

# Negativni učinci bežičnih komunikacijskih sustava na ljudsko zdravlje

---

**Radoš, Mislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*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:119:653918>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-15**



*Repository / Repozitorij:*

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



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**NEGATIVNI UČINCI BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA  
NA LJUDSKO ZDRAVLJE**

**NEGATIVE EFFECTS OF WIRELESS COMMUNICATION  
SYSTEMS ON HUMAN HEALTH**

Mentor: prof. dr. sc. Dragan Peraković

Student: Mislav Radoš

JMBAG: 0135228813

Zagreb, prosinac 2023.

## SAŽETAK

Svrha ovoga rada bila je analizirati negativne učinke bežičnih komunikacijskih sustava na ljudsko zdravlje. Bežične komunikacije su smatrane, temeljem svih mjera, najbrže rastućim segmentom komunikacijske industrije. Danas bežična komunikacija drastično utječe na način na koji ljudi žive, rade, igraju igre i komuniciraju s ljudima i svijetom. Širom svijeta postoje milijarde pretplatnika na mobilne telefone, a širok raspon uređaja osim telefona koristi mobilnu tehnologiju za svoje povezivanje. Ljudi su izloženi raznim vrstama prirodnog i umjetnog neionizirajućeg zračenja koje može posjedovati visoke frekvencije koje dolaze od mobilnih telefona, radara, primjene inukcijskih grijača u industriji i slično, te niske frekvencije od dalekovoda. Elektromagnetska polja stvaraju veliki izbor izvora zračenja, poput električne opreme, osobnih komunikacijskih uređaja, uredske opreme i potrošačkih proizvoda. Korištenje bežičnih komunikacija utječe na elektromagnetsko okruženje, a kao posljedica toga postoji implicitna potreba za osiguranjem sigurnosti profesionalne i opće javnosti, kao i ispravnih radnih uvjeta električne i elektroničke opreme i ostalih korištenih uređaja. Međutim, važno je da pojedinci poduzmu korake kako bi smanjili svoju izloženost elektromagnetskim poljima, a za organizacije da uspostave smjernice i sigurnosne standarde za korištenje ovih tehnologija kako bi se zaštitilo zdravlje i dobrobit pojedinaca.

**Ključne riječi:** *zdravlje, neionizirajuće zračenje, izvor zračenja, mjere zaštite*

## **SUMMARY**

The purpose of this paper was to analyze the negative effects of wireless communication systems on human health. Wireless communications were considered, by all measures, the fastest growing segment of the communications industry. Today, wireless communication drastically affects the way people live, work, play games and communicate with people and the world. There are billions of mobile phone subscribers worldwide, and a wide range of devices other than phones use mobile technology for their connectivity. People are exposed to various types of natural and artificial non-ionizing radiation, which can have high frequencies coming from mobile phones, radars, the application of induction heaters in industry, and the like, and low frequencies from transmission lines. Electromagnetic fields generate a wide variety of radiation sources, such as electrical equipment, personal communication devices, office equipment and consumer products. The use of wireless communications affects the electromagnetic environment, and as a consequence there is an implicit need to ensure the safety of the professional and general public, as well as the correct working conditions of electrical and electronic equipment and other devices used. However, it is important for individuals to take steps to reduce their exposure to electromagnetic fields and for organizations to establish guidelines and safety standards for the use of these technologies to protect the health and well-being of individuals.

**Key words:** *health, non-ionizing radiation, radiation source, protection measures*

Zagreb, 3. travnja 2023.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**

Predmet: **Terminalni uredaji**

## ZAVRSNI ZADATAK br. 7197

Pristupnik: **Mislav Rados (0135228813)**

Studij: **Promet**

Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Negativnosti primjene bezicnih komunikacijski sustava na ljudsko zdravlje**

Opis zadatka:

U radu je potrebno dati sustavni prikaz mogucih negativnosti primjene bezicnih komunikacijski sustava na ljudsko zdravlje. Pri tome je potrebno prikazati osnove elektro-magnetskog zracenja. Pojasniti sustave pokretnih komunikacija i princip rada sustava GSM. Pojasniti utjecaj sustava pokretnih komunikacija na ljudsko zdravlje (specifigna stopa apsorbacije) te brigu o zdravlju.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za

zavrсни ispit:

---

prof. dr. sc. Dragan Perakovic

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. BEŽIČNI KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI.....</b>	<b>3</b>
2.1. Razvoj bežičnih komunikacijskih sustava .....	4
2.2. Vrste bežičnih komunikacijskih sustava .....	5
2.3. Princip rada bežičnih komunikacijskih sustava .....	7
<b>2.3.1. Radiovalovi.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2. Antena.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.2.1. Žičane antene.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2.2. Mikrotrakaste antene.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2.3. Antenski nizovi.....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.2.4. Reflektor antene.....</b>	<b>14</b>
2.4. Globalni sustav mobilnih komunikacija (GSM sustav) .....	16
<b>3. POJAM I VRSTE ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA .....</b>	<b>19</b>
3.1. Ionizirajuće zračenje .....	22
3.2. Neionizirajuće zračenje .....	23
<b>4. NEGATIVNI UTJECAJ BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA NA LJUDSKO ZDRAVLJE</b>	<b>26</b>
4.1. Zračenje bežičnih komunikacijskih uređaja .....	28
4.2. SAR vrijednost.....	31
<b>5. NAČELA I MJERE ZAŠTITE OD ZRAČENJA BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA NA LJUDSKO ZDRAVLJE .....</b>	<b>35</b>
5.1. Načela zaštite.....	36
5.2. Mjere zaštite.....	36
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>38</b>
<b>POPIS LITERATURE.....</b>	<b>40</b>
<b>POPIS KRATICA I AKRONIMA.....</b>	<b>45</b>
<b>POPIS GRAFIČKIH PRIKAZA .....</b>	<b>46</b>

## 1. UVOD

Tehnološki napredak se izravno održava na nivo razvijenosti i napretka svake zajednice; počev od ekonomije, gospodarstva, obrazovanja, znanosti, medijima i javnim servisima, medicini, kulturi kao i svim drugim vidovima od životnih interesa kako pojedinca, tako i samog društva u cjelini. Svaki tehnološki napredak uvijek je dobrodošao, prihvatljiv u širokoj ljudskoj populaciji te često uvjetuje određeno postupanje ljudi, njihovu prepoznatljivost i prihvaćenost u modernom dobu. Ubrzani razvoj informacijsko komunikacijske tehnologije, rasprostranjenost baznih stanica u gradovima, dalekovoda, satelitskih antena kao i prisutnost ostalih telekomunikacijskih uređaja koji prate takav tempo razvoja infrastrukturne opreme, osim svojih dobrih osobina i prednosti na život ljudi, način rada i ponašanja, imaju i svoje negativne pojave na ljudsko zdravlje.

Cilj završnog rada je objasniti bežične komunikacijske sustave, njihovu podjelu i princip rada, prikazati kakvo zračenje uzrokuju, kakve negativne posljedice nastaju temeljem zračenja te koje su mjere i zaštite koje ljudi moraju provoditi s ciljem zaštite od neionizirajućeg zračenja. Naslov završnog rada glasi: Negativni učinci bežičnih komunikacijskih sustava na ljudsko zdravlje. Rad je podijeljen u sveukupno šest glavnih cjelina:

1. Uvod
2. Bežični komunikacijski sustavi
3. Pojam i vrste elektromagnetnog zračenja
4. Negativni utjecaj bežičnih komunikacijskih sustava na ljudsko zdravlje
5. Načela i mjere zaštite od zračenja bežičnih komunikacijskih sustava na ljudsko zdravlje
6. Zaključak

U drugom poglavlju je opisan razvoj bežičnih komunikacijskih sustava, njihove vrste te princip rada.

U trećem poglavlju je prikazan pojam elektromagnetnog zračenja i njegove vrste.

U četvrtom poglavlju je prikazano zračenje bežičnih komunikacijskih uređaja te SAR vrijednost.

U petom poglavlju su prikazana načela i mjere zaštite od zračenja bežičnih komunikacijskih sustava na ljudsko zdravlje.

Posljednje poglavlje je zaključak rada, nakon čega slijedi popis literature i ostali prilozi.



## 2. BEŽIČNI KOMUNIKACIJSKI SUSTAVI

Bežične komunikacije su smatrane, temeljem svih mjera, najbrže rastućim segmentom komunikacijske industrije. Potrebno je spomenuti kako su mobilni telefoni postali ključni poslovni alat i dio svakodnevnog života ljudi, te su brzo zamijenile zastarjele žične sustave. Osim toga, bežične lokalne mreže jesu nadopunile ili zamijenile žičane mreže u mnogim domovima, poduzećima i kampusima. Mnoge nove aplikacije, uključujući bežične senzorske mreže, automatizirane autoceste i tvornice, pametne domove i uređaje te daljinsku telemedicinu, su se razvile iz istraživačkih ideja u konkretne sustave [1].

Postoje dva temeljna aspekta bežične komunikacije koji ovo područje čine izazovnim i zanimljivim. Ovi aspekti uglavnom nisu toliko značajni u žičanoj komunikaciji. Prvi je fenomen nestajanja: vremenska varijacija jačine kanala zbog malog učinka višestaznog nestajanja, kao i učinaka većih razmjera kao što je gubitak putanje putem prigušenja udaljenosti i zasjenjenja preprekama. Drugo, za razliku od ožičenog svijeta gdje se svaki par odašiljač-prijemnik često može smatrati izoliranom vezom od točke do točke, bežični korisnici komuniciraju putem zraka i među njima postoje značajne smetnje. Smetnje mogu biti između odašiljača koji komuniciraju sa zajedničkim prijamnikom (npr. uzlazna veza mobilnog sustava), između signala s jednog odašiljača na više prijamnika (npr. silazna veza mobilnog sustava) ili između različitih parova odašiljač-prijemnik (npr. smetnje između korisnika u različitim ćelijama) [2]. Neki primjeri bežičnih komunikacijskih sustava su prikazani u nastavku [3]:

- Telefoni bez koda - koriste radio za povezivanje prijenosne slušalice s namjenskom baznom stanicom na udaljenosti od nekoliko desetaka metara.
- Paging sustavi - komunikacijski sustavi koji emitiraju stranicu sa svake bazne stanice u mreži i šalju kratke poruke pretplatniku.
- Sustavi mobilnog telefona - pružaju bežičnu vezu s PSTN (engl. *Public Switched Telephone Network* - javnom telefonskom mrežom) za bilo koju korisničku lokaciju unutar radijskog dometa sustava.
- Daljinski upravljači za tehnološku kućnu upotrebu.
- Ručni walkie-talkie.
- Bežična tipkovnica i miš.

- Bežični LAN usmjerivač i adapter.

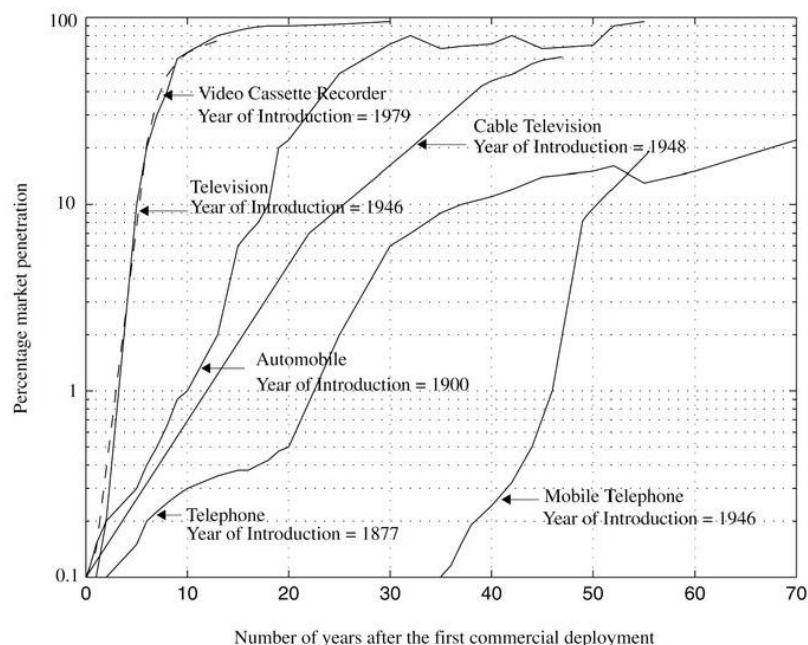
## **2.1. Razvoj bežičnih komunikacijskih sustava**

Postoje mnogi tehnički izazovi koji su se morali riješiti kako bi se omogućio razvoj bežičnih komunikacijskih sustava te obuhvaćaju sve aspekte dizajna sustava. Kako bežični terminali dodaju sve više značajki, ovi uređaji moraju uključivati više načina rada za podršku različitim aplikacijama i medijima. Računala obrađuju glasovne, slikovne, tekstualne i video podatke, ali potrebna su otkrića u dizajnu strujnih krugova za implementaciju iste multimodeoperacije u jeftinom, laganom, ručnom uređaju. Budući da potrošači ne žele velike baterije koje se često moraju puniti, prijenos i obrada signala u prijenosnom terminalu moraju trošiti minimalnu energiju [1].

Žičane mreže uglavnom su dizajnirane prema slojevitom pristupu, pri čemu su protokoli povezani s različitim slojevima rada sustava dizajnirani izolirano, s osnovnim mehanizmima za sučelje između slojeva. Slojevi u bežičnim sustavima uključuju vezu ili fizički sloj, koji upravlja prijenosom bitova preko komunikacijskog medija, pristupni sloj, koji upravlja zajedničkim pristupom komunikacijskom mediju, mrežni i transportni sloj, koji usmjerava podatke preko mreže i osigurava krajnju povezanost od kraja do kraja i isporuka podataka, te aplikacijski sloj, koji diktira brzine prijenosa podataka od kraja do kraja i ograničenja kašnjenja povezana s aplikacijom [1].

Danas bežična komunikacija drastično utječe na način na koji ljudi žive, rade, igraju igre i komuniciraju s ljudima i svijetom. Širom svijeta postoje milijarde pretplatnika na mobilne telefone, a širok raspon uređaja osim telefona koristi mobilnu tehnologiju za svoje povezivanje [4]. Na slici 1 je prikazano kako su mobilni telefoni implementirani u svakodnevni život ljudi u usporedbi s drugim popularnim izumima 20. stoljeća [5].

# The electronics boom



Slika 1: Rast mobilne telefonije u usporedbi s drugim popularnim izumima 20. stoljeća.

Izvor: [5]

Slika 1 također pokazuje da je prvih 35 godina proizvodnje mobilnih telefona slabo prodrlo na tržište zbog visokih troškova i uključenih tehnoloških izazova, no međutim, u proteklom desetljeću potrošači su prihvatili ovu bežičnu komunikaciju po cijenama koje su usporedive s televizijom i videorekorderom [5]. Tehnologija bežične mreže koja koristi Wi-Fi standard također je ugrađena u milijarde uređaja, uključujući pametne telefone, računala, automobile, dronove, kuhinjske uređaje i satove. Satelitski komunikacijski sustavi podržavaju video, glasovne i podatkovne aplikacije za prijemnike na zemlji, u zraku i u svemiru [4].

## 2.2. Vrste bežičnih komunikacijskih sustava

Sveprisutnost bežičnih komunikacija omogućena je rastom i uspjehom bežičnih lokalnih mreža (WLAN), standardiziranih kroz obitelj IEEE 802.11 (Wi-Fi) protokola, kao i

mobilnih mreža. Satelitski sustavi također igraju važnu ulogu u bežičnom ekosustavu. Bežični komunikacijski sustavi podrazumijevaju [4]:

- Wi-Fi sustave,
- Mobilne sustave,
- Satelitske sustave.

Wi-Fi sustav je nastao kao evolucija standarda Ethernet (802.3) za žičane lokalne mreže (LAN). Ethernet tehnologija, razvijena u Xerox Parc-u 1970-ih i standardizirana 1983., široko je prihvaćena tijekom 1980-ih za povezivanje računala, poslužitelja i pisača unutar uredskih zgrada. Danas je Wi-Fi tehnologija sveprisutna i u vrlo udaljenim dijelovima svijeta. Osim svoje sveprisutnosti, Wi-Fi je doveo do velikog razvoja aplikacija izvan izvorne upotrebe povezivanja računala međusobno i njihovih perifernih uređaja. Uz računala, pametne telefone i tablete, mnogi elektronički uređaji danas, od medicinskih uređaja preko hladnjaka do automobila, opremljeni su Wi-Fi mrežom, što im omogućuje preuzimanje novog softvera, razmjenu podataka s drugim uređajima i iskorištavanje prednosti utemeljenih na oblaku pohranjivanje i računanje [4].

Mobilni sustavi još su jedna iznimno uspješna bežična tehnologija. Konvergencija radija i telefonije započela je 1915. godine, kada je prvi put uspostavljen bežični prijenos glasa između New Yorka i San Francisca. Kako bi se zadovoljila rastuća potražnja za bežičnim podacima zajedno s raznolikim zahtjevima za različite vrste bežičnih uređaja, nova generacija mobilnih sustava i standarda pojavila se otprilike svakog desetljeća. Zapravo, ta je vremenska linija bila komprimirana za 1G sustave. Kako su mobilni sustavi u sve većem broju gradova postajali zasićeni potražnjom, razvoj digitalne mobilne tehnologije za povećanje kapaciteta i bolje performanse postao je bitan te je pokrenut proces stvaranja druge generacije (2G) mobilnog standarda u kasnim 1980-ima s implementacijom u ranim 1990-im (glasovna komunikacija, podrška podataka niske brzine . kratki tekstovi i govorna pošta). Nažalost, veliki tržišni potencijal za mobilne telefone doveo je do proliferacije 2G mobilnih standarda, stoga je globalni roaming zahtijevao telefon s više načina rada - treća generacija mobilnih standarda (3G) temeljena na 3GPP standardu, čija je implementacija započela ranih 2000-ih, omogućili su red veličine veće vršne brzine prijenosa podataka od 2G sustava. Ovi razvoji su doveli do sljedeće generacije 4G mobilnog standarda "dugoročne evolucije (LTE)". Ovi sustavi,

postavljeni početkom 2010-ih, podržavali su povećanje vršne brzine prijenosa podataka reda veličine u odnosu na 3G sustave. 5G mobilni standard podržava veće brzine prijenosa podataka od 4G sustava, kao i nižu latenciju i bolju energetska učinkovitost [5].

Satelitski komunikacijski sustavi još su jedna glavna komponenta današnje bežične komunikacijske infrastrukture. Komercijalni satelitski sustavi mogu pružati usluge emitiranja na vrlo širokim područjima, popuniti prazninu u pokrivenosti na lokacijama bez mobilne usluge i omogućiti povezivanje za zračne sustave kao što je Wi-Fi u avionu. Satelitski sustavi LEO postavljeni 1990-ih nisu doživjeli značajan komercijalni uspjeh jer su za većinu korisnika pružali lošije performanse i pokrivenost od konkurentske 2G tehnologije mobilnih telefona po višoj cijeni. Zanimanje za 6 LEO satelita ponovno se pojavilo kada su 4G mobilni sustavi uvedeni zbog povećane potražnje za povezivanjem na udaljenim lokacijama koje ne opslužuju mobilne mreže, boljom tehnologijom za satelite i zemaljske primopredajnike i smanjenim troškovima lansiranja. Značajan komercijalni razvoj LEO satelita pojavio se istodobno s uvođenjem 5G mobilne mreže kao sredstva za pružanje širokopolasne internetske usluge milijardama ljudi diljem svijeta koji nemaju pristup povezivanju velike brzine. Predviđa se da će svaki od takvih sustava postaviti stotine do tisuće satelita [5].

### **2.3. Princip rada bežičnih komunikacijskih sustava**

Princip rada bežičnih komunikacijskih sustava se temelji na:

- radiovalovima,
- antenama.

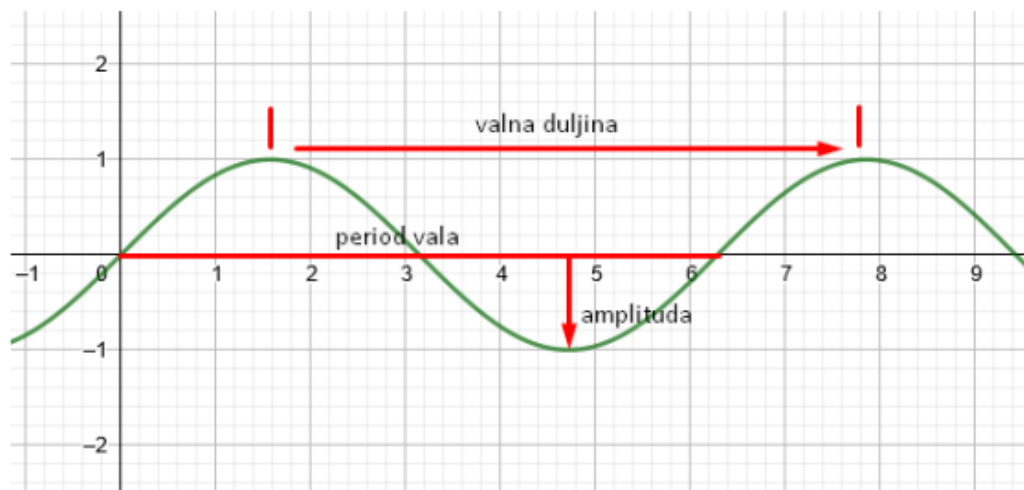
#### **2.3.1. Radiovalovi**

Kako je ranije navedeno, rad bežičnih komunikacijskih sustava se temelji na prijenosu podataka i informacija između uređaja bežičnim putem. Drugim riječima, za prijenos

informacija i podataka nije potrebna prisutnost kabela, već se prijenos temelji na radiovalovima. Komponente radiovalova jesu [6]:

- period vala ( $T$ ) – obuhvaća jedan ciklus promjene perioda koje se odnosi na potrebno vrijeme koje je potrebno za pomicanje vala za jednu valnu duljinu;
- valna duljina ( $\lambda$ ) – obuhvaća udaljenost od jedne do druge točke vala (uzastopni vrhovi);
- frekvencija ( $f$ ) – obuhvaća broj titranja određene čestice unutar jedne sekunde te je obrnuto proporcionalnom periodu vala;
- amplituda ( $A$ ) – obuhvaća najmanju, odnosno najveću vrijednost određenog vala te najveći otklon od srednje vrijednosti veličine koja opisuje val;
- faza vala.

Osnovne veličine valova su prikazane slikom 2.



Slika 2: Osnovne veličine valova

Izvor: [7]

Radiovalovi su smatrani elektroenergetskim valovima čija frekvencija iznosi manje od 3 000 GHz (gigahertza) te koja je adekvatna za valnu dužinu veću od 0,1 mm. Donja granica radiospektra predstavlja frekvencija od 10 kHz (kilohertza), tj. valna duljina od 30 km. Frekvencijski spektar pojave i svojstva koja se pojavljuju tijekom širenja, odnosno prostiranja radiovalova se može podijeliti na sveukupno devet područja (tablica 1) [8].

Tablica 1: Frekvencijska podjela spektra radiovalova

Simbol	Naziv	Opseg frekvencija	Valna duljina	Primjena
ELF	Ekstremno niske frekvencije	3 – 30 Hz	100 000 – 10 000 km	Komunikacija podmornica
SLF	Super niske frekvencije	30 – 300 Hz	10 000 – 1 000 km	Komunikacija podmornica
ULF	Ultra niske frekvencije	300 – 3 000 Hz	1 000 – 100 km	Komunikacija podmornica
VLF	Vrlo niska frekvencija	3 – 30 kHz	100 – 10 km	Navigacija i vremenski signali digitalnih satova
LF	Niska frekvencija	30 – 300 kHz	10 – 1 km	Odašiljanje uz primjenu modulacije amplitude
MF	Srednja frekvencija	300 – 3 000 kHz	1 000 – 100 m	Odašiljanje uz primjenu modulacije amplitude
HF	Visoka frekvencija	3 – 30 MHz	100 – 10 m	Postaje radio stanica
VHF	Vrlo visoka frekvencija	30 – 300 MHz	10 – 1 m	Televizijski signal
UHF	Ultra visoka frekvencija	300 – 3 000 MHz	100 – 10 cm	Bluetooth i bežične lokalne mreže
SHF	Super visoka frekvencija	3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Bežične lokalne mreže i satelitske komunikacije
EHF	Ekstremno visoka frekvencija	30 - 300 GHz	10 – 1 mm	Bežične lokalne mreže (802.11ad protokol)
-	-	300 – 3 000 GHz	1 – 0,1 mm	

Izvor: [7,8]

Radiovalovi se najčešće primjenjuju prilikom fiksnih i radijskih komunikacija, emitiranja ili prijenosa na više različitih odredišta, rada sustava radionavigacije, rada satelitskih

komunikacija i u mrežama računala. Generiraju ih radioodašiljači i odašilju ih u svim različitim smjerovima nakon čega ih radioprijamnici primaju i dekodiraju. Način propagiranja valova u atmosferi ovisi o frekvenciji vala, kako je prikazano tablicom 1. Stoga, postoje valovi koji imaju mogućnost zaobilaznja prepreka i praćenja površine, te postoje valovi koji nemaju tu mogućnosti, zbog čega moraju biti na vidljivom mjestu. Temeljem načina širenja valova, postoje [7,8,9]:

- prostorni val – usmjerava se prema gornjoj atmosferi te se temeljem određenih uvjeta vraća na Zemlju;
- površinski val – val koji slijedi zakrivljenost zemlje i širi se uz njezinu površinu, koju prati od antene odašiljača pa sve do antene prijema;
- izravni val – podrazumijeva pravocrtni val koji se nalazi unutar domene optičke vidljivosti koji se pravocrtnim putem širi od antene odašiljača prema anteni prijema koja se nalazi u području njegove vidljivosti, odnosno iznad horizonta;
- reflektirani val – elektromagnetski val koji prilikom svog putovanja reflektira o zemljinu površinu. Ovdje se radi o radiovalovima niskih frekvencija koji obuhvaćaju površinske i/ili prostorne valove.

Potrebno je obratiti pozornost na moguće smetnje kod valova koje se mogu pojaviti na mjestima preklapanja dvaju ili više valova koji putuju na istom području frekvencija. Smetnje su uzrokovane i atmosferskim utjecajima. Kako bi se spriječila pojava smetnji, međunarodna agencija ITU (engl. *International Telecommunications Union*) regulira brojne donesene standarde i regulacije koje služe za sprečavanje navedenih smetnji [7,9].

### **2.3.2. Antena**

Komponente svakog bežičnog komunikacijskog sustava podrazumijevaju [7]:

- izvor,
- modulator,
- demodulator,
- prijenosni kanal i



- odredište.

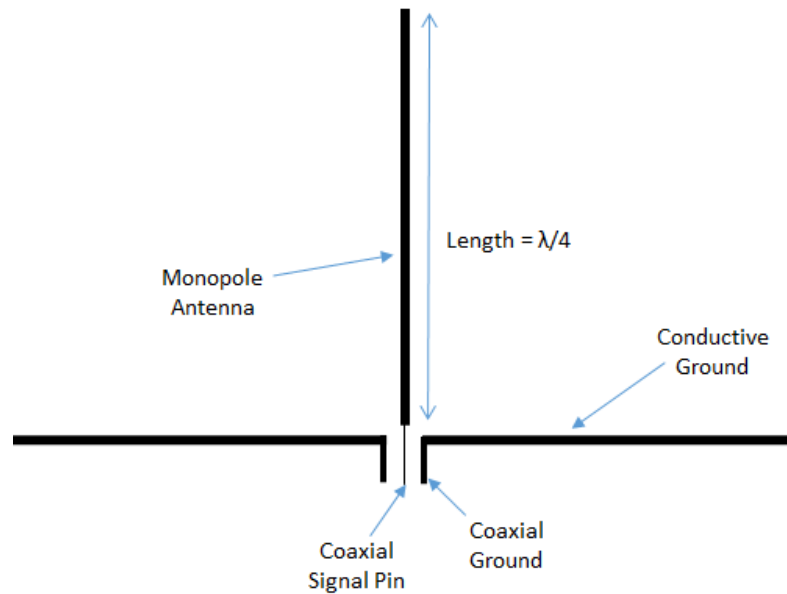
Modulator, tj. demodulator predstavlja ključnu stavku bežičnog i općenitog komunikacijskog sustava. Modulacija općenito predstavlja postupak kojim se obrađuje signal putem kojega se signal informacije utiskuje u prijenosni signal. Stoga, uloga modulatora se ogleda u pretvorbi jednog oblika energije u drugi oblik energije, odnosno u ovome slučaju signala, dok je uloga demodulatora učiniti suprotno. Shodno tome, antena predstavlja uređaj koji elektromagnetsku energiju pretvara u elektromagnetske valove i obrnuto uz primanje i odašiljanje signala. Pomoću različitih parametara (impedancija, potiskivanje sekundarnih latica, dobitak, usmjerenost, širina snopa, kut usmjerenosti, dijagram zračenja i polarizacija) se opisuje antena kako bi se moglo adekvatno procijeniti koja vrsta antene je pogodna za određenu namjenu [10].

S obzirom na raznolikost frekvencijskih pojaseva, postoje različite antene koje se razlikuju temeljem njihove namjene i korištenog frekvencijskog pojasa [10]:

- žičane antene,
- mikrotrakaste antene,
- antene koje se sastoje od više antenskih elemenata (antenski nizovi),
- reflektor antene.

#### 2.3.2.1. Žičane antene

Postoji više oblika žičanih antena, poput L tipa, T tipa, unipola (štap antena), dipola, okvira, parabolične antene, lijevka antene, helikoidne antene i polutalasnog dipola. Najkorištenije žičane antene jesu unipol i dipol antene. Unipol antena (slika 3) predstavlja polu-dipolnu antenu koja je izrađena temeljem određenih izvedbi s ciljem nadoknade nedostataka koje posjeduje u usporedbi s dipolnom antenom [10].



*Slika 3: Unipol antena*

Izvor: [11]

Unipol antena posjeduje jedan vodič (npr. metalni štap) koji se nalazi iznad zemlje ili određene površine s vodljivošću. Jedna strana se kod ove antene povezuje s vodičem od odašiljača ili prijamnika, dok se druga strana povezuje s uzemljenjem. Ove antene se najbolje opisuju kao dipoli, no sastavljane su od jednog vodiča u usporedbi s dipol antenama. Stoga, na dipol antenama se temelje ostale vrste antena. Ovu vrstu antene karakteriziraju dva vodiča koja su simetrično postavljena (slika 4) [10].



*Slika 4: Dipol antena*

Izvor: [12]

Najčešći tip dipol antene predstavlja poluvatni dipol koji se sastoji od dva rezonantna elementa čija dužina iznosi četvrtinu valne duljine. Ova vrsta antene najviše zrači u smjeru koji je okomit na samu antenu te njihov dobitak iznosi 2,15 dBi (dobit koji se izražava u decibelima (dB)). Mogu biti samostalno korištene, no postoji veliki broj izvedaba antena koje su složenije i koje se sastoje također od dipolnih antena [10].

#### 2.3.2.2. Mikrotrakaste antene

Mikrotrakaste antene je moguće podijeliti na [10]:

- pravokutne antene i
- kružne antene.

Ovu vrstu antene karakteriziraju male dimenzije, zračenje u jednu poluravninu i nepogodnost za primjenu u širokom pojasu zbog visokih rezonanci. Potrebno je napomenuti kako se vrlo često primjenjuju s bežičnim tehnologijama jer zauzimaju vrlo malo prostora [10].

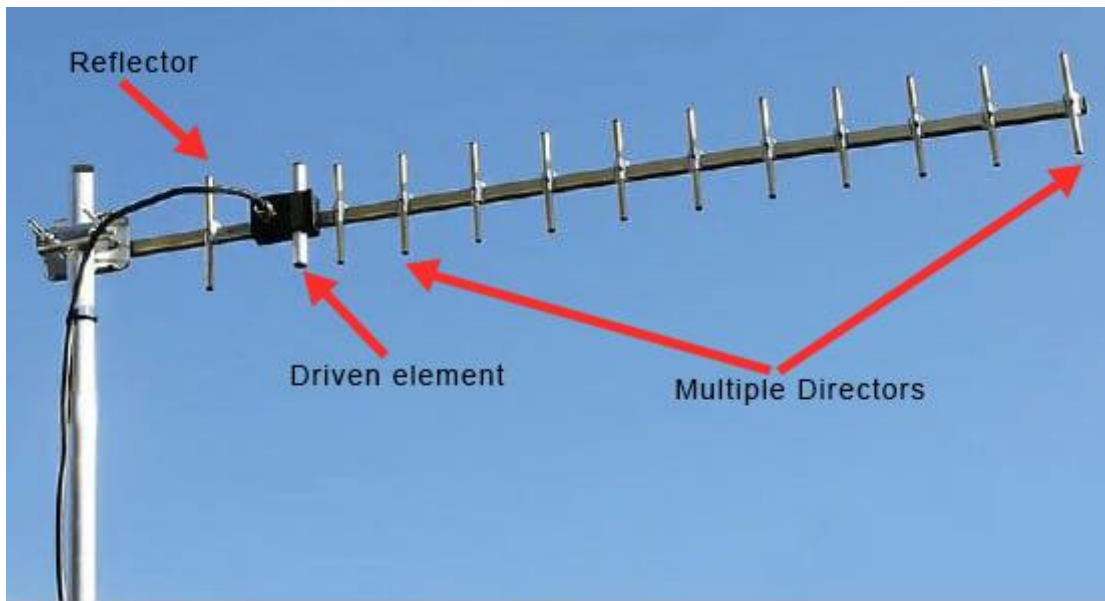
#### 2.3.2.3. Antenski nizovi

Antenski nizovi se sastoje od više antena (istih ili različitih) koje ostvaruju zajednički rad, zbog čega izgleda kao da se radi o samo jednoj anteni. Antenski nizovi obuhvaćaju [10]:

- reflektivne antenske nizove – sastoje se od većeg broja diopolnih antena koje se postavljaju ispred ravne reflektirajuće ploče te se najčešće koriste prilikom odašiljanja UHF signala televizije i kod radara;
- kolinearne antenske nizove – sastoje se od većeg broja diopolnih antena koje se slažu po vertikalnoj liniji, njihove prednosti obuhvaćaju veće zračenje u horizontalnom smjeru, zbog čega dolazi do manje gubitaka snage, dobitak iznosi od 8 do 10 dBi;
- računalno kontrolirane antenske nizove – sastoje se od većeg broja diopolnih antena čije napajanje se vrši putem faznih pomaka koje se odvija računalnim putem, koriste se kod prigušujućih sustava i vojnih radara jer stvaraju snop

radiovalova koji se elektronički mogu usmjeriti prema odabranoj točki u raznim smjerovima bez potrebe za pomicanjem antene.

Jedna od najkorištenijih i najrasprostranjenijih atenskih nizova predstavlja Yagi-Uda antena (slika 5).



Slika 5: Yagi-Uda antena

Izvor: [13]

Dobitak Yagi-Uda antena iznosi od 6 do 20 dBi i najčešće se koristi kod TV prijelnika (UKV područja) [10].

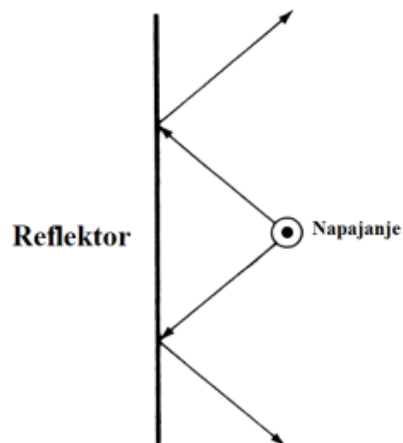
#### 2.3.2.4. Reflektor antene

Reflektor antene su antene koje se najčešće koriste prilikom bežičnih komunikacijskih sustava te se najčešće sastoje od dipolnih antena [7]. Velike antene je moguće izraditi samo uz nizove (poglavlje 2.3.2.3) ili reflektore. Izgradnja antena uz pomoć reflektora se pokazala puno efikasnijom i jednostavnijom u usporedbi s nizovima. Postoje neke vrste reflektora [14]:

- ravni reflektor,
- kutni reflektor,

- parabolni reflektor.

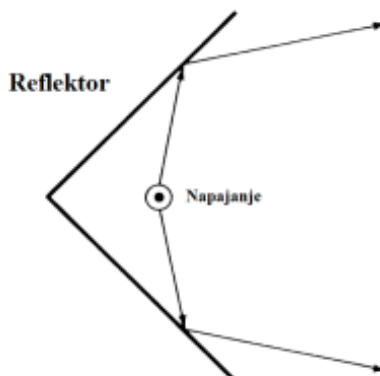
Ravni reflektori (slika 6) se koriste s ciljem eliminiranja zračenja koje je suprotno od smjera u kojem se odvija glavno zračenje. Upotrebljava se najčešće s jednim dipolom ili više njih [15].



*Slika 6: Ravni reflektor*

Izvor: [16]

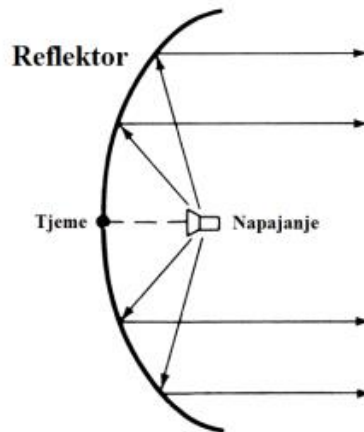
Kutni reflektor (slika 7) se sastoji od dvije površine reflektora koje se međusobno sijeku pod određenim kutom  $\alpha$  dok se izvor nalazi u simetralnoj ravnini, zbog čega se ovdje radi o sustavu koji, u usporedbi s ravnim reflektorom, posjeduje bolju usmjerenost [15].



*Slika 7: Kutni reflektor*

Izvor: [16]

Parabolni reflektori (slika 7) predstavljaju površine koje su sastavni dio plohe parabolnog cilindra ili rotacionog paraboloida te se koriste najčešće kada se radi o višim frekvencijama, posebice u mikrovalnim područjima. Posjeduju velike dobitke koji se kreću od 30 do 40 dB [15].



Slika 8: Parabolni reflektor

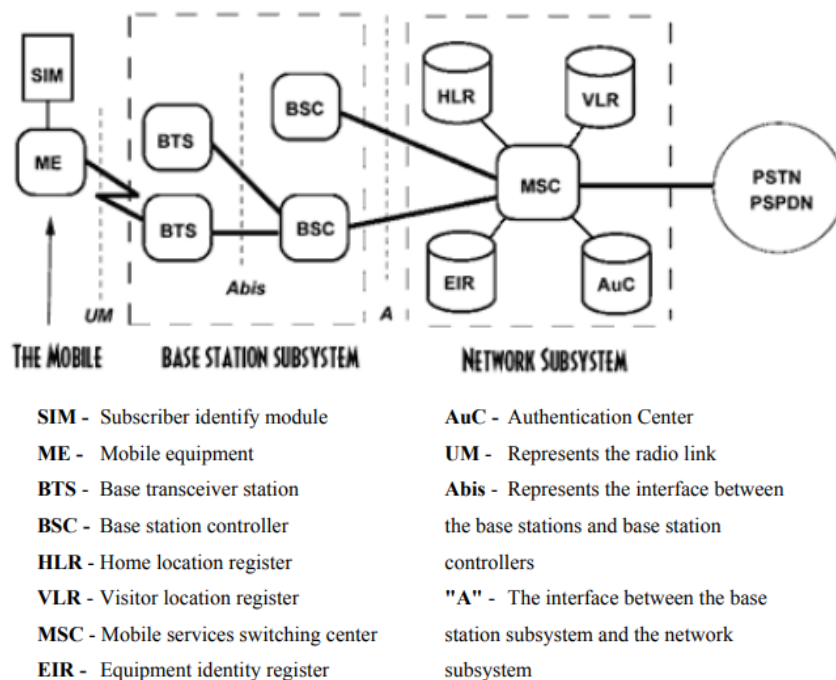
Izvor: [16]

## 2.4. Globalni sustav mobilnih komunikacija (GSM sustav)

Globalni sustav mobilnih komunikacija (engl. *Global System for Mobile communications*) (u nastavku teksta: GSM) je nastao oko 1980-ih godina te se tada počeo razvijati ponajviše u skandinavskim zemljama, Velikoj Britaniji, Francuskoj i Njemačkoj. Svaka od navedenih zemalja je sustav razvijala na svoj način, zbog čega on nije bio kompatibilan s ostalim sustavima. Godine 1982. je došlo do formiranja skupine Groupe Special Mobile koji je mora ustrojiti cjenovno prihvatljiv i kvalitetan mobilni sistem [17].

Struktura GSM mreže sastoji se od sljedećih glavnih dijelova (slika 9) [17]:

- mobilna stanica (engl. *Mobile Station*),
- bazna stanica (engl. *Base Station Subsystem - BSS*),
- mrežni podsustav.



Slika 9: Struktura GSM

Izvor: [17]

Mobilnu stanicu čini mobilna oprema (engl. Mobile Equipment) i SIM kartica (engl. *Subscriber Identity Module*) koje korisniku omogućavaju mobilnost. Mobilna oprema određena je pomoću IMEI-a (engl. *International Mobile Subscriber Equipment*), dok se SIM kartica sastoji od IMSI-a (engl. *International Mobile subscriber Identification*), odnosno međunarodne identifikacije pokretnog pretplatnika pomoću kojeg se korisnik može identificirati sustavu. IMEI i IMSI jesu međusobno nezavisni, zbog čega je korisniku omogućena mobilnost [17].

Baznu stanicu (BSS) čini primopredajni i kontrolni dio. Bazna primopredajna stanica (engl. *Base Transceiver station* – BTS) predstavlja bazu odašiljanja i prijemnika, dok bazna kontrolna stanica (engl. *Base station controller* – BSC) provodi upravljanje BSS. BTS i BSC provode međusobnu komunikaciju pomoću ABIS sučelja koji omogućava komuniciranje između komponenti koje su proizvedene od strane različitih proizvođača [17].

Mrežni podsustav čine [17]:

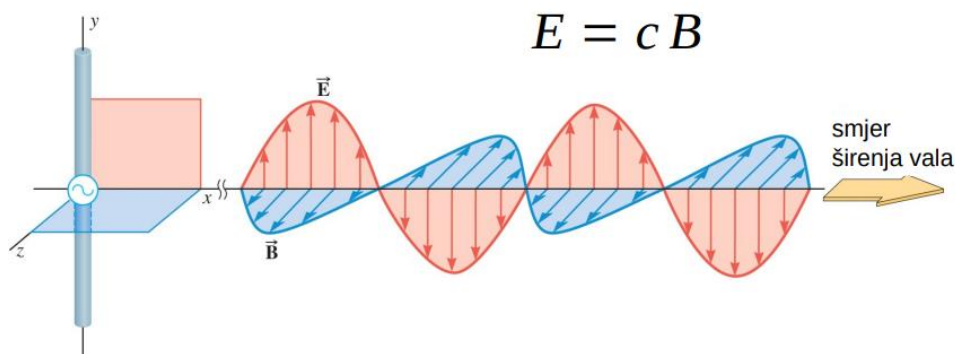
- komutacijski centar mobilnih usluga (engl. *Mobile services switching center* – MSC),
- registar kućne lokacije (engl. *Home Location Register* – HLR),
- registar lokacija posjetitelja (engl. *Visitor Location Register* – VLR).

MSC predstavlja središnju komponentu mrežnog podsustava čije djelovanje je identično kao i kod svakog drugog komutacijskog čvora unutar PTSN ili ISDN sustava te pruža dodatne funkcije mobilne telefonije (autentifikacija, praćenje lokacije korisnika, registracija i usmjeravanje poziva prilikom roaminga). HLR se sastoji od svih podataka o tuzemnim pretplatnicima, korištenim uslugama te trenutne lokacije. VLR se sastoji od podataka o pretplatnicima na njihovoj mreži te ostalih mreža koji se nalaze unutar lokacijskog područja MSC-a na koji se pridružuje VLR [17].



### 3. POJAM I VRSTE ELEKTROMAGNETNOG ZRAČENJA

Pod pojmom elektromagnetskog zračenja podrazumijevaju se elektromagnetski valovi (slika 10) svih duljina. Ovdje se radi o električni nabijenim tijelima koja u svom okolišu stvaraju električno polje u kojem se nalazi električna struja koja kreira magnetsko polje. Shodno tome, nastaju elektromagnetski valovi koji predstavljaju širenje dinamičnog elektromagnetskog polja putem vakuuma ili nekog drugog medija. Elektromagnetski val se koristi s ciljem prenošenja informacija koje se nalaze unutar vala. Bez prijenosa energije nije moguć prijenos informacija [18].



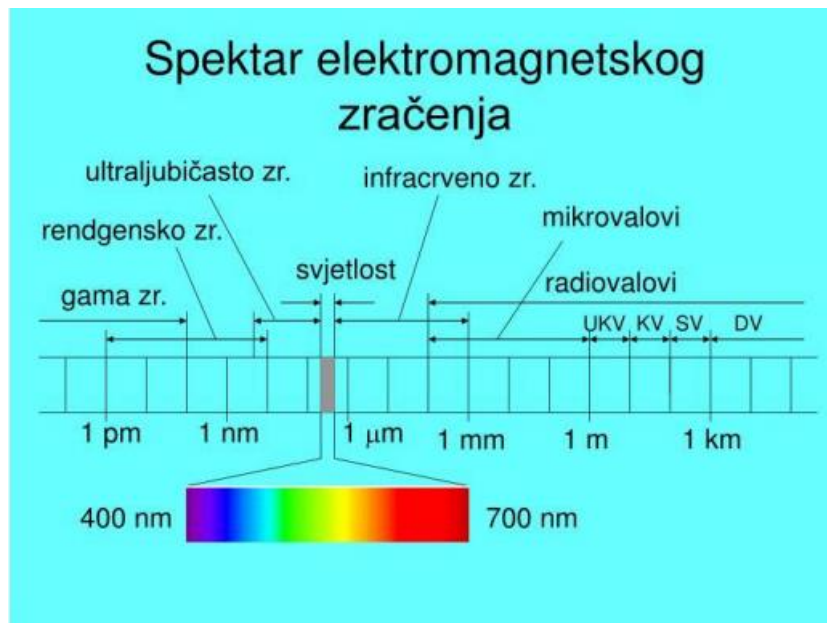
Slika 10: Elektromagnetski val

Izvor: [19]

Oblik elektromagnetskog vala koji je daleko od antene se izražava formulom (1):

$$E = cB$$

Elektromagnetsko zračenje predstavlja val koji se širi u određenom prostoru i kroz materijale te se sastoji od električnih i magnetskih komponenti koje jedna prema drugoj osciliraju u smjeru širenja energije ili vala. S obzirom na to, postoji spektar elektromagnetnih zračenja koji je prikazan slikom 11.



Slika 11: Spektar elektromagnetskog zračenja

Izvor: [20]

Elektromagnetska zračenja je prvenstveno moguće podijeliti na:

- prirodna elektromagnetska zračenja,
- umjetna elektromagnetska zračenja.

Prirodna elektromagnetska zračenja obuhvaćaju zemljino magnetsko polje, atmosfersko elektrostatsko polje, radioaktivnost prirode, sunčevu svjetlost i radijaciju iz svemira. Umjetna zračenja su zračenja koja proizvodi čovjek, a koja se znanstvenim istraživanjima već mogu identificirati kao elektrosmog, koja imaju izravan utjecaj na čovjekov okoliš, zdravlje ljudi, odnosno zdravlje svih oblika života na Zemlji. Razni mikrovalovi iz radijske fuzije, zemaljske i satelitske televizije, navigacijskih vojnih i meteoroloških radarskih sustava kao i aparati i uređaji koji se koriste u industriji, kućanstvu, radnom okruženju stvorili su gustoću u biosferi koja se naziva elektrosmog. Elektromagnetskom smogu pridonosi i ozonska rupa kroz koju do Zemlje dopiru ionizirajući i neionizirajući mikrovalovi Sunca i svemira.

Elektromagnetski smog pokriva sva područja neionizirajućeg zračenja u velikom elektromagnetskom spektru, od statičkih polja, polja ekstremno niskih frekvencija, radiofrekvencija do ultraljubičastih polja najviše frekvencije. Primjeri izvora električnih, magnetskih i elektromagnetskih polja su sva električna i elektronička oprema koja se redovito

koristi, prije svega radio uređaji svih valnih duljina, mobilne radio veze, odašiljači (TV i radio tornjevi, lokalni odašiljači), radari (zrakoplovi, zračne luke, promet), elektrane, trafostanice, dalekovodi, kućanski uređaji (televizori, bojleri, mikrovalne pećnice itd.), prijevoz (tramvaji, elektrificirane željeznice, vozila), industrijske primjene (elektroliza, kaljenje), sustavi protiv krađe, uređaji i oprema medicinskih ustanova [21].

I jedna i druga kategorija elektromagnetskog zračenja mogu biti promjenjive prirode i kao takvi su po svojoj naravi statična polja. Za elektromagnetsko zračenje (tehničko zračenje) temeljem istraživanja utvrđeno je negativno djelovanje na okoliš, a samim time i negativni utjecaj na zdravlje ljudi odnosno na mogući razvoj bolesti kod ljudi kao i kod svih drugih živih organizama i okolišu. Naime, kako je čovjek okružen elektromagnetskim poljima, koji dolaze prirodnim putem, tako je izloženost čovjeku odnosno ljudskom organizmu uvjetovana pristupom i okruženosti električnoj komponenti elektromagnetskog polja.

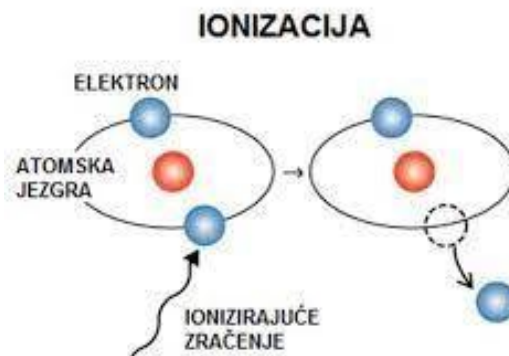
Primjerice, elektromagnetsko zračenje stvara svaki uređaj koji se napaja električnom energijom, odnosno sve povezane instalacije: od dalekovoda, trafostanica do vodiča, baznih stanica, repetitora, računala, kućanskih aparata i uređaja koje koristimo u radnom okruženju (računala, pisači). Elektromagnetsko zračenje opisuje se kao val energije koji prolazi kroz prostor i materiju. Zračenje tvore elektromagnetski valovi različitih frekvencija i valnih duljina koji se kroz prostor i materijale kreću brzinom svjetlosti. Sve frekvencije elektromagnetskog zračenja nazivamo elektromagnetskim spektrom [22].

Temeljem količine energije zračenja, elektromagnetna zračenja mogu se podijeliti na [18]:

- ionizirajuće zračenje,
- neionizirajuće zračenje.

### 3.1. Ionizirajuće zračenje

Atomi se u prirodi nalaze u neutralnom stanju, zbog čega svaki pojedini atom mora posjedovati jednak broj elektrona, odnosno protona. Naboji atoma se međusobno poništavaju, zbog čega se zaključuje kako ne postoji naboj atoma u obliku jedne cjeline. Prilikom vanjskog djelovanja, elektron se iz elektronskog omotača, koji se nalazi unutar atoma, može izbaciti zbog čega jedan od protona može ostati bez kompenzacije naboja u omotaču. Atom predstavlja atom koji je nabijen pomoću pozitivnog naboja, zbog čega se naziva ionom. Stoga, ionizacija (slika 12) predstavlja proces putem kojeg se stvaraju navedene nabijene čestice iz neutralnih čestica. Dok, ionizirajuće zračenje izaziva proces ionizacije [23].



Slika 12: Ionizirajuće zračenje

Izvor: [24]

Sve vrste ionizirajućeg zračenja imaju temeljno zajedničko svojstvo koje se odnosi na njihovo atomsko i subatomske porijeklo. Isto tako, potrebno je spomenuti i još jedno zajedničko svojstvo, njihovu vrlo veliku energiju koja im omogućuje izvršavanje procesa ionizacije. Način izvršavanja ionizacije je različit kada se radi o pojedinim vrstama zračenja. Postoje temeljne dvije skupine ionizirajućeg zračenja koje je moguće razlikovati [23]:

- elektromagnetsko zračenje,
- čestično zračenje.

Elektromagnetsko zračenje, odnosno fotonsko zračenje se razlikuje od ostalih oblika zračenja temeljem vlastite valne frekvencije, prilikom čega je moguće razlikovati rendgenske i

gama zrake. Rendgenske zrake (X - zrake) predstavlja oblik zračenja koje je vrlo slično svjetlosti, no posjeduje veću energiju. Ove zrake su vrlo korisne za medicinsko područje jer omogućuju otkrivanje zloćudnih bolesti. Gama zrake predstavljaju zračenje koje posjeduje najvišu razinu energije u elektromagnetskom spektru te nemaju masu ni električni naboj. Također putuju brzinom svjetlosti te se koriste u medicinskom području [25,26].

Čestično zračenje je zračenje koje nastaje zbog vrlo brzih subatomske čestice te se mogu podijeliti na [23]:

- alfa zračenje,
- beta zračenje,
- neutronske zračenje.

Alfa zračenje je uzrokovano od strane alfa čestice koje sadrže dva protona i dva neutrona koja se međusobno povezuju i tvore jednu česticu čija je jezgra vrlo slična jezgri helija-4. Alfa čestice vrlo često emitiraju velike jezgre koje su radioaktivne poput urana, torija, aktinija i radija te transurantskih elemenata. Beta zračenje je posebno zbog visoke energije elektrona koju karakterizira iznimno velika brzina. Ove čestice se smatraju vrstom ionizirajućeg zračenja koja stvara veće ionizirajuće zračenje u usporedbi s gama zrakama te manje u usporedbi s alfa zrakama. Neutronske zračenje je oblik zračenja koji obuhvaća roj brzih neutrona koji s protonima tvore atomsku jezgru. Shodno tome, kada je neki neutron izvan jezgre, smatra se nestabilnim te se nakon nekog vremena raspada na protone, elektrone i antineutrone. Ne postoji međudjelovanje elektrona i neutrona u atomskom omotaču jer neutron nema djelovanje na magnetsko ni električno polje. Stoga neutron vrlo lako prodire kroz tvar do atomske jezgre zbog čega dolazi do djelovanja nuklearnih sila [23].

### **3.2. Neionizirajuće zračenje**

Neionizirajuće zračenje obuhvaća elektromagnetski spektar, odnosno njegov dio koji obuhvaća slabu fotonsku energiju, koja je nedovoljna za razbijanje atomskih veza koje su smještene u materijalu koji je ozračen, no bez obzira na to, posjeduje vrlo snažan zagrijavajući

efekt. Ljudi su oduvijek izloženi prirodnim izvorima elektromagnetskih polja, poput zračenja sunca, zemljinog magnetskog polja i polja koja su uzrokovana prilikom atmosferskog pražnjenja. No, potrebno je napomenuti kako su prirodni izvori ovog oblika zračenja, u usporedbi s umjetnim izvorima, vrlo slabi [27].

Ljudi su izloženi raznim vrstama prirodnog i umjetnog neionizirajućeg zračenja koje može posjedovati visoke frekvencije koje dolaze od mobilnih telefona, radara, primjene inukcijskih grijača u industriji i slično, te niske frekvencije od dalekovoda. Područje neionizirajućeg zračenja obuhvaća optičko zračenje poput [28]:

- infracrvenog zračenja,
- ultraljubičastog zračenja,
- zračenje vidljivog spektra.

Infracrveno zračenje (IR) je vrsta elektromagnetskog zračenja koje se nalazi između vidljive svjetlosti i radio valova u elektromagnetskom spektru. Ima valne duljine od 0,74  $\mu\text{m}$  (crveni rub vidljive svjetlosti) do oko 100  $\mu\text{m}$  (podrijetlo kratkovalnog radio pojasa) [29]. Nevidljiv oku, može se otkriti kao osjećaj topline na koži. Kućanski uređaji poput grijaćih lampi i tostera koriste IR zračenje za prijenos topline, kao i industrijski grijači poput onih koji se koriste za sušenje i stvrdnjavanje materijala. Infracrveni laseri mogu se koristiti za komunikaciju od točke do točke na udaljenostima od nekoliko stotina metara ili jardi. TV daljinski upravljači koji se oslanjaju na infracrveno zračenje ispaljuju impulse IR energije od svjetleće diode (LED) do IR prijemnika u TV-u [30].

Ultraljubičasto (UV) zračenje uglavnom dolazi od sunca kao dio elektromagnetskog (svjetlosnog) spektra. UV zrake imaju valne duljine kraće od vidljivih zraka, pa ih ljudi također ne mogu vidjeti niti osjetiti. Umjetni izvori UV zračenja uključuju solarije i opremu za zavarivanje. Kada je ljudsko tijelo izloženo UV zračenju, ono proizvodi i otpušta više melanina (pigmenta kože) kako bi apsorbiralo UV zračenje [31].

Vidljivi spektar zračenja predstavlja vrstu zračenja koje je vidljivo ljudskom oku zbog svoje vidljive svjetlosti temeljem boje. Boje predstavljaju minimalne razlike u frekvenciji

vidljive svjetlosti ljudskom oku. Plava i ljubičasta svjetlost posjeduju najkraću valnu duljinu, dok crvena svjetlost posjeduje najdužu [28].

U usporedbi s optičkim zračenjem, radiovalovi i mikrovalno zračenje može prodrijeti dublje u organizam čovjeka te ostvariti utjecaj na njegove unutarnje organe. Ovu vrstu zračenja uzrokuju mikrovalne pećnice, mobiteli, satelitske antene, radari itd. Zračenja iznimno niskih frekvencija se odnosi na izmjeničnu struju te neionizirajuće zračenje od 1 do 30 Hz. S obzirom na to da se radi o niskim frekvencijama čija valna duljina iznosi oko 1 000 km, dolazi do stvaranja statičkih elektromagnetskih polja ekstremno niskih frekvencija koji sadrže električno i magnetsko polje. Električno polje kreira napon čijim povećanjem povećava vlastitu snagu. Magnetska polja jesu stvorena od strane struje koja kola u vodičima te njezino povećanje također povećava njihovu snagu. Drugim riječima, napon proizvodu struju (električno polje) koja dovodi do stvaranja magnetskog polja [28].

#### **4. NEGATIVNI UTJECAJ BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA NA LJUDSKO ZDRAVLJE**

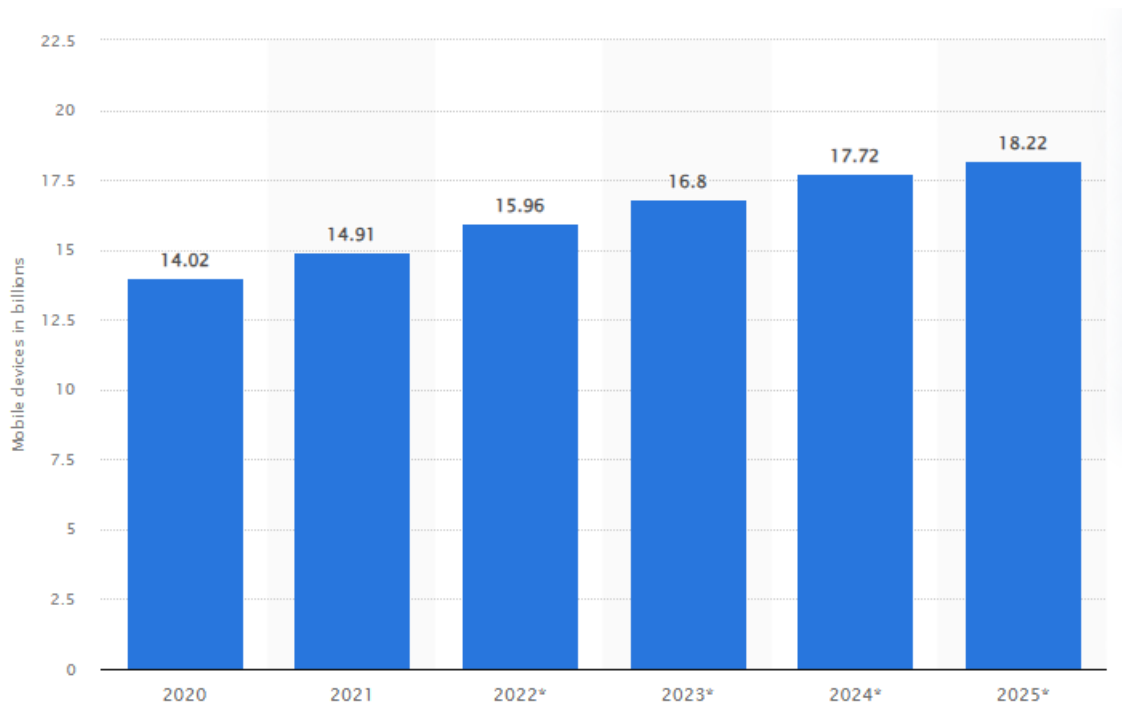
Otkrićem novih spoznaja iz područja znanstvenih znanosti koje obuhvaćaju praćenje i otkriće negativnih pojava, koje su izravno povezane sa utjecajem elektromagnetskog zračenja, uočljivo je da ljudi sve više osvješćuju i negativne posljedice elektromagnetskog zračenja na svoje zdravlje i da se informiraju o načinima zaštite od elektromagnetskog zračenja. Štoviše, opterećenja nastala od strane elektromagnetskih zračenja, temeljem mnogih spoznaja, mogu izazvati biokemijske promjene i stalan stres unutar ljudskog središnjeg živčanog sustava, što izravno utječe na između ostalih tegoba, psihička oštećenja i poremećaje funkcija mozga [21].

Brzi razvoj telekomunikacija je doveo do proširenja elektromagnetskog onečišćenja okoliša u cijelom svijetu i to naročito kada se radi o području visokih frekvencija. Kod visokofrekventnih unutarnjih ili vanjskih izvora elektromagnetskog zračenja poput mobilnih terminalnih uređaja, WLAN usmjerivača, repetitora odašiljača, mobilnih uređaja, bežičnih fiksnih telefona, računala kao i ostalih uređaja posljednjih desetak godina znatno se povećala brzina i količina bežičnog prijenosa podataka te posljedično se povećala i količina zračenja. To uključuje i veću cjelodnevnu izloženost zračenju, na radnom mjestu, javnim ustanovama, u stambenom prostoru; kući, stanu odnosno na bilo kojem javno dostupnom mjestu/prostoru [20]. Dakle, ovdje se radi o neionizirajućem zračenju, koje se danas nalazi svuda oko ljudi. Dosada je provedeno brojno istraživanja koja bi dokazala štetnost neionizirajućeg zračenja, no rezultati nisu pokazali štetnost ali niti potpunu bezopasnost [32].

Uznapredovanim razvitkom gospodarstva kao i razvojem cjelokupnog sektora informacijske tehnologije u svijetu, brzina mijenjanja i unaprijeđena mobilne tehnologije, zasigurno ne može istovremeno pratiti osviještenost ljudi u svezi zaštite od negativnih posljedica pri upotrebi mobilne telefonije kao i neophodnost pravovremenog informiranja o pravilnom korištenju bežičnih uređaja. Prema zadnjim podacima, u 2021. broj mobilnih uređaja koji rade u cijelom svijetu iznosio je gotovo 15 milijardi, u odnosu na nešto više od 14 milijardi prethodne godine. Očekuje se da će broj mobilnih uređaja do 2025. dosegnuti 18,22



milijarde, što je povećanje od 4,2 milijarde uređaja u usporedbi s razinama iz 2020. godine (slika 13) [33].



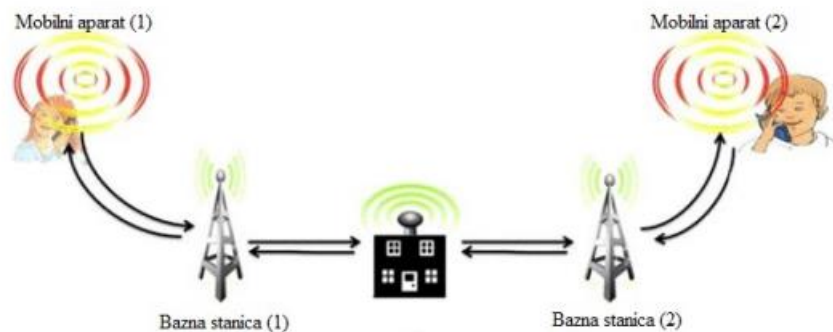
*Slika 13: Predviđeni broj mobilnih uređaja u svijetu od 2020. do 2025. (u milijardama)\**

Izvor: [34]

Uočena je raširenost bežičnih mobilnih uređaja i tehnologije kod sve mlađe populacije odnosno maloljetne djece, koji uz dobro snalaženje u raznim aplikacijama, bez nadzora odraslih osoba i bez vremenskog ograničenja, zasigurno su izloženi negativnim posljedicama na svoje zdravlje. Nadalje, promjena radnih uvjeta i rad od kuće za vrijeme svjetske pandemije COVID-19 je omogućio i uvjetovao drugačije funkcioniranje ljudi te više ne postoji, kako fizički tako niti psihički, odmak od mobilnih telefona. Međutim, pri tome dolazi do nesvjesnog zanemarivanja ljudskog zdravlja, kao i dostupnih informacija o svim vidovima i mogućnostima korištenja bežičnih uređaja na siguran način [35]. U nastavku rada je naglasak stavljen na mobilne telefone s obzirom na njihovu vrlo raširenu primjenu kod ljudi.

#### 4.1. Zračenje bežičnih komunikacijskih uređaja

Prilikom uspostave poziva na mobilnom telefonu dolazi do slanja radiosignala sve do bazne stanice koja je najbliža i koja radiosignal prenosi sve do ostalih mobilnih telefona ili fiksne mreže (slika 14) [32].

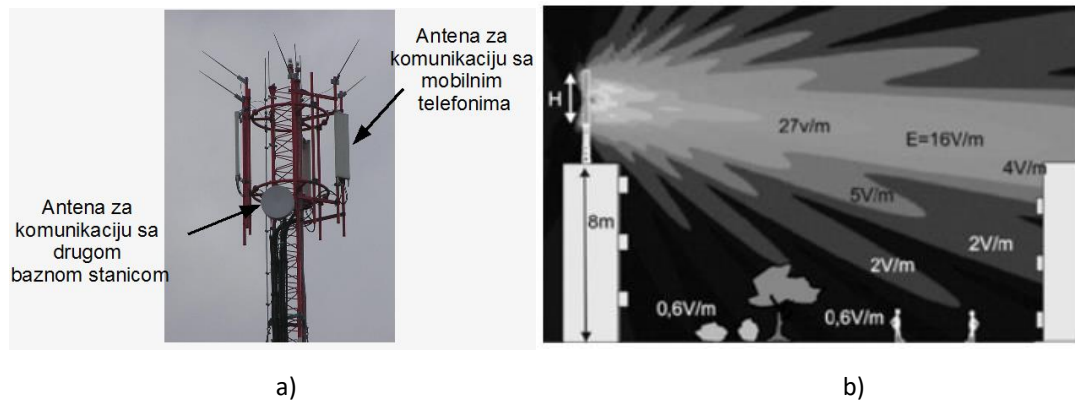


Slika 14: Uspostava poziva s mobilnog telefona do najbliže bazne stanice

Izvor: [36]

Mobilni telefoni i odašiljači koji su postavljeni na baznim stanicama stvaraju radiovalove koji su vrlo slični onima koje stvaraju odašiljači televizije i radiouradaja. Shodno tome, može se reći kako prilikom razgovora mobilni telefoni provode svojevrsnu komunikaciju s baznim stanicama. Podatci, informacije i govor se putem mobilnih telefona pretvaraju u signale i prenose se pomoću elektromagnetskih valova sve do baznih stanica, zatim do druge bazne stanice koja provodi komunikaciju s mobilnim telefonom na koji je prvotno poziv upućen s prvog mobilnog telefona. Bazna stanica sadrži antenu, nosač i elektronski sklop koji su međusobno raspoređeni tako da bi svaka bazna stanica mogla pokriti određeni dio područja. Antena, koja je smještena na vrhu nosača, odašilje elektromagnetske valove koji se pravocrtnim putem odašilju u prostor. S ciljem uspostavljanja komunikacije, mobilni telefon odašilje signal kojim ostvaruje kontakt s baznom stanicom koja može biti velika ili mala. Bazne stanice se postavljaju uglavnom na udaljenostima između 200 i 500 m kada se radi o gradovima, dok se u ruralnim područjima postavljaju na udaljenostima od 2 do 5 km. Broj postavljenih baznih stanica se određuje temeljem okoline i broja veza koje je potrebno ostvariti u isto vrijeme [32].

Zračenje, pored mobilnih telefona uzrokuju i bazne stanice (slika 15a), i to snagom nekoliko puta jačom nego mobilni telefoni. Veća udaljenost između mobilnog telefona i bazne stanice podrazumijeva manju količinu elektromagnetskog zračenja (slika 15b) [32].



Slika 15: Bazna stanica: a) uloga b) zračenje

Izvor: [32,37]

Prilikom uspostavljanja komunikacije između mobilnog telefona i bazne stanice, mobilni telefon, u usporedbi s baznom stanicom, kako bi ostvario komunikaciju, mora koristiti veću količinu snage. Shodno tome, u slučaju gustog raspoređivanja baznih stanica na jednom području, dolazi do zračenja manjom energijom zbog pokrivanja manjeg područja, dok mobilni telefon neće morati upotrebljavati veliku količinu snage s ciljem uspostavljanja komunikacije. Ovdje ne postoji zabrinutost oko mogućeg zračenja, osim ako su antene s puno radiofrekventne energije usmjerene na tijelo korisnika [32].

Novi sustavi komunikacije koji se temelje na novim bežičnim tehnologijama olakšavaju interakciju između ljudi, zajedničkih objekata i između ljudi i objekata, bilo gdje i bilo kada. Stvoreni su novi koncepti, kao što su internet stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) i stroj-stroj (engl. *Machine to Machine* - M2M). S druge strane, širenje upotrebe novih komunikacijskih aplikacija temeljenih na bežičnim tehnologijama uključilo je povećanje razine elektromagnetskih polja u ljudskim okruženjima. Elektromagnetska polja stvaraju veliki izbor izvora zračenja, poput električne opreme, osobnih komunikacijskih uređaja, uredske opreme i potrošačkih proizvoda. Korištenje bežičnih komunikacija utječe na elektromagnetsko okruženje, a kao posljedica toga postoji implicitna potreba za osiguranjem sigurnosti

profesionalne i opće javnosti, kao i ispravnih radnih uvjeta električne i elektroničke opreme i ostalih korištenih uređaja [38].

Kako je ranije navedeno, provedeno je puno istraživanja o mogućim zdravstvenim učincima izloženosti elektromagnetskim poljima bežičnih komunikacijskih tehnologija koje emitiraju mobilni telefoni, Wi-Fi usmjerivači, bluetooth uređaji, prijenosna računala, i tako dalje. Rezultati određenih istraživanja su pokazala kako prethodno navedeni uređaji emitiraju štetna zračenja koja uzrokuju mnoge bolesti kao što su muška neplodnost, rizik od pobačaja, tumor na mozgu, oštećenje sluha uha, učinak na fetus, povećanje rizika od raka, Parkinsonove bolesti, Alzheimerove bolesti, bolesti srca, astma, nesanica, leukemija, visoki krvni tlak, urođene mane, reumatoidni artritis i imunološki sustav. Zračenje je također uzrok nekih simptoma kao što su umor, poremećaj sna, glavobolja itd. [39]. No, veliki broj istraživanja koje je provedeno dali su proturječne rezultate, što otežava donošenje konačnih zaključaka o utjecaju bežične komunikacije na ljudsko zdravlje [40].

Upravo radi smanjenja štetnosti i moguće zlouporabe korištenja mobilnih telefona u svakodnevnom životu, takoreći 24 sata dnevno, neophodni su dodatni naponi putem primjerice; javnih kampanja s ciljem osvješćivanja pravilnog korištenja bežičnih tehnologija, posebice mobilnih uređaja radi njihove rasprostranjenosti. Svim korisnicima bi se trebala omogućiti dostupnost relevantnih informacija o mobilnim uređajima, primjerice; pomoć pri razumijevanju tehničkih specifikacija prilikom kupnje mobilnog uređaja, informacije o preporučenim dnevnom korištenju mobitela, o načinima prehrane kao i praćenju svih preporuka i smjernica nadležnih institucija koje su zakonski ovlaštene za provođenja nadzora u slučajevima prekomjernog neionizirajućeg zračenja [35].

Kao odgovor na ovu zabrinutost, mnoge su organizacije razvile smjernice i sigurnosne standarde za korištenje bežičnih komunikacijskih tehnologija. Federalna komisija za komunikacije (engl. *Federal Communications Commission* - FCC), na primjer, uspostavila je ograničenja količine zračenja koju elektronički uređaji mogu emitirati i zahtijeva od proizvođača da testiraju svoje proizvode kako bi osigurali da zadovoljavaju te standarde. Osim toga, mnoge zemlje su uspostavile smjernice za korištenje bežičnih komunikacijskih tehnologija u školama i drugim javnim prostorima, kako bi se potencijalni zdravstveni rizici

sveli na najmanju moguću mjeru. Postoje i koraci koje pojedinci mogu poduzeti kako bi smanjili svoju izloženost elektromagnetskim poljima iz bežičnih komunikacijskih tehnologija. Na primjer, preporuča se da pojedinci koriste *hands-free* uređaje kada koriste mobitele, kako bi se smanjila količina zračenja koju tijelo apsorbira. Osim toga, pojedinci mogu smanjiti svoju izloženost elektromagnetskim poljima ograničavanjem upotrebe elektroničkih uređaja, osobito noću kada je tijelo osjetljivije na učinke zračenja [40].

Stoga, iako postoje neki dokazi koji upućuju na to da bi izloženost elektromagnetskim poljima bežičnih komunikacijskih tehnologija mogla imati potencijalne zdravstvene rizike, istraživanja na ovu temu još su u ranoj fazi i potrebno je više istraživanja kako bi se u potpunosti razumio utjecaj bežične komunikacije na ljudsko tijelo. Usklađujući prednosti bežične komunikacije s potencijalnim zdravstvenim rizicima, možemo osigurati da te tehnologije i dalje igraju važnu ulogu u našim životima, a istovremeno štite naše zdravlje [40].

Također, neophodno je poboljšati komunikaciju između svih dionika koji su povezani u lancu koja se odnosi na bežični komunikacijski sustav, počev od proizvođača, operatera, ovlaštenih osoba za prodaju i servis, do državnih institucija i javnih ustanova do krajnjeg korisnika, o nužnosti bolje i brže edukacije o načinu korištenja bežične tehnologije. Isto uključuje informiranje pomoću svih dostupnih vidova komunikacije, primjerice; poruka i reklama putem servisa javnih medija, održavanja radionica, seminara i okruglih stolova itd., a sve u cilju davanja preporuka i savjeta za pametno korištenje mobilne telefonije u cilju vođenja brige o zdravlju te da isto bude dostupno cijeloj društvenoj zajednici, počev od djece vrtićke dobi, osnovne i srednjoškolske dobi, studenata, zaposlenika, starije populacije, s posebnom naglaskom na unaprjeđenje radnih uvjeta i poboljšanje cjelokupnog životnog okruženja pri uporabi bežične tehnologije [35].

## **4.2. SAR vrijednost**

Specifična apsorbirana snaga (engl. *Specific Absorption Rate* – SAR) predstavlja mjeru brzine kojom se apsorbira energija temeljem jedinice mase biološkog tkiva. SAR se izražava u

mjernoj jedinici W/kg, odnosno vatima po kilogramu [32]. Postoji značajna zabuna i nesporazum oko značenja maksimalne prijavljene vrijednosti SAR-a za mobilne telefone (i druge bežične uređaje). SAR je mjera stope apsorpcije radiofrekventne energije od strane tijela od izvora koji se mjeri, poput primjerice mobilnog telefona. SAR pruža jednostavan način za mjerenje karakteristika radiofrekventne izloženosti mobilnih telefona kako bi se osiguralo da su unutar sigurnosnih smjernica koje je odredila FCC. Vrijednosti SAR-a koje je prikupio FCC imaju za cilj samo osigurati da mobilni telefon ne premaši FCC-ove maksimalno dopuštene razine izloženosti čak i kada radi u uvjetima koji rezultiraju najvećom mogućom, ali ne i tipičnom apsorpcijom radiofrekventne energije za uređaj korisnika [41].

SAR obuhvaća informacije poput vrste izvora, frekvencije rada i vremenskog trajanja izlaganja. Prilikom izlaganja velikim elektromagnetskim poljima potrebno je obratiti pozornost na lokaciju antene izvora, dielektričnu strukturu tijela čovjeka te učincima prirode elektrostatičkih i vodljivih polja, fokusiranja elektromagnetskih polja i stojnog vala. SAR vrijednost se izračunava temeljem jednadžbe (2) [32]:

$$SAR = E^2 \cdot \sigma / \rho \ [W/kg]$$

SAR [W/kg] – specifična apsorbirana snaga

E [W/m] – snaga električnog polja

$\sigma$  [S/m] - električna vodljivost tkiva

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] - gustoća tkiva

Temeljem Pravilnika o zaštiti od elektromagnetskih polja dopuštena apsorbirana snaga za cijelo tijelo iznosi 0,08 W/kg te za glavu i trup iznosi 2,0 W/kg [40]. SAR testiranje koristi standardizirane modele ljudske glave i tijela koji su napunjeni tekućinama koje simuliraju karakteristike radiofrekventne apsorpcije različitih ljudskih tkiva. Kako bi se utvrdila usklađenost, svaki se mobilni telefon testira dok radi na najvišoj razini snage u svim frekvencijskim pojasima u kojima radi, te u različitim specifičnim položajima uz glavu i tijelo lutke, kako bi se simulirao način na koji različiti korisnici obično drže mobitel, uključujući sa svake strane glave. Za testiranje usklađenosti mobilnih telefona s SAR-om, telefon se precizno postavlja na različite uobičajene položaje pored glave i tijela, a robotska sonda provodi niz

mjerenja električnog polja na određenim točkama u vrlo preciznom uzorku poput mreže unutar glave i torza lutke. Svi podaci za svako postavljanje telefona dostavljaju se kao dio izvješća o ispitivanju odobrenja opreme za konačno odobrenje. Međutim, samo najviše SAR vrijednosti za svaki frekvencijski pojas uključene su u konačno odobrenje kako bi se dokazala usklađenost s FCC radiofrekventnim smjericama (tablica 2) [42].

Tablica 2: Ograničenja za najveću moguću izloženost

Frekvencijski raspon (MHz)	Snaga električnog polja (V/m)	Snaga magnetskog polja (A/m)	Gustoća snage (mW/cm <sup>2</sup> )	Vrijeme usrednjavanja (minute)
<b>(i) Ograničenja za profesionalnu/kontroliranu izloženost</b>				
0.3-3.0	614	1.63	*(100)	≤ 6
3.0-30	1842/f	4.89/f	*(900/f <sup>2</sup> )	<6
30-300	61.4	0.163	1.0	<6
300-1,500			f/300	<6
1,500-100,000			5	<6
<b>(ii) Ograničenja za opću populaciju/nekontrolirano izlaganje</b>				
0.3-1.34	614	1.63	*(100)	<30
1.34-30	824/f	2.19/f	*(180/f <sup>2</sup> )	<30
30-300	27.5	0.073	0.2	<30
300-1,500			f/1500	<30
1,500-100,000			1.0	<30

f = frekvencija u MHz. \* = Gustoća snage ekvivalenta ravnog vala.

Izvor: [43]

Ova ograničenja SAR-a koja se koriste za procjenu općenito se temelje na kriterijima koje je objavio Američki nacionalni institut za standarde (engl. *American National Standards Institute* - ANSI) za lokalizirani SAR u odjeljku 4.2 „IEEE standarda za sigurnosne razine s obzirom na izloženost ljudi radiofrekventnim elektromagnetskim poljima, od 3 kHz do 300 GHz,“. Ovi kriteriji za procjenu SAR-a slični su onima koje preporučuje Nacionalno vijeće na Zaštita od zračenja i mjerenja (engl. *National Council on Radiation Protection and Measurements* - NCRP) u “Biološkim učincima i kriterijima izloženosti radiofrekvencijskim elektromagnetskim poljima,“ NCRP izvješće br. 86. Ograničenja za SAR za cijelo tijelo i vršni prostorni- prosječni SAR temelji se na preporukama iz oba ova dokumenta. Ograničenja u tablici 2 općenito se temelje na kriterijima koje je objavio NCRP u "Biološkim učincima i kriterijima izloženosti radiofrekvencijskim elektromagnetskim poljima" [42].



## **5. NAČELA I MJERE ZAŠTITE OD ZRAČENJA BEŽIČNIH KOMUNIKACIJSKIH SUSTAVA NA LJUDSKO ZDRAVLJE**

S obzirom na negativne učinke na zdravlje ljudi uzrokovane primjenom bežičnih komunikacijskih sustava, od iznimne je važnosti da se zakonodavstvo Republike Hrvatske o elektromagnetskom zračenju uskladi sa smjernicama i novim direktivama EU, i to: o zaštiti i primjeni na radu izravno ili neizravno vezano uz zaštitu zdravlja ljudi zakonodavni okvir za sve metode i postupke zaštite. U Republici Hrvatskoj zakonska regulativa u području zaštite od elektromagnetskog polja je u nadležnosti i djelokrugu Ministarstva zdravstva, a koja se uglavnom odnosi na provođenje mjera zaštite od neionizirajućeg zračenja sukladno Zakonu o zaštiti od neionizirajućeg zračenja i Pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja te o kontroli razine elektromagnetskih polja u blizini izvora elektromagnetskih polja i njihovih učinaka na zdravlje stanovništva [41,44,45].

Korištenjem različitih štitova dovoljne debljine (izrađenih od različitih materijala), zračenje iza štita može se smanjiti na dovoljno nisku razinu da više ne predstavlja opasnost za zdravlje korisnika i okoliš. Korisnik uvijek mora nositi zaštitnu odjeću od mješavine nikla ili olova i zaštitne naočale protiv zračenja. Drugi oblik zaštite je što dalje odmaknuti se od izvora zračenja (intenzitet snopa zračenja opada s kvadratom udaljenosti od izvora zračenja), a treći je minimalizirati izloženost zračenju. Dakle, skraćivanjem vremena izlaganja zračenju može se i zaštititi od zračenja. Sve ove metode služe za zaštitu pri radu s radioaktivnim izvorima, a učinkovite su i za druge, manje štetne vrste zračenja. Ako se dokaže ili čak sumnja da dio opreme ima štetne učinke na okoliš, a time i na zdravlje osoba koje koriste opremu ili se nalaze u blizini opreme, potrebno je primijeniti odgovarajuću zaštitu kako bi se takva opasnost uklonila ili svela na minimum [32].

## 5.1. Načela zaštite

Načela zaštite od neionizirajućeg zračenja su propisane Zakonom o zaštiti od neionizirajućeg zračenja te podrazumijevaju [45]:

- načelo predostrožnosti,
- načelo ograničenja izlaganja neionizirajućem zračenju.

Načelo predostrožnosti odnosi se na provođenje mjera zaštite pomoću kojih se sprečava ili smanjuje štetni i negativni učinak na život i zdravlje ljudi koji obavljaju djelatnost koja je usko povezana s izvorima neionizirajućeg zračenja te osoba koje su izložene istome [45].

Načelo ograničenja izlaganja neionizirajućem zračenju odnosi se na utvrđivanje gornje granice koja određuje dopuštenu izloženost ljudi prema neionizirajućem zračenju i primjenu granica na najveću razinu neionizirajućeg zračenja koju njegov izvor može emitirati [45].

## 5.2. Mjere zaštite

Postoje određene mjere kojima je moguće poduzeti adekvatnu zaštitu od neionizirajućeg zračenja, poput [32,45]:

- propisivanja graničnih razina i kontrole izloženosti ljudi prema neionizirajućem zračenju,
- provođenja proračuna i procjene razine zračenja u okolišu u kojem se nalazi izvor neionizirajućeg zračenja,
- provođenja mjerenja razine zračenja u okolišu u kojem se nalazi izvor neionizirajućeg zračenja,
- procjenjivanja vremenskog ograničavanja izloženosti ljudi u neionizirajućem zračenju,
- označavanja izvora neionizirajućeg zračenja i prostora u kojem se nalaze,

- određivanja i propisivanja uvjeta vezanih uz nabavu, smještaj i upotrebu izvora neionizirajućeg zračenja,
- provođenja obrazovanja i stručnog usavršavanja rukovatelja zaštite od neionizirajućeg zračenja,
- utvrđivanja i praćenja zdravstvenog stanja osoba koje rade na mjestima neionizirajućeg zračenja,
- osobne i uzajamne zaštite ljudi od nepotrebnog izlaganja neionizirajućem zračenju,
- osiguranja stručnih radnika te financijskih, tehničkih i ostalih uvjeta koji su potrebni kako bi se adekvatno provele mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja,
- vođenja evidencija o izvorima neionizirajućeg zračenja i izloženosti rukovatelja istima,
- provođenja nadzora nad izvorima i primjenama mjera zaštite od neionizirajućeg zračenja.

Zaključno, potrebno je voditi evidenciju o zračenju korisnika opreme u razdoblju koje odredi zakonodavac, čime će se na temelju velikih kontroliranih (statističkih) skupina postupno stjecati saznanja o rizicima neionizirajućeg zračenja. Naknadno se mogu promijeniti i navike pri primjeni neionizirajućeg zračenja na temelju prijašnjih nekritičnih izlaganja korisnika. Sustavna edukacija svih korisnika bežične tehnologije o suvremenim spoznajama o štetnosti neionizirajućeg zračenja, kao i međunarodne preporuke, ostaju mogući ključ rješenja. Iako su bežični uređaji korisni i mogu nam pomoći u radu i svakodnevnom privatnom životu, zaštita našeg zdravlja i sigurnosti mora biti na prvom mjestu [32].

## 6. ZAKLJUČAK

Ubrzani porast bežičnih komunikacijskih sustava ima utjecaj na porast korisnika u cjelokupnoj ljudskoj populaciji i to bez obzira; gdje žive, njihovu dobnu strukturu, standard života, stupanj obrazovanja, uvjete rada i privatni život. Tijekom svog životnoga vijeka, čovjek je svakodnevno izložen različitim zračenjima od kojih većina, pri umjerenoj izloženosti, ne utječe na zdravlje. Kada govorimo o elektromagnetskom zračenju radi se o tipu zračenja koje obuhvaća elektromagnetske valove svih duljina; ionizirajuće i neionizirajuće tj. infracrvenom zračenju, ultraljubičastom zračenju, rendgenskom zračenju te gama-zračenju. Elektromagnetsko zračenje kao elektromagnetsko onečišćenje, utječe na različite elemente okoliša, među elementima tog okoliša na prvo mjesto stavljaju se svi živi organizmi, koji kao takvi su izloženi različitim vrstama elektromagnetskog onečišćenja. Posljedice elektromagnetskog zračenja, neionizirajućeg zračenja najčešće su po okoliš i ljudsko zdravlje. Do pojave jakog onečišćenja okoliša koji se događa pod utjecajem elektromagnetskog zračenja koje se naziva elektrosmogom, koji dokazano izaziva elektrostres ljudskom organizmu. Brzim napretkom tehnologije i dobro opskrbljenim i dostupnom tržištu raznih modela računala i mobilnih uređaja, isto neminovno dovodi do njihove povećane prodaje i uporabe. Kada govorimo o mobilnoj telefoniji, često se u negativnom kontekstu spominje elektromagnetsko zračenje, budući da sve veća i masovna uporaba tih uređaja je u osnovi emitiranje, prijenos i primanje neionizirajućih elektromagnetskih valova. Broj korisnika koji su prepoznali prednosti mobilne komunikacije stalno raste u cijelom svijetu, tako i u Republici Hrvatskoj. Dobrobiti korištenja bežičnih komunikacijskih sustava su više nego dobrodošle ali uz pravo i obvezu svake osobe kao i društva u cjelini da svaki tehnološki pa i civilizacijski pomak prihvati sa svim njegovim dobrim i manje dobrim stranama. Briga o zdravlju odnosno smanjenje negativnih posljedica elektromagnetnog zračenja mora uključiti sinergiju i zajednički rad svih nadležnih institucija, javnih ustanova, organizacija civilnog društva, društva u cjelini kao i samog pojedinca da bežične komunikacijske sustave koristi na pravilan i odgovoran način, kako u radnoj okolini tako i u svom privatnom životu. Praćenje svih pojava koji su od izrazite važnosti za ljudsko zdravlje, a izravno ili neizravno se mogu povezati sa elektromagnetskim zračenjem, mora biti kontinuirano, brzo i primjenjivo u cilju smanjenju i uklanjanju negativnih posljedica na ljudsko zdravlje. Zakonodavni okvir iz područja zaštite od elektromagnetskog zračenja

odnosno široka primjena bežične komunikacijske sustave mora pratiti smjernice i preporuke EU te provođenjem kvalitetne i pravovremene informacije o načinima zaštite korisnika o negativnim posljedicama elektromagnetskog zračenja, može se postići ravnoteža između brzog napretka komunikacijskih sustava i njegovih korisnika.

## POPIS LITERATURE

- [1] Goldsmith A. *Wireless Communications*. UK: Cambridge University Press; 2005. Preuzeto s: [https://www.academia.edu/34960457/WIRELESS\\_COMMUNICATIONS](https://www.academia.edu/34960457/WIRELESS_COMMUNICATIONS) [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [2] Tse D, Viswanath, P. *Fundamentals of Wireless Communication*. UK: Cambridge University Press; 2005. Preuzeto s: [https://web.stanford.edu/~dtse/papers/press\\_book.pdf](https://web.stanford.edu/~dtse/papers/press_book.pdf) [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [3] Li T. *Introduction to Wireless Communications and Networks*. Preuzeto s: <https://www.egr.msu.edu/~tongli/Introduction-WCN.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [4] Goldsmith A. *Wireless Communications*. 2nd ed. UK: Cambridge University Press; 2020. Preuzeto s: [https://web.stanford.edu/class/ee359/doc/WirelessComm\\_Chp1-16\\_March32020.pdf](https://web.stanford.edu/class/ee359/doc/WirelessComm_Chp1-16_March32020.pdf) [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [5] Madupu A, Bharathi, KV. *Wireless Communications and Networks*. India: Department of Electronics and Communication Engineering; 2021. Preuzeto s: [https://mrcet.com/downloads/digital\\_notes/ECE/IV%20Year/WIRELESS%20COMMUNICATIONS%20AND%20NETWORKS.pdf](https://mrcet.com/downloads/digital_notes/ECE/IV%20Year/WIRELESS%20COMMUNICATIONS%20AND%20NETWORKS.pdf) [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [6] Rogers GS, Edwards J. *An Introduction to Wireless Technology*. New Jersey: Prentice Hall; 2003.
- [7] Srečić A. *Komunikacijske sposobnosti i primjena tehnologije Bluetooth tehnologije*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2018. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:789409> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [8] Fakultet prometnih znanosti. *Radiokomunikacije*. Preuzeto s: <https://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Radiokomunikacije.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [9] Seybold JS. *Introduction to RF Propagation*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2005.
- [10] Stutzman WL, Thiele GA. *Antenna Theory and Design*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2012. Preuzeto s:

- <https://www.iqytechnicalcollege.com/EE%20625%20Radio%20Wave%20Propagation.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [11] Microwave Tools. *Monopole*. Preuzeto s: <https://www.microwavetools.com/monopole/> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [12] Elprocus. *Dipole Antenna: Working & Its Applications*. Preuzeto s: <https://www.elprocus.com/dipole-antenna/> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [13] EverythingRF. *What is a Yagi Antenna?*. 2022. Preuzeto s: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-a-yagi-antenna> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [14] Milligan TA. *Modern Antenna Design*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2005. Preuzeto s: <https://radio-astronomy.org/library/Antenna-design.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [15] Zentner E. *Radiokomunikacije*. Zagreb: Školska knjiga; 1980.
- [16] Balanis CA. *Antenna theory: Analysis and design*. New Jersey: John Wiley and Sons; 2005. Preuzeto s: <https://handoutset.com/wp-content/uploads/2022/02/Antenna-Theory-Analysis-and-Design-3rd-Edition-by-Constantine-A.-Balanis.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [17] Zorić B. Globalni sustav pokretnih komunikacija (GSM). 2007. Preuzeto s: [http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2007/seminari/BorislavZoric\\_GSM.pdf](http://spvp.zesoi.fer.hr/seminari/2007/seminari/BorislavZoric_GSM.pdf) [Pristupljeno: 20. veljače 2024.]
- [18] Christensen DM, Iddins CJ, Sugarman, SL. Ionizing radiation injuries and illnesses. *Emergency Medicine Clinics of North America*. 2014; 32(1): 245–265. Preuzeto s: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24275177/> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [19] Građevinski fakultet Osijek. *Elektromagnetski valovi*. 2023. Preuzeto s: <http://www.gfos.unios.hr/images/p24-elektromagnetski-valovi-2022-2023.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [20] SlideServe. *Spektar elektromagnetskog zračenja*. 2014. Preuzeto s: <https://www.slideserve.com/samuel-buck/spektar-elektromagnetskog-zra-enja> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [21] Fakultet prometnih znanosti. *Promet i ekologija*. Preuzeto s: <http://www.gfos.unios.hr/images/p24-elektromagnetski-valovi-2022-2023.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]

- [22] Zelić D. *Utjecaj antena, radara i odašiljača na zdravlje čovjeka*. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2017. Preuzeto s: <https://core.ac.uk/download/pdf/197495055.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [23] Jakobović Z. *Ionizirajuće zračenje i čovjek*. Zagreb: Školska knjiga; 1991.
- [24] Genially. *Djelovanje ionizirajućeg zračenja na čovjeka i načini zaštite*. 2021. Preuzeto s: <https://view.genial.ly/609681678b586b0d91e0dbd3/interactive-content-copy-basic-infographic> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [25] Novaković M. *Zaštita od ionizirajućih zračenja: propisi u Republici Hrvatskoj s komentarima*. Zagreb: Ekoteh-dozimetrija; 2001.
- [26] Hebrang A, Klarić-Čustović R. *Radiologija*. Zagreb: Medicinska naklada; 2007.
- [27] Vujnovac V. *Utjecaj neionizirajućeg zračenja na zdravlje ljudi*. Diplomski rad. Osijek: Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku; 2012. Preuzeto s: <https://www.mathos.unios.hr/~mdjumic/uploads/diplomski/VUJ33.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [28] Besednik M. *Priručnik za zaštitu od zračenja*. Diplomski rad. Karlovac: Veleučilište u Karlovcu; 2020. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:458334> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [29] Morozhenko V. *Infrared Radiation*. Rijeka: Intech; 2012. Preuzeto s: [http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Infrared\\_Radiation.pdf](http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Infrared_Radiation.pdf) [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [30] Lucas J. *What Is Infrared?*. Live Science; 2019. Preuzeto s: <https://www.livescience.com/50260-infrared-radiation.html> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [31] Health Link BC. *Ultraviolet Radiation*. British Columbia; 2021. Preuzeto s: <https://www.healthlinkbc.ca/sites/default/files/documents/healthfiles/hfile11.pdf> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [32] Pejnović N. Utjecaj bežičnih tehnologija na ljudsko zdravlje. *Sigurnost*. 2009; 51(3): 261-267. Preuzeto s: <https://hrcak.srce.hr/file/64325> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [33] Larricchia F. Number of mobile devices worldwide 2020-2025. *Statista*; 2023. Preuzeto s: <https://www.statista.com/statistics/245501/multiple-mobile-device-ownership-worldwide/> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]



- [34] Statista. *Forecast number of mobile devices worldwide from 2020 to 2025 (in billions)\**. 2023. Preuzeto s: <https://www.statista.com/statistics/245501/multiple-mobile-device-ownership-worldwide/> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [35] World Health Organization. *Electromagnetic fields and Public*. Preuzeto s: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [36] Žunić L. *Utjecaj zračenja mobitela na razvoj tumora*. Završni rad. Zagreb: Prirodoslovno-matematički fakultet; 2016. Preuzeto s: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:586265> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [37] EMP Zdravlje. *Što je bazna stanica? (1)*. 2014. Preuzeto s: <https://empzdravlje.blogspot.com/2014/12/sto-je-bazna-stanica-1.html> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [38] Bilbao SM, Ramos V. Impact of Wireless Technologies in Healthcare Environments. *Smart Health*. 2016. Preuzeto s: [https://www.researchgate.net/publication/305658171\\_Impact\\_of\\_Wireless\\_Technologies\\_in\\_Healthcare\\_Environments](https://www.researchgate.net/publication/305658171_Impact_of_Wireless_Technologies_in_Healthcare_Environments) [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [39] Larik RSA, Mallah GA, Talpur MMA, Suhag AK, Larik FA. Effects of Wireless Devices on Human Body. *Journal of Computer Science & Systems Biology*. 2016; 9(4): 119-124. Preuzeto s: doi:10.4172/jcsb.1000229 [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [40] College Essay. *How Does Wireless Communication Affect the Human Body?*. Preuzeto s: [https://collegeessay.org/sample\\_files/How-Does-Wireless-Communication-Affect-the-Human-Body.pdf](https://collegeessay.org/sample_files/How-Does-Wireless-Communication-Affect-the-Human-Body.pdf) [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [41] Republika Hrvatska. *Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja. Izdanje: 146*. Zagreb: Narodne novine; 2014.
- [42] FCC. *Specific Absorption Rate (SAR) For Cell Phones: What It Means For You*. 2019. Preuzeto s: <https://www.fcc.gov/consumers/guides/specific-absorption-rate-sar-cell-phones-what-it-means-you> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]
- [43] Code of Federal Regulations. *Title 47 – Telecommunication: Radiofrequency radiation exposure limits*. 2020. Preuzeto s: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2020-title47-vol1/xml/CFR-2020-title47-vol1-sec1-1310.xml> [Pristupljeno: 10. studenog 2023.]

[44] EMP Zdravlje. *Ministarstvo zdravlja je objavilo informacije o neionizirajućem elektromagnetskom zračenju.* 2015. Preuzeto s: <https://empzdravlje.blogspot.com/2015/07/ministarstvo-zdravlja-je-objavilo.html>

[Pristupljeno: 10. studenog 2023.]

[45] Republika Hrvatska. *Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja. Izdanje: 114.* Zagreb: Narodne novine; 2018.

## POPIS KRATICA I AKRONIMA

BTS - (engl. *Base Transceiver station*) Bazna primopredajna stanica

BSS - (engl. *Base Station Subsystem*) Bazna stanica

BSC - (engl. *Base Transceiver station*) Bazna primopredajna stanica

GSM - (engl. *Global System for Mobile communications*) Globalni sustav mobilnih komunikacija

FCC - (engl. *Federal Communications Commission*) Federalna komisija za komunikacije

HLR - (engl. *Home Location Register*) - Registar kućne lokacije

IMEI - (engl. *International Mobile Subscriber Equipment*) Međunarodna mobilna pretplatnička oprema

IMSI - (engl. *International Mobile subscriber Identification*) Međunarodna identifikacija mobilnog pretplatnika

MSC - (engl. *Mobile services switching center*) Komutacijski centar mobilnih usluga

NCRP - (engl. *National Council on Radiation Protection and Measurements*) Nacionalno vijeće na Zaštita od zračenja i mjerenja

SAR - (engl. *Specific Absorption Rate*) Specifična apsorbirana snaga

SIM - (engl. *Subscriber Identity Module*) Modul identiteta pretplatnika

VLR - (engl. *Visitor Location Register*) Registar lokacija posjetitelja

## POPIS GRAFIČKIH PRIKAZA

### POPIS SLIKA

Slika 1: Rast mobilne telefonije u usporedbi s drugim popularnim izumima 20. stoljeća. ....	5
Slika 2: Osnovne veličine valova.....	8
Slika 3: Unipol antena .....	12
Slika 4: Dipol antena .....	12
Slika 5: Yagi-Uda antena .....	14
Slika 6: Ravni reflektor .....	15
Slika 7: Kutni reflektor .....	15
Slika 8: Parabolni reflektor.....	16
Slika 9: Struktura GSM .....	17
Slika 10: Elektromagnetski val.....	19
Slika 11: Spektar elektromagnetskog zračenja .....	20
Slika 12: Ionizirajuće zračenje .....	22
Slika 13: Predviđeni broj mobilnih uređaja u svijetu od 2020. do 2025. (u milijardama)* .....	27
Slika 14: Uspostava poziva s mobilnog telefona do najbliže bazne stanice .....	28
Slika 15: Bazna stanica: a) uloga b) zračenje .....	29

### POPIS TABLICA

Tablica 1: Frekvencijska podjela spektra radiovalova .....	9
Tablica 2: Ograničenja za najveću moguću izloženost .....	33

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

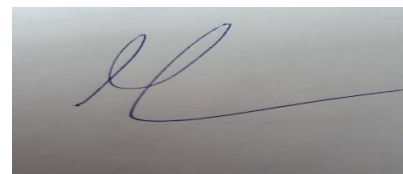
## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je \_\_\_\_\_ Završni rad \_\_\_\_\_  
(vrsta rada)

isključivo rezultat mojega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da 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/diplomskog rada pod naslovom Negativni učinci bežičnih komunikacijskih sustava na ljudsko zdravlje, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student: Mislav Radoš



U Zagrebu, 4.3.2024,