

# Biološki učinci elektromagnetskog zračenja u urbanom okolišu

---

Ladiš, Andrej

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*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:119:146665>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-17**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU FAKULTET  
PROMETNIH ZNANOSTI**

**ANDREJ LADIŠ**

**BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA U  
URBANOM OKOLIŠU**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2021.**

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**BIOLOŠKI UČINCI ELEKTROMAGNETSKOG  
ZRAČENJA U URBANOM OKOLIŠU**

**BIOLOGICAL IMPACT OF ELECTROMAGNETIC  
RADIATION ON URBAN ENVIRONMENT**

Mentor: dr. sc. Jasna Golubić

Student: Andrej Ladiš

JMBAG: 0246070565

Zagreb, rujan 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 28. travnja 2021.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**  
Predmet: **Ekologija u prometu**

**ZAVRŠNI ZADATAK br. 6146**

Pristupnik: **Andrej Ladiš (0246070565)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

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

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija i visokofrekventna elektromagnetska polja. Također potrebno je objasniti utjecaj elektromagnetskog zračenja na zdravlje korisnika mobilnih terminalnih uređaja kroz utjecaj na ljudsku DNK i terminalni efekt. Prikazati štetnost implementacije 5G mreže na okoliš i zdravlje ljudi. Analizirati mjere zaštite i zakonsku regulativu kroz Pravilnike o dopuštenim razinama elektromagnetskog zračenja.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

prof. dr. sc. Jasna Golubić

## SADRŽAJ:

1.UVOD .....	1
2.ELEKTROMAGNETSKO ONEČIŠĆENJE .....	3
3.ELEKTROMAGNETSKA POLJA EKSTREMNO NISKIH FREKVENCIJA .....	5
3.1. FIZIČKI MEHANIZMI MEĐUDJELOVANJA.....	8
3.2. UČINCI IZLAGANJA NEIONIZIRAJUĆIM ELEKTROMAGNETSKIM POLJIMA .....	10
3.3. UTJECAJ NEIONIZIRAJUĆEG ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA NA LJUDSKU DNK.....	11
4. VISOKOFREKVENTNA ELEKTROMAGNETSKA POLJA..	12
4.1. SAR JEDINICA .....	13
4.1.1. Računanje SAR jedinice i dozvoljene granice.....	13
4.1.2. Testiranje SAR jedinice kod mobilnih telefona.....	15
4.2. BIOLOŠKO DJELOVANJE .....	16
4.2.1. Direktno termičko djelovanje.....	17
4.2.2. Direktna netermička djelovanja.....	18
4.2.3. Indirektno djelovanje .....	20
4.3. FIZIKALNO DJELOVANJE .....	20
5. UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKOG ZRAČENJA NA ZDRAVLJE KORISNIKA MOBILNIH TERMINALNIH UREĐAJA .....	22
5.1. NEGATIVNI UTJECAJI BAZNIH STANICA.....	24
5.2. NEGATIVNI UTJECAJI MOBILNIH TERMINALNIH UREĐAJA ....	25
6. ŠTETNOST IMPLEMENTACIJE 5G MREŽE NA OKOLIŠ... 29	
6.1. GLAVNE KARAKTERISTIKE 5G.....	29
6.2. USLUGE 5G .....	30
6.2.1. Internet ljudi.....	31
6.2.2. Internet stvari .....	32
6.3. RAT IZMEĐU TEHNOLOGIJE I ČOVJEKA.....	34

6.4. ISTRAŽIVANJA O ŠTETNOSTI MOBILNIH MREŽA.....	35
6.5. ŠTETNOST 5G .....	39
6.5.1 Karakteristike RF spektra u pojasu od 700 Mhz.....	40
6.5.2. Zdravstveni učinci 5G mreže na području frekvencije .41 6 do 100 GHz.....	41
<b>7. PRAVILNIK O MINIMALNIM I SIGURNOSNIM ZAHTJEVIMA .....</b>	<b>44</b>
7.1. ZAKON O ZAŠTITI OD IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA I SIGURNOSTI IZVORA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA.....	46
7.2 ZAKON O ZAŠTITI OD NEIONIZACIJSKOG ZRAČENJA .....	48
7.3. PRAVILNIK O ZAŠTITI OD ELEKTROMAGNETSKIH POLJA.....	50
7.4. ELEKTROMAGNETSKO ZRAČENJE U HRVATSKOJ .....	51
<b>8. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>53</b>
<b>9. LITERATURA .....</b>	<b>55</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>59</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>60</b>

# **Biološki učinci elektromagnetskog zračenja u urbanom okolišu**

## **Sažetak:**

Cilj ovog rada je objasniti pojam elektromagnetskog zračenja, elektromagnetskog onečišćenja te štetni utjecaj istog na zdravlje čovjeka. Zadnjih dvadesetak godina, pojavom mobilnih telefona i stvaranjem ozonske rupe, došlo je do značajnijeg porasta elektromagnetskog onečišćenja okoliša. Razlikujemo elektromagnetska polja visokih i niskih frekvencija, te ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Elektromagnetsko zračenje u kontaktu s tkivom uzrokuje određene biološke učinke, koji mogu imati zdravstvene posljedice. Neionizirajuće zračenje kao što su radiovalovi, mikrovalovi i ultraljubičasto zračenje, prevladava u općem okolišu. Biološke učinke zračenje uzrokuje djelujući na stanicu, molekule i DNK. Detaljno je obrađena SAR jedinica, kako bi lakše objasnili biološko i fizikalno djelovanje. Navode se značajke nove mreže – 5G, karakteristike RF područja u kojem se koristi, te utjecaj implementacije 5G mreže na zdravlje čovjeka. Navedeni su i pravilnici regulirani Međunarodnom komisijom za zaštitu od neionizirajućeg zračenja, ICNIRP.

Ključne riječi: elektromagnetsko onečišćenje, elektromagnetsko zračenje, biološki učinci, ionizirajuće i neionizirajuće zračenje, SAR- Specific Absorption Rate, 5G, ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

# **Biological impact of electromagnetic radiation on urban environment**

## **Summary:**

This paper explains the concept of electromagnetic radiation, electromagnetic pollution and its harmful effects on human health. In the last twenty years, with the advent of mobile phones and the creation of the ozone hole, there has been a significant increase in electromagnetic pollution. We distinguish between high and low frequency electromagnetic fields, and ionizing and non-ionizing radiation. Electromagnetic radiation in contact with tissue causes certain biological effects, which can have health consequences. Non-ionizing radiation such as radio waves, microwaves and ultraviolet radiation, predominate in the general environment. The biological effects of radiation are caused by acting on the cell, molecules and DNA. The SAR unit has been studied in detail to help explain the biological and physical effects. The characteristics of the new mobile network - 5G, the characteristics of the RF area in which it is used, and the impact of the implementation of the 5G network on human health, are explained. Regulations regulated by the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP are also listed.

**Keywords:** electromagnetic radiation, electromagnetic pollution, ionizing and non-ionizing radiation, biological effects, SAR- Specific Absorption Rate, 5G, ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.



# 1.UVOD

Čovjek u današnje vrijeme ne može zamisliti život bez mobilnih uređaja, osobnih računala, laptopa, tableta, televizora i mnogih drugih sličnih uređaja. Sama okolina u kojoj živimo značajno se promijenila, posebice pojavom sve raznovrsnijih uređaja poput mobilnih telefona, računala, širokopojasnog Interneta i sličnog početkom 21. stoljeća bez kojih bi današnji užurbani način života bio nezamisliv, posebice zato što zahtijevamo da su nam informacije dostavljene gotovo trenutno. To je uzrokovalo veliki broj umjetno stvorenih elektromagnetskih polja.

Svi ti umjetno stvoreni izvori zajedno su nazvani elektrosmog. Posljedica je poremećaj okoliša oko nas te naših organizama koji su počeli pokazivati simptome nekih novih bolesti poput osjetljivosti na elektromagnetska polja. Elektrosmog je samo jedna od posljedica koja prati sve veće i gušće naseljenije gradove te je veliki čimbenik u zagađenju naše okoline. Pojavljuju se razni simptomi kao migrena, loš san, kronični umor, ali i oni ozbiljniji poput genetičkih oštećenja.

Kako su mobilne telekomunikacije područje ljudskog djelovanja koje se iznimno brzo razvija u proteklih dvadesetak godina, još uvijek ne postoji dovoljno saznanja o uzročnopoljskim 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 na sljedeći način:

1. Uvod
2. Elektromagnetsko onečišćenje
3. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija
4. Visokofrekventna elektromagnetska polja
5. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na zdravlje korisnika mobilnih terminalnih uređaja
6. Štetnost implementacije 5G mreže na okoliš
7. Pravilnik o minimalnim i sigurnosnim zahtjevima
8. Zaključak

U prvoj i uvodnoj cjelini spomenuta je problematika zračenja i zagađenja okoliša.

U drugoj cjelini objašnjen je pojam elektromagnetskog onečišćenja, kako nastaje, te glavni rezultat elektromagnetskog onečišćenja – elektrosmog.

Treća i četvrta cjelina odnose se na elektromagnetska polja. U trećoj cjelini prolazimo kroz spektar frekvencija elektromagnetskog zračenja, te sve karakteristike elektromagnetskih polja s ekstremno niskim frekvencijama. U četvrtoj cjelini je objašnjen pojam SAR, te biološko i fizikalno djelovanje visokofrekventnih elektromagnetskih polja.

U petoj cjelini je sve fokusirano na negativnim utjecajima elektromagnetskog zračenja.

U šestoj cjelini govorimo o glavnim karakteristikama 5G mreže, novitetima u odnosu na starije mobilne tehnologije, i ono najvažnije – štetnosti implementacije 5G mreže.

U sedmoj cjelini su navedeni pravilnici i zakonska regulativa koja se odnosi na elektromagnetsko zračenje, s naglaskom na pravilnike u Republici Hrvatskoj.

Zadnja cjelina je zaključak.

## 2. Elektromagnetsko onečišćenje

Elektromagnetskim onečišćenjem smatra se svaka količina elektromagnetskog zračenja veća od one prirodne. Elektromagnetsko onečišćenje postoji svuda oko nas. Elektromagnetsko onečišćenje je uglavnom uzrokovano frekvencijama manjim od frekvencije vidljive svjetlosti. Zračenje postoji u našoj neposrednoj okolini i posljedica je zračenja umjetnih izvora koje je stvorio čovjek.

Elektromagnetsko zračenje u općem okolišu uzrokovano je izvorima niskih frekvencija kao što su trafostanice, dalekovodi, električne stanice, željeznička infrastruktura. Zračenje viših frekvencija iz radio aparata, televizora, mobitela, antena operatera je u stalnom porastu. Učinak ove vrste zračenja još nije dobro poznat prvenstveno zbog dosadašnjeg prekratkog vremena izlaganja pa se stoga i ne smatra opasnim, [1].

Republika Hrvatska donijela je zakone za kontrolu zračenja u radnom i općem okolišu: Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja [2], Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja [3], te Pravilnik o praćenju stanja radioaktivnosti u okolišu, [4].

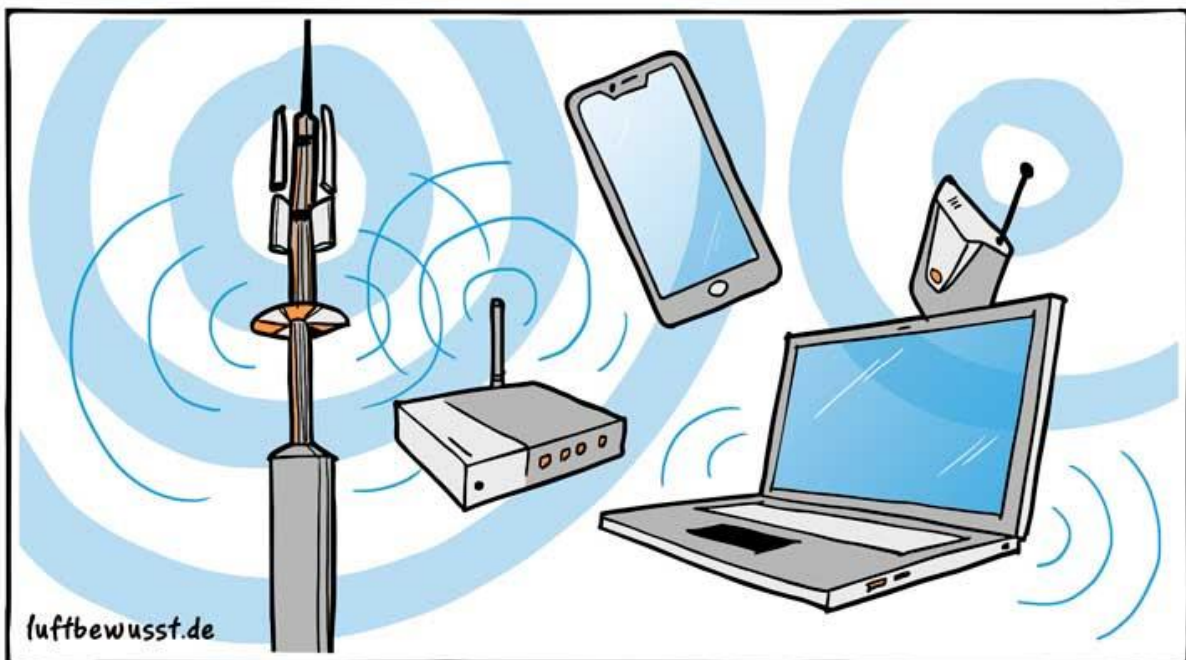
Što se tiče elektromagnetskog onečišćenja u radnom okolišu, prekomjerna količina zračenja na radnom mjestu zbog razvoja industrije sve je veća. Izloženijima se smatraju radnici u metalurgiji, zavarivači, medicinski djelatnici, električari, monter antena i radara i druge srodne djelatnosti. Zdravstvene posljedice dugotrajnog izlaganja neionizirajućem zračenju uključuju: zagrijavanje tijela (toplinski udar), opekline, kataraktu, konjunktivitis. Međutim, posljedice uzrokovane ionizirajućim zračenjem su opasnije jer osim trenutnih, lokaliziranih posljedica mogu imati i dugoročne. Kratkotrajne zdravstvene posljedice uključuju: eritem, opekline, te ulceracije. Dugoročne zdravstvene posljedice ionizirajućeg zračenja uključuju i karcinogeno, mutageno, te teratogeno djelovanje.

Elektromagnetsko onečišćenje je nastalo kao posljedica brzog tehnološkog razvoja i možda nas ono najviše ugrožava. Najveća njegova opasnost je ta što ga ne možemo osjetiti niti vidjeti, a negativne posljedice se vide tek nakon dužeg perioda te se ne dovode u vezu sa elektromagnetskim zagađenjem već sa drugim faktorima. Zdravstvena organizacija (WHO)

umanjuje opasnost od raznih električnih uređaja koje su postale neizostavan dio naših života, no broj tih svih uređaja raste i zagađenje se samo povećava.

Razlikujemo prirodna i umjetna elektromagnetska zračenja. Prirodna zračenja su magnetsko polje Zemlje, elektrostatsko polje atmosfere, prirodna radioaktivnost, sunčeva svjetlost i sva radijacija iz svemira. Umjetna elektromagnetska zračenja su sva ona proizvedena od čovjeka i od njih nastaje elektrosmog, što je još jedna vrsta zagađenja.

Elektrosmog označava onečišćenje okoliša koje je rezultat elektromagnetskog zračenja. Niskofrekventna elektromagnetska izmjenična polja pojavljuju se kao posljedica električnog naboja koji se stvara u vodovima i uređajima prilikom spajanja na električna instalacije i kada ne teče električna energija kroz njih. Niskofrekventna izmjenična magnetska polja pojavljuju se prilikom strujanja električne energije u uređajima i električnim vodovima te žicama određenih transportnih sredstava (električni vlakovi i tramvaji), također i u vodovima visoko naponske mreže. Elektrosmog najviše izazivaju visokofrekventna elektromagnetska polja i valovi. Visokofrekventni valovi i polja služe za prijenos podataka na frekvencijama (100 do 300 GHz), a to znači 100 do 300 milijardi oscilacija u jednoj sekundi. U tom procesu dolazi do spajanja električnog i magnetskog polja pri čemu nastaju elektromagnetski valovi.



Slika 1. Predodžba elektrosmoga, [6]

### 3. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija

Elektromagnetski val je usmjerenom širenje vremenski promjenjivog električnog 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.

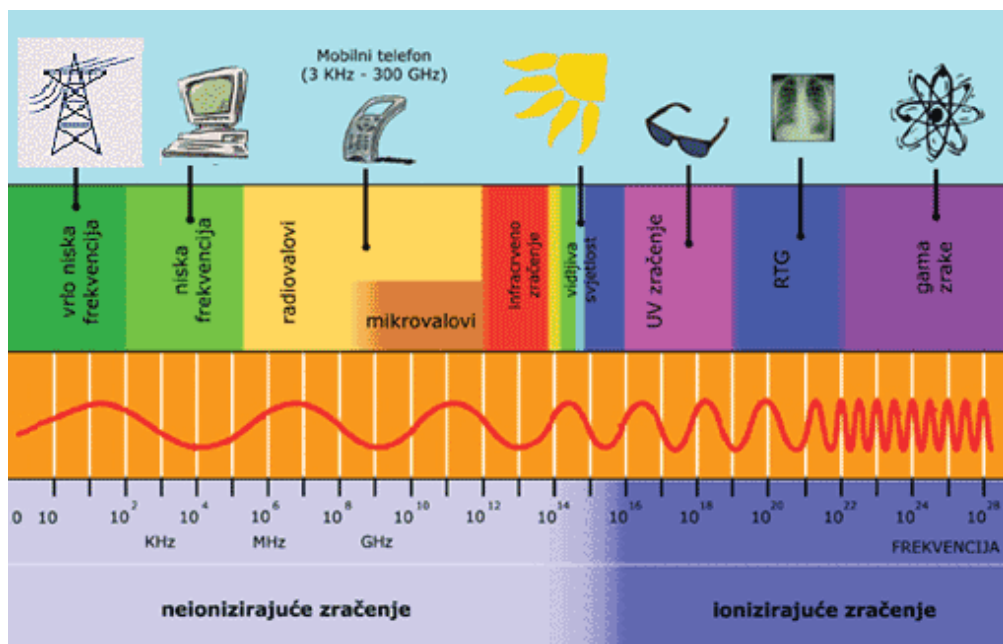
**Tablica 1. Frekvencijski spektar elektromagnetskih polja, [22]**

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

Prirodno neionizirajuće elektromagnetsko zračenje uglavnom je sa Sunca. Izvori koje je načinio čovjek počinju se javljati početkom 20. stoljeća razvojem električne mreže, no zadnjih desetljeća njihov broj se toliko povećao do neplaniranih razmjera te se još povećava.

Visokonaponski dalekovodi i snažni radarski uređaji su izvori jakih električnih i magnetskih polja. Mali je broj osoba koje su izložene tim poljima, najčešće iz profesionalnih razloga. S druge strane gotovo cijela populacija u razvijenim zemljama je izložena niskim razinama elektromagnetskog zračenja u svojim domovima i na radnim mjestima.

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, [7]



Slika 2. Podjela elektromagnetskog zračenja, [8]

Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija, skraćeno ELF (engl. ExtremeLowFrequency) obuhvaćaju frekvencijski raspon od 3 do 30 Hz, a njihova valna duljina je od 10 000 do 100 000 metara.

Ona se smatraju neionizirajućim zračenjem zato što je njihova energija nedovoljno velika da ošteti DNK, ali dovoljno velika da pomiče atome. Energija ekstremno niskih polja je manja i od radiofrekvencijskog zračenja i vidljivog svjetla i infracrvenog, [9].

Neki od izvora neionizirajućeg zračenja s kojima se susrećemo svakodnevno su:

- Električni vlakovi - dio vlakova radi na izmjeničnoj struji, dok neki koriste istosmjernu struju
- Električne centrale – glavni zadatak je kontrola, prihvata i prijenos električne struje na električna postrojenja. Tu se javljaju jaka magnetska polja kao posljedica dalekovoda koji prenose struje velikih izvora
- Komunikacija između podmornica
- Industrijski alati
- Visokonaponski valovodi

Umjetno stvoreni izvori zračenja ekstremno niskih frekvencija su dominantna vrsta iz kojih takva vrsta zračenja dolazi. Zračenje ekstremno niskih frekvencija prirodnim putem najčešće dolazi preko grmljavina i procesa koji se odvijaju u ionosferi poput ionosferskih struja, [10].

Ova polja stvaraju elektroprivreda i industrijska postrojenja te imaju poseban značaj za široku populaciju zbog svoje prisutnosti u okruženju svih nas. Snaga energije zračenja elektromagnetskog vala je zanemariva. Slična je usporedba prijenosnog voda visokog napona i mjeseca. Maksimalna gustoća snage fotonskog zračenja elektromagnetskog vala električnog voda je manja od  $0,0001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , dok puni mjesec u vedroj noći zrači Zemlju gustoćom snage od  $0,2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ , dakle 2000 puta jačom gustoćom. Kod elektromagnetskih polja vrlo niske frekvencije postoji golem razlika između valne dužine i udaljenost točke promatranja te se zbog toga električno i magnetsko polje mogu mjeriti i razmatrati odvojeno. Magnetsko polje nastaje protjecanjem električne struje kroz vodič.

Zaštita od neionizirajućeg zračenja pri ekstremno niskim frekvencijama može biti poput korištenja dodatne izolacije na zidovima kuće, posebnih podloga koje blokiraju prolazak štetnog zračenja pri korištenju elektroničkih uređaja kao npr. laptopa i slično, [11].

### 3.1. Fizički mehanizmi međudjelovanja

Međunarodna organizacija za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP) definirala je tri osnovna mehanizma koji definiraju kako izloženost vremenski ovisnih elektromagnetskih polja utječe na biološke sustave. To su, [12]:

- vezanja na niskofrekventna električna polja
- vezanja na niskofrekventna magnetska polja
- apsorpcija energije elektromagnetskih polja

Vezanja na niskofrekventna električna polja – posljedica interakcije vremenski promjenjivih električnih polja s ljudskim tijelom dovodi do strujanja električnih naboja (električne struje), polarizacije vezanog naboja (nastajanje električnih dipola) i preusmjeravanja električnih dipola koji već postoje u tkivima. Koliko jake će biti posljedice ovisi o električnoj vodljivosti.

Vezanja na niskofrekventna magnetska polja – što se tiče magnetskih polja, posljedica je nastajanje inducirano električnog polja i kružne električne struje. Jakost induciranih polja i gustoće struje proporcionalne su polumjeru kružnih struja, električnoj vodljivosti tkiva, brzini promjene i veličini gustoće magnetskog toka.

Apsorpcija energije elektromagnetskih polja – prilikom izlaganja niskofrekventnim elektromagnetskim poljima ne dolazi do značajnije apsorpcije 13 energije i nekakve značajno povišene temperature. Izlaganje elektromagnetskim poljima koja su na frekvencijama višim od 100 kHz dolazi do značajne apsorpcije energije i značajnijeg povišenja temperature.

Kako je već navedeno polja ekstremno niskih frekvencija obuhvaćaju raspon od 3-30 Hz. Ono što je bitno kod ekstremno niskih frekvencija je i to da ljudski mozak radi u području takozvanih alfa i theta valova. Alfa valovi koriste spektar od 7-14 Hz, a theta valovi spektar od 14-40 Hz. Slika 5 dočarava kako se negativni i nevidljivi valovi nalaze svuda oko nas, a da toga nismo ni svjesni.

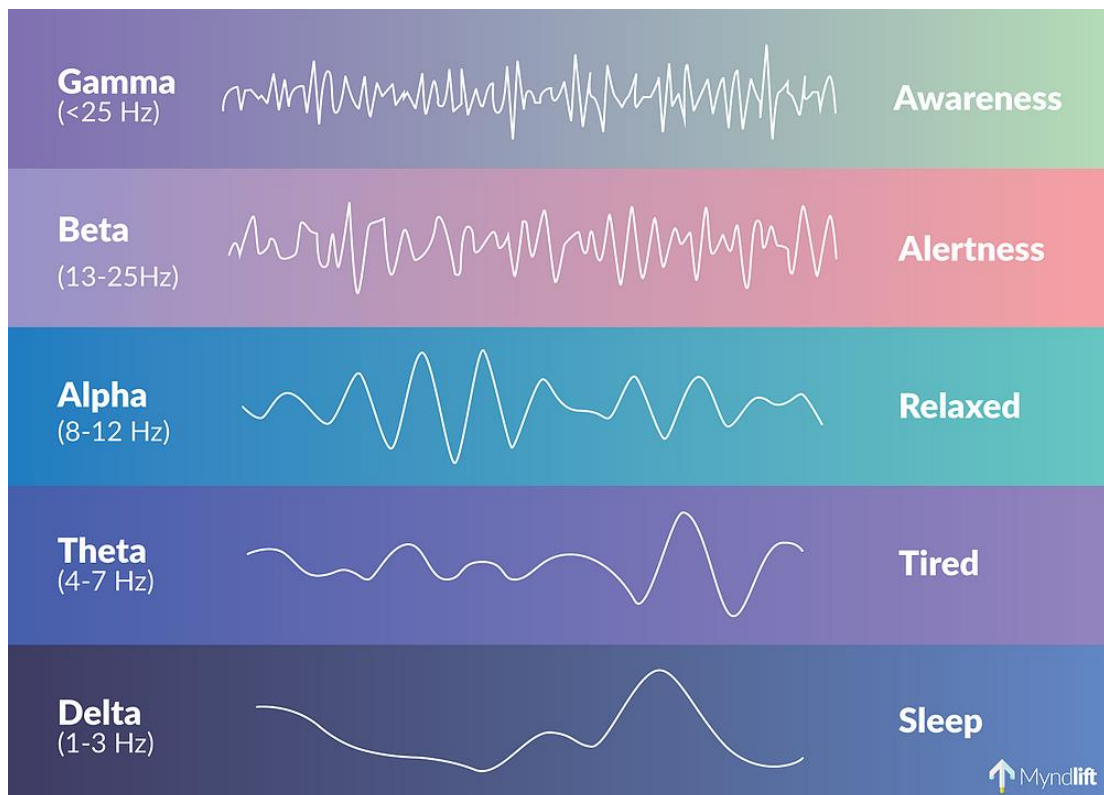


Alfa valovi predstavljaju most između našeg svjesnog razmišljanja i podsvjesnog uma. Drugim riječima to je frekventijski raspon između beta (12-40 Hertza), koji su zaduženi za logičko razmišljanje i pamćenje, i theta (4-8 Hertza) valova. Oni nam pomažu u relaksiranju i uvode nas u stanje opuštenosti i smirenja. Kao neke od karakteristika alfa valova su:

- potiču kreativnost, smirenost, pozitivno razmišljanje
- utjecaj eksternog elektromagnetskog polja ekstremno niske frekvencije može dovesti do problema kao što su sanjarenje i nemogućnost fokusiranja, [11]

Theta valovi su povezani sa ljudskim emocijama. Njihov frekventijski raspon je od 4-8 Hertza. Prevelika aktivnost ili poremećeni rad theta valova može dovesti do depresije, hiperaktivnosti, stresa, nepažljivosti, ADHD (engl. Attention Deficit Hyperactivity Disorder) odnosno poremećaj hiperaktivnosti i deficita pažnje, [13].

Iz navedenog je vidljivo da boravak u blizini niskofrekventnih elektromagnetskih polja može uzrokovati smetnje u našem mozgu koji radi na frekvencijama koje se poklapaju sa navedenim štetnim spektrom što se kasnije manifestira na razne psihološke i fizičke bolesti.



Slika 3. Prikaz moždanih valova, [14]

## 3.2. Učinci izlaganja neionizirajućim elektromagnetskim poljima

Ultraljubičasto zračenje, vidljivo svjetlo i infracrvene zrake ubrajamo u optička zračenja. Osim Sunca proizvode ih i žarulje, fluorescentne svjetiljke i laserski uređaji. Učinak na tkivo ostvaruju preko fotokemijskog, kao UV zrake, ili toplinskog učinka, kao infracrvene zrake, dok vidljiva svjetlost ima i fotokemijski i toplinski učinak na tkivo.

Ultraljubičasto zračenje s obzirom na valnu duljinu dijeli se u UVA (400–315nm), UVB (315–280nm) i UVC (280–200nm) zračenje. Prekomjerna izloženost ultraljubičastom zračenju dovodi do oštećenja bjelančevina i DNK, što aktivira procese popravka DNK. UVC zračenje uzrokuje povezivanje susjednih pirimidina u dimere koji sprječavaju replikaciju DNK.

Biološki učinci vidljivog svjetla očituju se kao fotosenzibilizacija. Fotosenzibilizacija nastaje kada fotosenzibilne tvari apsorbiraju fotone vidljivog zračenja i pređu u aktivno stanje. Takvo stanje pokreće kemijske reakcije (fotodinamički učinak) kojima nastaju različiti produkti (fotoprodukti) koji dovode do oštećenja tkiva. Fotosenzibilne tvari mogu biti egzogene, različite kemikalije, lijekovi, ili endogene kao što su porfirini.

Izloženost mikrovalnom i radiofrekventnom zračenju dovodi do zagrijavanja tkiva što je posljedica apsorpcije energije koja izaziva rotaciju molekula u tkivu. Apsorpcija energije ovisi o udaljenost osobe od izvora, usmjerenosti u odnosu na izvor i visini osobe. Apsorpciju opisujemo i pomoću specifične apsorpcije i specifične brzine apsorpcije. Specifična apsorpcija je energija zračenja koju jedinična masa nekog tkiva apsorbira, a specifična brzina apsorpcije jest brzina kojom se ta apsorpcija u tkivu događa.

### 3.3. Utjecaj neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja na ljudsku DNK

Osim poticajnog djelovanja na imunostni sustav, neionizirajuće zračenje može izazvati i patološke promjene koje, osim zagrijavanja tkiva zabilježenog kao posljedica mikrovalnog i radiofrekventnog zračenja, se očituju samo kod intenzivnijeg izlaganja. Tada se javljaju poremećaji kardiovaskularnog sustava (ili krvožilni sustav je sustav organa koji prenosi tvari iz i u stanice; također pomaže pri uravnotežnji tjelesne temperature i pH vrijednosti), središnjeg živčanog sustava (promijene ponašanja, neurastenični sindrom), te hematološkog sustava. Međutim, neionizirajuće zračenje će kao najčešće zdravstvene učinke izazvati štetne promjene na koži i očima.

Ultraljubičasto zračenje uzrokuje patološke promjene kože. Ovisno o trajanju izloženosti i količini pigmenta u koži javlja se crvenilo kože tj. eritem koje može progredirati sve do opekline. Kronična izloženost UV zrakama uzrokuje zadebljanje kože, može nastati aktinička keratoza (znana i kao solarna keratoza, predstavlja keratotičnu tvorbu koja se pojavljuje na dijelovima kože koji su izloženi suncu), pa i karcinom, prvenstveno djelovanjem UVC zraka (neuspjeh popravak DNK molekula). Aktinička keratoza je rožnata izraslina na koži koja je izložena suncu te se smatra početnim oblikom planocelularnog karcinoma. Već nakon par sati izlaganja UV zrakama dolazi do oštećenja oka. Najčešće nastaje upala spojnice ili konjunktivitis, te, pri dugotrajnijoj izloženosti bez zaštite. Osim patoloških učinaka na organizam, UV zračenje djeluje i blagotvorno na zdravlje. Dovodi do sinteze vitamina D i pojačanog stvaranja pigmenta u koži.

Ultraljubičasto, kozmičko i ionizirajuće zračenje ima mutageni učinak što znači da dovodi do mutacija na genetičkom materijalu. Načini oštećenja DNK zračenjem:

- Hidrolitičko oštećenje koje uključuje reakciju s vodom - spontane točkaste mutacije dovode do gubitka baza, npr. depurinacija ili depirimidinacija.
- Lom lanca DNK nastaje pucanjem kovalentnih veza između fosfata i šećera, pri čemu lomovi mogu biti u jednom ili oba lanca, jednostruki ili dvostruki.
- Dimerizacija uzrokuje međusobno spajanje baza istog lanca što onemogućuje replikaciju DNK. **Dimerizacija** je kemijska reakcija pri kojoj iz dvije jednake molekule nastaje jedna nova molekula.

## 4. Visokofrekventna elektromagnetska polja

Visokofrekventna elektromagnetska polja karakteristična su po svom toplinskom djelovanju, tj zagrijavanju tkiva. Mikrovalna i radio frekvencijska elektromagnetska polja izazivaju titranje molekula i induciraju u tijelu vrtložne struje te na taj način zagrijavaju tkivo. Ako čovjek koji se nalazi u jakom visokofrekvencijskom polju, dođe u dodir s vodljivim predmetom, poteći će dodirna struja koja izaziva bol, stres i opekotine. Visokofrekventna elektromagnetska polja i valovi izazivaju najveći strah. Razlog je taj da odašiljači mobilnih telefonskih stanica, televizijski i radio odašiljači, radari, amaterske radio stanice, milijuni telefonskih aparata, konstantno odašilju ovo zračenje, [5].

Visokofrekventna elektromagnetska polja smatraju se ona koja prelaze frekvenciju od 300 GHz-a. Kada se govori o visokofrekventnom ionizirajućem zračenju onda se misli na ono koje ima dovoljnu energiju da izbací elektron iz njegove putanje. Takva polja predmet su rasprava. Tablica 2 prikazuje koje su fizikalne, kemijske, biokemijske i biološke posljedice izlaganja tvari (stanica) visokofrekventnim elektromagnetskim zračenjima. Vidljivo je da se najprije događaju fizikalne promjene u tijelu, pa zatim kemijske, biokemijske te biološke. Biološke posljedice mogu biti katastrofalne; od nemogućnosti tijela da se regenerira pa sve do mutacija u budućim naraštajima.

**Tablica 2. Vrste djelovanja elektromagnetskih polja visokih frekvencija, [5]**

Vrsta djelovanja	Potrebno vrijeme	Posljedice
Fizikalno	$10^{-15}$	Ionizacija
Kemijsko	$10^{-15} - 10^{-11}$	Stvaranje slobodnih radikala
Biokemijsko	$10^{-11} - 10^{-3}$	Promjene u metabolizmu
Biološko	$10^{-3}$ – minute, sati	Oštećenja prilikom razdvajanja stanica, genetske mutacije

## 4.1. SAR jedinica

Kada su ljudska tijela pod utjecajem elektromagnetskih polja ona absorbiraju energiju iz niskofrekventnih i visokofrekventnih valnih područja. Kao nuspojava toga može biti porast topline ili nešto teže poput raznih bolesti živčanog sustava i srca. Poprimljena energija se označava kao specifični stupanj apsorpcije (engl. Specific absorption rate) i mjeri se u Wattu po kilogramu (W/kg). Ovisna je o vodljivosti tkiva, jakosti električnog polja te gustoći mase. SAR jedinica je postala jedan od glavnih pokazatelja količine zračenja te se zračenje mobilnih telefona mjeri se pomoću te vrijednosti. Ona mjeri količinu elektromagnetskog zračenja naše tijelo upija u jedinici vremena dok smo pod utjecajem elektromagnetskog zračenja, a manja vrijednost je svakako bolja.

### 4.1.1. Računanje SAR jedinice i dozvoljene granice

SAR se koristi za računanje izlaganju poljima u frekvencijskim granicama od 100 kHz pa do 10 GHz koji se još nazivaju radiovalovi. Mjerenja se provode u nekom definiranom vremenskom periodu. Granice iznad kojih je zračenje radiovalova regulirano je različitim pravilnicima i zakonima o dopuštenoj količini zračenja uređaja koji primaju i odašilju radiovalove.

Specifični stupanj apsorpcije računa se pomoću izraza, [15] :

$$SAR = \frac{\sigma \times E^2}{m_d}$$

pri čemu je:

- $\sigma$  – vodljivost tkiva u S/m
- $E$  – jačina električnog polja u V/m
- $m_d$  – gustoća mase  $\text{kg/m}^3$

Postoje dva načina izračuna SAR vrijednosti pomoću vrijednosti dobivenih mjerenjima:

- električnog polja – u obzir se uzima jakost električnog polja  $E$
- apsorbirane temperature – mjeri se povećanje temperature, [27].

Mjerenje SAR-a uzimajući u obzir temperaturu računa se pomoću formule, [28]:

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \equiv 4186 c \frac{\Delta T}{\Delta t}$$

gdje je  $c$  specifična toplina tkiva u J/kgK,  $\Delta T$  porast temperature u Kelvinima,  $\Delta t$  vrijeme izlaganja u sekundama, a broj 4186 predstavlja pretvorbu iz kilokalorija u džule [J].

U istraživanjima koja je proveo Nacionalni centar za biotehnoške informacije (NCBI), u blizini bežičnih DECT1 telefona, snaga električnog polja je između 0.26 do 2.30 V/m na udaljenosti od 0.05 metara, a na udaljenosti od 1 m vrijednosti električnog polja su 0.18 do 0.26 V/m. Mjerenja oko uređaja iznosila su od 1.78 do 5.44 V/m pri udaljenosti od 0.05 m te 0.19 do 0.41 na 1 m od uređaja. Za mobilne telefone koji rade u GSM području, mjerenja su pokazala vrijednosti od 2.34 do 9.14 V/m na 0.05 m. Mobilni uređaji treće generacije (3G) pokazivali su vrijednosti od 0.22 do 1.83 V/m pri 0.05 m, [11].

Ako se za ljudsku kožu uzme vrijednost vodljivosti  $\sigma$  0.6657 S/m pri frekvenciji od 930 MHz na kojoj rade mobilni telefoni, gustoću mase  $m_d$  od 1010 kg/m<sup>3</sup> [44] te jakost električnog polja 2 V/m za GSM, prema formuli 2 dobiva se da je specifični stupanj apsorpcije 0.00263644 W/kg. Za naše kosti, pri istoj frekvenciji od 930 MHz, vodljivost  $\sigma$  je 0.0869 S/m, a gustoća mase  $m_d$  iznosi 1850 kg/m<sup>3</sup> [48] i jakost električnog polja od 2 V/m, dobiva se krajnji rezultat dopuštene apsorbirane količine energije od 0.00018789 W/kg što je za jedan cijeli red veličine manje nego kod ljudske kože.

Testiranjima su utvrđene različite dopuštene granice izlaganja za ljudski organizam zavisno o dijelu tijela prikazane su u tablici. Postavljene granice dopuštenog izlaganja za glavu su u pravilu manje nego za ostale dijelove tijela. Vidljivo je da Hrvatska prati smjernice donesene od strane ICNIRP-a, te da su prihvaćene iste vrijednosti u cilju zaštite krajnjih korisnika kao i osoba koje se bave poslovima koji zahtijevaju određenu izloženost elektromagnetskim poljima. Ono što treba napomenuti je da su vrijednosti u tablici određene za vrijeme izlaganja od šest minuta. Nešto manja vrijednost dopuštena je radnicima u takozvanoj radnoj izloženosti, odnosno nešto veće prilikom izlaganja pojedinih dijelova tijela u odnosu na ostalu populaciju, [29].

**Tablica 3. Maksimalne dopuštene SAR vrijednosti za ljudski organizam pri frekvencijama od 100 kHz do 10 GHz, mjerene u šestominutnom intervalu, [11]**

SAR granice	Granice radne izloženosti W/kg	Granice izloženosti obične populacije W/kg
Cijelo tijelo	0.4	0.08
Određeni dio tijela (glava i torzo)	10	2
Dijelovi dijela (ekstremiteti)	20	4

#### 4.1.2. Testiranje SAR jedinice kod mobilnih telefona

Svaki model telefona prije puštanja na tržište mora proći određene norme koje su postavljene pred njega. Testira se na takozvanoj fantomskoj glavi koja je pomoću kalupa oblikovana prema dimenzijama ljudske glave. Materijali koji se koriste pri 40 njezinoj izradi sličnih su kemijskih svojstava kao i naša glava i dizajnirani su da simuliraju naše tkivo. Testiranja se provode na obje strane glave, i lijevoj i desnoj. Ono što je bitno je da se pri testiranjima koriste dimenzije glave odrasle osobe, a ne dječje. To može predstavljati problem zato što su glave djece još u razvoju, manjeg su volumena te je samim time prodiranje zračenje veće. Zahtjevima može biti utvrđeno i testiranje torza pa se isto tako ono oblikuje prema nekim standardnim dimenzijama. Kako to izgleda prikazano je slikom 4.



**Slika 4. Testiranje zračenja na fantomskoj glavi, [30]**

Sva testiranja odvijaju se u kontroliranim uvjetima. Prilikom testiranja posebna mjerna sonda uranja se u tekućinu koja oponaša ljudsko tkivo. Ispod kalupa se postavlja mobitel ili neki drugi uređaj koji je montiran na robotsku ruku. Zatim se mobitel uključuje i postavlja na one vrijednosti na kojima emitira radiovalove u maksimalnom intenzitetu. Mjerenja bilježe jakost električnog polja unutar modela te se dobivene vrijednosti pretvaraju u SAR vrijednosti,

Primjerice, FCC2 zahtijeva da nadležne organizacije zahtijevaju da proizvođači mobilnih telefona u svoja provedena SAR testiranja uključe najgore i najteže oblike rada uređaja i to na svim frekvencijskim pojasima koje ti mobiteli koriste. U krajnje rezultate testiranja najčešće se uzima samo jedna najveća vrijednost koja je izmjerena na pojedinoj frekvenciji za određeni model mobitela. To znači da korisnički mobitel nikada neće prijeći tu dopuštenu vrijednost radiofrekvencijskog zračenja koja je dozvoljena.

SAR jedinica ne uzima u obzir količinu izvršenih mjerenja tijekom testiranja. Mobilni uređaji variraju u količini snage koju koriste tijekom vremena, s time da uvijek pokušavaju koristiti minimalnu potrebnu snagu da bi radili. Ako se za primjer uzme mobitel A i kod njega se izmjeri jedna vrijednost koja je veća od svih vrijednosti mobitela B, kao zaključak bio bi taj da mobitel A ima veću SAR vrijednosti nego mobitel B bez obzira da li je mobitel B imao veće vrijednosti u mjerenjima na drugim frekvencijama i postavkama.

## 4.2. Biološko djelovanje

Visokofrekvencijska elektromagnetska polja dovoljnog intenziteta mogu dovesti do narušavanja i oštećenja zdravlja. Bio-fizikalno djelovanje se dijeli na **direktno termičko** i **netermičko djelovanje** te na **indirektno djelovanje**.

Potencijalni biološki učinci zračenja elektromagnetskih polja mogu se podijeliti u četiri kategorije zavisno o njihovim frekvencijama, [16]:

1. Statička polja – frekvencija je 0 Hz
2. Polja ekstremno niske frekvencije – frekvencija je u rasponu od 0 Hz pa sve do 300 Hz
3. Radiofrekvencije i mikrovalovi – frekvencija je iznosa od 300 Hz pa do otprilike 300 GHz
4. Polja viših frekvencija – frekvencija je veća od 300 GHz



Da bi se utvrdili učinci biološkog djelovanja bitni su slijedeći faktori:

- stupanj apsorpcije
- veličina izloženog područja
- varijacija u osjetljivosti na radioaktivan utjecaj
- varijacija u osjetljivosti stanica

### 4.2.1. Direktno termičko djelovanje

Zagrijavanje u visokofrekvencijskom području zasniva se na istim mehanizmima kao i kod konvencionalnog postupka-kretanje nosioca naboja i međusobnim sudaranjem; specifični efekti kao nastanak kemijskih promjena se ne događa, jer zračenje nije ni približno dovoljno jako da rastavi najslabije kemijske veze. Posebnost visokofrekvencijskog zagrijavanja je da se ono uopće ne primjećuje ili bude kasno primijećeno kod konvencionalnog zagrijavanja toplina prodire izvana prema unutra i opaža se na površini tijela preko različitih receptora. Zbog toga je moguća opasnost štetnosti pravovremeno ukloniti. Toplina koju proizvodi visokofrekvencijsko zračenje nastaje u unutrašnjosti tijela i ne primjećuje se zbog nedostatka receptora za toplinu. Zbog toga zaštita pravilnim reagiranjem nije moguća, već samo preventivno pravilnim ponašanjem.

Apsorpcija energije i s time povezano zagrijavanje ovisi o frekvenciji. Većina energija se apsorbira kada su dimenzije tijela velika kao polovina valne duljine zračenja, drugim riječima kada frekvencija odgovara tijelu. Ovo područje rezonancije proteže se između 30-400 MHz. Područje ispod 30 MHz naziva se predrezonancijskim područjem. U ovom području je valna duljina veća od veličine tijela, pa je apsorpcijska sposobnost tijela mala i dubina prodora zračenja velika. Velika dubina prodiranja znači da se zračenje u površinskim slojevima malo apsorbira i zato je prodor u dubinu moguć. To znači da u ovom području potreban visok intenzitet zračenja kako bi se tijelo zagrijalo. Toplina se širi po cijelom tijelu. Dalje ćemo navesti štetna djelovanja ovog zračenja, [5] :

- mrežna leće oka-sposobnost leće oka je u usporedbi s drugim vrstama tkiva mala. Ona manje apsorbira toplinu od drugih vrsta tkiva, također toplina ne može biti dovoljno odvedena zbog nedovoljne prokrvljenosti.

- srčani infarkt- U području subrezonancije (frekvencije manje od 100 MHz) i kod visokih intenziteta dolazi do reverzibilnih pojava kao što su glavobolja, umor, nevoljkost, strah, uzrujanost, nesаница, vrtoglavica, zgrušavanje krvi, mučnina i povraćanje. Te se pojave po svojoj jačini razlikuju od osobe do osobe. Najopasnije je povećanje zgrušavanja krvi jer je s time povećan rizik od infarkta.
- toplinski udar- ako u tijelo dospije toliko topline, da je krvotok više ne može regulirati, tada se temperatura tijela povisuje, do 39° je podnošljiva ali alarmantno. Kod temperature od 40° postoji opasnost od zakazivanja krvotoka i kolabiranja uslijed vrućine, koja se povećava usred tjelesnog naprezanja. Temperatura od 41° tijekom duljeg vremena može dovesti do oštećenja mozga. Kod temperature preko 43° dolazi do toplinskog udara koja može imati smrtne posljedice.
- podražajno djelovanje- uglavnom se javljaju u niskofrekvencijskom području. U visokofrekvencijskom području kod frekvencije između 20-100 KHz u početku se javlja osjećaj sputanosti koji nakon nekoliko sekundi prelazi u osjećaj topline.
- mikrovalni zvukovi- pulsirajuće zračenje od 216-6550 MHz i srednji intenzitet od 0.4 mW/cm<sup>2</sup> ljudi mogu prepoznati kao pucketanje, zujanje, pištanje ili lupkanje ovisno o frekvenciji impulsa. Mikrovalni zvukovi su termički efekt, što u glavi čovjeka mogu uzrokovati termoelastične tlačne valove te time utjecati na sluh.
- plodnost- općepoznato je da zagrijavanje testisa nepovoljno utječe na pokretljivost spermatozoida, a time i na plodnost. Nastanak spermija može se jako umanjiti ili potpuno obustaviti. Proveden je pokus na miševima koji su bili izloženi mikrovalnom zračenju 2.45 GHz te su svi spermiji bili ubijeni.

## 4.2.2. Direktna netermička djelovanja

To su efekti koji se ne mogu povezati s utjecajem topline. Njihovo postojanje se dugo osporava odnosno njihov utjecaj se ne smatra relevantnim, [5].

- krv likvor spremnici /gubitak kalcija- krv likvor spremnici su biokemijski „spremnici“ koji sprečavaju da mozak nekontrolirano bude izložen promjenama koncentracije iona kao kalciji ili hormonima i aminokiselinama. Preko nisko frekvencijskih polja manjeg intenziteta (srednji SAR =1,3 mW/cm<sup>2</sup> ) javlja se reverzibilna promjena propusnosti ovih spremnika za kalcij ione, koja se ne može objasniti termičkim efektom. Ovaj efekt

se javlja kod određenih amplituda i frekvencijskih područja. Takva istraživanja su zahtjevna i traže veliku preciznost. Do sada utvrđeni efekti su mali i djelomično oprečni. Postojanje takvih djelovanja ipak nije isključeno.

- ponašanje- iz mnogih istraživanja proizlazi da kod SAR >1 W/kg dolazi do određenih (reverzibilnih) promjena ponašanja kod životinja. U pokusima na životinjama sa štakorima (2,45 GHz, SAR= 0,7 mW/cm<sup>2</sup>) pokazuje se smanjena osjetljivost na električni podražaj za cca 20%, smanjena reakcija bijegom, smanjena pokretljivost i povećan broj grešaka kod korištenja automata za hranjenje. Rezultati su se razlikovali i sukladno vremenu kada su se odvijali.
- centralni živčani sustav- prilikom pretraga je utvrđeno da visokofrekvencijska polja mogu utjecati na djelovanje lijekova za centralni živčani sustav. Moglo se utvrditi da se kod SAR > 8W/kg povećava lučenje određenih neurotransmitera odnosno smanjuje lučenje drugih.
- endokrini sustav- visokofrekvencijsko zračenje može utjecati na nadbubrežnu žlijezdu, štitnu žlijezdu i lučenje hormona rasta. Kod nekih ispitivanja utvrđen je utjecaj na štitnu žlijezdu kod SAR=2,1 W/kg utvrđen, dok su kod drugih ispitivanja iste vrste do 25 W/kg nisu utvrđene promjene.
- rak- kancerogeni učinak visokofrekvencijskog zračenja nije do sada mogao nedvojbeno biti dokazan, niti u pokusima na životinjama niti u epidemiološkim studijama. Prije svega su dosadašnje studije pružile smjernice i osnove za daljnja detaljnija istraživanja izloženog stanovništva. Iz daljnjih istraživanja proizlazi da visokofrekvencijsko zračenje pogoduje raku, ali ga ne uzrokuje.
- mutagenost- kod neznatnih povećanja temperatura nema ponovljenih istovjetnih opažanja promjena na kromosomima i DNK molekulama. Visokofrekvencijsko zračenje ne uzrokuje 35 niti kod bakterija genetske promjene, osim kod temperatura koje su jasno izvan normalnog fiziološkog područja.

### 4.2.3. Indirektno djelovanje

- mikrošokovi- u dobro vodljivim metalnim predmetima, u elektromagnetskim visokofrekvencijskim poljima mogu nastati opasni visoki izmjenični naponi između dviju točaka ili između predmeta i zemlje. Kod pokretnih predmeta, tijekom podizanja, spuštanja ili okretanja nastati rezonancije s frekvencijom odašiljača. Visoko inducirani naponi prouzrokuju mikrošokove, opekline, nekrozu tkiva i strah.
- opasnost od eksplozije- svi metalni dijelovi koji se nalaze u visokofrekvencijskim poljima djeluju kao prijemne antene i mogu kod dovoljnog intenziteta polja prouzročiti u eksplozivnoj atmosferi zapaljenje. Ako dođe do usijanja tankih žica zbog inducirane struje u eksplozivnoj atmosferi, može doći do zapaljenja ili eksplozije. U visokofrekventnom području sigurna udaljenost od detonatora do odašiljača snage 1000 kW oko 250m.
- zagrijavanje metala- visokofrekventna polja induciraju u metalnim predmetima vrtložne struje koje za posljedicu imaju zagrijavanje metala. Kod elektrostimulatora srca i metalnog nakita može doći do lokalnih opekline na mjestu gdje se nalazi metal. Metalni nakit treba skinuti kada se čovjek nađe u jakim poljima. Zbog toga se zabranjuje metalni nakit (metalne naušnice, prsteni, piercing) na pojedinim radnim mjestima.
- utjecaj na elektrostimulatore srca- u svijetu postoje stotine različitih tipova elektrostimulatora srca različite elektroničke građe.

### 4.3. Fizikalno djelovanje

Kada se govori o visokofrekventnom elektromagnetskom polju i fizikalnom djelovanju na zdravlje, treba razlikovati statička i izmjenična polja. Statička polja mogu biti električna i magnetska. Kod električnih statičkih polja, još nazvanih elektrostatička polja, naboji su fiksni u prostoru. Statička magnetska polja nastaju pod djelovanjem primjerice magneta ili naboja koji putuje stalnim tokom. Primjer statičkog polja je Zemljino magnetsko polje, [11].

U statičkom električnom polju na nepokretnu nabijenu česticu djeluje sila (Coulombova) i dovodi česticu u kretanje. Ako se čestica kreće s osnovne staze, njezino djelovanje dobiva dodatnu komponentu u smjeru polja. Statičko magnetsko polje nasuprot tome

djeluje silom na nabijenu česticu kad se ona kreće, jer kada miruje nema djelovanja sile u statičkom magnetskom polju. Dolazi do skretanja čestice. Smjer sile je okomit na polje i na smjer kretanja. Izmjenična polja su polja čija amplituda se vremenski mijenja. U niskofrekvencijskom području su polja (električna izmjenična ili magnetska izmjenična) općenito vezana za svoje izvore. Zbog toga se u ovom frekvencijskom području govori o polju, dok se u visokofrekvencijskom području udaljenih polja, gdje polja idu od antene i šire u prostor, prije koristi pojam zračenje. Kao glavno fizikalno djelovanje niskofrekventnih i visokofrekventnih elektromagnetskih polja je isto i uzrokuje porast temperature određenog dijela tijela. Vanjsko polje uzrokuje gibanje čestica.

Za neke značajnije, trenutno vidljive, fizičke promjene potrebna je velika akutna doza zračenja. Akutna doza označava jedno slučajno izlaganje velikoj dozi zračenja u kratkom vremenskom intervalu. Fizikalni efekti zračenja mogu se podijeliti u dvije skupine – deterministički, to su oni kod kojih su posljedice vidljive tek nakon što se pređe određeni prag zračenja, i stohastički, događaju se primjerice prilikom razdvajanja stanica, [17].

Kada se dosegne veliki broj odumrlih stanica uzrokovanih zračenjem, tijelo gubi kontrolu nad tim dijelom. Kao primjeri fizičkog djelovanja mogu se navesti, [18]:

- eritema kože – prevelika doza manifestira se u obliku crvenila ili opekline
- katarakt ili siva mrena – uzrokuje nakupljanje mrtvih stanica unutar očnih leća
- sterilnost
- trovanje/bolest zračenjem – uključuje mučninu, povraćanje i proljev, a razvija se unutar nekoliko sati od trovanja
- teratogenost – može dovesti do komplikacija tokom trudnoće ili čak pobačaja

## 5. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na zdravlje korisnika mobilnih terminalnih uređaja

U novom telekomunikacijskom dobu sve češće se postavljaju pitanja o zračenju mobitela i baznih stanica. Provedeno je mnogo istraživanja na tu temu no nijedna nije konkretno dokazala štetnost neionizirajućeg zračenja, a nijedna studija nije sa sigurnošću potvrdila da je zračenje bezopasno. Unatoč svemu, broj korisnika svejedno raste, a razlog je tome velika potražnja i ne informiranost o zračenju. Stoga će se utjecaj zračenja mobitela na ljudski organizam sve lakše uočavati. I tu se postavlja pitanje da li su korisnici mobilnih uređaja dužni dokazati štetan utjecaj zračenja i da li su proizvođači mobilnih uređaja dužni dokazati potpunu sigurnost od zračenja. Oba pitanja imaju problem. U prvom pitanju je neinformiranost o zračenju i njegovim posljedicama, a u drugom pitanju je to što će svaki proizvod zračiti što znači da se zračenje nemože zaustaviti dok je uređaj u radnom stanju. Zbog nove tehnologije pojavljivat će se novi fenomeni koji su potencijalno opasni za ljudsko zdravlje. Pitanje sigurnosti i zaštite zdravlja postaje vrlo bitno u modernom svijetu, ali se ne obraća dovoljno pozornosti na sva štetna djelovanja novih tehnologija.

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, [19].

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, [20].

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, [21].

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, [19]:

- 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. 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, [22].

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.

## 5.1. Negativni utjecaji baznih stanica

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, [23].

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. 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 latice. EIRP vrijednost uzima u obzir gubitke u kabelima, konektorima i dobitak antene. Dobitak se izražava u [dBi] (decibel prema izotropnoj anteni), [22].

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.

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.

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.

## 5.2. Negativni utjecaji mobilnih terminalnih uređaja

Kod uspostave poziva šalju se radiosignali s pokretnog telefona do najbliže bazne stanice koja ih prenosi do drugih pokretnih telefona ili u fiksnu mrežu. Pokretni telefoni i odašiljači koji se postavljaju na bazne stanice proizvode radiovalove (RF), slične onima koje emitiraju TVodašiljači i radiouređaji. Mobiteli za vrijeme razgovora „komuniciraju" s baznim stanicama. Govor i podaci pretvaraju se preko mobilnih telefon u signale i prenose elektromagnetskim valovima do baznih stanica, potom do druge bazne stanice koja „komunicira" s mobitelom kojem je upućen poziv.

Bazna stanica sastoji se od antene, nosača i elektronskog sklopa koji su međusobno raspoređeni na način da svaka bazna stanica pokriva određeni dio teritorija. Ono što odašilje elektromagnetske valove je antena, smještena na vrhu nosača. Valovi se odašilju pravocrtno u prostor. Kako bi se uspostavila komunikacija, mobitel također odašilje signal kojim uspostavlja dijalog s bazom stanicom. Stanice mogu biti velike i male, a uglavnom se postavljaju na udaljenostima od 200 do 500 metara u gradovima te na 2 do 5 kilometara u ruralnim područjima. Broj baznih stanica ovisi o okolini i broju veza koje je istodobno potrebno ostvariti.



**Slika 5. Mobilni terminalni uređaj i bazna stanica, [24]**

Osim mobitela koji moraju prenijeti signal do bazne stanice, same bazne stanice zrače nekoliko puta jačom snagom od mobitela, zato i jesu nekoliko stotina metara udaljene. Što je veća udaljenost od neke bazne stanice, manje je elektromagnetsko zračenje. Za vrijeme komunikacije između mobitela i bazne stanice mobitel mora koristiti puno veću snagu kako bi se uspostavio signal. To znači, ako su bazne stanice gusto postavljene, one će zračiti manjom energijom jer moraju pokriti manje područje, a i mobitelu će trebati manja izlazna energija kako bi se uspostavila komunikacija, a time će i izloženost zračenju biti manja. Povećana opasnost može postojati ako su antene usmjerene s mnogo radiofrekventne energije na malu površinu tijela korisnika. Dio zračenja koji je usmjeren prema dolje je manje snage, jer ga zaustavljaju zidovi i zgrade tako da ne predstavlja opasnost za zdravlje ljudi.

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, [25].

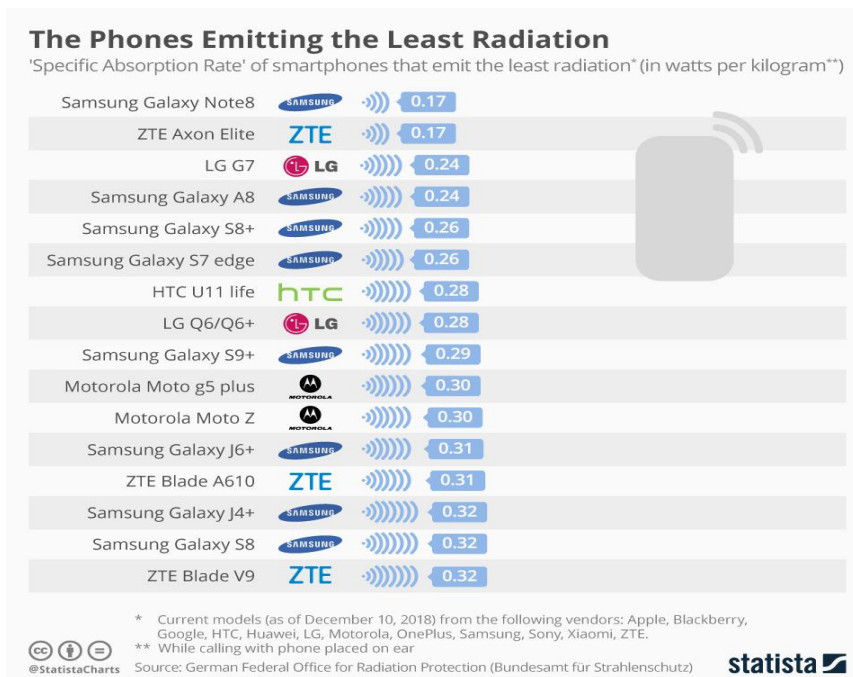


Slika 6. Bliska zona RF zračenja, [26]

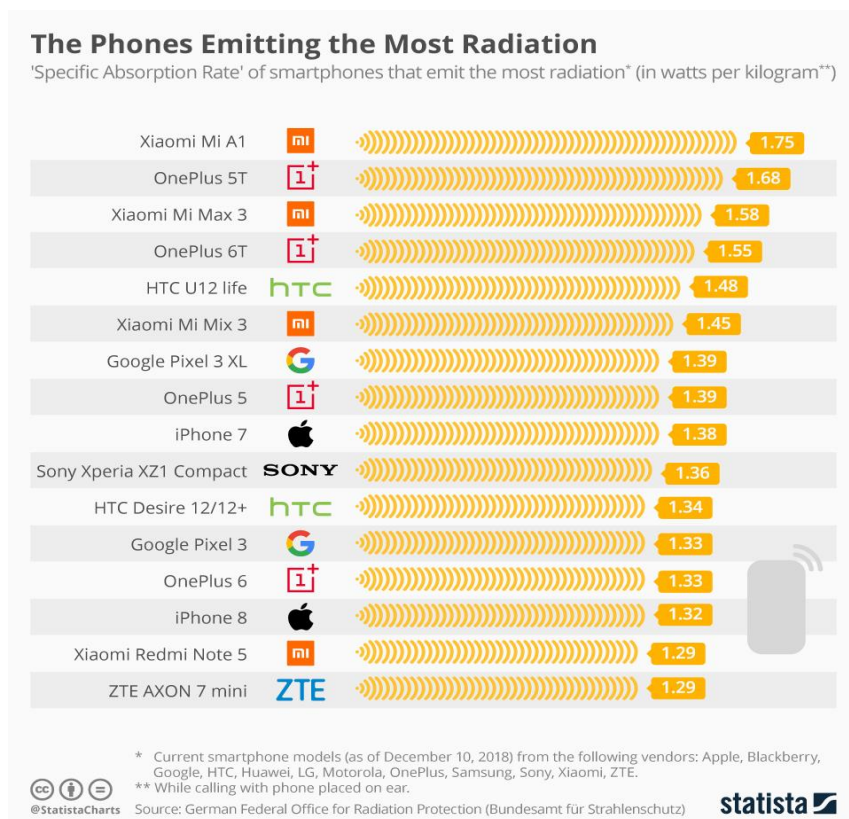
Vraćamo se na već spomenuti stupanj apsorpcije, SAR. Vezano za terminalne uređaje formula za izračun SAR-a raspisana je kroz derivaciju gdje je prvi izraz jednak deponirane snage po masi tkiva, a koji se u praksi računa pomoću dvije potonje formule,  $\sigma$  je specifična vodljivost tkiva,  $\rho$  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].

$$SAR = \frac{\partial P}{\partial m} = \frac{\sigma}{\rho} E^2 = \frac{1}{\sigma \rho} j^2$$

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. [31]



Slika 7. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najnižim SAR-a, [31]



Slika 8. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najvišim SAR-a, [31]

Na slikama se nalaze podaci o zračenju uređaja, preuzeti sa Statiste, globalne platforme za poslovne podatke.

## 6. Štetnost implementacije 5G mreže na okoliš

Svakom novom generacijom mobilnih mreža, brzina prijenosa podataka se minimalno udvostručuje s obzirom na prethodnu generaciju. Pa tako glavni zahtjevi koji se stavljaju pred 5G mrežu su povećanje brzine prijenosa podataka, povećanje kapaciteta mreže, smanjenje vremena kašnjenja (latencije) i ušteda energije. Ugradnja novih usluga i aplikacija jednako je bitna kao i povećanje brzine prijenosa podataka ili smanjenja latencije, ali i obrnuto, jer što su aplikacije zahtjevnije, potrebna je i veća brzina prijenosa podataka [32].

### 6.1. Glavne karakteristike 5G

Frekvencijski spektar je glavni čimbenik u razvoju mobilnih usluga. Uspjeh mreže pete generacije (5G) temeljit će se na uporabi slobodnog frekvencijskog spektra viših frekvencija u kombinaciji sa danas korištenim frekvencijskim spektrom. Dodjeljivanje novog frekvencijskog spektra, koji će zadovoljiti sve potrebe nove mreže je ključan čin u nastajanju 5G tehnologija. To je moguće jedino proširenjem pojasne širine u iznad visoke frekvencije koje se nazivaju milimetar valovi (engl. mm Waves). Čelije koje će raditi na iznad visokim frekvencijama su mikro, piko i femto čelije, a sve će biti upravljane makro čelijom.

Sa porastom broja mobilnih uređaja, porastao je i broj korištenog frekvencijskog spektra. Ta činjenica vodi do dva važna faktora: zahtijevanje frekvencijskog spektra i zagušenje frekvencijskog spektra, koji će biti ključni u nadolazećim mobilnim mrežama. Istovremeno, želja korisnika za većim brzinama podataka i korištenje sve većeg frekvencijskog opsega, učiniti će u budućnosti nestanak slobodnog frekvencijskog opsega [33].

Zahtjevi korisnika za multimedijским sadržajem i raspolaganjem informacijama, servisima kao što su e-učenje, e-zdravlje i sl. čini svakodnevno povećanje terminalnih uređaja u mreži. Svi terminalni uređaji zahtijevaju korištenje određenog frekvencijskog opsega kako bi prijenos podataka bio moguć pa se teži što učinkovitijem korištenju. U tehnologije nove generacije implementirati će se sustavi za učinkovitije korištenje spektra. Kao primjer takvog predstavljen je sustav „vidno polje“ (engl. Line Of Sight – LOS). Radi na frekvencijama do 100 GHz, te smanjuje veličinu komponenti u terminalnom uređaju koristeći više frekvencijskih opsega, spajajući ih u jedan. Takvim načinom spajanja frekvencijskih opsega postiže se veća učinkovitost upotrebe spektra, [34].

Samoorganizirajuća mreža (engl. Self-Organising Network – SON) je još jedna ključna komponenta 5G mobilne mreže. Kako će rasti broj malih ćelija visoke gustoće, ova mreža će imati sve veću ulogu. U prosjeku, oko 80 % bežičnog prometa odvija se unutar zatvorenog prostora zgrada ili kuća, a kako bi prijenos velike količine podataka bio moguć, potrebne su nam male ćelije visokih gustoća u takvim objektima. Postavljanje ćelija i održavanje biti će isključivo od strane korisnika mobilne mreže, ne uključujući davatelja usluge. Kako bi se korisniku olakšalo postavljanje i korištenje takvog sustava, mreža mora biti samoorganizirajuća, što znači rad na principu „uključi i radi“ (engl. plug and play).

## 6.2. Usluge 5G

Intenzivna digitalizacija raznih gospodarskih grana predstavlja prvi korak prema uslugama 5G mreže, a taj će se proces u sve većoj mjeri nastaviti i u bliskoj budućnosti kako 5G mreža bude širom svijeta prihvaćena za novi globalni standard povezivosti. Ključ digitalizacije leži u načinima na kojima će različite industrije koristiti 5G za transformaciju poslovanja. Tako će razni poslovni sustavi koristiti dijelove mreže usklađene sa specifičnim zahtjevima svake industrije. 5G radio pristup, jezgrene mreže i upravljanje kompleksnim IT (engl. Information Technology) sustavima poduprijet će raznovrsne slučajeve korištenja ove tehnologije te nam omogućiti korištenje njenog punog potencijala.

Od širokopojasne povezanosti u područjima s velikim brojem ljudi do udaljene automatizacije rada kritičnih strojeva u opasnim radnim okruženjima, poput rudnika, 5G već ima korisničke slučajeve koji mogu pomoći u poslovanju te su spremni za buduće potrebe. Među glavnim prednostima 5G tehnologije su sigurnost mreže i niska potrošnja energije što će poslovnim sustavima omogućiti efikasnu i troškovno učinkovitu digitalizaciju [35].

Usluge koje očekujemo u 5G mobilnoj mreži, prikazane na slici 9, prema [35], su:

- Interakcija između čovjeka i Internet stvari (engl. Internet of Things – IoT)
- Doživljaj širokopojasnog pristupa bilo gdje i u bilo koje vrijeme
- Kritično upravljanje udaljenim uređajima
- Pametna vozila, transport i infrastruktura

- Medijski sadržaji bilo gdje



Slika 9. Usluge u 5G mreži, [35]

### 6.2.1. Internet ljudi

Pojam Internet ljudi (engl. Internet of People - IoP) obuhvaća osobnu elektroničku opremu sa pristupom Internetu i javlja se početkom 2000. godine pojavom mreže treće generacije. Pojam se ubrzano širi kako i raste broj korisnika mobilnih uređaja, tableta i ostalih terminalnih uređaja povezanih na mrežu. IoP je prvenstveno koncept osmišljen za dizajn, testiranje i implementaciju inovativnih strategija koje vode organizacije do potpuno nove paradigme. Organizacije će morati staviti ljude u centar inovacijskih strategija kao snaga kolektivne inteligencije. Više od samih pametnih aplikacija i gradova, prava vrijednost IoP koncepta leži u ljudima. Kao produkt IoP-a te zahvaljujući novim materijalima i načinima proizvodnje elektroničkih uređaja, sve su više prilagođeni čovjeku (npr. pametni satovi, Google naočale i sl.) [36].

## 6.2.2. Internet stvari

Mobilna mreža pete generacije omogućiti će kompletnu implementaciju IoT (engl. Internet of Things – IoT) koncepta, od komunikacije između strojeva do same mrežne infrastrukture (preduvjet za masivnu komunikaciju između strojeva (engl. Masive Machine Communication – MMC)). Internet stvari je informacijsko komunikacijski koncept mreže, gdje su objekti (stvari) iz različitih okruženja povezani na mrežu zasnovanu na Internet protokolu. Ovaj koncept mreže čini osnovu k razvoju pametnog okruženja kao što su pametni domovi, ceste, tvornice, gradovi i slično. Kao rezultat, svi povezani objekti činiti će jedan zajednički ekosustav.

IoT spaja u jednu cjelinu podatke dobivene od određenog senzora sa aplikacijama vezanih uz analizu tih podataka ili poslovnih aplikacija u svrhu povećanja produktivnosti, proizvodnje i tržišta. Neki od glavnih izazova koji se stavljaju pred implementaciju IoT koncepta su sigurnost, privatnost i povjerenje te ograničeni kapaciteti mreže zbog potrebe za prijenosom vrlo velike količine podataka kako bi se osiguralo korisniku korisnu uslugu ili pristup informacijama [32].

Primjeri aplikacija vezanih uz IoT, prema [37], su:

- Aplikacije vezane uz zdravlje:
  - Provjeri bebu - ova aplikacija će omogućavati pregled informacija o njihovom djetetu u realnom vremenu na pametnom telefonu. Pratiti će disanje djeteta, temperaturu kože, položaj tijela i aktivnost.
  - Podsjetnik o uzimanju lijekova - bežičnim čipom, postavljenog na pakiranje lijeka, davatelji ove usluge obavještavati će korisnika lijekova o redovnom uzimanju, slanjem poruke na pametni telefon.
  - Praćenje stupnja aktivnosti - koristeći vlastiti pametni telefon povezan na Internet mrežu i uporabom aplikacija koje koriste senzore za kretanje.



- Aplikacije vezane uz pametne domove:
  - Efikasno zagrijavanje doma - upotrebom pametnog termostata sa ugrađenim senzorom, praćenjem vremenske prognoze u realnom vremenu i stvarne aktivnosti provedene u kući, ova aplikacija uštediti će do 30 % energije na mjesečnoj upotrebi
  - Budite sigurni da je pećnica ugašena - pametni uređaji dopustiti će trenutno uključivanje ili isključivanje svih uređaja uključenih na gradsku mrežu, sa bilo kojeg mjesta.
  - Održi biljke na životu - uporabom senzora u blizini biljaka i povezanosti na Internet, ova aplikacija prati rast biljaka i savjetuje korisnika o hranjenju

- Aplikacije vezane uz pametne gradove :

- Ulice održi čiste - aplikacije poput ove, upotrebom senzora u kantama za smeće, javljati će komunalnim službama kada se kanta treba isprazniti. Ova aplikacija drastično može smanjiti broj nepotrebnih vožnji i troškove svesti na minimum.
- Nalazak parkirnoga mjesta - senzorima postavljenim u gradske prometnice i uporabom pametnih telefona povezanih Internetom, aplikacija će nam u realnom vremenu prikazivati prazna parkirna mjesta u blizini.
- Efektivnije osvjetljenje ulica - pametan sustav rasvjete, omogućiti će reguliranje razine svijetla gradske rasvjete ovisno o potrebama i vremenskim uvjetima. Upotrebom ove aplikacije, gradovi će moći uštedjeti do 30 % energije.

- Aplikacije vezane uz industriju:

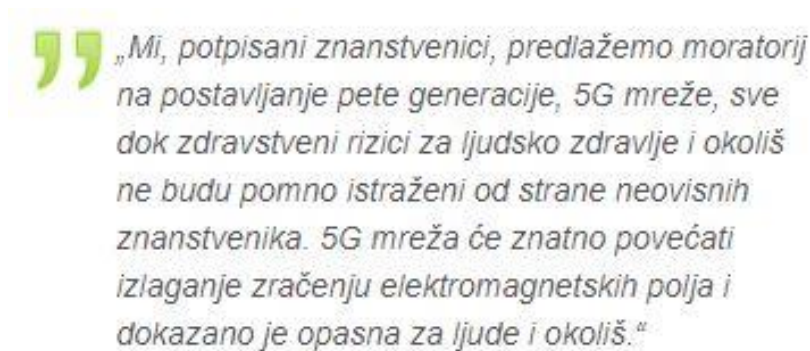
- Upravljanje i popravak - senzori postavljeni unutar industrijske opreme, javljati će korisniku aplikacije u slučaju dotrajalih dijelova ili kvara određenog dijela.
- Pretanak nagađanja - upotrebom kamera postavljenim u dućanima, korisnik aplikacije će znati dali trgovina posjeduje ono što želi ili ne, a vlasnik trgovine uvid u skladište i proizvode dostupne kupcima.
- Sigurnost na prvome mjestu - ova aplikacija javlja nadležnima ukoliko je aparat za gašenje blokiran, ne nalazi se na svome predviđenome mjestu ili je tlak unutar aparata prenizak. Obavijest može biti poslana e-mailom ili porukom na pametni telefon.

## 6.3. Rat između tehnologije i čovjeka

S brzinom downloada 20-30 puta većom nego što je to slučaj s 4G mrežom, 5G obećava novi svijet, uključujući i to da će postati osnova za samovozeće automobile, dok istovremeno donosi cijeli niz zdravstvenih rizika, poput raka uzrokovanog tom istom mrežom.

Razlika između 4G i 5G mreže izražena u gigahercima, jedinici frekvencije izmjenične struje ili elektromagnetskih valova, što se odnosi na brzinu prijenosa, je znatna. 5G tehnologija uključuje frekvencije od 30 do 300 GHz, dok se 4G mreža kretala u okviru od oko 6 GHz.

Više od 180 znanstvenika i liječnika iz gotovo 40 zemalja upozoravaju svijet na opasnosti 5G mreže. Odgovor znanstvenika na „Rezoluciju 1815“ Vijeća Europe je vrlo jasan, [38]:



„Mi, potpisani znanstvenici, predlažemo moratorij na postavljanje pete generacije, 5G mreže, sve dok zdravstveni rizici za ljudsko zdravlje i okoliš ne budu pomno istraženi od strane neovisnih znanstvenika. 5G mreža će znatno povećati izlaganje zračenju elektromagnetskih polja i dokazano je opasna za ljude i okoliš.“

**Slika 10. Reakcija znanstvenika na uvođenje 5G, [38]**

Mnogi znanstvenici shvaćaju da je elektromagnetsko zračenje koje „curi“ iz vrata naših mikrovalnih pećnica kancerogeno, odnosno da može uzrokovati rak. Isti ti znanstvenici također vjeruju da su ti valovi mutageni, odnosno da mogu izazvati promjene u strukturi DNK-a kod živih bića. Lansiranje 5G mreže bit će isto kao da ste uključili mikrovalnu pećnicu, otvorili njena vrata i ostavili je tako do kraja vašeg života, [38].

Stav određene skupine znanstvenika

„Do kraja 2021. godine svaki grad imat će odašiljače za 5G mrežu i mobitele. Te platforme i uređaji bit će postavljeni na milijune zgrada diljem svijeta. Osim što su kraći milimetarski valovi opasniji za ljudsko zdravlje, zbog snage takve tehnologije, oni također zahtijevaju postavljanje na milijune mini stanica i odašiljača, otprilike jedan odašiljač za 2-8 domova. Ne samo da će se povećati izloženost ljudi ovom zračenju nego će se ono s vremenom

eksponencijalno povećavati. Mnogi znanstvenici smatraju da su ovi odašiljači ne samo opasni za ljudsko zdravlje, već su smrtonosni i trebali bi se smatrati zločinom protiv čovječanstva. Mnogo se rasprava vodi među znanstvenicima koji pokreću protest protiv netestirane i neprovjerene tehnologije. Općenito, zračenje ima jako loš učinak na sva živa bića. Ono uništava DNK ili tako da dovodi do mutacije, a sve to u konačnici može dovesti do karcinoma.“, [38]

## 6.4. Istraživanja o štetnosti mobilnih mreža

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, [40].

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.

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 28 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.

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.

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.

Konačno, većina studija se oslanja na ljudsko pamćenje tj. koliko su otprilike koristili mobilne uređaje. U takvim studijima 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 dopiru 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.

## 6.5. Štetnost 5G

U proteklih 30 godina objavljeno je približno 25 000 znanstvenih članaka na području bioloških učinaka i medicinske primjene ne ionizirajućih zračenja.

Vrste istraživanja koje se provode kako bi se utvrdili štetni učinci ne ionizirajućeg zračenja na ljudsko zdravlje (EMV iz domena radijskih frekvencija).

- in vitro,
- in vivo,
- epidemiološke studije.

*In Vitro* su istraživanja na organskim materijalima koji su izuzeti iz živih organizama. Dakle, neživi dijelovi tkiva izlažu se često vrlo snažnim EMV kako bi se utvrdilo njihovo djelovanje na tkiva. Ova istraživanja samo dijelom mogu pokazati negativne utjecaje.

*In Vivo* su istraživanja koja se provode na živim organizmima, laboratorijskim životinjama, najčešće miševima. Međutim, zbog različitosti u organizmima samo dijelom ova istraživanja mogu pokazati mogući utjecaj EMV na ljudsko zdravlje.

Epidemiološke studije provode se na ljudima koji su u svom profesionalnom radu ili običnom životu izloženi većoj razini snage EMV ili elektromagnetskih polja. Ove studije se svode na statističko povezivanje, traženje korelacije između određenih tipova oboljenja i profesionalnoj izloženosti.

Epidemiološke studije su pokazale da ljudi koji žive ispod dalekovoda ili blizu rasklopnih postrojenja, (ovdje se ne radi o EMV nego o promjenjivim elektromagnetskim poljima visoke snage), imaju veću vjerojatnost da obole od leukemije od ostalih ljudi.

Za Europu se očekuje da će 5G sustav raditi u frekvencijskim opsezima:

- Frekvencijski opseg oko 700 MHz
- Frekvencijski raspon oko 3,5 GHz
- Frekvencijski raspon iznad 26GHz

### 6.5.1 Karakteristike RF spektra u pojasu od 700 Mhz

Rad mobilnih komunikacijskih sustava 5G predviđen je među ostalim i 700 MHz području. Međutim, u ovom području u diljem Europe radi emitiranje signala digitalne televizije DVBT1. Oslobođanje ovog područja i njegova prenamjena za mobilne komunikacijske sustave uvjetovana je prelaskom na emitiranje digitalnim televizijskih programa po standardu DVBT2, [48].

Područje frekvencija oko 700 MHz povoljno je za mobilne komunikacijske sustave jer je dobar ogib elektromagnetskih valova. Navedeno omogućava razinu signala u područjima „sjene“. Što je frekvencija EMV niža to je bolji ogib EMV, preko 11 GHz predajna antena mora imati izravnu optičku vidljivost sa prijemnom antenom (*LOS- line of sight*).

Područje frekvencija oko 700 MHz danas se koristi za emitiranje digitalnih televizijskih signala, a prosječna snaga DVBT1 odašiljača varira od 250W do 2KW. Nakon što dođe do prenamjene RF područja izlazna snaga 5G baznih stanica bit će maksimalno oko 23 dBm, što odgovara 0,2 W. Razina emitirane snage smanjit će se za 1250 puta u odnosu na DVBT odašiljače, [48].

Prijemna snaga u mobilnoj telefoniji kreće se od -50 dBm (10 nW) do -68 dBm (0,15 nW)

Kad se DVBT-1 napusti i prebaci na 5G, na 700 MHz zagađenje elektromagnetskim valovima bit će manje nego što je trenutno.



## 6.5.2. Zdravstveni učinci 5G mreže na području frekvencije 6 do 100 GHz

U nastavku su navedeni znanstveni radovi povezani sa zdravljem u području frekvencija od 6 GHz do 100 GHz. Valja napomenuti da ne postoje epidemiološke studije koje se bave bežičnom komunikacijom za ovaj frekvencijski raspon, stoga će ovo istraživanje obuhvatiti studije provedene *in vivo* i *in vitro*.

Istraživanje je podijeljeno na opisni dio koji obuhvaća opis svih odabranih studija, uvjeti njihove izloženosti, rasponi frekvencija (6 GHz do 100 GHz), razine doza itd., kao i biološke rezultate.

Rezultati istraživanja su dalje analizirani i raspravljani prema frekvencijskim područjima, te gustoći snage i trajanju izlaganja.

Rasponi:

### 1. Do 30 GHz

Nažalost, u ovoj skupini postoje samo dvije publikacije, obje prikazuju reakcije na izloženost milimetarskim valovima (eng. mmWave ili MMW odnosno milimeter waves ). Studija provedena na bakterijama i gljivicama pokazala je povećanje rasta stanica. Druga *in vitro* studija provedena je na fibroblastima, [49].

### 2. 30.1 – 40 GHz

Provedeno je osam studija *in vitro*, od kojih je sedam prijavilo odgovore. U jednoj studiji ljudske krvne stanice bile su izložene MMW 5, 15 i 30 minuta (32,9–39,6 GHz, 10 mW/cm<sup>2</sup>). Aktivacija stanica ispitana je u prisutnosti ili odsutnosti bakterija. Pokazano je da u prisutnosti bakterijske aktivacije i nakon 15 minuta izloženosti, stanice su aktivirane za oslobađanje slobodnih radikala, [49].

Slobodni radikali su vrlo nestabilne molekule ili atomi koji u vanjskoj ljusci imaju jedan ili više nesparenih elektrona. Njihovi nespareni elektroni uzrokuju njihovo davanje ili oduzimanje elektrona drugim molekulama i upravo to ih čini visoko reaktivnim, [50].

### 3. 40.1 – 50 GHz

Veliki broj studija testirao je krajnje točke stanične biologije, ekspresiju gena ili proteina te utjecaj na stres. Osim toga, ispitivani su imunološki, neurološki i morfološki učinci.

Jedno je istraživanje otkrilo povećanje pokretljivosti ljudskih spermatozoida nakon 15 minuta izlaganja. Dodatni *in vitro* testovi otkrili su stvaranje slobodnih radikala, aktivacija kalijevih ionskih kanala ovisnih o kalciju.

Nije bilo odgovora na biološke krajnje točke stanice (promjene staničnog ciklusa, smrt stanica, proteini toplinskog šoka) otkrivena u četiri dodatne *in vitro* studije, [49].

### 4. 50.1 – 60 GHz

Identificirano je 16 studija u frekvencijskoj skupini 50,1-60 GHz (šest *in vivo*, deset *in vitro*) i 60% studija su pokazale reakcije na izloženost MMW -u.

U studiji na zdravim dobrovoljcima, autori su htjeli doznati ima li ljudska koža na takozvanoj akupunktornoj točki različita dielektrična svojstva tijekom izlaganja MMW -u. Otkrili su da se ta svojstva mijenjaju tijekom izlaganja 50–61 GHz.

Studija studija na miševima pokazala je da izloženost MMW-u utječe na stanice izazvane rakom i povećava motoričku aktivnost zdravih miševa. Učinci MMW -a također su testirani na očima kunića, opisujući akutne toplinske ozljede različitih vrsta, [49].

### 5. 65.1 – 90 GHz

Četiri studije in vivo izvijestile su o odgovorima nakon izlaganja MMW -u. Jedna studija ispitivala je dozu oštećenja oka. Eksperimenti su provedeni na štakorima s ekspozicijom od 75 GHz.

Studija o insektima (Chironomidae) fokusirala se na DNK učinke divovskih kromosoma životinja korištenjem različitih frekvencija (64,1–69,1, 67,2, 68,2 GHz). Sve frekvencije, pomoću gustoće snage  $<6 \text{ mW/cm}^2$ , uzrokovale su smanjenje veličine određenog područja kromosoma.

Druga skupina studija koristila je fibroblaste hrčaka, BHK stanice i izlagala stanice na 65 do 75 GHz, s gustoćom snage koja doseže  $450 \text{ mW/cm}^2$ , Autori su primijetili staničnu smrt pri većoj gustoći snage. U studiji kod ljudskih dermalnih fibroblasta i ljudskih stanica, nisu otkriveni učinci na razini smrti stanica, [49].

## 6. 90.1 – 100 GHz

Osam od jedanaest studija u frekvencijskoj skupini od 90,1–100 GHz su studije in vitro. Tri in vivo istraživanja bavila su se raznim pitanjima, uključujući učinke na mišićnu kontrakciju, svojstva refleksije kože (koja su više ovisna o dozi nego o zdravlju) i rak kože.

Studija raka kože štakora nisu pokazale pozitivan ishod. Druga studija ispitivala je mišićnu kontrakciju i opisala neke odgovore. Opet je korišteno 94 GHz, ali gustoća snage ili SAR vrijednosti nisu prijavljene, [49].

## 7. Pravilnik 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:[43]

- 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, [43] .

U Republici Hrvatskoj danas postoje dva pravilnika za zaštitu od neionizirajućeg zračenja: [43]

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

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 4. Temeljna ograničenja za profesionalnu populaciju. [43]**

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 5. Temeljna ograničenja za opću populaciju. [43]**

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.

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 [44] 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.

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

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.

Proglašavam Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja, kojega je Hrvatski sabor donio na sjednici 26. svibnja 2006. godine, [45] .

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, [45].

## 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.

Odredbe 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 [46] 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 [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]. 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 [ $\text{J}/\text{kg}$ ]. 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 [ $\text{V}/\text{m}$ ].

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.

## 7.4. Elektromagnetsko zračenje u Hrvatskoj

Prema podacima iznesenim na konferenciji Hrvatska se može pohvaliti sa zakonskom regulativom na području zaštite od elektromagnetskih (EM) polja, koja je u potpunosti usklađena s propisima Europske unije, te čak i stroža od njih. Postojeća regulatorna ograničenja građanima pružaju sigurnost da je pri komercijalnoj uporabi EM polja osigurana adekvatna zaštita od tog zračenja, [47].

Tako je u Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja za vrijednost električnog polja dozvoljeno samo 40 % od onog što je propisano EU direktivom, a kod snage je primijenjen još stroži faktor: dozvoljeno je samo 16 posto snage u odnosu na EU direktivu. Jednostavnije rečeno, u odnosu na moguću ozračenost građana u npr. Njemačkoj, hrvatski građani izloženi su samo 16 % od tog zračenja.

Važeća zakonska regulativa na području zaštite od elektromagnetskih polja bazirana je na službenim znanstvenim istraživanjima temeljem kojih su donesene osnovne smjernice od strane Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP).

Te smjernice prihvatila je Europska Unija, putem EU direktive 1999/519/EC koja predstavlja službeni dokument o ograničenjima izloženosti opće populacije elektromagnetskim poljima u rasponu od 0 Hz do 300 GHz i obvezujuća je za države članice pa tako i za RH, [47].

„Na temelju dosadašnjih iskustava, možemo reći da je situacija Republici Hrvatskoj zadovoljavajuća. Telekom operatori pod stalnim su nadzorom nadležnih službi koje kontinuirano prate razine elektromagnetskih zračenja. Ukoliko neke lokacije i ne bi imale pokazatelje koji su u okvirima propisane regulative, ne bi bilo moguće ishoditi dozvolu za puštanje bazne postaje u rad. Pri tome treba voditi računa da su hrvatski propisi posebno stroži za područja povećane osjetljivosti poput bolnica, škola i dječjih vrtića. Pored toga, svi mjeritelji u Republici Hrvatskoj moraju biti akreditirani od strane Ministarstva zdravlja što osigurava transparentnost čitavog procesa nadzora elektromagnetskih zračenja postojećih pokretnih komunikacijskih sustava“, izjavio je prof.dr.sc. Juraj Bartolić, redoviti profesor Zavoda za radiokomunikacije Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, [47].

„Važno je istaknuti da svi rezultati mjerenja EM zračenja iz telekomunikacijskih sustava koji su od 1995. g. do sada provedeni u Republici Hrvatskoj i na njime temeljene studije pokazuju da su elektromagnetska polja koja proizvodi telekomunikacijska oprema unutar dopuštenih granica koje propisuje zakon. Početkom veljače 2014. g. znanstveni odbor Europske komisije izdao je priopćenje da EM zračenje telekomunikacijske opreme u razinama koje se koriste u praksi ne predstavlja zdravstveni rizik za opću populaciju. Na žalost, u javnosti se često barata paušalnim podacima, brojevima koji ništa ne predstavljaju i koji su najčešće izvučeni iz vrlo kompleksnog konteksta što u konačnici doprinosi nepotrebnom sukobima u javnosti i dodatno, jasno treba izgovoriti da telekomunikacijska oprema nije jedini izvor EM zračenja kojem je stanovništvo izloženo.“ stav je dr.sc. Ivice Prlića, predstojnika Jedinice za dozimetriju zračenja i radiobiologiju s Instituta za medicinska istraživanja i medicinu rada, [47].

Svaki telekom operator koji u Hrvatskoj namjerava u rad pustiti baznu stanicu obavezan je napraviti vrlo detaljna istraživanja i mjerenja koja kontrolira Ministarstvo zdravlja i HAKOM, a vrijednosti ni u kojem slučaju ne smiju prelaziti maksimalno dopuštene granice, [47].

Ministarstvo zdravlja je u Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja propisalo način provođenja zaštite od elektromagnetskih polja, koji se zasniva na principu predostrožnosti i redovnim kontrolama razina elektromagnetskih polja prije postavljanja izvora, pri početku rada izvora i tijekom redovnog rada izvora, [47].

Operator ima obvezu napraviti proračun očekivanih razina prije nego što se bazna stanica postavi, mora dobiti dozvolu Ministarstva zdravlja za postavljanje antene, obavijestiti neovisne mjeritelje da naprave prvo mjerenje nakon puštanja bazne postaje u rad, dobiti dozvolu Ministarstva zdravlja za uporabu, provoditi periodička mjerenja te izraditi posebnu studiju o utjecaju cijele mreže.

Sva mjerenja i proračuni rade se po nalogu Ministarstva zdravlja te ih provode isključivo mjeritelji koji imaju ovlaštenja od Ministarstva zdravlja. Dodatne kontrole EM polja provodi i HAKOM, koji ima svoju mjernu ekipu, te provodi kontrole po cijeloj Hrvatskoj bez prethodne najave vremena i mjesta kontrole, a rezultati mjerenja na svim lokacijama su značajno niži od postavljenih limita, iako su ti limiti stroži od onih u EU.

## 8. Zaključak

U ovom radu obrađivalo se elektromagnetsko zračenje, razlika između termalnih i netermalnih učinaka, što je to SAR i kako antene, radari i odašiljači utječu 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. 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.

Prisutnost elektromagnetskih polja u okolišu i njihova potencijalna štetnost za ljudsko zdravlje kontroverzno su znanstveno, tehničko ali i socijalno pitanje. Razvitak pokretnih komunikacijskih sustava i nagli porast instaliranih baznih stanica kao izvora elektromagnetskog zračenja popularizirao je pitanje istraživanja utjecaja elektromagnetskih polja na ljudski organizam. Živimo u vremenu brzih tehnoloških promjena i razvoja.

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. Iz svega navedenog vidljivo je da je u budućnosti potrebno staviti naglasak na čovjeka i zaštitu njegovog zdravlja prije svega. Kod izrade uređaja potrebne su jače i strože kontrole. Edukacija ljudi bitna je zbog svijesti pretjeranog korištenja i boravka u blizini električnih uređaja. Važno je težiti prema ograničavanju emisije štetnog zračenja i mnogo drugih stvari jer posljedice mogu biti nesagledive za naše zdravlje. Zato je u potrebno provoditi javne rasprave i navoditi ljude na razmišljanje o štetnosti uređaja koje koriste svakodnevno.

Današnji život je teško zamisliti 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.

## 9. Literatura

- [1] Kottou S, Nikolopoulos D, Vogiannis E, Koulougliotis D, Petraki E, Panayiotis H, Yannakopoulos PH. How Safe is the Environmental Electromagnetic Radiation? J Phys Chem Biophys.
- [2] Narodne Novine (2010) Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. Zagreb: Narodne novine d.d., 91.
- [3] Narodne novine (2006) Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja. Zagreb: Narodne novine d.d., 64.
- [4] Narodne novine (2013) Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s električnim uređajima koji proizvode ionizirajuće zračenje. Zagreb: Narodne novine d.d., 783.
- [5] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://zir.nsk.hr/islandora/object/vuka:311/preview>
- [6] [Mrežno] Preuzeto sa: [https://luftbewusst.de/wpcontent/uploads/2020/04/Elektrosmog\\_Ursprung\\_Auswirkung\\_Vermeidung.jpg](https://luftbewusst.de/wpcontent/uploads/2020/04/Elektrosmog_Ursprung_Auswirkung_Vermeidung.jpg) Pristupljeno: Srpanj 2021.
- [7] Europski kodeks protiv raka. Preuzeto sa: <https://cancer-codeeurope.iarc.fr/index.php/hr/12-nacina/zracenje/2713-sto-je-bdquo-zracenje-rdquokakve-vrste-zracenja-postoje> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [8] [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: Srpanj 2021.
- [9] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/extremely-low-frequency-radiation.html> Pristupljeno: Srpanj 2021.
- [10] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/non-ionising-radiation/low-frequency-electric-magnetic-fields> Pristupljeno: Srpanj 2021.
- [11] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1522/datastream/PDF/view>
- [12] ICNIRP, 1998; Dostupno na: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf> [pristupljeno: Srpanj 2021.]
- [13] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.binauralbeatsfreak.com/brainwave-entrainment/alpha-brain-waves-everything-you-need-to-know> Pristupljeno: Srpanj 2021.

[14] [Mrežno] Preuzeto sa:

[https://static.wixstatic.com/media/22a690\\_288c41b146e54c6499a877c51ba7a7d0~mv2.png/v1/fill/w\\_1000,h\\_721,al\\_c,usm\\_0.66\\_1.00\\_0.01/22a690\\_288c41b146e54c6499a877c51ba7a7d0~mv2.png](https://static.wixstatic.com/media/22a690_288c41b146e54c6499a877c51ba7a7d0~mv2.png/v1/fill/w_1000,h_721,al_c,usm_0.66_1.00_0.01/22a690_288c41b146e54c6499a877c51ba7a7d0~mv2.png) Pristupljeno: Srpanj 2021.

[15] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/sar-rf-exposure-calculator> [pristupljeno: Srpanj 2021.]

[16] Macri, M. A., DiLuzio Sr., DiLuzio S, (2002), BiologicalEffectsofElectromagneticFields; dostupno: <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/039463200201500204>

[17] [Mrežno] Preuzeto sa: [https://www.wku.edu/ehs/radiation/module-2\\_biological\\_effects.pdf](https://www.wku.edu/ehs/radiation/module-2_biological_effects.pdf) [pristupljeno: Srpanj 2021.]

[18][Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.imagewisely.org/Imaging-Modalities/ComputedTomography/Imaging-Physicians/Articles/Ionizing-Radiation-Effects-and-Their-Riskto-Humans> [pristupljeno: Srpanj 2021.]

[19] Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu. Preuzeto sa:

[http://estudent.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija\\_u\\_prometu/Materijali/Tk.pdf](http://estudent.fpz.hr/Predmeti/E/Ekologija_u_prometu/Materijali/Tk.pdf) [Pristupljeno: srpanj 2021.]

[20] 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%A1ten%20terminalnih%20ure%C4%91aja.pdf](https://moodle.srce.hr/2017-2018/pluginfile.php/1527860/mod_resource/content/1/11_Negativni%20efekti%20kori%C5%A1ten%20terminalnih%20ure%C4%91aja.pdf) [Pristupljeno: srpanj 2021.]

[21] Poljak D. Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja. Sigurnost. 2012;54(2):173-287.

[22] Mrežno :

<https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1995/datastream/PDF/view>

[23] Poljak D. Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja. Sigurnost. 2012;54(2):173-287.

[24] Mrežno: <https://image.dnevnik.hr/media/images/768x432/Apr2018/61485001-bazna-stanica-mobilna-telefonija.jpg> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]

[25] Dervić K. Čovjek u bliskom radiofrekvencijskom polju. ISBN 978-86-85499-29-6

[26] Mrežno: [https://sites.google.com/site/mobiteli21121902/\\_/rsrc/1468929866731/utjecaj-mobitela-na-prirodu-i-okolis/Nova-tehnika-za-proucavanje-utjecaja-zracenja-mobitela\\_VIDIClanakNaslovna.jpg?height=282&width=400](https://sites.google.com/site/mobiteli21121902/_/rsrc/1468929866731/utjecaj-mobitela-na-prirodu-i-okolis/Nova-tehnika-za-proucavanje-utjecaja-zracenja-mobitela_VIDIClanakNaslovna.jpg?height=282&width=400)

[27] [Mrežno] Preuzeto sa: [http://www.who.int/peh-emf/meetings/04\\_Chou.pdf](http://www.who.int/peh-emf/meetings/04_Chou.pdf) [pristupljeno: kolovoz 2021.]



- [28] Sanchez-Hernandez, David A., High Frequency Electromagnetic dosimetry, Boston, 2009.;
- [29] Mamrot P., Marianska M., Aniolczyk H., Politanski P., 2015, Electromagnetic fields in the vicinity of DECT cordless telephones and mobile phones; dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26674167> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- [30] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://pongcase.com/blog/children-cell-phone-radiation-standards/> [pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [31] Digital Information World. Preuzeto sa: <https://www.digitalinformationworld.com/2019/02/the-cell-phones-that-emit-the-least-and-most-radiation.html> [Pristupljeno: kolovoz 2021.]
- [32] Jovović, I., Forenbacher I., Periša M: Masive Machine-Type Communications: An Overview and Perspectives Towards 5G, 2015.
- [33] Prasad,R: 5G:2020 and beyond, River Publishers, Aalborg, 2014.
- [34]Mrežno: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A379/datastream/PDF/view>
- [35] Tomić, D.: Ubrzani razvoj 5G mreža. Dostupno s: <http://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/ubrzani-razvoj-5g-mreza> (kolovoz 2021.)
- [36] Harrop P., Das R: Internet of People: Technology 2015 – 2025, 2014. Dostupno s: <http://www.idtechex.com/research/reports/internet-of-people-technology-2015-2025-000388.asp> (kolovoz 2021.)
- [37] Argerich, L.: An Internet of Things. Dostupno s: <http://postscapes.com/internet-of-things-examples/> (kolovoz 2021.)
- [38] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://alternativa-za-vas.com/index.php/clanak/article/oprez-5g-mreza>
- [39] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.telegram.hr/biznis-tech/teorije-zavjere-oko-5g-mreza-uzele-su-maha-pitali-smo-profesora-s-fer-a-da-nam-objasni-zasto-su-jednostavno-nemoguce/>
- [40][Mrežno] Preuzeto sa: <https://repositorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A1138/datastream/PDF/view>
- [41] [Mrežno] Preuzeto sa: <http://www.icnirp.org/> (pristupljeno: kolovoz, 2021.)
- [42] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.cancer.org/> (pristupljeno: kolovoz, 2021.)
- [43] Poljak D.: Izloženost ljudi zračenju antenskih sustava baznih postaja-dozimetrija upadnog polja, Sigurnost, svez.54, br.2, pp.173-187, 2012. (kolovoz, 2021.)

- [44] <http://www.cellphone-health.com/lowest-radiation-cell-phones.htm> (pristupljeno: kolovoz, 2017)
- [45] Zakon o zaštiti od ionizirajućeg zračenja i sigurnosti izvora ionizirajućeg zračenja. N.N., br. 64/2006
- [46] Zakon o zaštiti od neionizacijskog zračenja, N.N., br. 91/2010
- [47] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.ictbusiness.info/telekomunikacije/elektromagnetsko-zracenje-u-hrvatskoj-je-stroze-regulirano-nego-u-ostatku-eu> (pristupljeno: kolovoz, 2021.)
- [48] [Mrežno] Preuzeto sa: [https://www.bib.irb.hr/1120983/download/1120983.Knjiga\\_2020\\_2021\\_final.pdf](https://www.bib.irb.hr/1120983/download/1120983.Knjiga_2020_2021_final.pdf) (pristupljeno: kolovoz, 2021.)
- [49] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/18/3406/pdf> (pristupljeno: kolovoz, 2021.)
- [50] [Mrežno] Preuzeto sa: <https://ordinacija.vecernji.hr/zdravi-tanjur/kolumna/antioksidansi-i-slobodni-radikali-sto-cine-nasem-tijelu/> (pristupljeno: kolovoz, 2021.)

## Popis slika

Slika 1. Predodžba elektrosмога, [6] .....	4
Slika 2. Podjela elektromagnetskog zračenja, [8] .....	6
Slika 3. Prikaz moždanih valova, [14] .....	9
Slika 4. Testiranje zračenja na fantomskoj glavi, [30] .....	15
Slika 5. Mobilni terminalni uređaj i bazna stanica, [24] .....	26
Slika 6. Bliska zona RF zračenja, [26] .....	27
Slika 7. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najnižim SAR-a, [31] .....	28
Slika 8. Popis mobilnih terminalnih uređaja s najvišim SAR-a, [31] .....	28
Slika 9. Usluge u 5G mreži, [35] .....	31
Slika 10. Reakcija znanstvenika na uvođenje 5G, [38] .....	34

## Popis tablica

Tablica 1. Frekvencijski spektar elektromagnetskih polja, [22].....	5
Tablica 2. Vrste djelovanja elektromagnetskih polja visokih frekvencija, [5] .....	12
Tablica 3. Maksimalne dopuštene SAR vrijednosti za ljudski organizam pri frekvencijama od 100 kHz do 10 GHz, mjerene u šestominutnom intervalu, [11].....	15
Tablica 4. Temeljna ograničenja za profesionalnu populaciju. [43] .	45
Tablica 5. Temeljna ograničenja za opću populaciju. [43] .....	45



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 okolišu**

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

Student/ica:

U Zagrebu, 2.9.2021 \_\_\_\_\_

*Andrija Ladiš*  
\_\_\_\_\_  
(potpis)