

# Mjerenje EM zračenja kućanskih uređaja

---

Lijović, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:849840>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**Mjerenje EM zračenja kućanskih uređaja**

**Završni rad**

**Ante Lijović**

**Osijek, 2019.**

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 1.1. Zadatak rada .....  | 2  |
| 2. ELEKTROMAGNETSKO POLJE.....   | 3  |
| 2.1. Elektromagnetski frekvencijski spektar .....  | 5  |
| 2.2. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na čovjeka .....                                 | 6  |
| 2.3. Definiranje norme i standarda po kojem se mjeri EM zračenje kućanskih uređaja ..... | 7  |
| 3. LABORATORIJSKA MJERENJA EM ZRAČENJA KUĆANSKIH UREĐAJA .....                           | 9  |
| 3.1. Propisani parametri mjerenja norme HRN EN 55014-1 .....                             | 9  |
| 3.2. Definiranje uređaja koji su izvori EM zračenja .....                                | 12 |
| 3.3. Mjerenje EM zračenja kućanskih uređaja .....  | 15 |
| 4. ANALIZA MJERENJA EM ZRAČENJA KUĆANSKIH UREĐAJA.....                                   | 17 |
| 4.1. Analiza rezultata mjerenja EM zračenja kućanskih uređaja .....                      | 17 |
| 5. ZAKLJUČAK .....   | 22 |
| LITERATURA.....  | 23 |
| SAŽETAK.....   | 25 |
| ABSTRACT .....   | 25 |
| ŽIVOTOPIS .....  | 27 |
| PRILOZI.....   | 28 |

# 1. UVOD

Elektromagnetsko polje predstavlja kombinaciju električnog i magnetskog polja te njihovo zajedničko širenje u obliku vala. Primarnim izvorima elektromagnetskog polja smatraju se električni naboji i njihovo uređeno gibanje koje tvori struju [1]. Pojava elektromagnetskog polja događa se u električnim instalacijama, raznim odašiljačima te svakodnevnim kućanskim uređajima. Svaki električni uređaj zrači EM energiju i na taj način, ovisno o jakosti njihovog elektromagnetskog polja, može doći u direktnu interakciju s drugim električnim uređajima. Pri djelovanju elektromagnetskog polja jednog uređaja mogu se pojaviti smetnje ili čak kompletan prekid rada drugog uređaja u njegovoj blizini. Ova pojava naziva se elektromagnetska interferencija (EMI) ili radio-frekvencijska interferencija (RFI) [2].

Manje zastupljena tema o kojoj se nedovoljno govori utjecaj je elektromagnetskog zračenja na ljude i njihovo zdravlje.

Sve veća prisutnost elektromagnetskog zračenja (u životima ljudi) posljedica je ubrzanog tehnološkog razvoja te se pojavljuju norme koje ukazuju na granice u kojima mora biti energija zračenja pojedinog uređaja.

Norma koja je postavljena kako bi se spriječila elektromagnetska interferencija i koja se koristi u Hrvatskoj jest HRN EN 55014:1 [3]. Norma propisuje granice dozvoljenih jakosti električnih polja kućanskih uređaja (a odnosi se na emisiju).

Elektromagnetska interferencija različitih uređaja koji se koriste svakodnevno tema je ovog završnog rada. Mjerenja su se provela na različitim vrstama uređaja poput sušila za kosu, štapnog miksera, aku-bušilice, uvijača za kosu, ručnog miksera te bušilice u laboratoriju za VF mjerenja na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, koji je opremljen uređajima za visokofrekvencijska mjerenja, budući da se radi o frekvencijskom opsegu 30 MHz-1000 MHz. Nakon uvodnog dijela bit će opisana teorijska osnova elektromagnetskog polja, ukazati na moguće posljedice elektromagnetskog zračenja, reći nešto više o samoj normi, opisat postupak mjerenja elektromagnetskog zračenja odabranih uređaja, prikazati rezultate mjerenja svakog pojedinog uređaja i samu analizu te na samom kraju vidjeti da li naši uređaji zadovoljavaju propisanu normu.

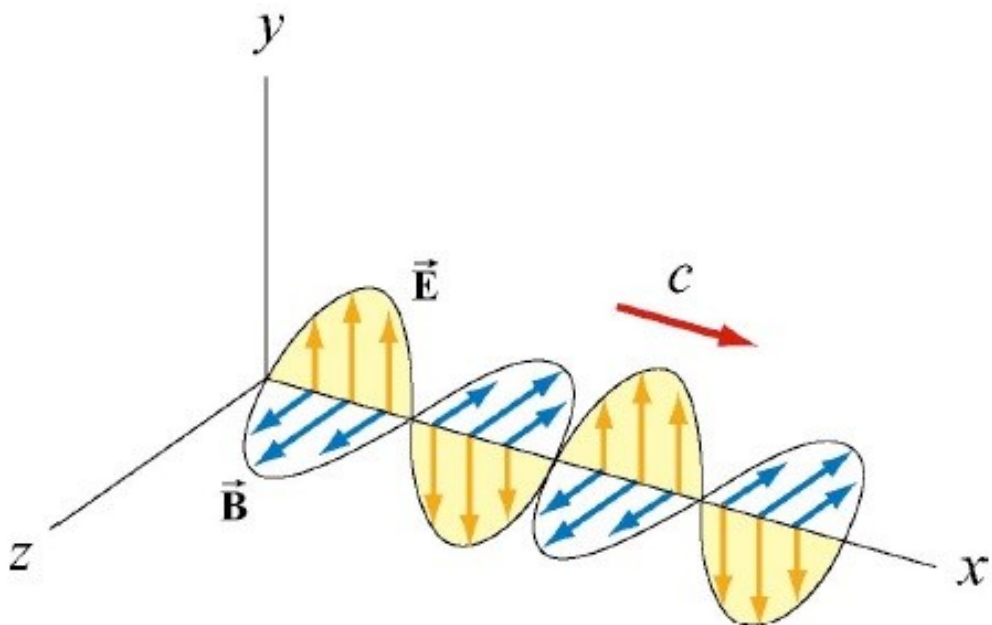
## **1.1. Zadatak rada**

Odaberi nekoliko kućanskih uređaja za koje postoje normirane vrijednosti zračenja te ih izmjeriti i usporediti s dozvoljenim vrijednostima.

## 2. ELEKTROMAGNETSKO POLJE

Izvori elektromagnetskog polja oduvijek su bili prisutni u našoj okolini. Magnetsko polje Zemlje, Sunčeve zrake te polja nastala uslijed atmosferskog pražnjenja prirodni su izvori elektromagnetskog zračenja. Osim prirodnih, postoje i umjetno stvoreni izvori elektromagnetskog zračenja, a to su svi uređaji kojima je za njihov rad potrebna električna energija.

Elektromagnetsko polje nastaje kao rezultat zajedničkog širenja električnog i magnetskog polja u obliku valova. Promjenjivo električno polje stvara magnetsko polje, a promjenjivo magnetsko polje stvara električno. Eksperimentalno je dokazano da se oko vodiča kojim teče struja stvara magnetsko polje, dok se na njegovim krajevima stvara električni napon [4]. Pojava uzajamne proizvodnje električnog i magnetskog polja širi se praznim prostorom u obliku vala brzinom svjetlosti. Slika 2.1. predstavlja nastanak elektromagnetskog polja i njegovo širenje.



*Slika 2.1. Nastajanje elektromagnetskog vala [5]*

Na slici 2.1. elektromagnetski val prikazan je u trodimenzionalnom koordinatnom sustavu. Os y predstavlja električno polje, os z predstavlja magnetsko polje, a os x smjer širenja vala. Elektromagnetski val transverzalni je val te su električno i magnetsko polje u fazi. Maksimalna i minimalna vrijednost jednog polja predstavlja istu takvu vrijednost drugog polja.

Teorija elektromagnetskog polja zasniva se osnovnim jednadžbama polja, tzv. Maxwellovim jednadžbama [6]. Postojanje korelacije između električnog i magnetskog polja matematički objedinjuje James Clerk Maxwell u koherentni sustav od 4 jednadžbe. U univerzalnom diferencijalnom obliku glase:

1.  $\nabla D = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$
2.  $\nabla B = 0$
3.  $\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$
4.  $\nabla \times H = \mu_0 \times J + \frac{1}{c^2} \times \frac{\partial D}{\partial t}$

gdje je:

D – gustoća električnog toka;

E – jakost električnog polja;

B – gustoća magnetskog polja;

H – jakost magnetskog polja;

$\varepsilon_0$  – dielektrična konstanta vakuuma;

$\rho$  – gustoća električnog naboja;

J – gustoća električne struje;

$\mu_0$  – permeabilnost vakuuma, a jednaka je:

$$\mu_0 = \frac{1}{\varepsilon_0 \times c^2}$$

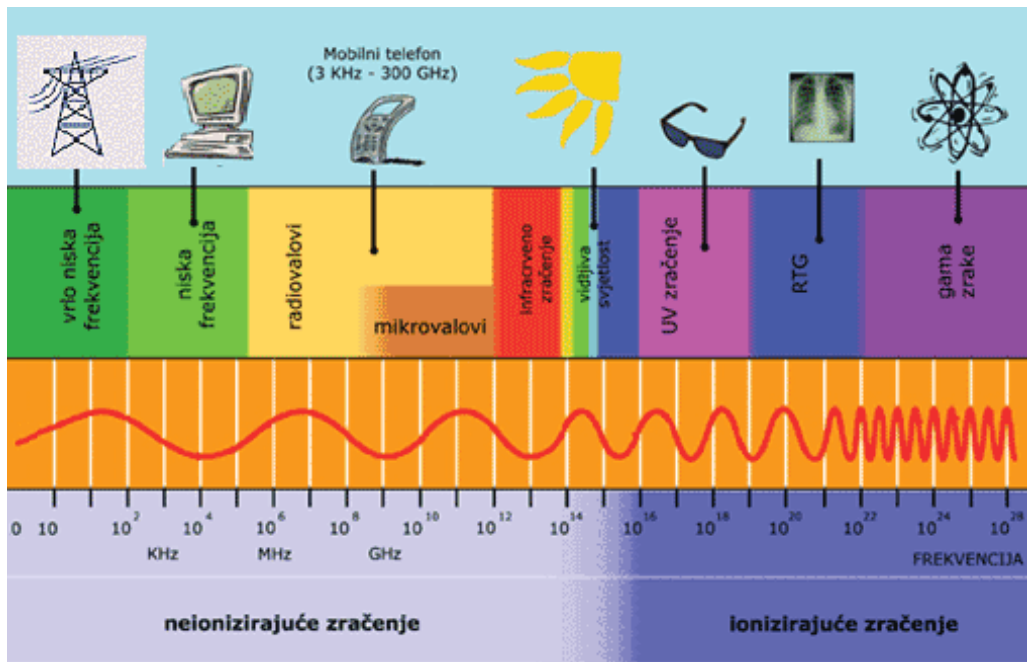
gdje je c brzina svjetlosti.

1. jednadžba bazira se na Gaussovom zakonu elektrostatike i odnosi se na električni naboj kao izvor električnog polja. Tok električnog polja kroz neku zatvorenu površinu proporcionalan je ukupnom električnom naboju u toj površini. Gaussov zakon za magnetizam je 2. jednadžba. On je temeljni fizikalni zakon koji predstavlja silnice magnetskog polja u obliku zatvorenih krivulja. Jednadžba prikazuje da je magnetski tok kroz bilo koju površinu jednak nuli te da ne postoje magnetski monopoli. Direktna veza magnetskog i električnog polja je 3. jednadžba bazirana na Faradeyevom zakonu elektromagnetske indukcije. Vremenski promjenjivo magnetsko polje uzrokuje električno polje vrtložnih karakteristika. Amperov zakon govori kako prolazak struje kroz neku površinu stvara magnetsko polje oko te površine. Maxwell je zaključio da osim struje izvor magnetskog polja može biti i vremenski promjenjiva gustoća električnog toka, što je ujedno 4. i posljednja Maxwelllova jednadžba.

## **2.1. Elektromagnetski frekvencijski spektar**

Usmjereno širenje vremenski promjenjivog električnog i magnetskog polja stvara elektromagnetsko polje koje se širi u obliku vala, odnosno fotona. Fotoni su elementarne fizikalne čestice koje također imaju svojstva vala te određuju količinu kinetičke energije u elektromagnetskom zračenju. Njihova količina energije proporcionalna je frekvenciji zračenja, nemaju masu ili električni naboj te se u vakuumu gibaju brzinom svjetlosti. Elektromagnetsko zračenje nastaje titranjem elektromagnetskih valova različitih frekvencija i valnih duljina za čiji prijenos nije potreban nikakav medij (npr. voda, zrak). Zakoni širenja jednaki su za sve elektromagnetske valove, bez obzira na valnu duljinu. Međutim, valovi različitih valnih duljina dolaze iz različitih izvora i imaju različito djelovanje na materiju [7]. Svi elektromagnetski valovi pripadaju spektru elektromagnetskog zračenja po količini energije koja se može prenositi različitim valovima, ovisno o količini energije zračenja spektar se može podijeliti na dvije zasebne kategorije zračenja – ionizirajuće i neionizirajuće. Elektromagnetski spektar zračenja obuhvaća ionizirajuća i neionizirajuća zračenja [8] (slika 2.2.).





*Slika 2.2. Dijelovi elektromagnetskog spektra [9]*

Ionizirajuće zračenje nalazi se u visokofrekvencijskom spektru te posjeduje ogromnu količinu energije. Zračenje je dobilo ime po tome što ima dovoljnu količinu energije u fotonima da iz orbite neutralnog atoma, odnosno iona, izbací elektron. U ionizirajućem spektru nalaze se visokofrekvencijske zrake kao što su ultraljubičaste, rendgenske, gama te kozmičke. Zbog velike količine energije koja izaziva ionizaciju i disocijaciju molekula, ionizirajuće zračenje može biti vrlo štetno za živa tkiva i molekule. Iako je ovo zračenje veoma opasno za ljude, što je potvrdila i medicina, svoju korisnost ovakva zračenja pronašla su upravo u medicini, gdje se različita ionizirajuća zračenja koriste u otkrivanju (dijagnostici) i liječenju (terapiji) tumora. Rendgensko se zračenje svakodnevno koristi u medicini jer ima svojstva da prodire kroz organske sustave ljudskog tijela te ostavlja trag na filmu [10]. Neionizirajuće zračenje nalazi se na puno manjim frekvencijama od ionizirajućeg te nema sposobnost prijenosa velike količine energije zbog male energije fotona. U tom spektru nalaze se radiovalovi i mikrovalovi, infracrvena svjetlost te vidljiva svjetlost. U području radiovalova nalaze se svi uređaji čije se zračenje mjerilo u ovom radu.

## 2.2. Utjecaj elektromagnetskog zračenja na čovjeka

S ubrzanim tehnološkim razvojem kroz godine neprestano raste i broj uređaja koji za svoj rad koriste električnu energiju. Svi su takvi uređaji izvori umjetno stvorenog elektromagnetskog zračenja.

Posljedice izloženosti velikoj količini ionizirajućeg zračenja imaju trenutne i vidljive promjene te mogu biti opasne po život za čovjeka. Posljedice neionizirajućeg zračenja nisu vidljive te se u određenim količinama manifestiraju unutar tijela. Konstantna izloženost umjetno stvorenim elektromagnetskim poljima kod ljudi uzrokuje zagrijavanje tkiva te induciranje struje mnogo većih vrijednosti nego što su njihove prirodne vrijednosti u tijelu, premda je ljudsko tijelo otporno na velik broj efekata koje uzrokuju neionizirajuća elektromagnetska polja. U elektromagnetskom spektru radiovalova gdje se nalaze svi uređaji testirani u ovom radu, može doći do biološkog efekta zagrijavanja tijela, ovisno o količini i intenzitetu apsorpcije energije. Količina apsorbirane elektromagnetske energije u ljudskom tijelu izražava se kao specifični apsorpcijski udio (SAR, eng. Specific absorption rate) te se izražava u W/kg (Watt po kilogramu tjelesne težine). Prema preporukama Međunarodnog odbora za neionizirajuća zračenja ICNIRP (eng. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) i Vjeća Europske zajednice (eng. Council of the European Community) granica za specifični apsorpcijski udio cijelog tijela je 0,08 W/kg. Pri niskim frekvencijama radiovalnog spektra gdje ne dolazi do značajne promjene temperature u tijelu ili promjena uopće ne postoji, postavljaju se razna pitanja i nejasnoće o postojanju negativnih posljedica za čovjeka [11].

Provedena brojna eksperimentalna epidemiološka istraživanja vezana za štetnost učestalog prisustva visoko frekventnog dijela radiovalnog spektra u ljudskom životu povezuju razne bolesti s prevelikom izloženosti radiovalnom zračenju. Međutim, uz manjak dokaza te upitne uvjete zračenja, nije moguće utvrditi vezu između nastajanja bolesti i prisustva radiovalova.

Kako bi se reguliralo umjetno nastalo elektromagnetsko zračenje sve većeg broja uređaja koji ga proizvode, postavljaju se razne norme koje zadaju granice zračenja u kojim svi uređaji moraju biti.

### **2.3. Definiranje norme i standarda po kojem se mjeri EM zračenje kućanskih uređaja**

Kako bi se emisije uređaja smanjile i dovele u granice u kojima ne dolazi do elektromagnetske interferencije s drugim uređajima te nema velikih opasnosti za ljudsko zdravlje, postavljaju se različite norme kojih se svi proizvođači uređaja trebaju pridržavati. Norme definiraju dopuštene granice karakterističnih veličina elektromagnetskog zračenja. Različita tržišta zahtijevaju različite norme koje proizvođači trebaju imati na umu, a postoje međunarodne, regionalne, nacionalne, industrijske te objektno norme. Glavne međunarodne standarde određuje Međunarodni Specijalni

Odbor za Radio Smetnje CISPR (eng, International Special Committee on Radio Interference) te Međunarodna Elektrotehnička Komisija IEC (eng, International Electrotechnical Commission) [12]. Jedna od međunarodno priznatih normi je CISPR 14-1:2016, koja specificira granice RF smetnji u frekvencijskom opsegu od 9 kHz do 400 GHz kućanskih uređaja, električnih alata i sličnih uređaja koje pokreću istosmjerna ili izmjenična struja te baterije.

Regionalna norma bazirana je na međunarodnoj normi CISPR 14-1 je EN 55014-1:2017, koju je Hrvatski zavod za norme na prijedlog tehničkog odbora HZN/TO E500 prihvatio. Hrvatska norma HRN EN 55014-1:2017 odnosi se na elektromagnetsku kompatibilnost - zahtjeve na kućanske uređaje, električne alate i slične uređaje – 1. dio: emisija.

Ova je norma posebno bitna za ovaj rad zato što postavlja granice dozvoljenih vrijednosti jakosti EM polja odabranih uređaja u frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 1000 MHz mjerenih na udaljenosti od 10 metara. EM zračenje odabranih uređaja mjerit ćemo prema propisanim parametrima norme HRN EN 55014-1:2017, ali na udaljenosti 3 m (objašnjenje kasnije u tekstu).

### **3. LABORATORIJSKA MJERENJA EM ZRAČENJA KUĆANSKIH UREĐAJA**

#### **3.1. Propisani parametri mjerenja norme HRN EN 55014-1**

Prije početka samog mjerenja bitno je napraviti pripremu te definirati parametre propisane odabranom normom. Za ovaj rad odabrana je Hrvatska norma HRN EN 55014-1 koja prikazuje granice jakosti el. polja u frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 1000 MHz.

Granice dozvoljenih vrijednosti jakosti EM polja prema normi HRN EN 55014-1:2017:

- U frekvencijskom opsegu od 30 MHz do 230 MHz maksimalna dopuštena jakost polja iznosi 30 dB $\mu$ v/m na udaljenosti od 10 metara;
- U frekvencijskom opsegu od 230 MHz do 1000 MHz maksimalna dopuštena jakost polja iznosi 37 dB $\mu$ v/m na udaljenosti od 10 metara.

Treba uzeti u obzir da postoji više različitih normi koje zahtijevaju drugačije postupke mjerenja te postavljaju druge parametre. Za ovaj rad testne uređaje mjerit će se po HRN EN 55014-1 propisanoj normi te će se pridržavati njenih propisanih postavki mjerenja.

Postavke mjerenja HRN EN 55014-1 propisane norme su sljedeće:

- Mjerenje je potrebno izvesti u opsegu frekvencija između 30 MHz i 1000 MHz;
- Mjerenje je potrebno izvesti na udaljenosti 10 m;
- Postavljanje uređaja koji se mjeri (DUT) na nevodljivu podlogu 80 cm od tla (u laboratoriju u kojem postoji elektromagnetski odjek - EMO);
- Postavljanje RX antene za mjerenje jakosti el. polja na 1,5 metara od tla;
- RX antena povezuje se s uređajem za mjerenje jakosti el. polja;
- Postavljanje odabranog režima rada pojedinog DUT-a.

Sva mjerenja obavljena su u laboratoriju za VF mjerenja na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, koji sadrži sve potrebne mjerne uređaje propisane od strane norme HRN EN 55014-1.

**\*Napomene prije samog izvođenja mjerenja:**

Norma propisuje izvođenje mjerenja na udaljenosti od 10 metara između antene i uređaja. Udaljenost od 10 metara smatra se standardom zbog najveće preciznosti mjerenja te što je valna duljina na 30 Mhz jednaka 10 metara. Za potrebe ovoga rada mjerenje je izvedeno na udaljenosti od 3 metra. Ova odluka donesena je zbog ograničenosti prostora u laboratoriju, zbog čega se oprema nije mogla postaviti na propisanu udaljenost. Zbog ove promjene u mjerenju sve vrijednosti u tablici za jakost el. polja dobivene su nakon preračuna na 10 metara s 3 metra. Pretvorba izmjerene vrijednosti zračenja iz dB $\mu$ V/m na 3 m u dB $\mu$ V/m na 10 m temelji se na osnovnoj formuli koja povezuje jakost električnog polja i snagu odašiljačke antene:

$$E = \frac{\sqrt{30 * P * G}}{r} \quad (3-1)$$

gdje su:

E - ukupna jakost električnog polja koje ta antena zrači;

P - snaga odašiljačke antene;

G - dobitak odašiljačke antene;

r - udaljenost na kojoj se mjeri jakost polja (u našem slučaju udaljenost je postavljena na 3 m).

Postupak preračunavanja je sljedeći:

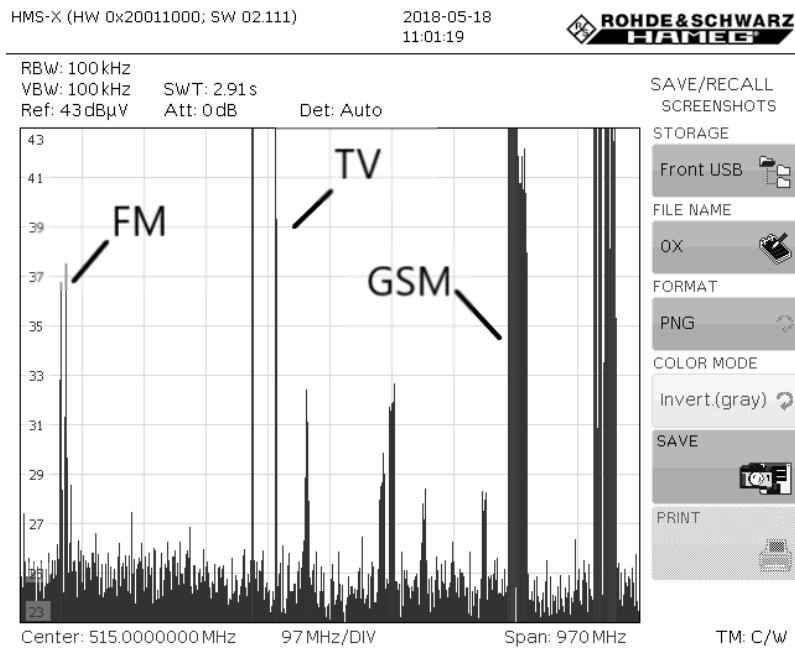
$$E, \text{dB}\mu\text{V}/m_{10m} = 20 \log \left( 10^{\frac{E, \text{dB}\mu\text{V}/m_{3m}}{20}} * \frac{3}{10} \right) \quad (3-2)$$

ili prema kalkulatoru literature [13].

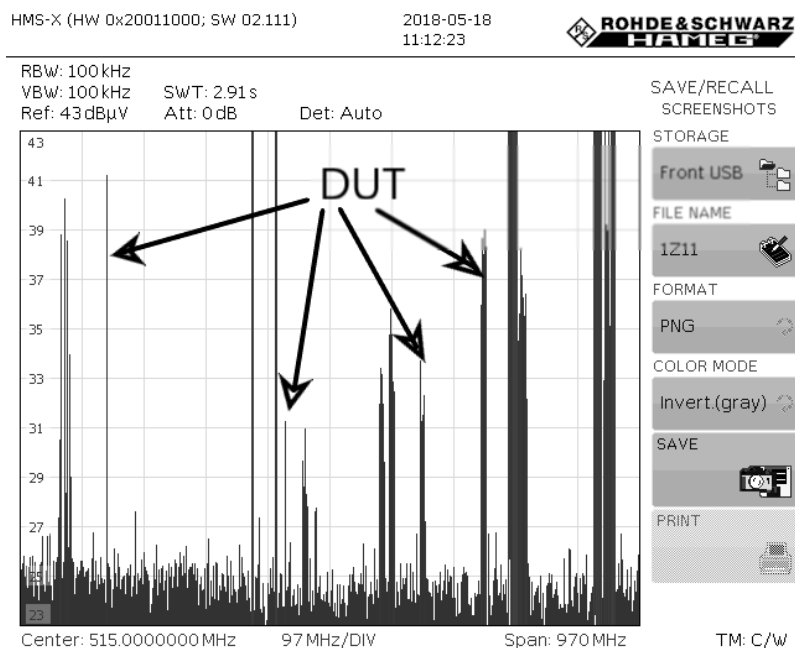
Zbog zadanog frekvencijskog opsega u rasponu od 30 MHz do 1000Mhz nailazi se na tri različite grupe signala:

- od 88 MHz do 108 MHz je područje FM radiodifuzije;
- od 470 MHz do 821 MHz je područje TV radiodifuzije i LTE;
- od 880 MHz do 915 MHz je područje GSM900 te od 925 MHz do 960 MHz je područje UMTS900.

Budući da ove grupe signala isto kao i naši uređaji imaju amplitudu signala koja je vidljiva u rezultatima, potrebno je amplitude tih signala eliminirati. To je učinjeno na način da se prvo izmjerio signal bez uključenog uređaja koji sadrži amplitude gore navedenih signala te se nakon toga izmjerio signal s uključenim uređajem. Njihovom razlikom dobivena je informacija o utjecaju pojedinog uređaja na okolinu bez obzira na ostale grupe signala u tom frekvencijskom opsegu.



**Slika 3.1.** Amplitude signala bez uključenog uređaja



**Slika 3.2.** Amplitude signala s uključenim uređajem

Slika 3.2. je za uređaj Remington AC 8000 u modu rada 1 (brzina 1, toplina 1) za z-os položaja antene.

### 3.2. Definiranje uređaja koji su izvori EM zračenja

Odabrani kućanski uređaji koji su testirani DUT (device under test) su sljedeći:

- Uređaj 1: sušilo za kosu Remington AC 8000;
- Uređaj 2: sušilo za kosu Grundig hd 6080;
- Uređaj 3: sušilo za kosu Rowenta cv 1220;
- Uređaj 4: sušilo za kosu Rowenta cv 5062;
- Uređaj 5: štapni mikser Clatronic sms 3190;
- Uređaj 6: aku bušilica Einhell th-cd 12-2 li;
- Uređaj 7: štapni mikser Tefal dd1000;
- Uređaj 8: uvijač za kosu Remington;
- Uređaj 9: sušilo za kosu Grundig hd 6760;
- Uređaj 10: sušilo za kosu Sencor shd 108vt;
- Uređaj 11: ručni mikser Severin hm3817;
- Uređaj 12: bušilica Bosch psb 500 re.



*Slika 3.3. Sušilo za kosu Remington AC 8000 [14]*



*Slika 3.4. Sušilo za kosu Grundig hd 6080*

[15]



*Slika 3.5. Sušilo za kosu Rowenta cv 1220 [16]*



*Slika 3.6. Sušilo za kosu Rowenta cv 5062 [17]*



*Slika 3.7. Štapni mikser Clatronic sms 3190 [18]*



*Slika 3.8. Aku bušilica Einhell th-cd 12-2 li [19]*



*Slika 3.9. Štapni mikser Tefal HB100138 [20]*



*Slika 3.10. Uvijač za kosu Remington AS8090 [21]*





**Slika 3.11.** Sušilo za kosu Grundig hd 6760 [22]



**Slika 3.12.** Sušilo za kosu Sencor shd 108vt [23]



**Slika 3.13.** Ručni mikser Severin hm3817 [24]



**Slika 3.14.** Bušilica Bosch psb 500 re [25]

Ovisno o tipu uređaja, mjerenja će biti u skladu s njihovim modovima rada. Sušila za kosu u većini slučajeva imaju tri moda za grijanje (1- hladno; 2 – slabo i 3 – jako grijanje) i dva brzinska moda (osim jednog: Rowenta cv 1220 ima jedan mod grijanja i dva moda brzine). Štapni mikseri Clatronic sms 3190 i Tefal HB100138 imaju samo jedan mod rada, aku bušilica Einhell th-cd 12-2 li ima jedan moda za brzinu, uvijač za kosu Remington AS8090 ima dva moda rada za toplinu i jedan mod rada za hladni način rada, ručni mikser Severin hm3817 ima pet razina brzine što nam daje pet modova rada te bušilica Bosch psb 500 re s jednim modom rada. Svi uređaji posjeduju elektromotore raznih jačina, zbog kojih dolazi do stvaranja te širenja električnih i magnetskih polja u okolinu.

Svi testni uređaji izmjereni su u svim njihovim modovima rada, tako u primjeru sušila za kosu dobivamo šest različitih kombinacija rada:

1. Mod rada: brzina 1 toplina 1
2. Mod rada: brzina 1 toplina 2
3. Mod rada: brzina 2 toplina 1
4. Mod rada: brzina 2 toplina 2
5. Mod rada: brzina 3 toplina 1
6. Mod rada: brzina 3 toplina 2

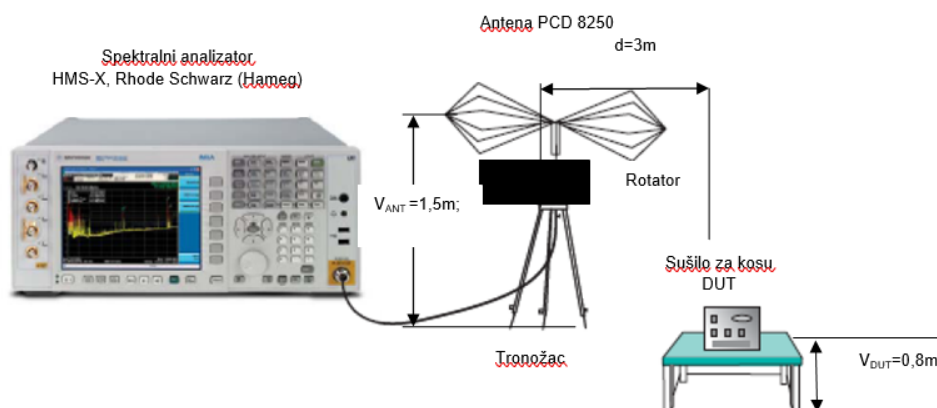
### 3.3. Mjerenje EM zračenja kućanskih uređaja

Nakon postavki parametara propisane norme potrebno je isto tako precizno definirat mjerne uređaje i njihovo spajanje. Mjerenje uređaja izvršeno je u djelomično izoliranoj sobi prema propisanoj normi.

Za potrebe ovoga rada koristili su se sljedeći mjerni uređaji i instrumenti:

- Spektralni analizator HMS-X, Rhode Schwarz (Hameg);
- Konusna dipol RX antena PCD 8250;
- Rotator i tronožac (visine 1,5 m) na koje je postavljena antena;
- Koaksijalni kabel za spoj antene i rotora RG 178;
- Koaksijalni kabel za spoj rotatora i spektralnog analizatora RG 400;
- DUT – različiti testni uređaj.

Svi gore navedeni instrumenti spojeni su prema shemi na slici 3.15.



*Slika 3.15. Shema mjerenja jakosti električnog polja (amplitude signala) DUT-a. [26]*

Nakon što je spojena shema prema slici 3.15. započeto je mjerenje u sljedećih pet koraka:

1. Na spektralnom analizatoru HMS-X potrebno je postaviti frekvencijski opseg od 30 MHz do 1000 MHz;
2. Spektralni analizator mjeri amplitudu signala DUT-a za postavljeni frekvencijski opseg;
3. Antena se postavlja u tri različita položaja (x, y, z – osi);
4. Mjere se sve kombinacije brzine ili topline ovisno o DUT-u za svaku od tri pozicije antene na udaljenosti od 3 metra;
5. Spremljeni podaci su u .CSV i .BMP formatu te se analiziraju prema zadanim granicama norme.

## 4. ANALIZA MJERENJA EM ZRAČENJA KUĆANSKIH UREĐAJA

U ovom dijelu opisat će se postupak analiziranja rezultata te prikazat tablica s konačnim rezultatima iz koje će se vidjeti jesu li ispitani uređaji u propisanim granicama norme HRN EN 55014-1.

### 4.1. Analiza rezultata mjerenja EM zračenja kućanskih uređaja

Spektralni analizator vrijednosti amplitude signala svakog uređaja sprema u obliku excel tablice. Rezultate jakosti polja signala sprema u mjernoj jedinici dB $\mu$ V, koju je potrebno pretvoriti u V prema formuli (4-1). Pretvorene vrijednosti za svaki uređaj potrebno je oduzeti od vrijednosti signala bez uključenog uređaja kako bi se dobila vrijednost uređaja bez vrijednosti ostalih grupa signala u tom frekvencijskom spektru. Nakon provođenja navedenog postupka za svaki od tri položaja antene u svakom modu rada uređaja, dobivene rezultate potrebno je zbrojiti koristeći formulu (4-2), time dobivamo konačnu jačinu signala za uređaj u određenom modu rada. Rezultat dobiven formulom (4-2) u obliku je napona te je taj rezultat potrebno pretvoriti u prvobitni oblik, odnosno jakost polja izraženu u dB $\mu$ V pomoću formule (4-3). Rezultat dobiven formulom (4-3) konačni je rezultat jakosti polja uređaja za određenu frekvenciju te je taj rezultat potrebno usporediti s granicama koje norma HRN EN 55014-1 propisuje. Maksimalna dopuštena jakost polja su: **30 dB $\mu$ V/m** (od 30 MHz do 230 MHz) i **37 dB $\mu$ V/m** (od 230 MHz do 1000 MHz).

$$E'_{x,y,z} = 10^{-6} * 10^{\frac{E_{x,y,z}}{20}} \rightarrow E'_{x,y,z} (V), E_{x,y,z} (dB\mu V) \quad (4-1)$$

$$E'_{uk} = \sqrt{(E'_x)^2 + (E'_y)^2 + (E'_z)^2}, (V) \quad (4-2)$$

$$E_{uk} = 20 * \log\left(\frac{E'_{uk}}{10^{-6}}\right), (dB\mu V) \quad (4-3)$$

U formulama (4-1) i (4-2):

- x, y, z - označavaju položaj antene pri mjerenju uređaja.

Tablica 4.1.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za sva odabrana sušila za kosu u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra te pretvorene u vrijednost amplitude na udaljenosti od 10 metara prema kalkulatoru literature.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                   |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                               | Toplina 1<br>Brzina 1                      |  | Toplina 1<br>Brzina 2                      |  | Toplina 2<br>Brzina 1                      |  |
|                               | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Remington<br/>AC 8000</b>  | -0,26                                      | 18,85                                      | 3,79                                       | 23,46                                      | 2,58                                       | 20,22                                      |
| <b>Grundig hd<br/>6080</b>    | -1,24                                      | 28,66                                      | 5,34                                       | 11,55                                      | -2,12                                      | 28,70                                      |
| <b>Rowenta cv<br/>1220</b>    | 5,52                                       | 9,48                                       | -0,43                                      | 13,04                                      | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           |
| <b>Rowenta cv<br/>5062</b>    | 1,70                                       | 24,95                                      | -1,77                                      | 9,94                                       | -1,29                                      | 10,82                                      |
| <b>Grundig hd<br/>6760</b>    | 4,14                                       | 23,47                                      | 3,52                                       | 18,44                                      | 0,36                                       | 16,72                                      |
| <b>Sencor shd<br/>108vt</b>   | 6,41                                       | 23,69                                      | 11,52                                      | 17,54                                      | 1,17                                       | 12,63                                      |

Tablica 4.1.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za sva odabrana sušila za kosu u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra te pretvorene u vrijednost amplitude na udaljenosti od 10 metara prema kalkulatoru literature. Nastavak

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                   |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                               | Toplina 2<br>Brzina 2                      |  | Toplina 3<br>Brzina 1                      |  | Toplina 3<br>Brzina 2                      |  |
|                               | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Remington<br/>AC 8000</b>  | -0,67                                      | 18,83                                      | -0,58                                      | 9,23                                       | -1,75                                      | 27,01                                      |
| <b>Grundig hd<br/>6080</b>    | -0,71                                      | 26,99                                      | -1,74                                      | 29,13                                      | 8,42                                       | 19,10                                      |
| <b>Rowenta cv<br/>1220</b>    | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           |
| <b>Rowenta cv<br/>5062</b>    | -1,02                                      | 4,24                                       | -1,14                                      | 4,34                                       | -1,64                                      | 34,57                                      |
| <b>Grundig hd<br/>6760</b>    | 0,26                                       | 18,66                                      | -0,08                                      | 17,17                                      | 3,23                                       | 30,77                                      |
| <b>Sencor shd<br/>108vt</b>   | 11,39                                      | 25,78                                      | 1,02                                       | 17,86                                      | 7,43                                       | 24,88                                      |

Tablica 4.2.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za štapne mikserne Clatronic sms 3190 i Tefal HB100138, aku bušilicu Einhell th-cd 12-2 li te bušilicu Bosch psb 500 re u jednom njihovom modu rada na udaljenosti od 3 metra te pretvorene u vrijednost amplitude na udaljenosti od 10 metara prema kalkulatoru literature.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT)     | MOD RADA                                   |  |
|-----------------------------------|--|--|
|                                   | Uključeno                                  |  |
|                                   | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Clatronic<br/>sms 3190</b>     | 3,02                                       | 28,27                                      |
| <b>Tefal<br/>HB100138</b>         | -0,38                                      | 31,44                                      |
| <b>Einhell th-<br/>cd 12-2 li</b> | 6,74                                       | 8,90                                       |
| <b>Bosch psb<br/>500 re</b>       | 0,13                                       | 23,37                                      |

Tablica 4.3.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za uvijač za kosu Remington AS8090 u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra te pretvorene u vrijednost amplitude na udaljenosti od 10 metara prema kalkulatoru literature.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                   |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                               | Hladno                                     |  | Toplina 1                                  |  | Toplina 2                                  |  |
|                               | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Remington<br/>AS8090</b>   | 4,67                                       | 2,77                                       | 3,34                                       | 23,95                                      | 3,25                                       | 30,52                                      |

Tablica 4.4.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za ručni mikser Severin hm3817 u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra te pretvorene u vrijednost amplitude na udaljenosti od 10 metara prema kalkulatoru literature.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                    |   |   |   |   |   |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|
|                               | Brzina 1                                    |   | Brzina 2                                    |   | Brzina 3                                    |   |
|                               | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Severin<br/>hm3817</b>     | 1,04  | 33,72                                       | 2,59  | 23,71                                       | 0,47  | 11,88                                       |

Tablica 4.4.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za ručni mikser Severin hm3817 u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra te pretvorene u vrijednost amplitude na udaljenosti od 10 metara prema kalkulatoru literature. Nastavak

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                    |   |   |   |
|-------------------------------|---|---|---|---|
|                               | Brzina 4                                    |   | Brzina 5                                    |   |
|                               | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Severin<br/>hm3817</b>     | 0,86  | 3,71  | 0,47  | 26,48                                       |

Dobiveni rezultati EM zračenja svih testnih uređaja su u rasponu:

- U području ispod 230 MHz minimalna vrijednost je -2,12 dB $\mu$ V/m te maksimalna vrijednost 11,52 dB $\mu$ V/m.
- U području iznad 230 MHz minimalna vrijednost je 2,77 dB $\mu$ V/m te maksimalna vrijednost 34,57 dB $\mu$ V/m.

Nakon obrade rezultata iz tablica može se zaključiti da u niti jednom trenutku naši testni uređaji nisu prešli dozvoljene granice zračenja postavljene od strane norme HRN EN 55014-1. Uređaji su potpuno sigurni za upotrebu.



## 5. ZAKLJUČAK

Elektromagnetsko polje nastaje kao zajedničko širenje električnog i magnetskog polja u obliku vala. Pojava elektromagnetskog zračenja oduvijek je bila prisutna u našoj okolini zbog prirodnih izvora elektromagnetskog zračenja poput Sunca. Ovisno o količini energije koja se može prenositi putem vala, elektromagnetsko zračenje može se podijeliti na dva različita frekvencijska spektra – ionizirajuće i neionizirajuće zračenje. Svi testirani uređaji u ovom radu nalaze se u frekvencijskom spektru radiovalova te su izvori umjetno generiranog elektromagnetskog zračenja.

Elektromagnetsko zračenje pronašlo je svoje mjesto u medicini gdje se koristi u svrhu liječenja i dijagnosticiranja određenih bolesti. Ipak, velika izloženost može imati loš utjecaj na ljudsko tijelo, kao i na normalan rad okolnih uređaja.

Kako bi se utjecaji elektromagnetskog zračenja smanjili, postavljene su razne norme od strane regulatornih tijela poput IEC i CISPR. CISPR definirana norma HRN EN 55014-1 propisana je od strane Republike Hrvatske te su na njoj bazirana i mjerenja opisana u ovome radu. Norma HRN EN 55014-1 postavlja granice maksimalne vrijednosti zračenja koje razni kućanski uređaji smiju emitirati.

Svi odabrani uređaji testirani su prema propisanim postavkama norme. Izuzetci na pravila norme su promjena udaljenosti između antene i testiranog uređaja koja je postavljena na 3 metra zbog prostorne ograničenosti laboratorija isto tako promjena u odnosu na normu je mjerenje elektromagnetskog zračenja okoline bez testiranog uređaja, ova promjena je omogućila izoliranje zračenja samog uređaja bez ostalih zračenja u frekvencijskom području. Zbog promjene udaljenosti mjerenja na 3 metra izvršeno je preračunavanje rezultata matematičkom formulom na 10 metara kojih propisuje norma. Svaki testni uređaj mjereno je u svim kombinacijama rada. Rezultati pokazuju da u svakom modu rada svi uređaji zadovoljavaju propisanu normu te se nalaze ispod dozvoljene granice od  $30 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  za frekvenciju od 30 MHz do 230 MHz te  $37 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  za frekvenciju od 230 MHz do 1000 MHz. Iz rezultata se može zaključiti da uređaji ne interferiraju s ostalim okolnim uređajima, odnosno da su u potpunosti sigurni za rad.

## LITERATURA

- [1] Elektromagnetizam. Zijad Haznadar, Željko Štih, Školska knjiga, Zagreb, 1997.
- [2] Elektromagnetska polja i valovi, laboratorijska vježba 7: Neionizirajuće zračenje kućanskih uređaja. Izv. prof. dr. sc. Slavko Rupčić, doc.dr.sc. Vanja Mandrić Radivojević.
- [3] HRN EN 55014:1 Elektromagnetska kompatibilnost - Zahtjevi na kućanske uređaje, električne alate i slične uređaje – 1. dio: Emisija, svibanj 2017.
- [4] Goran Matoničkin, Elektromagnetski valovi u nastavi fizike, Sveučilište u Zagrebu Prirodoslovno-Matematički Fakultet Fizički odsjek, Zagreb, 2007, dostupno na: [http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad\\_gorna\\_matonickin.pdf](http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/diplome/drad_gorna_matonickin.pdf) [09.09.2019]
- [5] Nastajanje elektromagnetskog vala, slika 2.1., dostupno na: [https://www.researchgate.net/profile/Suhas\\_Dinesh/post/Accurate\\_pictorial\\_representation\\_of\\_EM\\_waves/attachment/59d6235a6cda7b8083a1ded3/AS%3A327840819105794%401455174750202/image/EM+wave.jpg?fbclid=IwAR1vapHOphLkyIgtEteFZGEZak-jcscF5hDuaI2EbWpoxrKyITgDL12ns](https://www.researchgate.net/profile/Suhas_Dinesh/post/Accurate_pictorial_representation_of_EM_waves/attachment/59d6235a6cda7b8083a1ded3/AS%3A327840819105794%401455174750202/image/EM+wave.jpg?fbclid=IwAR1vapHOphLkyIgtEteFZGEZak-jcscF5hDuaI2EbWpoxrKyITgDL12ns) [09.09.2019]
- [6] Elektromagnetika. Branko Popović, Akademska misao, Beograd, 2004.
- [7] Elektromagnetske pojave i struktura tvari. Petar Kulišić, Vjera Lopac, Školska knjiga, Zagreb, 2003.
- [8] Željko Smojver, Elektrosmog - elektrostres, Veleučilište u Rijeci, Rijeka, 2016, dostupno na: [https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni\\_materijali/k\\_promet\\_1/Promet\\_i\\_ekologija\\_predavanje\\_0013.pdf](https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_promet_1/Promet_i_ekologija_predavanje_0013.pdf) [09.09.2019]
- [9] Elektromagnetski spektar, slika 2.2., dostupno na: <http://www.megon.net/images/spektar.gif> [09.09.2019]
- [10] Barbara Štoos, Primjena zračenja u medicini, Veleučilište u Karlovcu Odjel Sigurnosti i Zaštite, Karlovac, 2018, dostupno na: <https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A958/datastream/PDF/view> [09.09.2019]
- [11] Izloženosti ljudi neionizacijskom zračenju. Dragan Poljak, Kigen, Zagreb, 2006.
- [12] Masao Umemura, Basic Knowledge of EMC Standards, TDK Corporation, dostupno na: [https://product.tdk.com/en/products/emc/guidebook/eemc\\_basic\\_04.pdf](https://product.tdk.com/en/products/emc/guidebook/eemc_basic_04.pdf) [09.09.2019]
- [13] RF kalkulator, dostupno na: <http://rfcalculator.mobi/convert-dbu-3m.html> [09.09.2019]

- [14] Sušilo za kosu Remington AC 8000, slika 3.3., dostupno na:  
[https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81Jy1GfHyL.\\_SY355\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81Jy1GfHyL._SY355_.jpg)  
[09.09.2019]
- [15] Sušilo za kosu Grundig hd 6080, slika 3.4., dostupno na:  
[https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81D-oCGXMTL.\\_SL1500\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/81D-oCGXMTL._SL1500_.jpg)  
[09.09.2019]
- [16] Sušilo za kosu Rowenta cv 1220, slika 3.5., dostupno na:  
[http://www.saturo.hr/712-large\\_default/rowenta-cv-1220.jpg](http://www.saturo.hr/712-large_default/rowenta-cv-1220.jpg) [09.09.2019]
- [17] Sušilo za kosu Rowenta cv 5062, slika 3.6., dostupno na:  
<https://www.mall.cz/i/15837669/1000/1000> [09.09.2019]
- [18] Štapni mikser Clatronic sms 3190, slika 3.7., dostupno na:  
[https://www.clatronic.de/images/product\\_images/popup\\_images/1611\\_0.jpg](https://www.clatronic.de/images/product_images/popup_images/1611_0.jpg)  
[09.09.2019]
- [19] Aku bušilica Einhell th-cd 12-2 li, slika 3.8., dostupno na:  
<https://www.ealati.hr/wp-content/uploads/2017/03/4513660-1.jpg> [09.09.2019]
- [20] Štapni mikser Tefal HB100138 slika 3.9., dostupno na:  
<http://www.centar-tehnike.com/slike/velike/0940048.jpg> [09.09.2019]
- [21] Uvijač za kosu Remington REAS8090 slika 3.10., dostupno na:  
[https://d11zer3aoz69xt.cloudfront.net/media/catalog/product/cache/1/image/1200x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/e/remington\\_keratin\\_volume\\_and\\_protect\\_air\\_styler\\_as8090\\_150000\\_6.jpg](https://d11zer3aoz69xt.cloudfront.net/media/catalog/product/cache/1/image/1200x/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/e/remington_keratin_volume_and_protect_air_styler_as8090_150000_6.jpg) [09.09.2019]
- [22] Sušilo za kosu Grundig hd 6760 slika 3.11., dostupno na:  
<https://www.frog.ee/612590-large/grundig-hd-6760-hairdryer-purple-silver.jpg>  
[09.09.2019]
- [23] Sušilo za kosu Sencor shd 108vt slika 3.12., dostupno na:  
[https://www.kivano.kg/images/product/47289/47289\\_full.jpeg](https://www.kivano.kg/images/product/47289/47289_full.jpeg) [09.09.2019]
- [24] Ručni mikser Severin hm3817 slika 3.13., dostupno na:  
[https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/619wBxJMhVL.\\_SX355\\_.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/619wBxJMhVL._SX355_.jpg)  
[09.09.2019]
- [25] Bušilica Bosch psb 500 re slika 3.14., dostupno na:  
<https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41wrGLF5G7L.jpg> [09.09.2019]
- [26] Elektromagnetska polja i valovi, laboratorijska vježba 7: Neionizirajuće zračenje kućanskih uređaja. Izv. prof. dr. sc. Slavko Rupčić, doc.dr.sc. Vanja Mandrić Radivojević.

## SAŽETAK

Zadatak završnog rada je ispitati elektromagnetsko zračenje odabranih svakodnevnih kućanskih uređaja. Elektromagnetsko zračenje nastaje kao kombinacija električnog i magnetskog zračenja te njihovog zajedničkog širenja u obliku vala. Svi uređaji koji za svoj rad koriste električnu energiju stvaraju u svojoj okolini elektromagnetsko polje, a ovisno o jačini elektromagnetskog polja može doći do elektromagnetske interferencije (EMI) te do negativnih posljedica za ljudsko zdravlje. Kako bi svi uređaji bili sigurni za svoju okolinu, postavljaju se razne norme koje određuju granice dopuštenog elektromagnetskog zračenja uređaja. Jedna od takvih normi je HRN EN 55014:1 koja postavlja granice EM zračenja u frekvencijskom spektru od 30 MHz do 1000 MHz te propisane parametre mjerenja po kojima je mjerenje izvršeno. Za mjerenje zračenja uređaja koristi se spektralni analizator i dipolna konusna antena. Svi su uređaji mjereni u svim svojim kombinacijama rada za sva tri položaja antene (x, y, z – osi). Kako bi se osigurali što precizniji rezultati mjerenja te eliminirale ostale grupe signala u zadanom frekvencijskom spektru, uspoređene su vrijednosti uključenog uređaja s vrijednostima isključenog uređaja. Analizom konačnih rezultata zaključeno je da su svi testirani uređaji u dopuštenim granicama norme HRN EN 55014:1 te su sigurni za normalan rad.

**Ključne riječi:** elektromagnetska interferencija, elektromagnetsko polje, elektromagnetsko zračenje, ljudsko zdravlje, norma.

## ABSTRACT

The aim of the final paper is to examine the electromagnetic radiation of selected everyday household appliances. Electromagnetic radiation is created as a combination of electric and magnetic radiation and their joint propagation in the form of a wave. All devices that use electricity for their work create an electromagnetic field in their environment, and depending on the strength of the electromagnetic field, electromagnetic interference (EMI) can occur and have negative effects on human health. To keep all devices safe for their surroundings, various standards are set that set limits to the permitted electromagnetic radiation of the device. One such standard is HRN EN 55014: 1, which sets the limits of EM radiation in the frequency spectrum from 30 MHz to 1000 MHz and the prescribed measurement parameters by which the measurement was performed. A spectral analyzer and a dipole cone antenna are used to measure the radiation of the device. All devices were measured in all their combinations of operation for

all three antenna positions (x, y, z - axes). In order to ensure accurate measurement results and eliminate other signal groups in the given frequency spectrum, the values of the included device are compared with those of the excluded device. The analysis of the final results concluded that all tested devices are within the limits of HRN EN 55014: 1 and are safe for normal operation.

**Keywords:** electromagnetic field, electromagnetic interference, electromagnetic radiation, human health, norm.

## **ŽIVOTOPIS**

Ante Lijović rođen je 19.02.1994. u Našicama. Osnovnu školu Vladimira Nazora u Feričancima završava 2008. godine s odličnim uspjehom te upisuje srednju strukovnu Elektrotehničku školu u Našicama. Nakon završetka srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek.

Trenutno uz školovanje radi na odjelu za automatizaciju postrojenja u industriji. Posjeduje odlične vještine rada na računalu te vrlo dobro poznavanje englesko jezika u govoru i pismu.

Namjerava u bliskoj budućnosti upisati diplomski studij Menadžment projekata te se zaposliti u jednoj od projektantskih firmi u Hrvatskoj.

U Osijeku, rujan 2019.

Potpis: \_\_\_\_\_

## PRILOZI

U prilogama se nalaze tablice s izmjerenim rezultatima mjerenja EM zračenja kućanskih uređaja izvršenog na udaljenosti od 3 metra.

Tablica P.1.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za sva odabrana sušila za kosu u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                   |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                               | Toplina 1<br>Brzina 1                      |  | Toplina 1<br>Brzina 2                      |  | Toplina 2<br>Brzina 1                      |  |
|                               | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Remington<br/>AC 8000</b>  | 10.19833091                                | 29.30950526                                | 14.25054811                                | 33.91593633                                | 13.03939363                                | 30.6792793                                 |
| <b>Grundig hd<br/>6080</b>    | 9.215340689                                | 39.12055373                                | 15.79568591                                | 22.00510929                                | 8.33588014                                 | 39.15781476                                |
| <b>Rowenta cv<br/>1220</b>    | 15.97437538                                | 19.93321255                                | 10.0320498                                 | 23.50200107                                | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           |
| <b>Rowenta cv<br/>5062</b>    | 12.15905857                                | 35.40788007                                | 8.68386389                                 | 20.39280825                                | 9.164626662                                | 21.28002665                                |
| <b>Grundig hd<br/>6760</b>    | 14.59615456                                | 33.92382273                                | 13.9825467                                 | 28.89790626                                | 10.8182277                                 | 27.17396086                                |
| <b>Sencor shd<br/>108vt</b>   | 16.86851729                                | 34.1511209                                 | 21.98095474                                | 28.00156895                                | 11.63254164                                | 23.0863431                                 |

Tablica P.1.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za sva odabrana sušila za kosu u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra. Nastavak.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                   |  |  |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                               | Toplina 2<br>Brzina 2                      |  | Toplina 3<br>Brzina 1                      |  | Toplina 3<br>Brzina 2                      |  |
|                               | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Remington<br/>AC 8000</b>  | 9.783027188                                | 29.28504983                                | 9.881978941                                | 19.68746112                                | 8.710405403                                | 37.47113062                                |
| <b>Grundig hd<br/>6080</b>    | 9.744210923                                | 37.44830545                                | 8.719141785                                | 39.59135929                                | 18.88179351                                | 29.55474938                                |
| <b>Rowenta cv<br/>1220</b>    | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           | Nema mod<br>rada                           |
| <b>Rowenta cv<br/>5062</b>    | 9.432665636                                | 14.69830365                                | 9.315049259                                | 14.80042467                                | 8.819166175                                | 45.02301998                                |
| <b>Grundig hd<br/>6760</b>    | 10.71731268                                | 29.11371007                                | 10.37621843                                | 27.62733473                                | 13.68400637                                | 41.23072448                                |
| <b>Sencor shd<br/>108vt</b>   | 21.84897523                                | 36.24077994                                | 11.47953367                                | 28.32066686                                | 17.89139794                                | 35.33412851                                |



Tablica P.2.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za štapne mikserne Clatronic sms 3190 i Tefal HB100138, aku bušilicu Einhell th-cd 12-2 li te bušilicu Bosch psb 500 re u jednom njihovom modu rada na udaljenosti od 3 metra.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT)     | MOD RADA                                    |   |
|-----------------------------------|---|---|
|                                   | Uključeno                                   |   |
|                                   | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Clatronic<br/>sms 3190</b>     | 13.47846678                                 | 38.73111982                                 |
| <b>Tefal<br/>HB100138</b>         | 10.08100619                                 | 41.89828595                                 |
| <b>Einhell th-<br/>cd 12-2 li</b> | 17.19716143                                 | 19.35684038                                 |
| <b>Bosch psb<br/>500 re</b>       | 10.5886782                                  | 33.83248824                                 |

Tablica P.3.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za uvijač za kosu Remington AS8090 u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                    |   |   |   |   |   |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|
|                               | Hladno                                      |   | Toplina 1                                   |   | Toplina 2                                   |   |
|                               | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max}$ ,<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Remington<br/>AS8090</b>   | 15.12784354                                 | 13.22773036                                 | 13.79591496                                 | 34.40515723                                 | 13.71108057                                 | 40.97813195                                 |

Tablica P.4.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za ručni mikser Severin hm3817 u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                   |  |  |   |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|---|--|--|
|                               | Brzina 1                                   |  | Brzina 2                                   |   | Brzina 3                                   |  |
|                               | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Severin<br/>hm3817</b>     | 11.49640716                                | 44.18179923                                | 13.04943519                                | 34.1635442                                | 10.92838219                                | 22.34149596                                |

Tablica P.4.: Izmjerene vrijednosti amplitude električnog polja za ručni mikser Severin hm3817 u svim modovima rada na udaljenosti od 3 metra. Nastavak.

| TESTIRANI<br>UREĐAJI<br>(DUT) | MOD RADA                                   |  |  |  |
|-------------------------------|--|--|--|--|
|                               | Brzina 4                                   |  | Brzina 5                                   |  |
|                               | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br><230 MHz | $E_{uk\ max,}$<br>dB $\mu$ V/m<br>>230 MHz |
| <b>Severin<br/>hm3817</b>     | 11.31881065                                | 14.1683098                                 | 10.92473886                                | 36.93885372                                |



*Slika P.1.: Testirani kućanski uređaji*



*Slika P.2.: Mjerenje EM zračenja u laboratoriju za VF mjerenja na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek*