www.pfri.uniri.hr/~brcic/downloads/2016\\_2.%20EN%20Elektromagnetski%20valov%20i.pdf](https://www.pfri.uniri.hr/~brcic/downloads/2016_2.%20EN%20Elektromagnetski%20valov%20i.pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [6] Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu. Preuzeto sa: [http://www.fpz.unizg.hr/electrotehnika/admin/upload/et\\_predavanje\\_elektrostatika\\_1\\_\(1\).pdf](http://www.fpz.unizg.hr/electrotehnika/admin/upload/et_predavanje_elektrostatika_1_(1).pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [7] Brodić, T. Osnove elektrotehnike i elektronike. Rijeka: Veleučilište u Rijeci; 2007.
- [8] Haznadar, Z., Štih, Ž. Elektromagnetizam 1. Zagreb: Školska knjiga; 1997.
- [9] Haznadar, Z., Štih, Ž. Elektromagnetizam 2. Zagreb: Školska knjiga; 1997.
- [10] Europski kodeks protiv raka. Preuzeto sa: <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/hr/12-nacina/zracenje/2713-sto-je-bdquo-zracenje-rdquo-kakve-vrste-zracenja-postoje> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [11] Jakobović, Z. Fizika zračenja. Zagreb: Zdravstveno veleučilište; 2007.
- [12] Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu. Preuzeto sa: [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija\\_u\\_prometu/Materijali/Tk.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija_u_prometu/Materijali/Tk.pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [13] Europski kodeks protiv raka. Preuzeto sa: <https://cancer-code-europe.iarc.fr/index.php/hr/12-nacina/zracenje/2713-sto-je-bdquo-zracenje-rdquo-kakve-vrste-zracenja-postoje> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [14] Jakobović, Z. Ionizirajuće zračenje i čovjek. Zagreb: Školska knjiga; 1991.
- [15] Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu. Preuzeto sa: [https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1527860/mod\\_resource/content/1/11\\_Negativni%20efekti%20kori%C5%A1tenja%20terminalnih%20ure%C4%91aja.pdf](https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1527860/mod_resource/content/1/11_Negativni%20efekti%20kori%C5%A1tenja%20terminalnih%20ure%C4%91aja.pdf) [Pristupljeno: kolovoz 2018.]

- [16] Digital Information World. Preuzeto sa:  
<https://www.digitalinformationworld.com/2019/02/the-cell-phones-that-emit-the-least-and-most-radiation.html> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [17] Dervić K. Čovjek u bliskom radiofrekvencijskom polju. ISBN 978-86-85499-29-6
- [18] Poplašen D., Brumen V., Bučan D. Djelovanje elektromagnetskih zračenja na ljudski organizam. *Sigurnost*. 2015;57(4):371–37.
- [19] Pojnović N. Utjecaj bežičnih tehnologija na ljudsko zdravlje. *Sigurnost*. 2009;51(3):261-267.
- [20] Poljak D. Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja. *Sigurnost*. 2012;54(2):173-287.
- [21] Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja, N.N., br. 204/03., 15/04. i 41/08.
- [22] Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja. N.N., br. 64/2006
- [23] Zakon o zaštiti od neionizacijskog zračenja, N.N., br. 91/2010
- [24] Postefer. Preuzeto sa: <http://postef.com.vn/portfolio-items/ang-ten-ace/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [25] HUZEZ. Preuzeto sa: <http://www.huzez.hr/sigurno-koristenje-mobitela/> [Pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [26] HAKOM. Preuzeto sa: <https://www.hakom.hr/default.aspx?id=10364> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [27] 5G prezentacija. Preuzeto sa: <https://kenstechtips.com/index.php/download-speeds-2g-3g-and-4g-actual-meaning> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [28] Samsung. Preuzeto sa: <https://www.samsung.com/hr/explore/samsung-within/innovation/what-is-5g-and-how-will-it-affect-your-life/> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [29] Repozitorij FPZ. Preuzeto sa:  
<https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A379/datastream/PDF/view>  
[Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [30] HAKOM. Preuzeto sa: <https://www.hakom.hr/default.aspx?id=10363> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]
- [31] Ericsson. Preuzeto sa: <https://www.ericsson.hr/5g> [Pristupljeno: kolovoz 2020.]

## POPIS KRATICA



3G	<i>(third generation)</i> treća generacija
4G	<i>(fourth generation)</i> četvrta generacija
CDMA	<i>(Code-division multiple access)</i> standard mobilne komunikacije
EIRP	<i>(Effective Isotropic Radiated Power)</i> efektivna izotropna zračena snaga
EM valovi	elektromagnetski valovi
GSM	<i>(Global System for Mobile Communications)</i>
ICNIRP	<i>(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection)</i>
IEEE	<i>(Institute of Electrical and Electronics Engineers)</i>
IoT	<i>(Internet of Things)</i> Internet stvari
RF zračenje	radiofrekvencijsko zračenje
SAR	<i>(Specific Absorbtion Rate)</i> specifični stupanj apsorpcije elektromagnetskog zračenja

## POPIS SLIKA

Slika 1. Širenje elektromagnetskog vala, [2] .....	3
Slika 2. James Clerk Maxwell, [4] .....	4
Slika 3. Podjela elektromagnetskog zračenja, [11] .....	10
Slika 4. Bazna stanica, [22] .....	14
Slika 5. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najnižim SAR-a, [16] .....	16
Slika 6. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najvišim SAR-a, [16] .....	17
Slika 7. Utjecaji zračenja na ljudski organizam, [15] .....	19
Slika 8. Prikaz bliske i daleke zone RF zračenja, [15] .....	20
Slika 9. Prodornost elektromagnetskih valova u ljudsko tijelo, [27] .....	30

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Frekvencijski spektar elektromagnetskih polja .....	9
Tablica 2. Međudjelovanje elektromagnetskih polja i ljudskog tijela .....	19



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 BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA U URBANOM  
OKRUŽENJU

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

Studentica:

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 31.8.2020 \_\_\_\_\_

Kordić  
(potpis)