

# Utjecaj elektromagnetskih polja na organizam čovjeka

---

Stevanović, Sandro

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:628352>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-17**



Repository / Repozitorij:

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



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

**Sandro Stevanović**

**UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKIH POLJA NA ORGANIZAM**  
**ČOVJEKA**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2018.**

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

Zagreb, 21. ožujka 2018.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 4935

Pristupnik: **Sandro Stevanović (0135234459)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Utjecaj elektromagnetskih polja na organizam čovjeka**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati zaštitu od elektromagnetnog zračenja i zakonsku regulativu. Objasniti pojam elektromagnetskog zračenja i njegov utjecaj na zdravlje čovjeka. Prikazati utjecaj antena mobilnih komunikacija i SAR jedinicu. Analizirati mjere zaštite i zakonsku regulativu kroz Pravilnike o dopuštenim razinama elektromagnetskog zračenja.

Mentor:



prof. dr. sc. Jasna Golubić

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

**UTJECAJ ELEKTROMAGNETSKIH POLJA NA ORGANIZAM  
ČOVJEKA**

**IMPACT OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON HUMAN HEALTH**

Mentor: prof. dr. sc. Jasna Golubić

Student: Sandro Stevanović

JMBAG: 0135234459

Zagreb, rujan 2018.

## Sažetak i ključne riječi

U ovom radu je obrađena tema elektromagnetskog zračenja i njegovog utjecaja na naše zdravlje. Okoliš u kojem živimo bitno se promijenio od početka 20. stoljeća. Naš organizam je od rođenja priviknut na stres uzrokovan prirodnim zemljinim elektromagnetskim poljem. Dodatna umjetna polja koja je čovjek stvorio predstavljaju prijetnju našem zdravlju posebice jer mogu dovesti do pojave slobodnih radikala i ionizacije atoma. Posebno je opasno biološko djelovanje na DNK jer njegovim nepotpunim zacjeljivanjem dolazi do posljedica koje se mogu očitovati još generacijama unaprijed.

**Ključne riječi:** neionizirajuće zračenje; ionizirajuće zračenje; zračenje na ljudsku stanicu; bežične tehnologije; SAR – specifični stupanj apsorpcije

## Summary and keywords

In this work the processed topic is about electromagnetic radiation and its influence on our health. The environment we live in has changed significantly since the start of the 20th century. Since we are born, our body has been adapted to the stress caused by Earth's natural electromagnetic fields. Additional man-made artificial fields pose a threat to our health, especially since free radicals and ionization of the atom may come up. Particularly dangerous is a biological activity on DNA because its incomplete healing may result in effects that can be manifested for generations in advance.

**Keywords:** nonionising radiation; ionising radiation; impact of radiation on human cell; wireless technologies; SAR – specific absorption rate

## Tablica sadržaja

1. Uvod .....	1
2. Elektromagnetsko onečišćenje .....	3
2.1. Podjela po frekvenciji .....	8
3. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija.....	11
3.1. Fizički mehanizmi međudjelovanja .....	12
3.2. Učinci izlaganja neionizirajućim elektromagnetskim poljima.....	15
3.3. Utjecaj elektromagnetskog neionizirajućeg zračenja na ljudsku DNK .....	20
4. Visokofrekventna elektromagnetska polja .....	25
4.1. Biološko djelovanje.....	26
4.2. Fizikalno djelovanje .....	28
5. Utjecaj bežičnih tehnologija na zdravlje čovjeka .....	30
5.1. Specifičnost postavljanja antena u naselju .....	31
5.2. SAR jedinica.....	35
5.2.1. SAR jedinica – općenito .....	35
5.2.2. Računanje SAR jedinice .....	36
5.2.3. Dozvoljene granice.....	38
5.2.4. Testiranje SAR jedinice na mobilnim telefonima .....	39
6. Pravilnici o minimalnim i sigurnosnim zahtjevima .....	42
7. Zaključak .....	44
Popis literature.....	46
Popis slika .....	51
Popis tablica .....	53

# 1. Uvod

Velika većina ljudi u današnjem vremenu ne može zamisliti život bez modernih kućanskih aparata. 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.

Uvijek postoji i tržišno natjecanje proizvođača. Razni uređaji koji su proizvedeni dolaze na tržište bez potrebnih testiranja. Tu do izražaja dolaze razne znanstvene studije koje upozoravaju i pokušavaju educirati korisnike na štetnost uporabe takvih uređaja pa se samim time moraju regulirati i razni pravilnici da bi spriječili sam dolazak neispravne tehnike u trgovine.

Ovaj rad sastoji se od sedam cjelina koje se nadovezuju na problematiku utjecaja zračenja iz okoline na čovjeka. Cjeline su:

1. Uvod – kratko upoznavanje sa problematikom
2. Elektromagnetsko onečišćenje
3. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija
4. Visokofrekventna elektromagnetska polja
5. Utjecaj bežičnih tehnologija na zdravlje čovjeka
6. Zaključak

U uvodnom dijelu biti će spomenuta problematika i uvest će se čitatelja u problematiku zračenja i okoliša.

Drugi dio opisuje onečišćenje koje je nastalo kao posljedica sve prisutnijih elektromagnetskih polja, te će biti prikazana njihova podjela prema frekvencijama.

Treći dio, elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija, govori o tome kako pojedini valovi utječu na ljudski mozak te kako neionizirajuće zračenje utječe na ljudsku DNK.

Četvrto poglavlje je prijelaz sa niskofrekventnih polja na visokofrekventna. Tu će se dotaknuti biološkog i fizikalnog djelovanja na čovjeka.

Peto po redu poglavlje opisuje sveprisutnije bežične tehnologije koje nas okružuju, posebice antene mobilnih operatera koje se postavljaju u naseljenim područjima te kako se mjeri njihovo zračenje. SAR jedinica, kao važan pokazatelj apsorpcije zračenja, također će biti opisan, posebice njezino mjerenje.

Posljednje poglavlje, zaljučak, obuhvaća cijelu problematiku rada te daje smjernice za buduće probleme vezane za, ne samo ljudsko, već i životinjsko zdravlje.



## 2. Elektromagnetsko onečišćenje

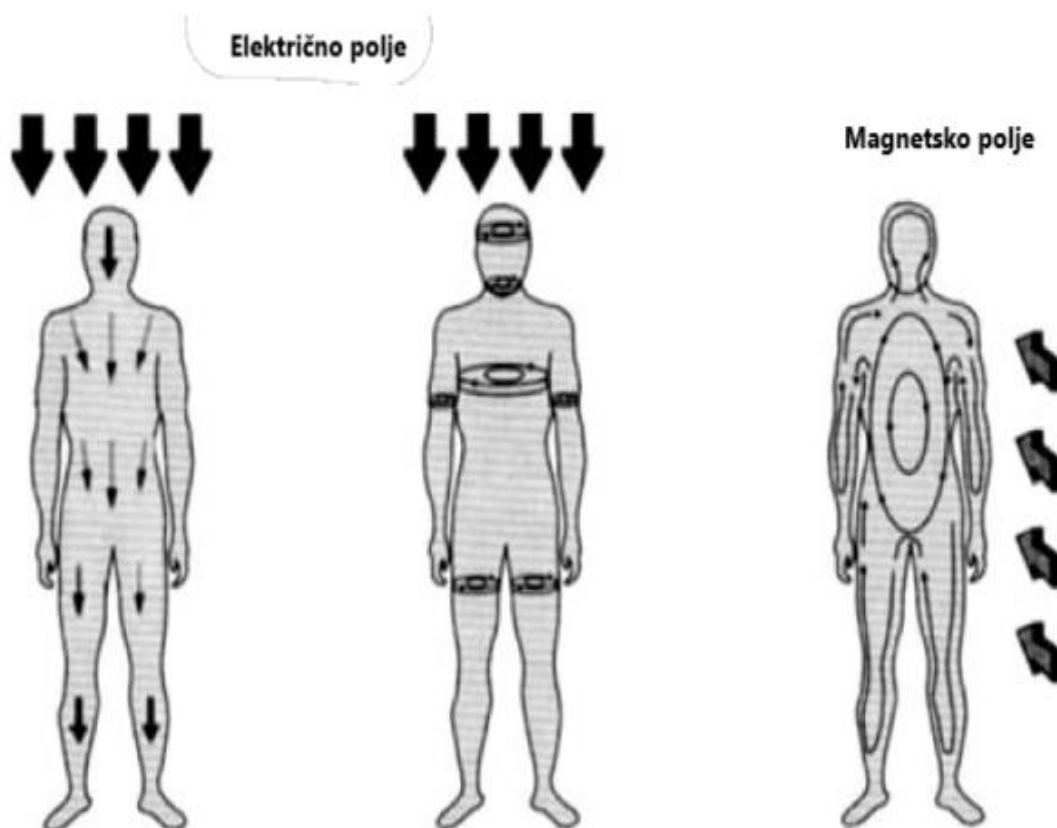
Dvadeset i prvo stoljeće je doba nagle ekspanzije napredne tehnologije. Današnja svakodnevica je gotovo nezamisliva bez pogodnosti koje nam pružaju elektronički uređaji kao što su mobilni terminalni uređaji, računala, televizori, hladnjaci, perilice.

Svakodnevne aktivnosti poput komunikacije bilo putem računala ili mobilnog uređaja ušlo je u domenu korištenja tehnoloških alata koji proizvode manju ili veću količinu zračenja. Ti uređaji svojim radom proizvode magnetska polja koja su manje ili više štetna zavisno o njihovoj jačini i vremenskom periodu njihovim izlaganjima. Isključivanjem tih uređaja „gasimo“ samo magnetsko polje, dok električno polje ostaje prisutno.

Dok su nam svi ti uređaji donijeli velike promjene u životu, primjerice za slanje pisma je dovoljno nekoliko klikova mišem i pismo je poslano željenoj osobi, sa tim promjenama došao i određeni rizik. Svaki dobitak popraćen je sa nekom lošom stranom. Ta loša strana su zdravstveni rizici koje emitiranje svih neprirodnih elektromagnetskih polja donosi sa sobom.

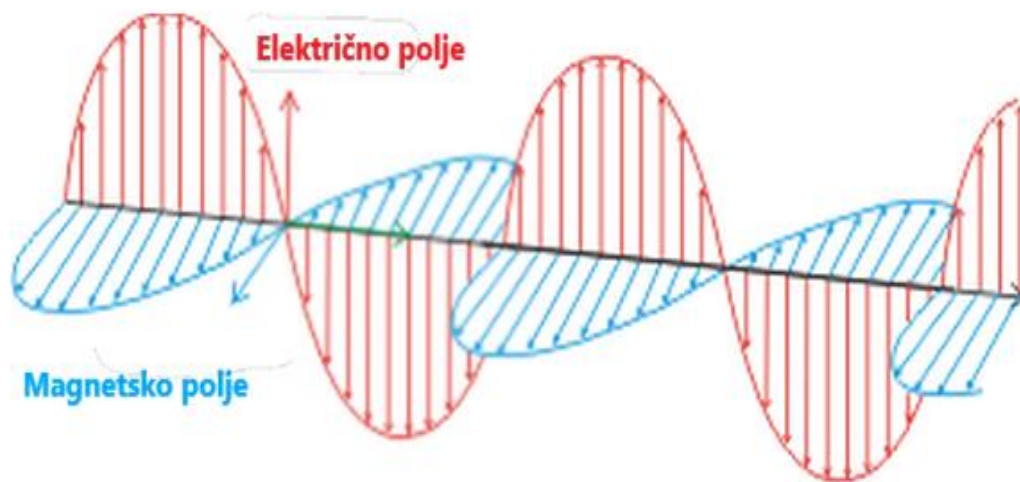
Prikaz djelovanja električnog i magnetskog polja na čovjeka kojem smo okruženi svakodnevno prikazan je slikom 1. Ona dočarava smjer strujanja induciranih struja u tijelu kao posljedica izlaganja električnom polju  $E$  (vertikalno) i magnetskom polju  $H$  (horizontalno). Posljedice za tijelo će biti blaže ili teže zavisno o vremenu izlaganja i jačinama polja.

Električno polje se definira se kao vektor polja koje okružuje električni naboj, koji može djelovati na druge naboje privlačeći ih ili odbijajući. Magnetsko polje najjednostavnije je pojava koja se javlja prilikom prolaska struje kroz vodič. Dok električna polja generiraju struju na površini tijela, magnetska polja uzrokuju kretanje struja unutar tijela i samim time zahvaćaju delikatnije dijelove tijela i posljedice su gore.



Slika 1: Prikaz kako se električno i magnetsko polje ponaša prilikom interakcije sa ljudskim tijelom, [1]

Kada se osoba nalazi pod utjecajem ili magnetskog ili električnog polja tada nema opasnosti od posljedica kao što je oštećenje tkiva. Ako je osoba ili životinja pod utjecajem oba oblika polja istovremeno tada nastaje problem jer to izlaganje za posljedicu tada ima najčešće trajno oštećenje tkiva. Od toga je i nastala riječ „elektromagnetsko“ zračenje koje je uistinu opasno. Kako je već spomenuto, elektromagnetska energija širi se prostorom u obliku elektromagnetskog vala, koji predočavamo kao dva međusobno povezana i vremenski promjenjiva električna i magnetska polja. Na slici 2 prikazan je način titranja električnog polja, koje titra gore-dolje, i magnetskog polja koje titra lijevo-desno.



Slika 2: Način titranja električnog i magnetskog polja, [2]

Elektromagnetsko zračenje emitirano od raznih elektroničkih uređaja jedan je od glavnih krivaca za elektromagnetsko onečišćenje. Posljedica je elektromagnetskog zračenja koje emitiraju tehnički uređaji. Ta vrsta zagađenja je također posljedica sve veće ekspanzije bežičnih i raznovrsnijih oblika komunikacije. Takvo onečišćenje se može smatrati kao svaka ona količina elektromagnetskog zračenja koja je proizvedena od čovjeka umjetno, a ne dolazi direktno prirodnim putevima.

Poznato je da tehnološki uređaji zrače. Elektromagnetsko onečišćenje je, za razliku od ostalih onečišćenja uzrokovanih ljudskom nepažnjom, nevidljivo golim okom. Također, njegove posljedice nisu vidljive trenutno nego se manifestiraju kroz duži period vremena. To se može i smatrati kao jednim od razloga zašto mu se pridaje manje pozornosti. Upravo zato njegove posljedice mogu biti puno gore i teže za preventirati.

Kao neke od podjela elektromagnetskog zračenja mogu biti primjerice na ono ionizirajuće (visokofrekventna elektromagnetska polja) i neionizirajuće (niskofrekventna elektromagnetska polja), prirodno i umjetno (proizvedeno ljudskom rukom). Prirodnim možemo smatrati ono zračenje na koje nailazimo u svakodnevnom životu, kao na primjer u tlu (koje sadrži radon i uranij), zraku kao posljedici detonacija atomskih bombi u prošlosti, vodi i u nama samima, [3].

Obično se prirodna zračenja dijele u tri veće skupine: zračenje u tlu i stijenama, zračenje koje dolazi iz svemira, takozvano kozmičko, te kao treće sam čovjek, [4].

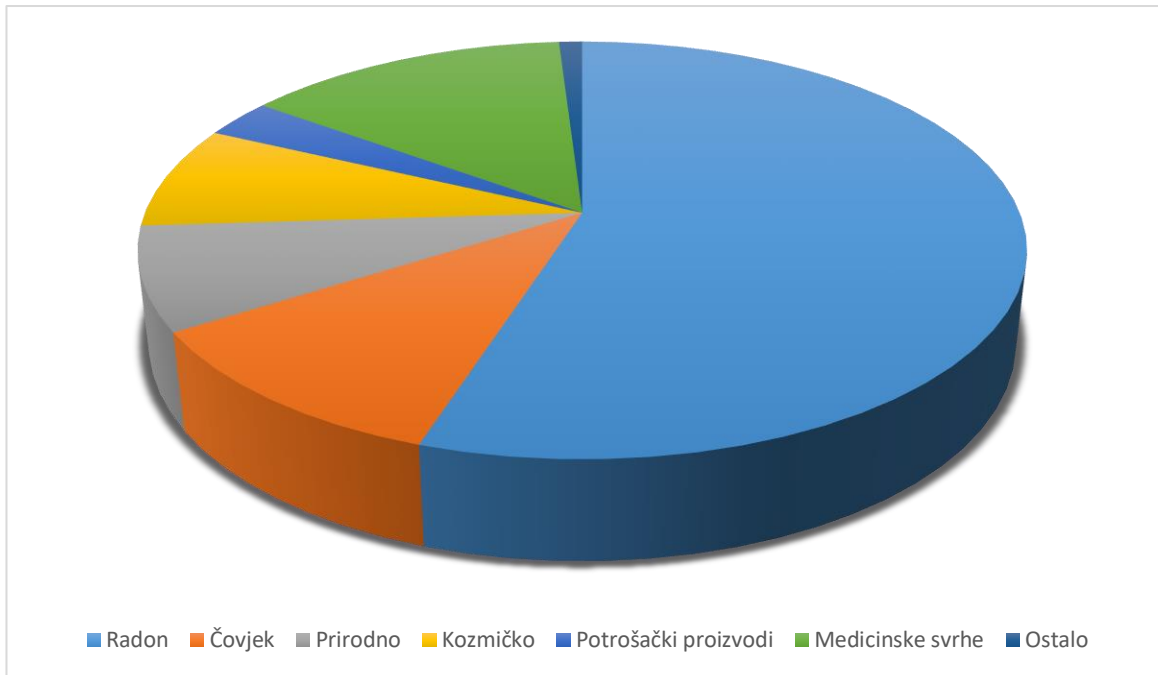
Neki od prirodnih izvori zračenja su:

- sunce
- zemni plinovi
- kozmičko zračenje
- radon

Kao izvore umjetno stvorenog zračenja mogu se navesti svi ostali izvori koji nisu prirodni, veliki su čimbenici u disrupciji pravilnog rada i obolijevanju organizama od različitih vrsta bolesti. To mogu biti:

- antene
- cigarete
- televizori
- medicinski uređaji
- mobilni uređaji
- dalekovodi
- trafostanice

Slika 3 objedinjuje neke od najčešćih prirodnih i umjetnih uzroka emitiranja radijacije u našem okruženju. Vidljivo je da preko 50% svih zračenja dolazi od radona, plina koji je bez okusa i mirisa, a sačinjava materijal od kojeg su sagrađeni na primjer naši domovi.



Slika 3: Udio prirodnih i umjetnih zračenja, [5]

Što se tiče ostalih izvora, značajno je napomenuti medicinske svrhe koje sačinjavaju oko 14% cjelokupnog spektra zračenja. To su najčešće uređaji poput onih za magnetsku rezonanciju, rendgen, CT i slično. Zakonom je propisana maksimalna dopuštena količina izlaganja zračenju osoba koje rade u zdravstvenom sektoru sa aparatima koji zrače. Ljudski potrošački proizvodi u svakodnevnoj upotrebi, poput računala i mobitela, sačinjavaju otprilike oko 11% ukupnog udjela.

Posljedice izlaganja elektromagnetskim valovima mogu dovesti do stanja koje se opisuje kao osjetljivost na elektro-valove. Kao neki od simptoma razvitka te bolesti mogu biti, [6]:

- glavobolje
- problemi sa srcem
- svrbež
- crvenilo kože
- problemi sa spavanjem
- umor
- problemi sa održavanjem koncentracije

## 2.1. Podjela po frekvenciji

Elektromagnetsko zračenje sastoji se od valova elektromagnetske energije koji šire energiju prostorom. Taj val se može opisati pomoći vremenski promjenjivih električnih i magnetskih polja. Frekvenciju elektromagnetskog vala i njegovu valnu duljinu povezuje izraz (1):

$$c = \lambda * f \quad (1)$$

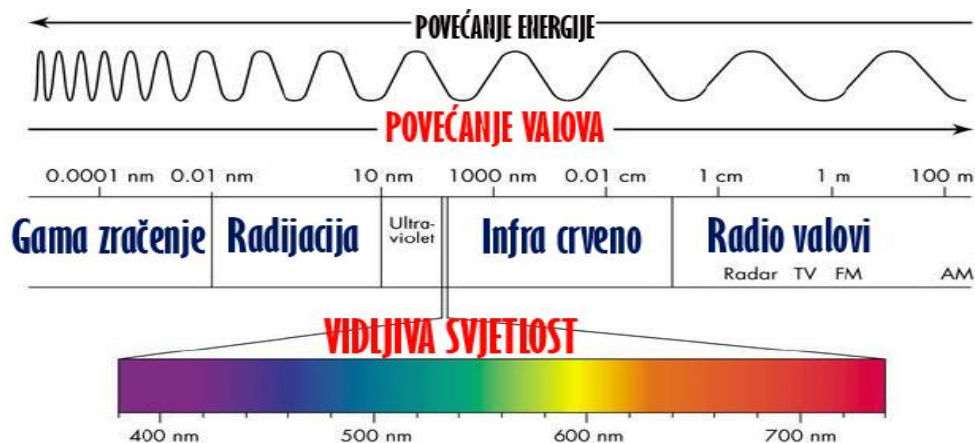
pri čemu je:

$c$  - prirodna konstanta nazvana brzina svjetlosti i iznosi otprilike  $3 * 10^8$  metara u sekundi [m/s],

$\lambda$  – valna duljina [m] i

$f$  – frekvencija [Hz].

Elektromagnetski spektar sastoji se od ekstremno niskih frekvencija (ELF) kao najnižih po iznosu, preko spektra vidljivog svjetla pa sve do gama zraka i na kraju kozmičkog zračenja. Ono što je bitno je granica koja dijeli neionizirajuće zračenje od onog ionizirajućeg (slika 4). Neionizirajuće zračenje je ono kod kojeg su posljedice izlaganja vidljive tek nakon izvjesnog vremenskog perioda i organizam ga može podnijeti u većoj količini, dok je ionizirajuće zračenje ono kod kojeg se posljedice javljaju u iznimno kratkom vremenu i potrebno je manje energije za uzrokovanje štete organizmu. Više o pojedinoj vrsti zračenja biti će rečeno u kasnijim poglavljima. Granica između njih utvrđena je znanstvenim studijama i mjerenjima te se došlo do zaključka da je to na području prelaska sa vidljivog spektra na UV zračenje.



Slika 4: Prikaz elektromagnetskog spektra, [7]

Tablica 1 prikazuje podjelu frekvencijskog spektra prema ITU-u. Prikazane su neke karakteristike svakog područja. Može se uočiti i povezanost sa zagađenjem ukupnog spektra jer gotovo pa i ne postoji razmak između dva frekvencijska područja koja nisu iskorištena za neku vrstu komunikacije.

Tablica 1: Podjela elektromagnetskog spektra po frekvencijama, njihove karakteristike i područja upotrebe

Naziv područja	Raspon frekvencije	Valna duljina	Područje upotrebe
Ekstremno niska frekvencija	3–30 Hz	100,000–10,000 km	Komunikacije sa podmornicama
Super niska frekvencija	30–300 Hz	10,000–1,000 km	Komunikacije sa podmornicama
Ultra niska frekvencija	300–3,000 Hz	1,000–100 km	Komunikacije između podmornica
Jako niska frekvencija	3–30 kHz	100–10 km	Navigacija
Niska frekvencija	30–300 kHz	10–1 km	Amaterski radio
Srednja frekvencija	300–3,000 kHz	1,000–100 m	Amaterski radio
Visoka frekvencija	3–30 MHz	100–10 m	Emitiranje na kratke udaljenosti

Jako visoka frekvencija	30–300 MHz	10–1 m	TV odašiljanje
Ultra visoka frekvencija	300–3,000 MHz	1–0.1 m	Mikrovalne pećnice
Super visoka frekvencija	3–30 GHz	100–10 mm	Radari, komunikacija satelita
Ekstremno visoka frekvencija	30–300 GHz	10–1 mm	Bežični lan

Izvor: [8]



### 3. Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija

Izlaganje elektromagnetskim poljima gotovo je neizbježno u današnjem svijetu. Dok su koristi korištenja struje u svakodnevnom životu veliki dobitak, postavlja se pitanje da li je zračenje koje nastaje prilikom korištenja iste uistinu opasno. U posljednjih dvadesetak godina porasla je zabrinutost javnosti o potencijalnim rizicima za zdravlje korištenjem uređaja koji rade na ekstremno niskim frekvencijama. Kao najveći potrošači iz tog područja su električne mreže, a kao glavna je naponska gradska mreža koja radi na 50/60 Hz zavisno o dijelu svijeta.

Elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija, skraćeno ELF (engl. *extreme low frequency*) 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]. Kao jedna od bolesti prilikom izlaganja takvim poljima može biti i razvoj leukemije kod djece. Moguća je i promjena u radu živaca i mišića jer pri djelovanju jačeg polja dolazi do neželjene stimulacije u centralnom živčanom sustavu.

Neki od izvora neionizirajućeg zračenja s kojima se susrećemo svakodnevno mogu se smatrati slijedeći:

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

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.

### 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, [11]:

- 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 preusmjerenja 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

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.

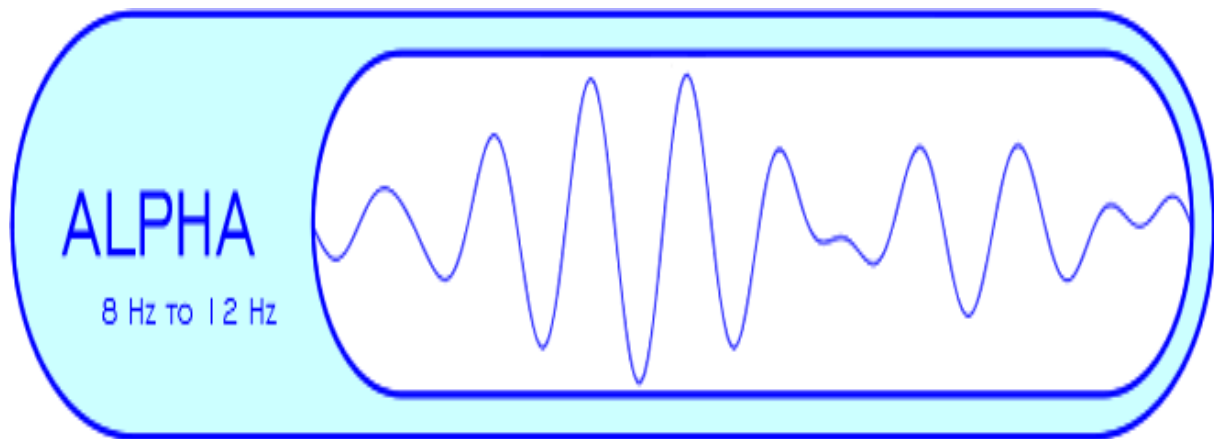
Kako je već navedeno polja ekstremno niskih frekvencija obuhvaćaju raspon od 3-30 Hz. Ono što je bitno kod ekstremno niskih frekvencija je i to da ljudski mozak radi u području takozvanih alfa i theta valova. Alfa valovi koriste spektar od 7-14 Hz, a theta valovi spektar od 14-40 Hz. Slika 5 dočarava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



Slika 5: Apsorpcija negativnih valova u mozgu, [12]

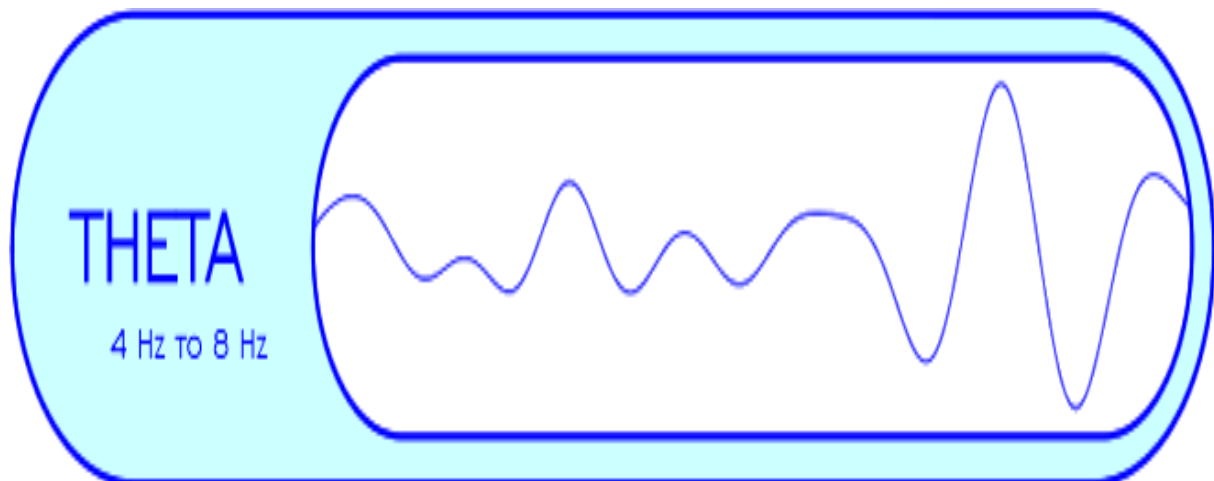
Alfa valovi (slika 6) predstavljaju most između našeg svjesnog razmišljanja i podsvjesnog uma. Drugim riječima to je frekvencijski raspon između beta (12-40 Hertza), koji su zaduženi za logičko razmišljanje i pamćenje, i theta (4-8 Hertza) valova. Oni nam pomažu u relaksiranju i uvode nas u stanje opuštenosti 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



Slika 6: Prikaz rada alfa valova, [13]

Theta valovi (slika 7) su povezani sa ljudskim emocijama. Njihov frekvencijski 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, [14].



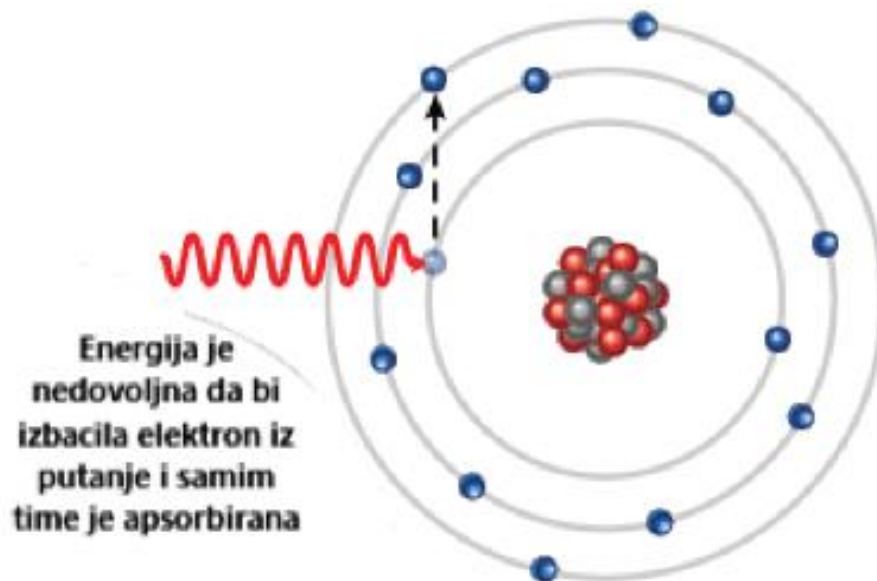
Slika 7: Prikaz rada theta valova, [13]

Iz navedenog je vidljivo da boravak u blizini niskofrekventih 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.

### 3.2. Učinci izlaganja neionizirajućim elektromagnetskim poljima

Neionizirajućim zračenjem možemo smatrati sva elektromagnetska polja i elektromagnetske valove koji su frekvencije  $3 \times 10^{15}$ , odnosno 3 000 000 GHz i niže ili ultrazvuk frekvencije od 500 MHz koji u međudjelovanju s tvarima ne uzrokuje stvaranje iona, [15]. Njihova energija je nedovoljna da izbace elektrone iz atoma i molekula i da tako stvore ione koji su štetni (slika 8). Mogu jedino pomaknuti elektron iz jedne valentne ljuske u drugu.



Slika 8: Prikaz utjecaja neionizirajućeg zračenja na atome, [16]

Glavna mana neionizirajućeg zračenja dovoljno visoke frekvencije je ta da djelovanjem na organizam uzrokuje zagrijavanje tkiva, odnosno dovodi toplinu i time uzrokuje štetu. Sposobnost neionizirajućeg zračenja da prodre kroz tkivo ovisi o određenoj valnoj duljini, koja će odrediti vrstu i mjesto biološkog učinka, [17]. Na

primjeru mikrovalne pećnice može se najbolje vidjeti utjecaj neionizirajućeg tipa zračenja. Mikrovalovi unutar mikrovalne pećnice zagrijavaju hranu i vodu jako brzo i učinkovito.

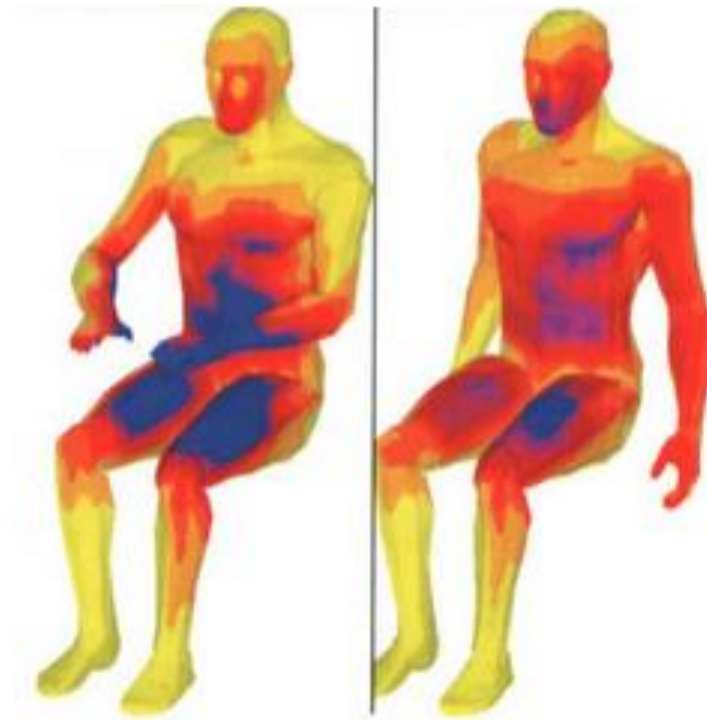
Što se tiče elektromagnetskog spektra, neionizirajuće zračenje se može podijeliti na skupine koje uključuju:

- dio spektra ultraljubičastih zraka
- vidljiva svjetlost
- infracrvene zrake
- mikrovalovi
- radiofrekvencijski valovi
- zračenje ekstremno niske frekvencije

Električne i magnetske komponente neionizirajućeg zračenja mogu proizvesti u čovjeka, u općem smislu, nespecifične neurološke i fizičke smetnje. Postoje tri glavne skupine učinaka:

- Termički učinci
- Efekti induciranih napona i električne struje
- Netermički učinci

Termički učinci su najbolje znani dokazani učinci neionizirajućeg zračenja na zagrijavanje tkiva u čovjeka. To je posebice vidljivo kada se koriste ili kada se boravi u blizini uređaja koji rade na frekvencijskom spektru od 30 MHz do 300 GHz odnosno u području radio frekvencije. S obzirom da je ljudsko tijelo i općenito biološko tkivo načinjeno od vode i električki nabijenih čestica, to im daje sposobnost apsorpcije određenog dijela energije. Utjecaj energije od elektromagnetskih polja u području radio valova i mikrovalova uzrokuje dodatno lokalno kretanje čestica unutar tijela i samim time dovodi do zagrijavanja. Slikom 9 prikazano je povećanje tjelesne temperature kao uzrok utjecaja niskofrekventnih elektromagnetskih polja pri korištenju računala. Tamnija mjesta na tijelu označavaju mjesta gdje je povećana razina temperature.



Slika 9: Prikaz povećanja tjelesne temperature kao jedan od utjecaja niskofrekventnih elektromagnetskih valova prilikom korištenja računala, [18]

Tijelo se do određene razine može boriti sa povećanom temperaturom tako što se poveća protok krvi do dijelova koji su pod utjecajem zračenja. Ako se tijelo ne može dovoljno efikasno obraniti od eksterne radijacije za posljedicu ima oštećenje tkiva, na primjer opekline.

Efekte induciranih napona (napon koji nastaje kao posljedica izlaganja vodiča elektromagnetskom polju) i električne struje – prilikom izlaganja jakom električnom i magnetskom polju, inducirani napon i električna struja mogu uzvokovati elektrošok.

Netermički učinci mogu se smatrati onima koji nisu direktno povezani sa povećanjem temperature u tijelu već drugim promjenama koje se događaju prilikom izlaganja električnom i magnetskom polju. To mogu biti razni mehanizmi organizma koji se aktiviraju i utječu na zdravlje direktno, na primjer pojava malignih tumora i sličnih oboljenja.

Razne provedene studije na temu radio frekvencija fokusirale su se na rizik koji one predstavljaju u smislu razvoja raka u različitim oblicima kao što je tumor na mozgu, tumor akustičnog neuroma i tumora žlijezda. Glavni problem je zapravo dokazati da je

zračenje niskofrekventnih elektromagnetskih polja glavni uzrok navedenih problema, [19].

Izlaganje neionizirajućem zračenju regulirano je i zakonskim mjerama. Neke od mjera zaštite i prevencije od negativnih učinaka neionizirajućeg zračenja na temelju članka 89. Ustava Republike Hrvatske su, [15]:

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.

Kao suma svega navedenog, tablica 2 obuhvaća neke od izvora neionizirajućih zračenja niskofrekventnih polja bilo da su prirodna ili umjetna, koje su vrste – električno ili magnetsko te navodi maksimalnu dopuštenu izloženost. Maksimalna izloženost dana je u mjernoj jedinici Tesla. Može još i biti prikazana sa Gauss-ovom mjernom jedinicom [G].



Tesla [T] je izvedena jedinica gustoće magnetskog toka prema Međunarodnom sustavu jedinica. Mjerna jedinica  $W/m^2$  označava količinu energije zračenja koja se rasprostire na nekoj površini. Volt po metru (V/m) definira jakost električnog polja. Svako izlaganje utjecaju polja jačem od dopuštenog ima za posljedicu već spomenute zdravstvene rizike.

Tablica 2: Izvori neionizirajućeg zračenja, vrste polja te maksimalna dopuštena količina pri izlaganju

Izvori	Vrsta polja	Maksimalna izloženost
Prirodna polja	Statično magnetsko polje	70 $\mu$ T
	Statično električno polje	200 V/m
Elektroprivredna postrojenja	Magnetsko polje	200 nT u kući
	Magnetsko polje	20 $\mu$ T ispod voda
	Električno polje	100 V/m u kući
	Električno polje	10 kV/m ispod voda
Električni vlak i tramvaj	Magnetsko polje	50 $\mu$ T
	Električno polje	300 V/m
Televizori i računala	Izmjenično magnetsko polje	700 nT
Nadzorni centri, operateri	Izmjenično električno polje	10 V/m
	Statično električno polje	15 kV/m

TV i radio odašiljači	Mikroelektromagnetski valovi	0.1 W/m <sup>2</sup>
Stanice mobilne telefonije	Mikroelektromagnetski valovi	0.1 W/m <sup>2</sup>
Mikrovalne pećnice	Mikroelektromagnetski valovi	0.5 W/m <sup>2</sup>
Radar	Mikroelektromagnetski valovi	0.5 W/m <sup>2</sup>

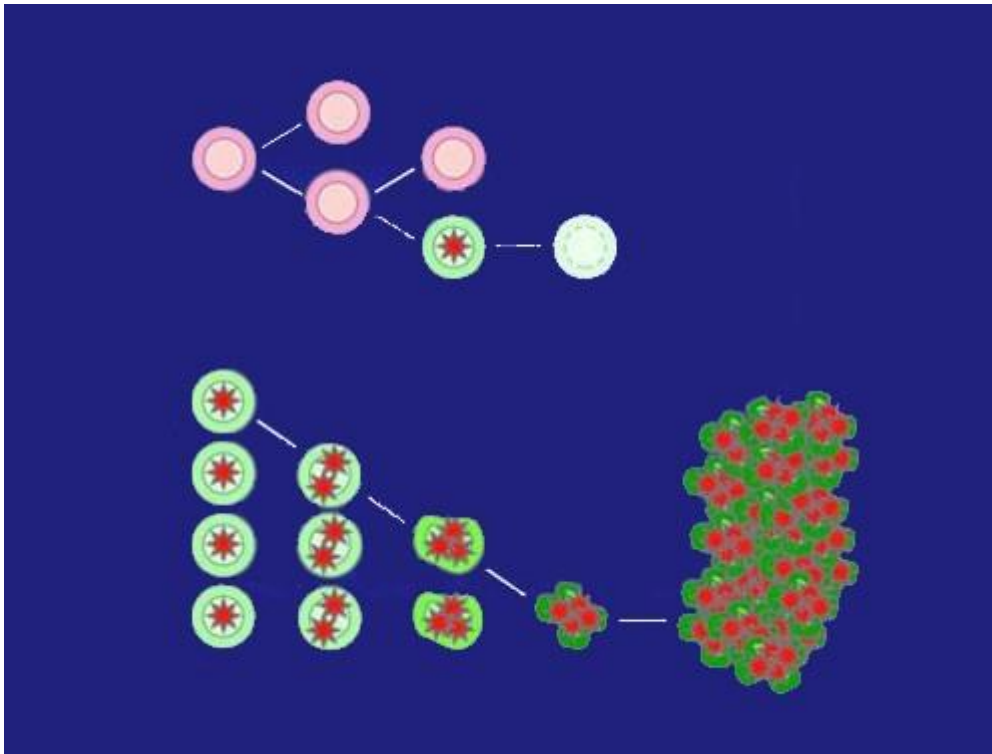
Izvor: [20]

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

Elektromagnetska polja mogu uzrokovati biološke efekte uključujući smetnje među osnovnim molekulama DNK. Postoje ideje koji su ti mehanizmi, odnosno drugim riječima postoje načini kojima se može utvrditi kako se to može dogoditi. Dio tog odgovora dolazi od bioloških molekula samih. Ako se poznaje potreban „govor“, stanice govore što pokušavaju učiniti. Drugim riječima mi služimo kao prevoditelji. Kada je tijelo pod stresom ono luči izlučevine hormona poput adrenalina i kortizola (hormon koji je zadužen za osiguravanje dovoljne količine energije prilikom izlaganja stresu). Isto to se događa kada tijelo dođe u nepoznato i neprijateljsko okruženje. Kada je pod elektromagnetskim stresom ono aktivira obrambene mehanizme kao i u trenucima kada se osjeti ugroženim i vidi da ne može preživjeti.

Prema istraživanju njemačke grupe Verum, [21] nakon izlaganja ljudskih i životinjskih stanica došli su do zaključka da su kao posljedica tih elektromagnetskih polja bili izraženi lomovi u DNK. Ti lomovi nisu uvijek bili popravljani. U budućnosti se to odražavalo na stanice tako što su postale kancerogene.

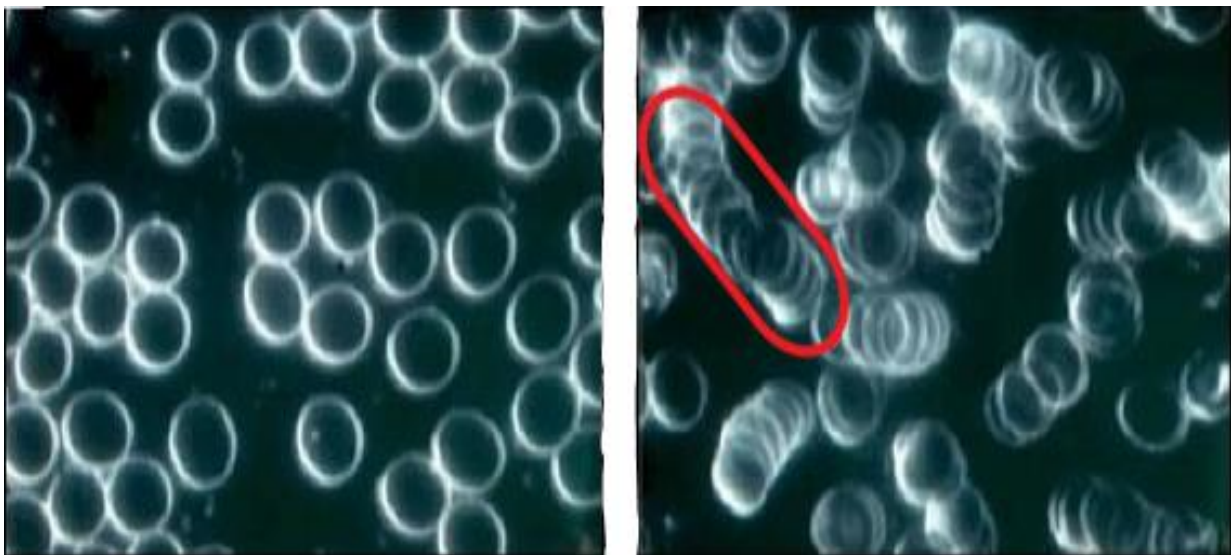
Kao gore navedeni primjer nepotpunog zacjeljivanja može doći do razvitka raka. Slika 10 prikazuje kako bi trebao izgledati normalni proces dijeljenja stanice, te kako izgleda nakon oštećenja i krivog dijeljenja. Oštećenje DNK također najčešće dovodi do promjena staničnih funkcija i stanične smrti.



Slika 10: Prikaz normalnog dijeljenja stanice (gore) i dijeljenja stanica raka uzrokovano elektromagnetskim stresom (dolje), [22]

Kao jedno od svojstava ljudskog DNK jest to da ima svojstvo fraktalnih antena. To je prvi put otkrio znanstveni tim na čelu s dr. Martinom Blankom. Otkriveno je kako DNK ima dvije strukturalne karakteristike fraktalnih antena: elektroničku kondukciju i samo-simetriju, [23]. To znači da je DNK izuzetno osjetljiva na elektromagnetska polja ekstremno niskih frekvencija, radio frekvencija i ne ionizirajuće zračenje. Godine 2011. znanstvena istraživanja su dokazala da neionizirajuće zračenje uništava ljudsku DNK, budući da ona djeluje poput fraktalne antene koja upija elektromagnetsko zračenje više nego bilo koji drugi organ.

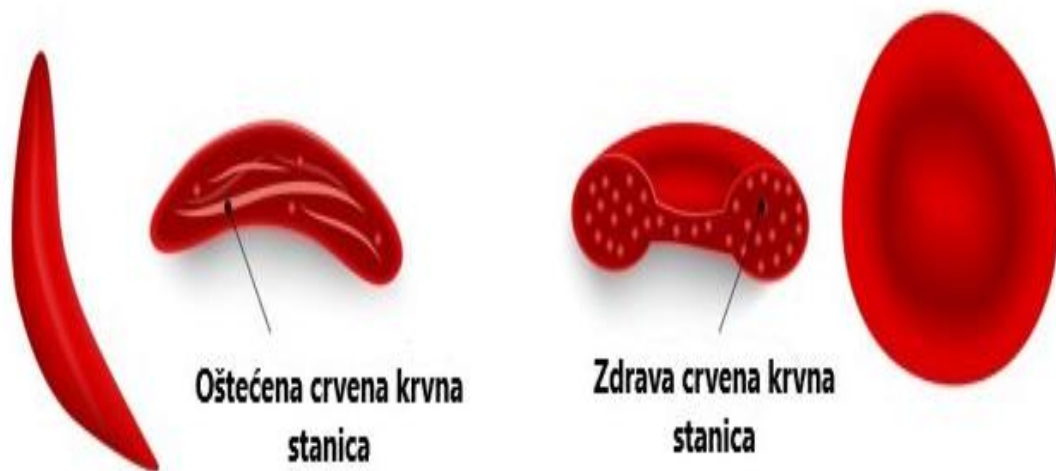
Važan aspekt izloženosti elektromagnetskom zračenju je djelovanje na krvne stanice. Slika 11 prikazuje kako se ponašaju crvene krvne stanice kada su pod djelovanjem vanjskog elektromagnetskog polja. Označeno crvenim je takozvana Rouleau formacija. Ona ukazuje na postojanje abnormalne količine proteina u serumu odnosno da je tijelo pod stresom, [24]. Veća količina crvenih krvnih stanica se grupira na malu površinu. Pošto crvene krvne stanice prenose kisik, to može dovesti i do problema sa prokrvljenosti određenih dijelova tijela. Ovakvi nalazi su pronađeni kod osoba koje pate od nesаницe, umora, depresije i sličnog. Lijeva strana slike je od osobe prije izlaganja zračenju, a desna strana nakon 15 minuta izlaganja zračenju iz mobitela. Uočljive su promjene u ponašanju.



Slika 11: Prikaz crvene krvne stanice prije (lijevo) i nakon djelovanja elektromagnetskog polja (desno), [25]

Kada dođe to Rouleau formacije, površina crvenih krvnih stanica je značajno smanjena i samim time je otpuštanje nutrijenata i odstranjivanja loših kemikalija iz tijela ugroženo. Limfociti, zaduženi za stvaranje antitijela, gube sposobnost regeneracije odnosno popravka. Simptomi koji ukazuju na navedeno mogu biti glavobolje, problemi sa koncentracijom, problemi sa srcem, slabost, otupljenost osjetila, hladnoća ekstremiteta i slično. Ono što je moguće pokazati ovakvim testiranjima jest povećana

elektromagnetska osjetljivost. Koliko brzo se krvna zrnca skupljaju i koliko se brzo vraćaju u normalnu poziciju dobar je pokazatelj upravo osjetljivosti. Kao još jedna nuspojava je oštećenje crvenih krvnih zrnaca vidljivo na slici 12.



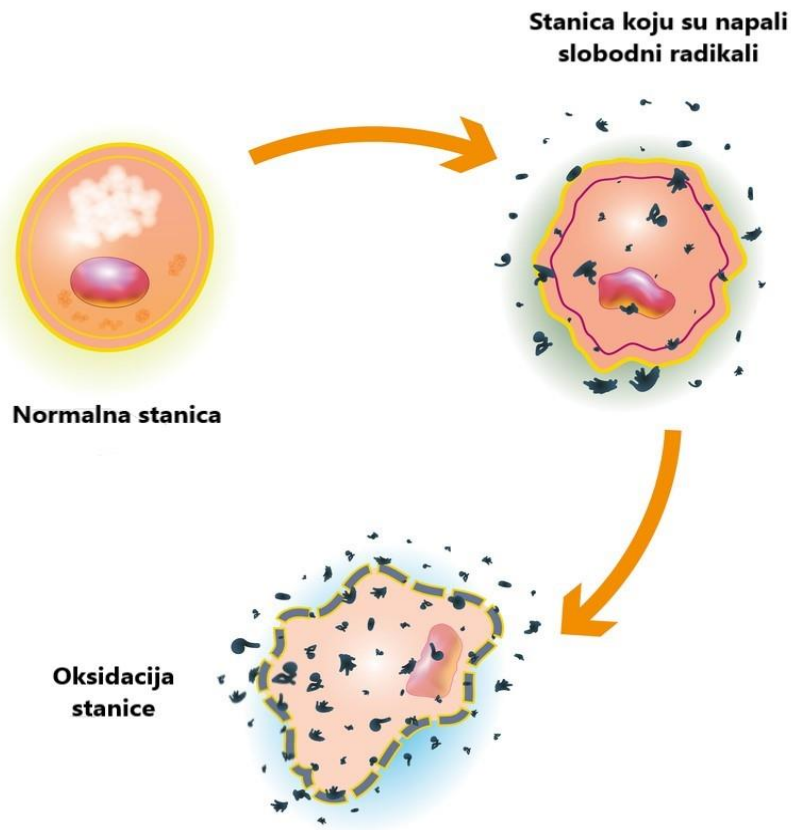
Slika 12: Prikaz oštećenja crvenih krvnih zrnaca

Izlaganje zračenju mobilnog telefona uzrokuje oštećenje barijere koja je vitalna u sprječavanju loših i štetnih tvari od ulaska u mozak. Istraživanjima je utvrđeno još niz oštećenja i gubitaka na razini stanice i tkiva. Moguća oštećenja su još:

- koštane srži
- stanica jetre
- živčanih stanica – smanjuje se broj neurona
- stvaranje malignih stanica
- mišićnih stanica

Stvaranje slobodnih radikala, molekule koje nastaju kao posljedice kemijske reakcije oksidacije u našem organizmu. Oni su povezani sa starenjem i bolestima. Njihovom stvaranju mogu pogodovati zračenje primjerice računala, mobilnih telefona,

sunčevo zračenje i slični izvori. Slika 13 prikazuje što se događa u našem tijelu kada se stvore slobodni radikali.

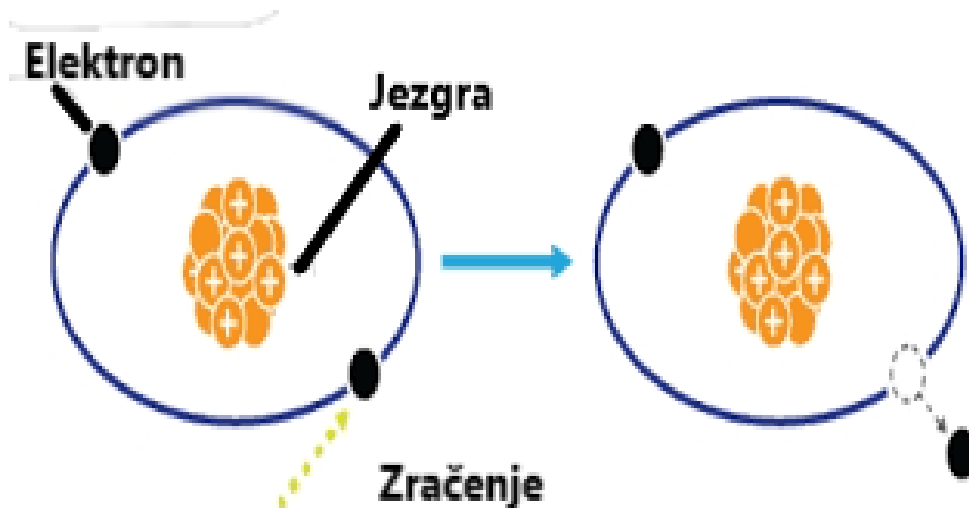


Slika 13: Prikaz utjecaja slobodnih radikala na ljudsku stanicu, [26]

Prema svemu spomenutom i nabrojanom vidljivo je da zračenje, najčešće umjetno stvoreno, ima nesagledive posljedice na naš imunostni sustav. Te posljedice najčešće nisu vidljive trenutno nego nakon nekog vremena što dodatno pogoršava stvari. Duže vrijeme izlaganju značit će da tijelu ostaju manji kapaciteti za borbu protiv ostalih nedaća. Zato je potrebno umjereno i kontrolirano korištenje uređaja koji emitiraju elektromagnetska zračenja.

## 4. Visokofrekventna elektromagnetska polja

Visokofrekventna elektromagnetska polja smatraju se ona koja prelaze frekvenciju od 300 GHz-a. Njihova glavna karakteristika je zagrijavanje tkiva. Kada se govori o visokofrekventnom ionizirajućem zračenju onda se misli na ono koje ima dovoljnu energiju da izbací elektron iz njegove putanje. To je prikazano na slici 14.



Slika 14: Energija je dovoljna da izbací elektron iz putanje, [27]

Takva polja predmet su rasprava. Tablica 3 prikazuje koje su fizičke, kemijske, biokemijske i biološke posljedice izlaganja tvari (stanica) visokofrekventnim elektromagnetskim zračenjima. Vidljivo je da se najprije događaju fizičke 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 3: Prikaz koliko je vremena potrebno kako bi zračenje djelovalo na pojedini aspekt te koje su posljedice

Vrsta djelovanja	Vrijeme potrebno	Posljedice
Fizičko	$10^{-15}\text{s}$	ionizacija
Kemijsko	$10^{-15}\text{s} - 10^{-11}\text{s}$	Stvaranje slobodnih radikala
Biokemijsko	$10^{-11}\text{s} - 10^{-3}\text{s}$	Promjene u metabolizmu
Biološko	$10^{-3}\text{s} - \text{minute, sati, dani, godine}$	Oštećenja prilikom razdvajanja stanica, genetske mutacije

Izvor: [28]

#### 4.1. Biološko djelovanje

Potencijalni biološki učinci zračenja elektromagnetskih polja mogu se podijeliti u četiri kategorije zavisno o njihovim frekvencijama, [29]:

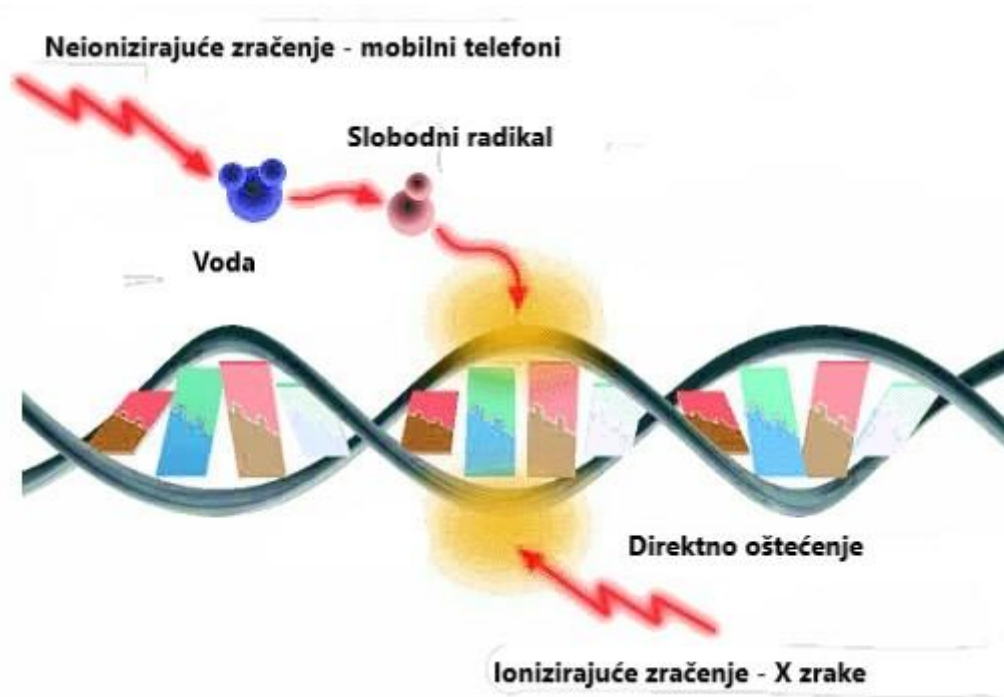
1. Statička polja – frekvencija je 0 Hz
2. Polja ekstremno niske frekvencije – frekvencija je u rasponu od 0 Hz pa sve do 300 Hz
3. Radiofrekvencije i mikrovalovi – frekvencija je iznosa od 300 Hz pa do otprilike 300 GHz
4. Polja viših frekvencija – frekvencija je veća od 300 GHz



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

Jedan od načina oštećenja DNK može se sagledati sa dvije strane; direktnim (izravnim) i neizravnim utjecajem prikazano na slici 15, [30]. Direktno oštećenje posljedica je ionizacije ciljnih makromolekula pod djelovanjem zračenja. Neizravno oštećenje događa se prilikom utjecaja vanjskog izvora zračenja pri čemu se kemijskim procesom ionizacije bilo vode, kisika ili drugih atoma ili molekula stvaraju slobodni radikali koji uzrokuju štetu na makromolekulama. Makromolekule su veće molekule, poput proteina, koji izgrađuju naše tijelo.



Slika 15: Prikaz izravnog i neizravnog oštećenja DNK, [31]

Drugi način oštećenja DNK može biti genetski ili somatski. Ako se dogodi genetsko oštećenje i ako se dogodi greška prilikom popravka, u budućnosti može doći do mutacije ili epigenetskih promjena. Somatsko oštećenje može označavati trenutne ili odgođene efekte.

Ionizirajuće zračenje utječe na sve žive tvari na razini atoma, ionizirajući molekule od kojih se sastoji naše tijelo. Kada ionizirajuće zračenje dođe u kontakt sa stanicom moguće je slijedeće, [32]:

- zračenje može proći kroz stanicu bez da uzrokuje bilo kakvo oštećenje
- može oštetiti stanicu, ali se stanica nakon toga može regenerirati
- može poremetiti sposobnost stanice da se reproducira, i samim time uzrokovati mutacije
- kao najgori scenarij je smrt stanice; smrt prevelikog broja stanica uzrokuje odumiranje organizma

## 4.2. 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.

Izmjenična elektromagnetska polja, koja konstantno mijenjaju smjer, nastaju upotrebom uređaja koji rade na izmjeničnoj struji.

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, [33]. 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.

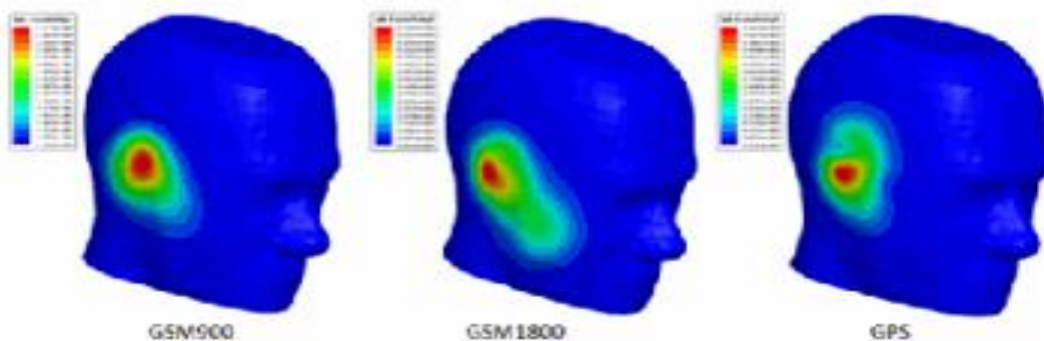
Kada se dosegne veliki broj odumrlih stanica uzrokovanih zračenjem, tijelo gubi kontrolu nad tim dijelom. Kao primjeri fizičkog djelovanja mogu se navesti, [34]:

- 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 bežičnih tehnologija na zdravlje čovjeka

U današnjem modernom dobu sve je češće pitanje zračenja mobilnih uređaja i antena koje se postavljaju u naseljima pretežito zbog količina koji se koriste i postavljaju. Bez obzira na neke dokazane efekte zračenja naročito mobilnih uređaja poput apsorpcije zračenja u tkivu, i nekih koje nisu sa sigurnošću utvrđeni niti odbačeni poput karcinoma, broj korisnika u neprestanom je rastu. Već spomenuti problem je taj da zračenje ne možemo vidjeti niti osjetiti, barem trenutno, pa je samim time i u manjem fokusu ljudsko zdravlje. Primjerice kod uspostave poziva dolazi do odašiljanja i primanja radiosignala od i do bazne stanice. Tu dolazi do pitanja da li proizvođači uređaja trebaju dokazati da su ti signali u dozvoljenim granicama i ne zrače ili su korisnici primorani sami saznati.

Bežične tehnologije ne utječu samo na ljude i ljudsko zdravlje već i na okolinu. Biljni i životinjski svijet trpe gotovo jednake posljedice tog zračenja. Kako je zračenje neizbježno, potrebno je poduzeti mjere da bi ga smanjili i neutralizirali u potpunosti. To može biti od korištenja mobitela koji imaju manju stopu apsorpcije prikazano slikom 16 pa do gradnje kuća koje sprječavaju prodiranje elektromagnetskog zračenja. Različite bežične mobilne tehnologije imaju i različite količine zračenja.



Slika 16: Prikaz kako različite bežične mobilne tehnologije imaju različiti stupanj zračenja, [35]

## 5.1. Specifičnost postavljanja antena u naselju

U Republici Hrvatskoj se trenutno nalazi nekoliko tisuća baznih stanica. Prema [36], bazne stanice su zemaljske stanice u mobilnim komunikacijama koje služe za prijem i odašiljanje signala prema različitim uređajima. Taj termin se koristi u kontekstu bežičnih komunikacija, bežičnih računalnih mreža te bilo koje vrste bežične komunikacije. One se najčešće postavljaju na stambene zgrade i ostale objekte koji odgovaraju određenim zadanim parametrima poput visine, praznog prostora ispred objekata i slično. Antene su u većini slučajeva grupirane kao što je vidljivo na slici 17. Različite vrste odašilju na različitim frekvencijama za uzlaznu i silaznu vezu. Snage na kojima te antene rade su od nekoliko desetaka pa do nekoliko stotina tisuća Watta.

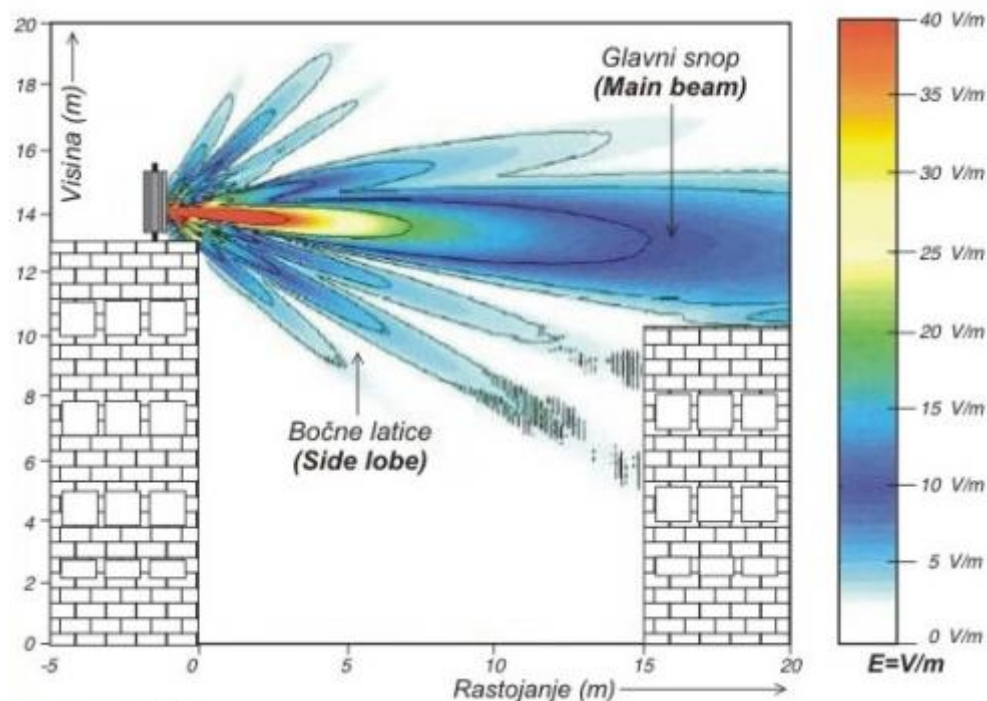


Slika 17: Prikaz tipične bazne stanice sa antenama koja se postavlja u naseljima, [37]

Jačina elektromagnetskog polja koje je emitirano pri odašiljanju signala ovisi o nekoliko čimbenika; njegovoj vrsti, snazi odašiljanja, visini antene te o udaljenosti od antene. Antene baznih postaja postavljaju se tako da je smjer u kojem zrače najjaču energiju slobodni prostor ispred njih, što je neophodno za širenje elektromagnetskih

valova na što veće udaljenosti. U smjeru ispod antena zračenje je najmanje, a u svim ostalim smjerovima razina zračenja se smanjuje s kvadratom udaljenosti, [38].

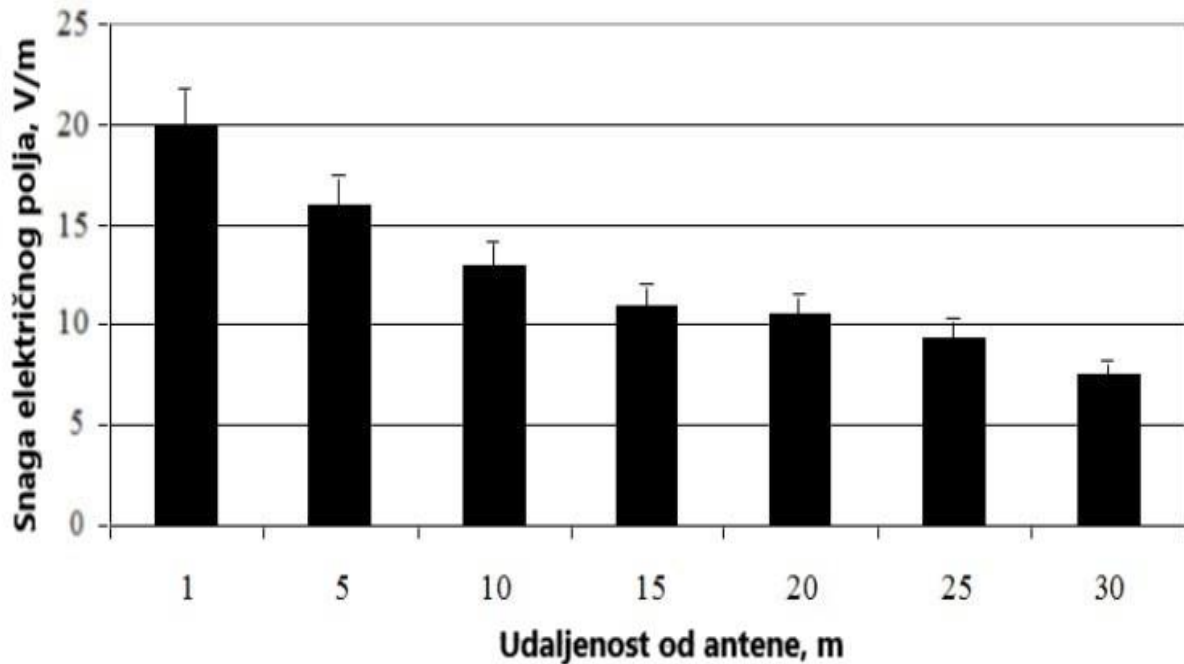
Slikom 18 prikazan je rad antena te smjer i način širenja signala. Smjer glavne latice sadrži najveći dio energije, direktno izlaganje toj energiji je najštetnije za zdravlje te samim time i doseže najveću udaljenost. Širenje latica nije jednoliko. Količina snage opada sa kvadratom udaljenosti od izvora zračenja. Antene se radi toga stavljaju na krovove koji bi trebali biti puno viši od okolnih objekata kako bi propagacija vala bila što veća.



Slika 18: Način širenja valova iz antene, [39]

Preporučena dopuštena razina elektromagnetskog zračenja za bazne stanice od strane Međunarodne komisije za zaštitu od neionizirajućeg zračenja (ICNIRP), Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) i Europske unije je do 42 V/m u frekvencijskom području u kojem rade GSM antene za frekvenciju 935 MHz. U Hrvatskoj je ograničenje postavljeno na 16.8 V/m, [39].

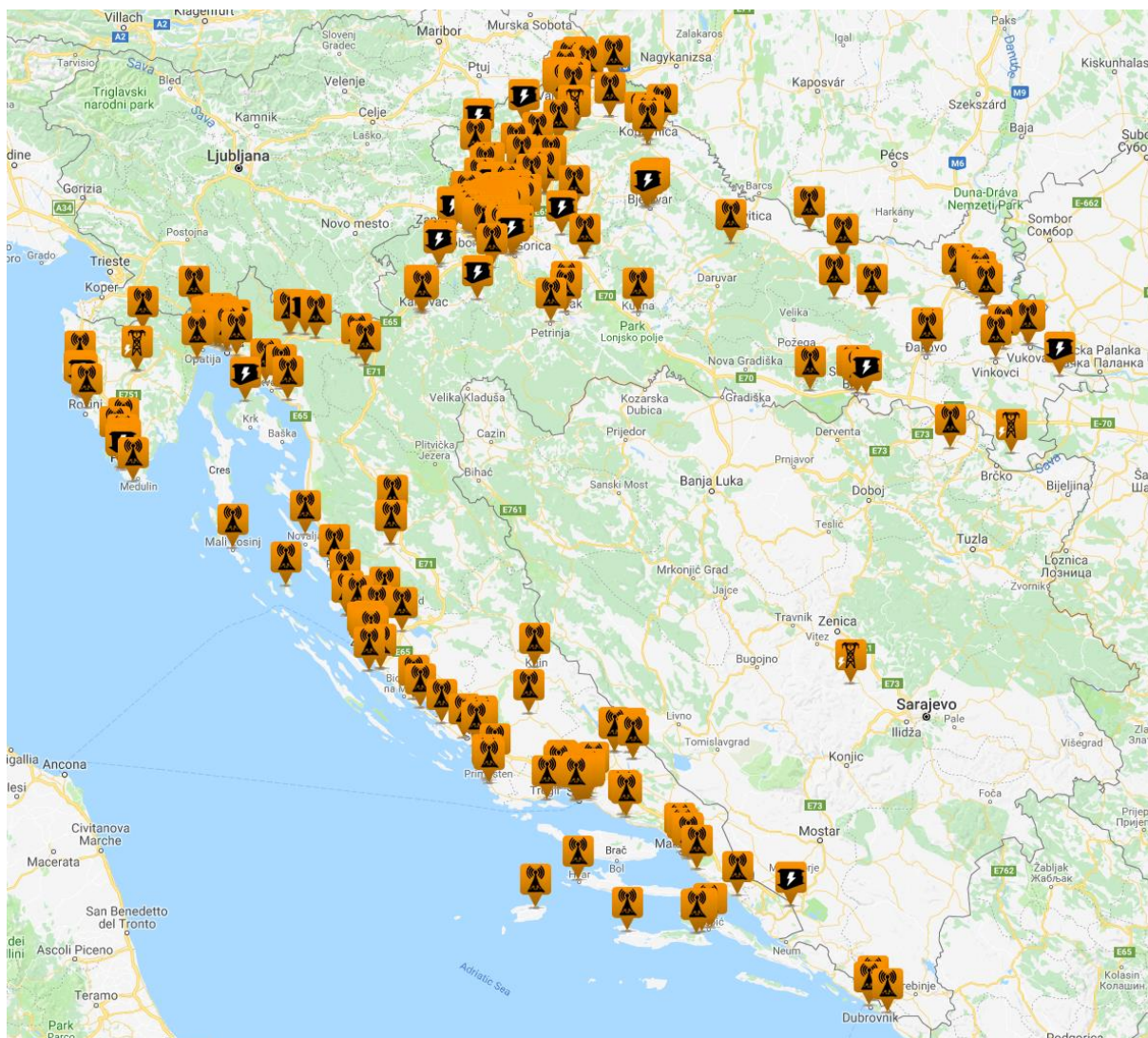
Primjerice, prema mjerenjima koja su obavljena sa antenom efektivne izračene snage od 1739 [W] na visini od 12 metara od zemlje, uočen je drastičan pad snage električnog polja već na udaljenosti od 15 metara i vrijednosti su se gotovo prepolovile te su pale sa 20 V/m na 11.4 V/m, [40]. Slika 19 prikazuje kako udaljenost utječe na izračenu snagu električnog polja. Veća udaljenost znači i veći pad snage.



Slika 19: Pad snage posljedica je udaljenosti signala od antene, [40]

Trenutan broj baznih stanica u Hrvatskoj je nekoliko tisuća. Slika 20 prikazuje broj baznih stanica u 2018. godini. Vidljivo je da su operateri koncentrirali veliku većinu baznih stanica u naseljenim područjima, gdje je veća količina ljudi. Samim time je i profit i iskoristivost tih baznih stanica veća. Prema pravilniku o zaštiti od elektromagnetskih polja [41], članak 13., na područjima povećane osjetljivosti razina elektromagnetskog polja za pojedinačnu frekvenciju ne smije prelaziti određene vrijednosti koje su utvrđene mjerenjima.

Pod područjima povećane osjetljivosti, prema članku 2 istog zakona, podrazumijevaju se stambene zgrade, škole, ustanove pedagoškog odgoja, rodilišta, bolnice, domovi za starije i nemoćne, turistički objekti te dječja igrališta.

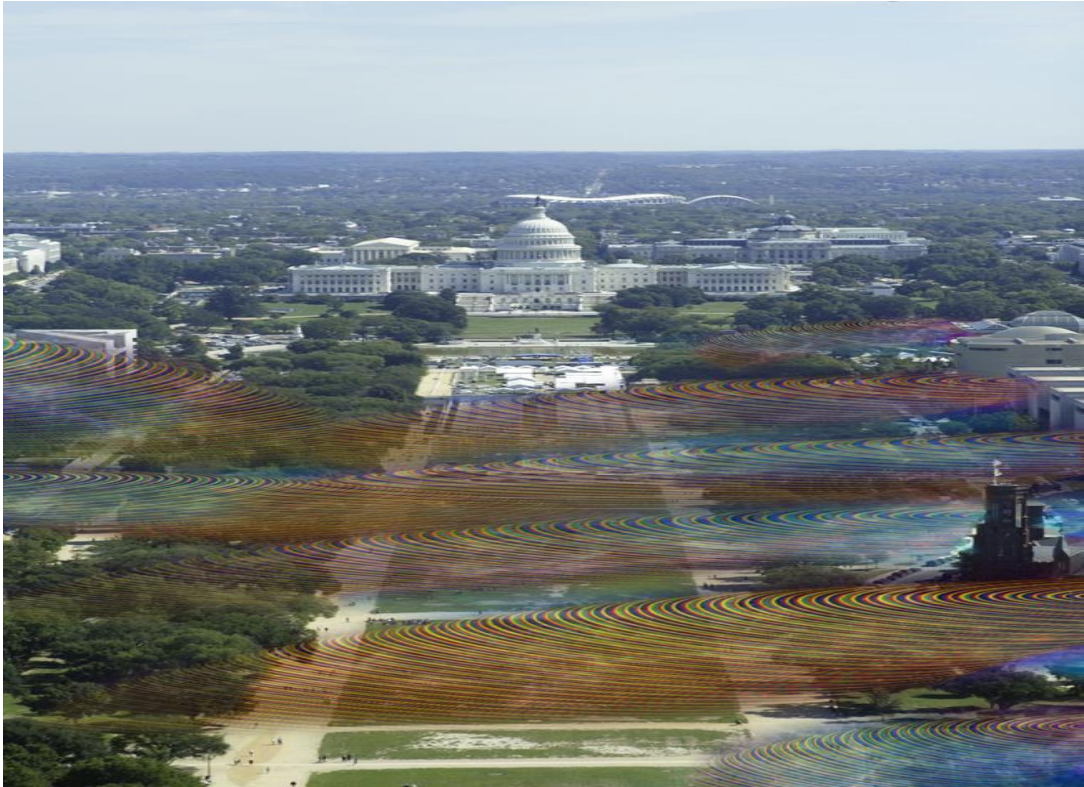


Slika 20: Prikaz baznih stanica u Hrvatskoj u 2018. godini, [42]

Kao što je već spomenuto, zračenje baznih stanica odnosno antena regulirano je različitim pravilnicima. Pokrivenost signalom na velikom području države ima svoje prednosti, kao što su stalna dostupnost signala i jačina signala.

S druge strane tu je i uvijek prisutno pitanje zdravlja. Iznenadan porast broja karcinoma kod osoba koje žive u blizini baznih stanica, nesаница i slično samo su neki od problema na koje se ljudi žale. Vrijednost svake nekretnine koja se nalazi u blizini antene telekom operatera ima za posljedicu pad same prodajne cijene. Kako bi izgledao Wi-Fi signal da ga primjerice možemo osjetiti našim osjetilima prikazan je slikom 21. Vidljivo je da gotovo ne postoji područje koje nije pokriveno jačim ili slabijim signalom.





Slika 21: Pokrivenost Wi-Fi signalom u naseljenom području, [43]

Novе tehnologije koje se ubrzano razvijaju poput pametnih gradova, pametnih kuća i pametnih automobila zahtijevaju konstantu umreženost i pokrivenost signalom. Samim time bi i pitanja oko zdravlja ljudi i okoline trebala doći do ozbiljnijih rasprava da se utvrde načini zaštite od štetnog zračenja i pokuša više pažnje posvetiti na čin zaštite.

## 5.2. SAR jedinica

### 5.2.1. SAR jedinica – općenito

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 apsorbiranja (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.

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.

### 5.2.2. Računanje SAR jedinice

Specifični stupanj apsorpcije računa se pomoću izraza, [44]:

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

pri čemu je:

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

Nešto drugačiji zapis formule 2 prikazan je formulom 3:

$$SAR = \frac{1}{V} \int \frac{\sigma \times E^2}{m_d} \quad (3)$$

gdje se u obzir uzima i volumen  $V$  uzorka.

Prema [45] 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.

Mjerenje SAR-a uzimajući u obzir temperaturu računa se pomoću formule 4, [46]:

$$SAR = c \frac{\Delta T}{\Delta t} \equiv 4186 c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (4)$$

gdje je  $c$  specifična toplota 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 DECT<sup>1</sup> 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, [47].

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.

---

<sup>1</sup> engl. *Digital Enhanced Cordless Telecommunications* – telefoni koji se pretežito koriste u kućanstvima i uredima i imaju svoju stanicu

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.

### 5.2.3. Dozvoljene granice

Testiranjima su utvrđene različite dopuštene granice izlaganja za ljudski organizam zavisno o dijelu tijela prikazane su u tablici 4. 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.

Tablica 4: Maksimalne dopuštene SAR vrijednosti za ljudski organizam pri frekvencijama od 100 kHz do 10 GHz, mjerene u šetominutnom intervalu

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 tijela (ekstremiteti)	20	4

Izvor: [49]

Slika 22 prikazuje kako izgledaju testiranjima utvrđene SAR granice. Sa lijeve strane prikazana je količina radiofrekvencijske energije. Što se više ide prema većim vrijednostima to postaje opasnije za korisnika. Donji sigurnosni prag predstavlja granicu do koje su korisnici sigurni pri korištenju svojih mobilnih telefona, a donesena je koncenzusom vijeća koje je preporučilo da je to sigurno izlaganje radiofrekvencijskom zračenju. Gornji prag predstavlja vrijednost iznad koje dolazi povećane mogućnosti pojavljivanja štetnih zdravstvenih i sigurnosnih rizika koji su utvrđeni testiranjima kada se izlaže zračenju mobitela i trebali bi se izbjegavati utjecaji takvih energija pogotovo na duži period. Ono što je između je granica između šetnog i sigurnog izlaganja.



Slika 22: Prikaz pragova sigurnog i šetnog djelovanja radiovalova, [50]

#### 5.2.4. Testiranje SAR jedinice na mobilnim telefonima

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

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 23.



Slika 23: Testiranje zračenja na fantomskoj glavi, [51]

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, [52].

Primjerice, FCC<sup>2</sup> 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, [53].

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, [53].

---

<sup>2</sup> FCC (engl. Federal Communications Commission) – Savezna regulatorna komisija za komunikacije, zadužena za održavanje standarda u komunikacijama; štiti interese i korisnika i telekomunikacijskih organizacija

## 6. Pravilnici o minimalnim i sigurnosnim zahtjevima

Učinci elektromagnetskog zračenja regulirani su brojnim aktima na nacionalnom i međunarodnom polju. U Republici Hrvatskoj postoji nekoliko pravnih propisa koji reguliraju dopuštenu količinu neionizirajućeg elektromagnetskog zračenja, [54]:

- Zakon o zaštiti od neionizirajućih zračenja, Narodne novine - 91/10,
- Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja, Narodne novine - 146/14

Tako se primjerice zakonom o zaštiti od neionizirajućih zračenja propisuje, [55]:

- Načela zaštite od neionizirajućeg zračenja
- Mjere zaštite od neionizirajućeg zračenja
- Zdravstveni uvjeti za rukovatelje koji su izloženi neionizirajućem zračenju
- Dozvole
- Odgovornosti i ostalo

Pravilnikom o zaštiti od elektromagnetskih polja propisuju se, [56]:

- granične razine elektromagnetskih polja, postupci njihovog provjeravanja i uvjeti za dobivanje ovlasti za obavljanje tih postupaka, kao i posebni zahtjevi za uređaje, postrojenja i građevine koje su izvori elektromagnetskih polja ili sadrže izvore elektromagnetskih polja,
- izvori elektromagnetskih polja, za koje je obvezna dozvola ministra zdravlja,
- uvjeti koje moraju ispunjavati pravne ili fizičke osobe za projektiranje ili postavljanje i uporabu izvora elektromagnetskih polja,
- uvjeti za ishođenje ovlaštenja za obavljanje stručnih poslova zaštite od neionizirajućih zračenja, i
- način vođenja evidencija te dostavljanja izvješća i podataka ovlaštenih pravnih osoba.



Tim pravilnicima ograničuju se vrijednosti elektromagnetskog zračenja kojima ljudi smiju biti izloženi. Tako primjerice postoje područja izloženosti na profesionalnoj razini i područja izloženosti za opću populaciju. Područja opće populacije su bolnice, škole i slično gdje borave djeca, starije osobe, trudnice i drugi. Područja profesionalne izloženosti odnose se na područja na kojima radnici borave tijekom svojih radnih dana.

To je što se tiče zaštite građana Republike Hrvatske. U Europskim i svjetskim zemljama te akte donose Institut za električnih i elektroničkih inženjera, IEEE, i Međunarodni odbor za neionizirajuće zračenje, ICNIRP. Oni propisuju granične definirane vrijednosti koje ne bi smjele prijeći prilikom izlaganja zračenju.

## 7. Zaključak

Razvojem tehnologije došlo je do ekspanzije broja korisnika uređaja koji zrače i otpuštaju štetna elektromagnetska zračenja. Iako smo od rođenja okruženi prirodnim elektromagnetskim poljima to ne znači da nam je povećana količina koja dolazi od umjetnih izvora dobra za zdravlje. Postoje dvije strane koje govore dvije potpuno različite stvari - studije koje su provedene od strane nezavisnih institucija jasno govore da je zračenje stvoreno ljudskom rukom štetno, dok druga strana, proizvođači uređaja, govore da nema opasnosti i da su njihovi uređaji testirani i da zadovoljavaju postavljene norme. Pametni mobilni uređaji, pametne kuće i automobili samo su neki od problema kada se govori o ljudskom zdravlju i elektromagnetskih zračenjima. To je dovelo do same promjene načina života. Depresija, poremećaji sa snom, pojava teških oboljenja samo su neke od posljedica koje su došle sa ekspanzijom gradova i elektroničkih uređaja.

Najveća prijetnja elektromagnetskog zagađenja je ta što naša osjetila nisu dovoljno razvijena da bi osjetila njihovu štetnost prije negoli nam zaista naudi. Upravo zato se veliki dio krivnje uzrokovane elektrosmogom prebacuje na lošu prehranu, stres na poslu i slično. Istraživanja Međunarodne agencije za istraživanja raka (IARC) pokazala su da svakodnevno korištenje mobilnih uređaja, kojih se procjenjuje da ima preko pet milijardi, ili korištenja bežičnih tehnologija uvelike povećava rizik od neželjenih zdravstvenih tegoba. Primjerice, korištenjem mobitela samo 30-ak minuta dnevno u rasponu od 10 godina rizik za nastanak glioma, vrste tumora mozga, povećava se i do 40% i to za najteže oblike.

Bioinicijativa 2012., radna grupa koja se bavi istraživanjima utjecaja mobilnih telefona, bežičnih tehnologija i baznih postaja na ljudsko zdravlje, među raznim provedenim istraživanjima dokazala su da elektromagnetski stres kojem izlažemo organizam ima utjecaj na oštećenja i promjene u našem DNK.

Prema istraživanjima Svjetske zdravstvene organizacije provedene na velikom broju osoba koje žive u blizini objekata kojima smo svakodnevno okruženi poput visokonaponskih vodova ili baznih postaja/antena, utvrđeno je da dolazi do povećanog

rizika od razvitka po život opasnih bolesti. Istraživanja na osobama koje borave u blizini ekstremno niskih frekvencija pokazala su da ta polja mogu utjecati na kardiovaskularni sustav gdje se broj otkucaja srca smanjio ili povećao za 3-5 otkucaja/minuti.

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.

## Popis literature

- 1) Web: <http://www.satisshielding.com/electromagnetic-field-shielding/electromagnetic-fields-long-term-effects/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 2) Web: [http://www1.lsbu.ac.uk/water/magnetic\\_electric\\_effects.html](http://www1.lsbu.ac.uk/water/magnetic_electric_effects.html)  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 3) Web: <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 4) Web: <http://www.nemis.hr/index.php/radioaktivnost/prirodno-zracenje.html>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 5) Web: <http://knowledgevita.com/nuclear-hazards-sources-of-radioactivity-effects-causes-and-control/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 6) Web: <https://www.emfanalysis.com/ehs-symptoms/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 7) Web: <https://edu.glogster.com/glog/svjetlost/23lt3fb4j0e?=&glogpedia-source>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 8) Web: <https://www.spaceacademy.net.au/spacelink/radiospace.htm>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 9) Web: <https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/radiation-exposure/extremely-low-frequency-radiation.html> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 10) Web: <https://www.arpansa.gov.au/understanding-radiation/what-is-radiation/non-ionising-radiation/low-frequency-electric-magnetic-fields> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 11) ICNIRP, 1998; Dostupno na:  
<https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPemfgdl.pdf>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 12) Web: <https://www.psychologytoday.com/us/blog/the-athletes-way/201504/alpha-brain-waves-boost-creativity-and-reduce-depression> [pristupljeno: kolovoz 2018.]

- 13) Web: <https://www.brainev.com/core/research-benefits/Brainwaves.aspx>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 14) Web: <https://www.binauralbeatsfreak.com/brainwave-entrainment/alpha-brain-waves-everything-you-need-to-know> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 15) Narodne novine (srpanj 2010), Zakon o zaštiti od neionizirajućeg zračenja; dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010\\_07\\_91\\_2571.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2010_07_91_2571.html)  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 16) Web: <https://education.pasco.com/epub/PhysicsNGSS/BookInd-1580.html>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 17) Research Regulatory Compliance (2015); dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/topics/pharmacology-toxicology-and-pharmaceutical-science/non-ionizing-radiation> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 18) Web: <https://www.electricsense.com/1138/my-9-tips-to-cut-down-on-exposure-to-computer-radiation/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 19) Web: <https://www.tnuda.org.il/en/health-effects/background/non-ionizing-radiation-harmful-health> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 20) Web: <http://www.gradimo.hr/clanak/utjecaj-elektromagnetskih-polja/25853>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 21) Web: <http://emwatch.com/what-emf-does-to-your-body/>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 22) Web: [herbal-clinic.com](http://herbal-clinic.com) [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 23) Web: <https://atma.hr/zracenja-iz-mobitela-i-antena-unistavanju-nasu-dnk-i-stvaraju-rak/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 24) Web: <https://www.placebo.hr/lab/index.php> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 25) Web: <https://inspiredliving-blog.com/how-your-cell-phone-affects-your-blood/>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 26) Web: <https://zo-skinhealth.co.uk/free-radicals-everything-you-need-to-know/>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]

- 27) Web: <http://www.assignmentpoint.com/science/physics/ionizing-radiation.html>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 28) Web: [https://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0095\\_fogaszat\\_angol/ch01s20.html](https://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2011-0095_fogaszat_angol/ch01s20.html) [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 29) Macri, M. A., Di Luzio Sr., Di Luzio S, (2002), Biological Effects of Electromagnetic Fields; dostupno:  
<http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/039463200201500204>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 30) Buretić-Tomljanović, Alena, Biološki učinci ionizirajućeg zračenja; dostupno na:  
<http://krt.com.hr/2014/wp-content/uploads/2016/05/Biol-ucinci-zracenja-Buretic-Tomljanovic.pdf> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 31) Web: <https://www.rfsafe.com/scientists-end-13-year-debate-proving-non-ionizing-rf-microwave-effect-causes-cell-phone-radiation-dna-damage/>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 32) Web: <http://teachnuclear.ca/all-things-nuclear/radiation/biological-effects-of-radiation/effects-of-ionizing-radiation-on-dna/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 33) Web: [https://www.wku.edu/ehs/radiation/module-2\\_biological\\_effects.pdf](https://www.wku.edu/ehs/radiation/module-2_biological_effects.pdf)  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 34) Web: <https://www.imagewisely.org/Imaging-Modalities/Computed-Tomography/Imaging-Physicians/Articles/Ionizing-Radiation-Effects-and-Their-Risk-to-Humans> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 35) Web: [https://vertassets.blob.core.windows.net/image/2f3275f8/2f3275f8-3af3-4cc8-934b-9c031fda89d9/sar\\_smart\\_phone\\_model.gif](https://vertassets.blob.core.windows.net/image/2f3275f8/2f3275f8-3af3-4cc8-934b-9c031fda89d9/sar_smart_phone_model.gif) [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 36) ITU (2016); dostupno na:  
<http://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/1.43.48.en.101.pdf>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 37) Web: <https://www.istockphoto.com/photos/concrete-repeater-tower-microwave-tower-mobile-phone-base-station> [pristupljeno: kolovoz 2018.]

- 38) Ministarstvo zdravstva; dostupno na:  
<https://zdravlje.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/Tekstovi%20razni/Brosura-NEM.pdf> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 39) Web: <http://dariozurovec.tumblr.com/post/138336292867/bazne-stanice-i-telekomunikacijski-problemi> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 40) Buckus, Strukčinskiene, Raistenskis (2017), A Technical Approach to the Evaluation of Radiofrequency Radiation Emissions from Mobile Telephony Base Stations; dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5369080/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 41) Narodne novine (2014), Pravilnik o zaštiti od elektromagnetskih polja; dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2014\\_12\\_146\\_2740.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2014_12_146_2740.html) [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 42) Web:  
<https://adriaticmedianethr.files.wordpress.com/2017/02/fdasfsafas.jpg?quality=100&strip=all&strip=all> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 43) Web: <http://www.globaltruth.net/what-if-your-naked-eye-could-see-wifi-signals/> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 44) Web: <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/sar-rf-exposure-calculator> [pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 45) Web: [http://www.who.int/peh-emf/meetings/04\\_Chou.pdf](http://www.who.int/peh-emf/meetings/04_Chou.pdf)  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]
- 46) Sanchez-Hernandez, David A., High Frequency Electromagnetic dosimetry, Boston, 2009.;
- 47) 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.]
- 48) Web: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2179-10742013000200010](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-10742013000200010) [pristupljeno: kolovoz 2018.]

49) Web: <http://arquivo.splat-n.com/engineering/comparison-of-radio-frequency/>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]

50) Web: [https://www.ic.gc.ca/eic/site/ceb-bhst.nsf/eng/h\\_tt00084.html](https://www.ic.gc.ca/eic/site/ceb-bhst.nsf/eng/h_tt00084.html)  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]

51) Web: <https://pongcase.com/blog/children-cell-phone-radiation-standards/>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]

52) Web: <https://techbuffoon.wordpress.com/2013/06/01/sar-tick/>  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]

53) Web: <https://www.fcc.gov/consumers/guides/specific-absorption-rate-sar-cell-phones-what-it-means-you> [pristupljeno: kolovoz 2018.]

54) Web: <https://zdravstvo.gov.hr/o-ministarstvu/djelokrug-1297/sanitarna-inspekcija/zastita-od-zracenja/regulativa-u-podrucju-zastite-od-elektromagnetskih-polja-u-republici-hrvatskoj-1779/1779>; [pristupljeno: kolovoz 2018.]

55) Web: <https://www.zakon.hr/z/347/Zakon-o-zastiti-od-neionizirajuceg-zracenja>;  
[pristupljeno: kolovoz 2018.]

56) Web: <https://www.zastitanaradu.com.hr/images>; [pristupljeno: kolovoz 2018.]



## Popis slika

Slika 1: Prikaz kako se električno i magnetsko polje ponaša prilikom interakcije sa ljudskim tijelom, [1].....	4
Slika 2: Način titranja električnog i magnetskog polja, [2] .....	5
Slika 3: Udio prirodnih i umjetnih zračenja, [5] .....	7
Slika 4: Prikaz elektromagnetskog spektra, [7] .....	9
Slika 5: Apsorpcija negativnih valova u mozgu, [12] .....	13
Slika 6: Prikaz rada alfa valova, [13] .....	14
Slika 7: Prikaz rada theta valova, [13] .....	14
Slika 8: Prikaz utjecaja neionizirajućeg zračenja na atome, [16].....	15
Slika 9: Prikaz povećanja tjelesne temperature kao jedan od utjecaja niskofrekventnih elektromagnetskih valova prilikom korištenja računala, [18].....	17
Slika 10: Prikaz normalnog dijeljenja stanice (gore) i dijeljenja stanica raka uzrokovano elektromagnetskim stresom (dolje), [22].....	21
Slika 11: Prikaz crvene krvne stanice prije (lijevo) i nakon djelovanja elektromagnetskog polja (desno), [25].....	22
Slika 12: Prikaz oštećenja crvenih krvnih zrnaca.....	23
Slika 13: Prikaz utjecaja slobodnih radikala na ljudsku stanicu, [26].....	24
Slika 14: Energija je dovoljna da izbací elektron iz putanje, [27].....	25
Slika 15: Prikaz izravnog i neizravnog oštećenja DNA, [31].....	27
Slika 16: Prikaz kako različite bežične mobilne tehnologije imaju različiti stupanj zračenja, [35].....	30
Slika 17: Prikaz tipične bazne stanice sa antenama koja se postavlja u naseljima, [37].....	31

Slika 18: Način širenja valova iz antene, [39].....	32
Slika 19: Pad snage posljedica je udaljenosti signala od antene, [40].....	33
Slika 20: Prikaz baznih stanica u Hrvatskoj u 2018. godini, [42].....	34
Slika 21: Pokrivenost Wi-Fi signalom u naseljenom području, [43].....	35
Slika 22: Prikaz pragova sigurnog i štetnog djelovanja radiovalova, [50].....	39
Slika 23: Testiranje zračenja na fantomskoj glavi, [51].....	40

## Popis tablica

Tablica 1: Podjela elektromagnetskog spektra po frekvencijama, njihove karakteristike i područja upotrebe, [8] .....	9
Tablica 2: Izvori neionizirajućeg zračenja, vrste polja te maksimalna dopuštena količina pri izlaganju, [20] .....	19
Tablica 3: Prikaz koliko je vremena potrebno kako bi zračenje djelovalo na pojedini aspekt te koje su posljedice, [28] .....	26
Tablica 4: Maksimalne dopuštene SAR vrijednosti za ljudski organizam pri frekvencijama od 100 kHz do 10 GHz, mjerene u šestominutnom intervalu, [49] .....	38



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad  
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na  
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.  
Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz  
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.  
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj  
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.  
Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Utjecaj elektromagnetskih polja na organizam čovjeka**

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

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 10.09.2018.

Student/ica:

*Stevanović Sanjka*  
\_\_\_\_\_  
(potpis)