

# Analiza energetske bilance mikrovalne pećnice

---

**Alduk, Mislav**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*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:200:608991>

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

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

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Sveučilišni studij**

**ANALIZA ENERGETSKE BILANCE MIKROVALNE  
PEĆNICE**

**Završni rad**

**Mislav Alduk**

**Osijek, 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju

Osijek, 27.06.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na  
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Mislav Alduk
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	4028, 21.10.2019.
<b>OIB studenta:</b>	25548218193
<b>Mentor:</b>	Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Naslov završnog rada:</b>	Analiza energetske bilance mikrovalne pećnice
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Predložena ocjena završnog rada:</b>	Vrlo dobar (4)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	27.06.2020.
<b>Datum potvrde ocjene Odbora:</b>	15.07.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTIRADA**

Osijek, 20.07.2020.

**Ime i prezime studenta:**

Mislav Alduk

**Studij:**

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

4028, 21.10.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

11

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza energetske bilance mikrovalne pećnice**

izrađen pod vodstvom mentora Izv. prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
2. FIZIKALNA OSNOVA MIKROVALNE PEĆNICE .....	2
2.1. Električno i magnetsko polje.....	2
2.2. Svojstva elektromagnetskih valova .....	8
2.3. Maxwellove jednačbe.....	9
2.4. Spektar elektromagnetskog zračenja .....	11
2.5. Mikrovalovi.....	13
2.5.1. Antene .....	15
2.5.2. Zagrijavanje hrane mikrovalovima .....	17
3. TEHNIČKA REALIZACIJA MIKROVALNE PEĆNICE .....	19
3.1. Dijelovi mikrovalne pećnice .....	19
3.2. Transformator.....	20
3.3. Električni kondenzator .....	22
3.4. Magnetron .....	23
3.5. Ventilator.....	24
3.6. Valovod .....	25
3.7. Princip rada mikrovalne pećnice .....	26
3.8. Upotreba mikrovalne pećnice.....	28
3.9. Praktična analiza rada.....	30
4. ZAKLJUČAK .....	35
LITERATURA.....	36
SAŽETAK.....	39
ŽIVOTOPIS .....	41

# 1. UVOD

Mikrovalna pećnica ima danas široku primjenu u kućanstvu i industriji. Početci razvoja mikrovalne pećnice sežu u četrdesete godine dvadesetog stoljeća. Cilj ovoga rada je objasniti fizikalnu osnovu i tehničku realizaciju mikrovalne pećnice. U drugom poglavlju, opisani su elektromagnetski valovi i njihova svojstva jer neki elektromagnetski valovi su mikrovalovi. Mikrovalovi su posebno opisani jer su ključni u radu mikrovalne pećnice. Opisano je stvaranje antene ili dipola jer se tako može prikazati nastajanje elektromagnetskog vala. Na kraju drugog poglavlja je opisano zagrijavanje hrane mikrovalovima. U trećem poglavlju su navedeni i opisani dijelovi mikrovalne pećnice. Na kraju trećeg dijela je opisan princip rada mikrovalne pećnice.

Ovaj rad se sastoji od četiri cjeline:

1. Uvod
2. Fizikalna osnova mikrovalne pećnice
3. Tehnička realizacija mikrovalne pećnice
4. Zaključak

## 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak rada je objasniti energetska transformaciju u mikrovalnoj pećnici i na praktičnom primjeru prikazati polje u njenoj unutrašnjosti.

## 2. FIZIKALNA OSNOVA MIKROVALNE PEĆNICE

Mehaničko titranje predstavlja titranje čestica nekog sredstava, a kod elektromagnetskih valova titraju električno i magnetsko polje. Mehanički val nastaje prenošenjem titranja čestica nekim sredstvom. Isto se može prenositi titranje električnog i magnetskog polja i tako nastaje elektromagnetski val. Periodska promjena električnog i magnetnog polja predstavlja elektromagnetski val, a ta dva polja titraju u fazi i po smjeru su uzajamno okomita.

### 2.1. Električno i magnetsko polje

Ako nema nikakve vidljive materijalne veze, može se postaviti pitanje kakva je priroda međusobnog djelovanja dvaju naelektriziranih tijela i kako se to djelovanje prenosi od tijela na tijelo u vakuumu. Naelektrizirana tijela su obično električni naboji. Kao fizički pojam se može uvesti električno polje, a ono okružuje sva naelektrizirana tijela. Sile međusobnog djelovanja se prenose posredstvom toga polja. Naboj  $Q_1$  će posredstvom naročitog fizičkog prijenosa djelovati na naboj  $Q_2$ , a taj fizički prijenos se odvija u tom prostoru. Električno polje je posebno fizičko stanje, a osamljeni naboj  $Q_1$  stvara to stanje u cijelom prostoru oko sebe. Mehanička sila na uneseni naboj  $Q_2$  u tom prostoru se očituje kao vidljiva manifestacija toga stanja. Standardna definicija električnog polja kaže da posebno fizičko stanje u okolici naelektriziranog tijela ili električnog naboja je električno polje.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{Q_0} \quad (2-1)$$

Djelovanje mehaničke sile  $\vec{F}$  na pokusni naboj  $Q_0$  koji je unesen u električno polje predstavlja očitovanje tog posebnog fizičkog stanja, odnosno električnog polja. Omjer vektora sile na probni naboj je vektor jakosti električnog polja. Vidljivo je da je električno polje vektorska veličina prema izrazu (2-1). Pomaci naboja izvan polja se neće dogoditi ako se dovede mali naboj  $Q_0$ . Pomaci naboja izvan polja uzrokuju promjenu električnog polja. Limes od  $\vec{F}/Q_0$  kada  $Q_0 \rightarrow 0$  predstavlja definiciju električnog polja. Najmanja količina naboja je  $e_0$  i prema tome takva strogost je samo prividna. Omjer mehaničke sile i naboja predstavlja intenzitet ili jakost električnog polja  $E = |\vec{E}|$ , a jedinica od te veličine se može izraziti ovako:

$$[E] = \frac{[F]}{[Q]} = \frac{\text{njutn}}{\text{kulon}} = \frac{\text{N}}{\text{C}} \quad (2-2)$$

ili

$$[E] = \frac{\text{volt}}{\text{metar}} = \frac{\text{V}}{\text{m}} \quad (2-3)$$

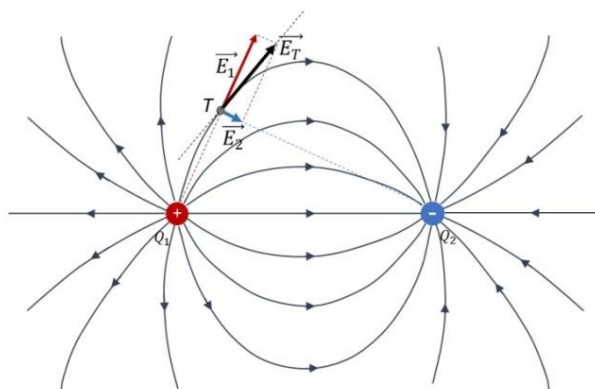
Uzajamno djelovanje električnog naboja se jednostavnije opisuje kao matematički pojam, a javljanje sile samo u prisustvu pokusnog naboja nije dovoljan dokaz da polje postoji kao fizička pojava. Magnetsko polje nastaje gibanjem električnog naboja, a tako se stvara elektromagnetsko polje. Elektromagnetsko polje se širi u obliku elektromagnetskih valova, a pri tome ima konačnu brzinu.

Samo jedan vektor jakosti električnog polja se može pridružiti nekoj točki u prostoru oko električnog naboja, a vektorskom funkcijom  $\vec{E}$  se može opisati cijeli taj prostor prema (2-4).

$$\vec{E}(x, y, z) = \vec{i}E_x(x, y, z) + \vec{j}E_y(x, y, z) + \vec{k}E_z(x, y, z) \quad (2-4)$$

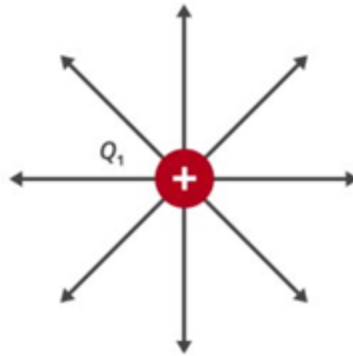
Prikazati vektorsku funkciju trodimenzionalnog prostora na slici u dvije dimenzije je vrlo teško. Spoznaja o iznosu i smjeru polja u nekoj točki traži prikazivanje polja u toj točki pomoću vektora. Jakost polja u svim točkama prostora se može odrediti pomoću pokusnog naboja. Povlačenjem niza linija u tom prostoru mogu se dobiti silnice električnog polja, a pri tome se tangente moraju u svakoj njihovoj točki preklopiti s vektorom jakosti polja. Britanski fizičar Michael Faraday je prvi uveo pojam linije sile za pomoć u vizualnom predstavljanju električnog i magnetskog polja. Naziv električne silnice se obično upotrebljava za linije sile električnog polja, a često se zovu i linije električnog polja. Silnica polja je zamišljena linija, a pri tome joj je vektor polja u svakoj točki tangenta (Slika 2.1.).



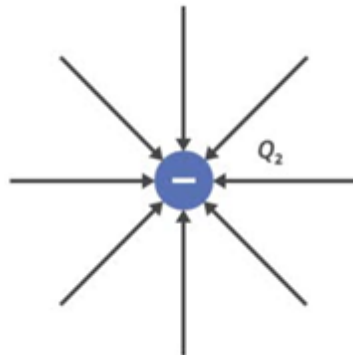


**Slika 2. 1.** *Silnice električnog polja.* [2]

Smjer silnice električnog polja se obilježava strelicom na vrhu. Smjer silnice električnog polja se poklapa sa smjerom polja. Jasnu predodžbu o pravcu i smjeru vektora  $\vec{E}$  u svim točkama prostora daje skup silnica električnog polja. Elektrostatsko polje je izvorno polje jer silnice izvire iz pozitivnog naboja i poniru u negativni naboj. U svakoj točki jakost električnog polja je jednoznačno određena. Silnice polja se nikada ne presijecaju jer samo jedna silnica prolazi kroz jednu točku. Pojedine linije se ne bi mogle razlikovati ako bi se kroz svaku točku povukla jedna silnica. Cijela površina prostora bila bi ispunjena silnicama. Rješenje tog problema je uzimanje pogodnog broja silnica za predstavljanje polja, a pomoću silnica se osim pravaca i smjera može prikazati i intenzitet vektora polja. Prikaz električnog polja točkastog naboja pomoću silnica je najbolji primjer. Silnice točkastog naboja su radijalne linije. U slučaju negativnog naboja silnice dolaze iz beskonačnosti, a završavaju radijalno na naboju prema slici 2.3. U slučaju pozitivnog naboja silnice izlaze radijalno iz naboja, a završavaju u beskonačnosti prema slici 2.2.



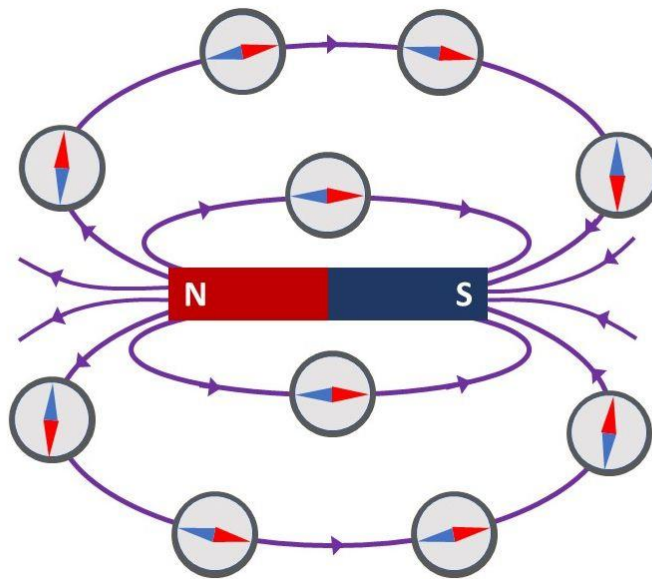
**Slika 2. 2.** *Pozitivan naboj.* [2]



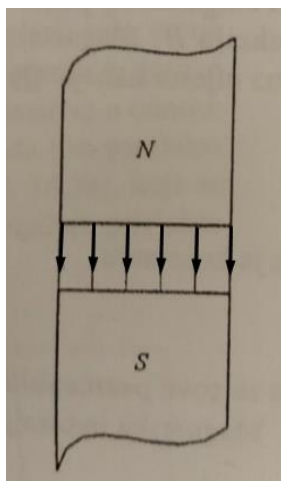
**Slika 2. 3.** *Negativan naboj.* [2]

Ljudi u antičkoj grčkoj su prvi zapazili da komad jedne željezne rude privlači željezne predmete, a to je se dogodilo u blizini maloazijskog grada Magnezija. Od imena toga grada dolazi naziv magneti. Željezo se magnetizira i postaje umjetni magnet ako se nalazi u blizini prirodnih magneti. Danas se struja koristi za stvaranje umjetnih magneti. Prirodni i umjetni magneti imaju dvije zone, a magnetska svojstava privlačenja nemagnetiziranog željeza su najjače izražena u njima. Te zone se mogu nazvati magnetskim polovima. Magnetske igle su se koristile već u staroj Kini oko 120. godine prije nove ere. Magnetska igla se postavlja horizontalno na osovinu i to u težište igle. Jedan kraj magnetske igle se okreće prema jugu, a drugi prema sjeveru. U 18. stoljeću kraj magnetske igle koji se okreće prema jugu je nazvan južnim polom, a suprotni kraj je nazvan sjevernim polom. Različiti polovi dvaju magneti se privlače, a jednaki odbijaju.

Sječanjem magneta dobiju se dva manja magneta s oba pola, a iz toga proizlazi da se magnetski polovi magneta ne mogu razdvojiti. Magnetska igla će se u prostoru blizu magneta postaviti u određeni položaj. Postojanje magnetskog polja u nekom prostoru je odgovorno za odigravanje takvog procesa, a također vlada posebno stanje u tom prostoru. Željezna pilovina će se na ravnoj glatkoj površini iznad magneta poslagati u vidu linija. Magnetska igla se uvijek postavlja u smjeru sjevernog prema južnom polu. Nehomogeno magnetsko polje je prikazano prema slici 2.4. Homogeno magnetsko polje je prikazano između polova magneta prema slici 2.5., ali to magnetsko polje nije homogeno na samim rubovima.



**Slika 2. 4.** *Prirodni magnet stvara nehomogeno magnetsko polje.* [3]



**Slika 2. 5.** *Homogeno magnetsko polje.* [1]

1819. godine danski fizičar Hans Christian Oersted je stavio magnetsku iglu u blizinu vodiča kroz koji teče struja. Hans Christian Oersted je spazio da se igla zakreće i da to zakretanje ovisi o jakosti struje. Osnovne zakone magnetizma i njegove povezanosti s električnom strujom je otkrio francuski fizičar Andre Marie Ampere. Ta dva događaja su se odvila u razmaku od godinu dana. Andre Marie Ampere je opisao silu između dva različita vodiča kroz koje teče struja, te je shvatio da svojstva stalnog magneta potječu od elementarnih električnih struja. Današnja spoznaja o kruženju elektrona oko jezgre atoma i njegovoj vrtnji oko vlastite osi je sasvim u skladu s njegovim hipotezama. Ampereova struja je zapravo gibanje elektrona u atomu, a ta struja stvara magnetsko polje u svom okolišu. Razlika između većine materijala i stalnog magneta je u smjeru magnetskih polja atoma. Ako se magnetska polja atoma međusobno poništavaju, onda se radi o običnom materijalu. Kod stalnog magneta ta polja imaju isti smjer. Godine 1831. engleski fizičar Michael Faraday je pomicao magnet u blizini vodljivog zatvorenog kruga, a kroz njega je potekla struja. On je znao da naboj koji se giba stvara magnetsko polje, ali to nikad nije uspio dokazati eksperimentom. Danas je mnogim eksperimentima dokazano da je engleski fizičar Faraday bio u pravu. Američki fizičar Henry Rowland je 1878. godine napravio prvi takav eksperiment. Katodna zraka oko sebe stvara magnetsko polje i zakreće se u magnetskom polju, a to je eksperimentalno utvrđeno početkom 21. stoljeća. Električni naboj je uzrok električnih i magnetskih pojava. Naboj u gibanju uzrokuje magnetske pojave, a statični naboj uzrokuje električne pojave. Dodatne magnetske sile se

javljaju kod električnih naboja koji se gibaju pored električnih međusobnih sila, a teorija relativnosti objašnjava pojave magnetskog polja kod naboja koji se gibaju.

$$B = \mu_0 \mu_r H \quad (2-5)$$

Gustoća magnetskog toka označava se s  $B$ , a mjerna jedinica je tesla. Jakost magnetskog polja označava se s  $H$ , a njegova mjerna jedinica je A/m. Gustoća magnetskog toka i jakost magnetskog polja su povezani prema izrazu (2-5). Veličina  $\mu_0$  se zove apsolutna permeabilnost nekog magnetskog materijala, a  $\mu_r$  je relativna permeabilnost nekog magnetskog materijala.

## 2.2. Svojstva elektromagnetskih valova

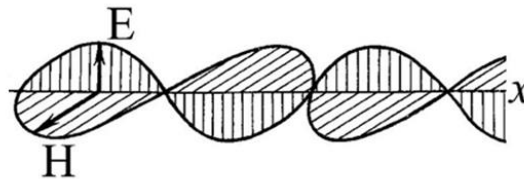
Elektromagnetski valovi se mogu širiti vakuumom za razliku od ostalih valova koji se šire nekim sredstvom. Primjeri medija kojima se šire valovi su: voda, zrak i valovod. Mehanički valovi su najbolji primjer valova za čije je širenje potrebno sredstvo, odnosno trebaju titrati čestice nekog sredstva ili medija da bi se mehanički valovi mogli širiti. U linearno polariziranom elektromagnetskom valu električna i magnetska polja titraju u fazi. Elektromagnetski val ima transverzalnu prirodu, a to znači da smjerovi električnoga i magnetskog polja su uzajamno okomiti i smjer širenja vala je okomit na smjer magnetskog i električnog polja prema slici 2.6. Električna i magnetska svojstva medija jedina utječu na brzinu elektromagnetskog vala, a amplituda elektromagnetskog polja ne utječe na brzinu elektromagnetskog vala. Ako se električni naboji gibaju akcelerirano, tada se stvaraju elektromagnetski valovi. Titrajući električni naboj emitira kontinuirani elektromagnetski val, a električni naboj s kratkotrajnom akceleracijom emitira pulsni elektromagnetski val.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2-6)$$

Frekvencija izvora vala  $\omega$  određuje frekvenciju titranja elektromagnetskih valova, te je ona jednaka u svim sredstvima. Vrijeme koje je potrebno da bi se ostvario jedan titraj naziva se period  $T$ , a može se odrediti prema izrazu (2-6).

$$\bar{P} = \frac{1}{2} E_0^2 \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} \quad (2-7)$$

Svi valovi prenose energiju prostorom, pa tako i elektromagnetski valovi. Zbroj gustoća električne i magnetske energije predstavlja ukupnu gustoću energije elektromagnetskog polja u jediničnom volumenu. Energijski tok predstavlja mjeru za veličinu energije koju prenosi elektromagnetski val, a oznaka za energijski tok je  $P$ . Amplituda električnog polja je  $E_0$ . Širenjem elektromagnetskog vala kroz neko sredstvo koje ima električnu permitivnost  $\epsilon$  i magnetsku permeabilnost  $\mu$  može se prikazati energijski tok prema izrazu (2-7).



**Slika 2. 6.** *Elektromagnetski val.* [7]

### 2.3. Maxwellove jednadžbe

Elektromagnetske valove je teorijski predvidio James Clerk Maxwell, pokušavajući objasniti elektromagnetsku indukciju. Mnogi znanstvenici nisu mogli povezati elektricitet i magnetizam, a to je pošlo za rukom škotskom fizičaru Jamesu Clerku Maxwellu. Godine 1864. James Clerk Maxwell je objavio teoriju elektromagnetizma, a u njoj je povezoao elektricitet i magnetizam. Zakone elektriciteta i magnetizma objasnio je pomoću četiri jednadžbe, koje su po njemu nazvane Maxwellove jednadžbe. Maxwellove jednadžbe zapisane u diferencijalnom obliku se mogu objasniti jednostavnim rečenicama:

$$1. \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2-8)$$

Iz pozitivnog naboja izlaze silnice električnog polja, a u negativni naboj ulaze. Silnice električnog polja teže u beskonačnost. Ako su pozitivan i negativan naboj smješten jedan blizu drugoga, tada silnice električnog polja izviru iz pozitivnog naboja i poniru u negativni naboj. Silnice električnog polja nisu zatvorene linije jer počinju i završavaju u električnim nabojima prema izrazu (2-8).

$$2. \nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2-9)$$

Kod trajnih magneta silnice magnetskog polja izlaze iz sjevernog pola, a ulaze u južni pol. Trajni magnet stvara magnetsko polje, a silnice tog polja su zatvorene linije prema izrazu (2-9).

Zavojnica kroz koju teče struja predstavlja elektromagnet. Umjetni magneti stvaraju magnetska polja, a silnice tog polja su također zatvorene linije.

$$3. \nabla \times \vec{E} = \frac{-\partial B}{\partial t} \quad (2-10)$$

Promjena magnetskog polja uzrokuje nastanak električnog polja prema izrazu (2-10), a to je Faradayev zakon indukcije.

$$4. \nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2-11)$$

Promjenjivo električno polje stvara magnetsko polje prema izrazu (2-11).

Prema Maxwellu proizlazi da elektromagnetski valovi nastaju promjenom električnog polja  $\vec{E}$  i magnetskog polja  $\vec{B}$ , a pri tome elektromagnetski valovi se šire u vakuumu brzinom svjetlosti  $c$ .  
Jednadžba za brzinu svjetlosti glasi:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (2-12)$$

gdje je magnetska permeabilnost vakuuma  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ (T} \cdot \text{m)/A}$ , a električna permitivnost vakuuma je  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{N})$ . Uvrste li se zadane vrijednosti u jednadžbu za brzinu svjetlosti dobije se približna vrijednost  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . To je ujedno i vrijednost za brzinu elektromagnetskog vala u vakuumu. Elektromagnetsko polje je u svakoj točki prostora opisano Maxwellovim jednadžbama, a jednadžbe za električno i magnetsko polje glase:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) \quad (2-13)$$

$$\vec{B} = \vec{B}_0 \sin \omega \left( t - \frac{x}{c} \right) \quad (2-14)$$

$E_0$  i  $B_0$  predstavljaju amplitude električnog i magnetskog polja u ovim jednadžbama, a kružna frekvencija je:

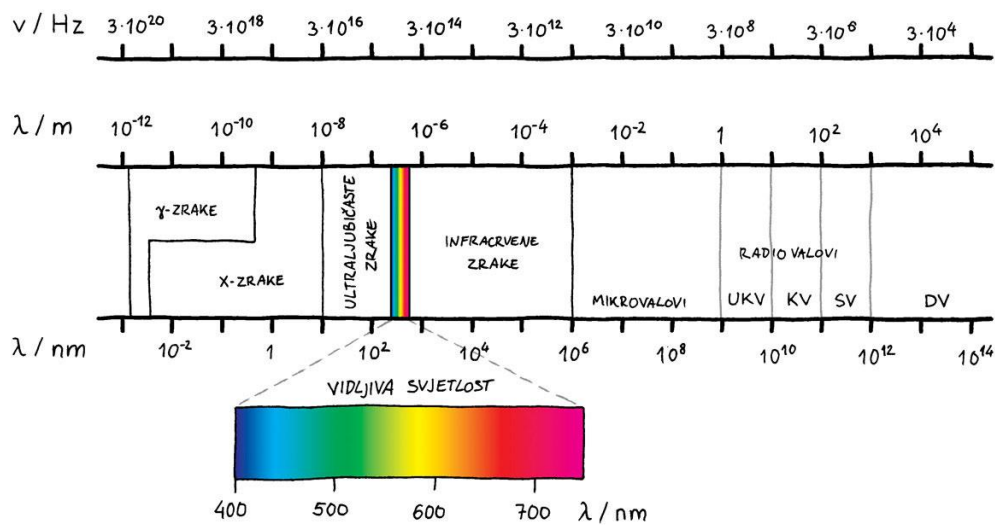
$$\omega = 2\pi f \quad (2-15)$$

## 2.4. Spektar elektromagnetskog zračenja

$$c = \lambda f \quad (2-16)$$

Valna duljina je udaljenost koju val prijeđe u jednom periodu, a označava se s  $\lambda$ . Nisu svi elektromagnetski valovi jednaki, a razlikuju se po valnoj duljini ( $\lambda$ ) i frekvenciji ( $f$ ). U vakuumu umnožak tih veličina je isti za sve valove i pri tome je jednak brzini vala prema izrazu (2-16). Ako elektromagnetski val ima veću valnu duljinu, tada će imati manju frekvenciju i obratno. U ovom području, obično se upotrebljava naziv elektromagnetsko zračenje jer elektromagnetski val ima i svojstva čestica. Čestična svojstva omogućavaju da se na elektromagnetski val gleda kao na emisiju čestica, odnosno fotona. Fotoni su zapravo čestice svjetlosti, odnosno osnovni djelići energije elektromagnetskog zračenja. Energija fotona je vezana za valnu duljinu, odnosno frekvenciju vala. Planckovom relacijom  $E = hf$  točno je opisan odnos između frekvencije i energije fotona. Oznaka za energiju fotona je  $E$ , a za frekvenciju je  $f$ . Planckova konstanta iznosi:  $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ . Ako se poveća frekvencija, iz Planckove relacije je vidljivo da će se povećati energija fotona. Frekvencija je proporcionalna energiji fotona. Elektromagnetski spektar se dobije tako da se elektromagnetsko zračenje poreda po valnim duljinama ili frekvencijama (Slika 2.7.).





**Slika 2. 7.** *Spektar elektromagnetskog zračenja.* [8]

Zagrijana tijela i neke molekule mogu emitirati infracrveno zračenje. Valne duljine infracrvenog zračenja iznose između 700 nm i 1 mm, a dio tih vrijednosti se preklapa s mikrovalnim područjem elektromagnetskog spektra. Antene stvaraju mikrovalove, a neka zagrijana tijela i neke molekule infracrveno zračenje. Iznosi valnih duljina mikrovalova se mogu preklopiti s iznosima valnih duljina infracrvenog zračenja. Infracrveno zračenje zove se još i toplinskim zračenjem jer dio spektra infracrvenog zračenja se može osjetiti kao toplinu. U mraku se mogu promatrati i fotografirati objekti pomoću infracrvenog zračenja, jer se infracrveno zračenje može detektirati u mraku. Infracrveno zračenje primjenjuje se u: industrijskim postrojenjima, medicinskim terapijama, za istraživanje molekulske strukture tvari, za opažanje svemirskih tijela i u druge znanstvene svrhe.

Elektromagnetsko zračenje koje zamjećujemo okom naziva se svjetlošću. Oko razlikuje valne duljine kao boje, a svjetlost sadrži sve te različite valne duljine. Monokromatska svjetlost sadrži jednu valnu duljinu, a polikromatska sadrži više valnih duljina. Bijela svjetlost sadrži sve valne duljine između 400 nm i 700 nm, a prema tome bijela svjetlost je polikromatska. Prolaskom bijele svjetlosti kroz prizmu stvara se spektar boja, a to razlaganje bijele svjetlosti na boje se

naziva disperzijom. Spektar bijele svjetlosti sadrži redom: crvenu, narančastu, žutu, zelenu, plavu i ljubičastu boju.

Ultraljubičasto zračenje se naziva još ultravioletnim zračenjem i dobije se prolazom električne struje kroz plin. Valne duljine ultraljubičastog zračenja se kreću od 400 nm do 600 pm. Živine pare se obično koriste za umjetni način stvaranja ultraljubičastog zračenja. Sunce je snažan prirodni izvor ultraljubičastog zračenja. Sunce stvara ultraljubičasto zračenje kraćih valnih duljina, a atmosfera zemlje može apsorbirati to zračenje. Ultraljubičasto zračenje djeluje vrlo štetno na čovjekovu kožu, a može izazvati crvenilo i pigmentaciju kože. Pigmentacija kože uzrokuje tamniju kožu, a crvenilo kože obično predstavlja opekline. Rak kože može nastati pretjeranim izlaganjem ultraljubičastom zračenju. Osim negativnog djelovanja na ljudsku kožu, ultraljubičasto zračenje ima i koristan učinak na ljudsko tijelo. U organizmu se sintetizira vitamin D uz pomoć ultraljubičastog zračenja. Ultraljubičasto zračenje ima primjenu u medicini, a obično se koristi za liječenje rahitisa.

## **2.5. Mikrovalovi**

Ako elektromagnetski valovi imaju valnu duljinu iznad 0,1 mm, onda se ti valovi nazivaju radiovalovima. Predajnik i prijamnik elektromagnetskih valova su potrebni za upotrebu radiovalova u radijskim i televizijskim komunikacijama. Radiovalove dijelimo prema frekvenciji, odnosno valnoj duljini na:

- duge valove, valne duljine od jednog kilometra do više tisuća kilometara
- srednje valove, valne duljine od sto metara do jednog kilometra
- kratke valove, valne duljine od deset metara do sto metara
- ultrakratke valove, valne duljine od jednog metra do deset metara
- mikrovalove, valne duljine od 0,1 milimetra do jednog metra

Godine 1864. James Clerk Maxwell je predvidio postojanje mikrovalova u svojim jednadžbama. Primjena mikrovalova počela je nedugo nakon njihovog otkrića. Mikrovalna tehnologija koristi mikrovalove, a danas se u mikrovalnu tehnologiju ubrajaju: bežični komunikacijski sustavi, mikrovalne pećnice, radari i antene. Mikrovalovi se upotrebljavaju za proučavanje atomske i molekulske strukture tvari, jer su njihove frekvencije bliske vlastitim frekvencijama atoma i

molekula tvari. Mikrovalovi imaju široku primjenu u radarskoj tehnologiji, a zbog toga ih se često naziva još i radarskim valovima. Od otkrića mikrovalova pa nadalje, čovjek je proizvodio i iskorištavao mikrovalove u velikoj mjeri. U većim gradovima je zračenje mikrovalovima znatno veće od zračenja u manjim naseljima ili prirodi, a zbog njihove rasprostranjenosti ne može ih se izbjeći. Znanstvenici smatraju tu pojavu nekom vrstom zagađenja. Zračenje mikrovalovima se jako povećalo jer su se mikrovalovi počeli upotrebljavati u kućanstvu. Najbolji primjeri su: alarm uređaji u kućama i automobilima, radio uređaji, daljinski za otključavanje automobila i televizija. Mikrovalovi se upotrebljavaju svugdje i svakodnevno. Mikrovalovi se ne nalaze u mikrometarskom području, već prefiks mikro ukazuje na malu valnu duljinu u odnosu na valne duljine ostalih radiovalova. Područje frekvencija mikrospektra raspoređeno je u 14 pojaseva:

**Tablica 2. 1.** *Pojasi mikrospektra od L pojasa do Ka pojasa.* [6]

Naziv	L pojas	S pojas	C pojas	X pojas	Ku pojas	K pojas	Ka pojas
Frekvencija	1-2 GHz	2-4 GHz	4-8 GHz	8-12 GHz	12-18 GHz	18-26,5 GHz	26,5-40 GHz

**Tablica 2. 2.** *Pojasi mikrospektra od Q pojasa do D pojasa.* [6]

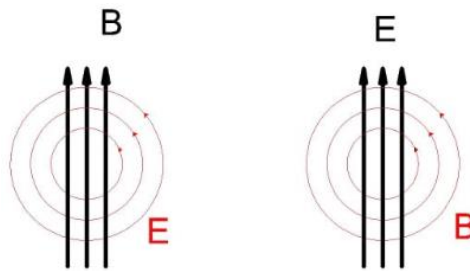
Naziv	Q pojas	U pojas	V pojas	E pojas	W pojas	F pojas	D pojas
Frekvencija	30-50 GHz	40-60 GHz	50-75 GHz	60-90 GHz	75-110 GHz	90-140 GHz	110-170 GHz

Slobodne elektrizirane čestice su elektroni i ioni. Elektrizirana čestica se može pokrenuti pod djelovanjem mikrovala. Taj proces se odvija tako da se dio energije mikrovala preda

elektriziranoj čestici. Dobivena energija omogućuje toj elektriziranoj čestici da se pokrene. Slobodne elektrizirane čestice i polarizirane čestice se mogu pokrenuti u biološkome tkivu, a to omogućuje energija koju posjeduje mikroval. Kemijski sastav tog biološkog tkiva se ne može promijeniti jer se ne može izvršiti ionizacija, a niti se mogu razbiti molekule. Takve karakteristike svrstavaju mikrovalove u neionizirajuće elektromagnetsko zračenje.

### 2.5.1. Antene

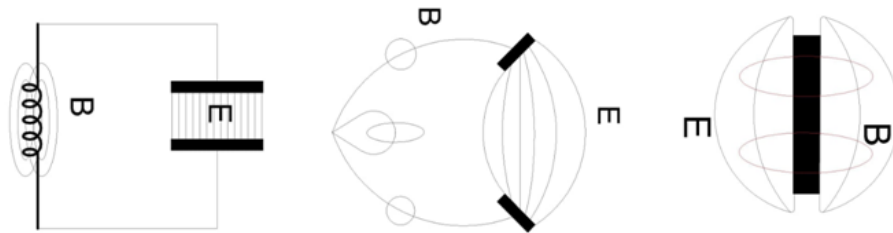
Elektromagnetska indukcija predstavlja induciranje električne struje i električnog polja u vodiču prstenastog oblika, kada kroz njegovu površinu prolaze silnice promjenjivog magnetskog polja. Ako u nekom prostoru nema vodiča, a pri tome postoji promjenjivo magnetsko polje, tada u tom prostoru neće postojati slobodni nositelji naboja. U tom slučaju neće se inducirati struja, ali hoće električno polje. Ako promjenjivo magnetsko polje može inducirati električno polje, tada i promjenjivo električno polje može inducirati promjenjivo magnetsko polje (Slika 2.8.).



**Slika 2. 8.** *Silnice jednog polja obavijaju silnice drugog polja. [4]*

U titrajnom krugu se između ploča kondenzatora javlja promjenjivo električno polje. Periodičke promjene električnog polja nazivaju se titranjem. Titrajuće električno polje i titrajuće magnetsko polje se prenose kroz prostor i to tako da silnice titrajućeg magnetskog polja obavijaju silnice titrajućeg električnog polja. Elektromagnetski val nastaje prenošenjem titranja električnog i magnetskog polja. Postojanje sredstva s česticama nije uvjet da bi se elektromagnetskog vala širio. Elektromagnetski val se širi najvećom brzinom u vakuumu, a ta brzina širenja elektromagnetskog vala se smanjuje u nekom sredstvu s česticama. Širenje titrajućeg električnog

i magnetskog polja u veći dio prostora se postiže razmicanjem kondenzatorskih ploča. Sve većim prostorom se elektromagnetski valovi šire i taj prostor postaje najveći kada su ploče sasvim razmaknute. Sasvim razmaknute kondenzatorske ploče predstavljaju otvoreni titrajni krug (Slika 2.9.).



**Slika 2. 9.** Razmicanje kondenzatorskih ploča i stvaranje antene. [5]

Vlastita frekvencija titrajnog kruga je jednaka frekvenciji elektromagnetskih valova, a pri tome je još obrnuto proporcionalna korijenu umnoška induktiviteta zavojnice i kapaciteta kondenzatora prema izrazu (2-17).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2-17)$$

Tijelo poput kondenzatora ima sposobnost da primi i pohrani određenu količinu električnog naboja, a ta sposobnost se naziva kapacitet  $C$ . Oznaka za induktivitet zavojnice je  $L$ , a mjerna jedinica je henri H. Smanjivanjem broja namotaja zavojnice i smanjenjem površine ploča kondenzatora može se povećati frekvencija. Ako se za titrajni krug uzme ravni vodič, tada je frekvencija najveća. Dipol ili antena je otvoreni titrajni krug kod kojega je vodič zavojnica s jednim zavojem, a krajevi vodiča su ploče kondenzatora. Za proučavanje mikrovalnih komunikacijskih sustava i radara neophodno je znanje o karakteristikama antena. Postoje odašiljačke i prijemne antene. Za zračenje sfernih valova koriste se odašiljačke antene, a ti sferni valovi na putu prema prijemnoj anteni prelaze u ravne valove. Antene se mogu koristiti za slanje i primanje signala, a time su dvosmjerne.

### 2.5.2. Zagrijavanje hrane mikrovalovima

Prije otkrića mikrovalne pećnice, ljudi su zagrijavali hranu na klasičan način. Klasični način zagrijavanja predstavlja vođenje topline s površine zagrijane hrane prema unutrašnjosti. To je izraženo kod čvrste i pastozne hrane, koja je općenito slab vodič topline. Toplina prodire slabo i sporo u unutrašnjost hrane, a zbog toga može doći do pregrijavanja vanjske površine hrane. Često takav način zagrijavanja dovodi do neželjenih promjena, a to je obično prisutno kod mlijeka i mliječnih proizvoda. Korištenjem mikrovalnih pećnica nestaje taj problem. Obično se hrana ili namirnica zagrijava tijekom industrijske prerade, a zagrijavanje se provodi radi sprečavanja razgradnje hrane djelovanjem enzima i mikroorganizama. U industriji se upotrebljavaju mikrovalne pećnice velikih snaga. Materijal se može u jednom dijelu previše zagrijati jer se u mikrovalnoj pećnici zagrijava nejednoliko. Preveliko zagrijavanje materijala u jednom dijelu može uzrokovat oštećenje tog materija, a može doći čak i do eksplozije. Postoji nekoliko rješenja za taj problem. Neka od rješenja su promjena položaja i sastava zagrijavanog materijala. Dobri uvjeti za sterilizaciju se mogu primijeniti pod mikrovalnim zagrijavanjem od 2450 MHz. Biodizel se može brže i jednostavnije pripremiti upotrebom mikrovalova, a kratko vrijeme kemijske reakcije i jednostavna uporaba su razlog tome. Iskorištavanje biodizela iz otpadnog ulja za kuhanje se može poboljšati korištenjem mikrovalova. Korištenje mikrovalne pećnice postiže se znatna ušteda energije i veća ekonomičnost procesa zagrijavanja.

Mikrovalna pećnica koristi mikrovalove za zagrijavanje hrane. Mikrovalovi su elektromagnetski valovi velikih frekvencija. Osnovne karakteristike elektromagnetskog vala su frekvencija i valna duljina. Dielektrična svojstva hrane omogućuju hrani da apsorbira dio elektromagnetske energije i pretvori je u toplinsku energiju. Ako hrana posjeduje takva svojstva, njezine molekule se mogu polarizirati. Polarizacija se postiže izlaganjem molekula elektromagnetskom polju. Kod polarizacije molekule postaju električno nabijene, ali nemaju sposobnost vođenja električne struje radi nedovoljne količine slobodnih elektrona. Električno nabijene molekule predstavljaju električni dipol. Sila uzrokuje orijentaciju dipola, a ta sila nastaje djelovanjem elektromagnetskog polja na električni dipol. Orijentacija dipola je zakretanje molekula ili dipola, brzinom koja ovisi o frekvenciji elektromagnetskog polja. Silnice električnog polja izvire iz pozitivnog i ulaze u negativni naboj. Na osnovu toga se pozitivni naboj orijentira u smjeru električnog polja, a negativni naboj se orijentira suprotno. Tako gibanje molekula predstavlja

titranje molekula. Titranjem molekula hrane stvara se trenje, a ono stvara toplinu. Dielektrična svojstva hrane određuju intenzitet stvaranja topline. Apsorpcija elektromagnetskih valova je odgovorna za mikro i makro strukturne promjene u morfologiji nekog materijala, a posljedično i za njihova električna svojstva. Prodor mikrovalova u hranu ovisi o temperaturi, a to može dovesti do nekih čudnih i opasnih pojava. Kod vode i mnogih povrća se smanjuje apsorpcija mikrovalova s porastom temperature, a pri tome se povećava prodiranje mikrovalova prema unutrašnjosti hrane. Na početku kuhanja se sirovi krumpir skuha samo izvana jer se zagrijava otprilike jedan centimetar od površine, a unutrašnjost krumpira ostaje sirova. Temperatura površine krumpira se povećava, a apsorpcija mikrovalova se smanjuje i to omogućava veće prodiranje mikrovalova prema unutrašnjost krumpira. Krumpir se u mikrovalnoj pećnici skuha dobro jer se skuha cijeli. No, drugim materijali se ponašaju posve drukčije. Kod tih materijala se povećava apsorpcija mikrovalova s porastom temperature i to onemogućava prodiranje mikrovalova prema unutrašnjost. U ovom slučaju se toplina taloži u tanjem području, a to područje se za manje od minute može jako zagrijati. Najbolji primjer je papirnata šalica za kavu koja ima zalijepljeni šav, a lijepilo jako apsorbira mikrovalove. Tu papirnatu šalicu je dovoljno samo tri minute zagrijavati da se zapali u području šava. Ta pojava poznata je kao toplinski zastoј, a uočena je kod različitih materijala poput cirkonija, najlona i glinice. Da bi se shvatila taj pojava potrebno je matematički modelirati mikrovalno elektromagnetsko polje u mikrovalnoj pećnici koristeći Maxwellove jednadžbe i granične uvjete.

Prehrambena industrija također ima utjecaj na zagrijavanje hrane u mikrovalnim pećnicama. Prehrambena industrija ne može promijeniti dizajn mikrovalne pećnice, ali može poboljšati kuhanje u mikrovalnoj pećnici izradom kvalitetne i tanke ambalaže za hranu. Istraživanja su pokazala da se jelo u toj ambalaži nekad bolje skuha nego na štednjaku. Međutim, treba biti oprezan jer se često jela prodaju u ambalažama koje nisu prilagođene za kuhanje u mikrovalnoj pećnici. Takve plastične ambalaže nisu prilagođene za kuhanje u mikrovalnoj pećnici jer sadrže potencijalno toksične kemikalije.

### **3. TEHNIČKA REALIZACIJA MIKROVALNE PEĆNICE**

Mikrovalne pećnice su dio svakodnevnog života, a kombiniraju elektromagnetizam i opće ponašanje elektromagnetskih valova i toplinske fizike na jedinstven način. Najčešća primjena mikrovalne pećnice je zagrijavanje hrane, ali industrijske pećnice se također koriste za sušenje različite robe. Ovdje je prikazan eksperiment s mikrovalnom pećnicom koji će dokazati nejednoliko zagrijavanje.

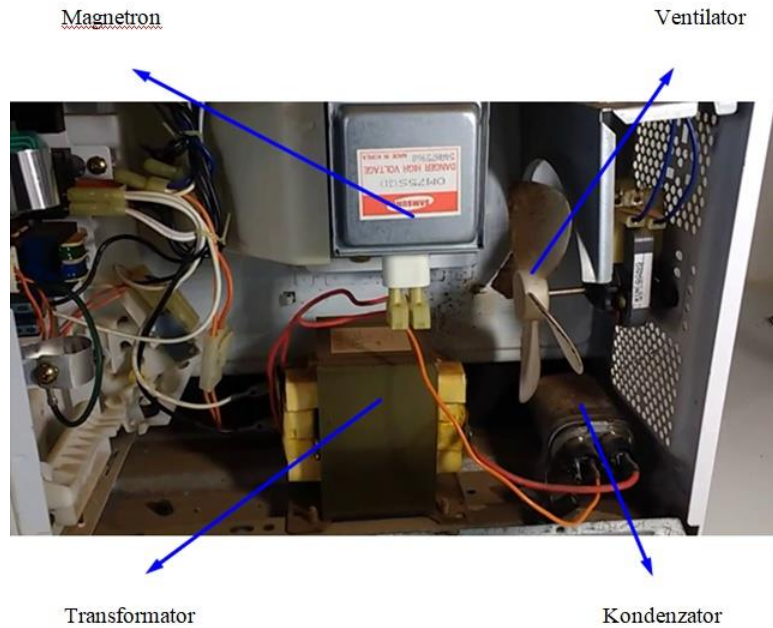
#### **3.1. Dijelovi mikrovalne pećnice**

Mikrovalna pećnica se sastoji od:

- visokonaponskog izvora napajanja, obično je to jednostavni transformator
- električnog kondenzatora
- magnetrona
- kratkog valovoda
- metalne komore za kuhanje
- ventilatora
- rotacijskog tanjura
- rotacijskog reflektora
- upravljačke ploče
- zaštitne mreže, koja se nalazi na prozoru vrata mikrovalne pećnice

U unutrašnjosti mikrovalne pećnice prikazani su sljedeći dijelovi: magnetron, ventilator, kondenzator i transformator prema slici 3.1.





**Slika 3. 1.** Prikaz mikrovalne pećnice iznutra. [15]

### 3.2. Transformator

Prijenos električne energije iz jednog strujnog kruga u drugi strujni krug magnetskim putem je glavna zadaća transformatora. Izlazni napon se ovisno o potrebi može povećati ili smanjiti u odnosu na ulazni napon. Od najmanje dva svitka se sastoji transformator. Svitci su međusobno vezani putem međuinukcije, a pri tome su nepomični jedan prema drugome. Svitci od kojih se sastoji transformator se obično zovu namoti transformatora. Promjenjivi magnetski tok jedne zavojnice inducira napon u drugoj zavojnici, a ta pojava se naziva međuinukcija. Magnetski tok može biti jači nekoliko tisuća puta, a da bi se to postiglo potrebno je neki materijal poput željeza staviti unutar zavojnice. Transformator je linearan ako ima jezgre od izolatora. Te jezgre trebaju imati linearnu magnetsku karakteristiku i to bez mogućnosti stvaranja vrtložnih struja. Takav transformator se upotrebljava u različitim uređajima kao sastavni dio linearne električne mreže. Radio, uređaji mjerne tehnike, elektronički uređaji i telekomunikacijski uređaji su najbolji primjeri uređaja u kojima se koristi linearan transformator. Primarni namot transformatora je onaj namot u kojeg ulazi električna energija, a sekundarni namot je onaj namot iz kojeg izlazi električna energija. Primarnim i sekundarnim se nazivaju odgovarajući naponi i struje na

priključnicama tih namota. Energija se može prenositi kako na jednu tako i na drugu stranu ovisno o režimu rada, a zbog toga su ti nazivi uvjetni u nekim slučajevima. Razne idealizacije znatno olakšavaju razmatranja u praksi. Temelj za definiranje savršenog i idealnog transformatora je izvršavanje dviju karakterističnih idealizacija kod dvonamotnog transformatora. Shema dvonamotnog transformatora je prikazana prema slici 3.2.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3-1)$$

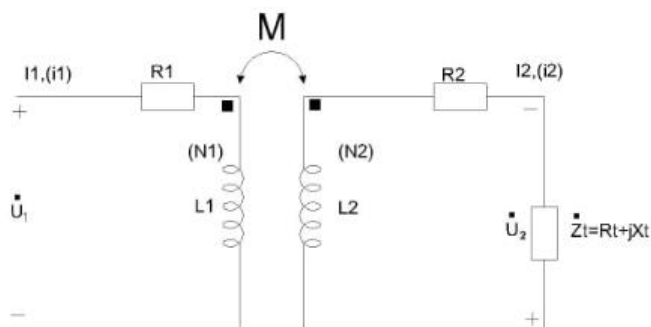
Omjer primarnog i sekundarnog napona jednak je omjeru broja zavoja prema izrazu (3-1), a to predstavlja osnovnu karakteristiku savršenog transformatora.

Induktiviteti, kao i međuinuktivitet idealnog transformatora, su beskonačni jer idealni transformator za razliku od savršenoga ima otpor magnetskog kruga jednak nuli.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (3-2)$$

Kod idealnog transformatora omjer primarnog napona  $U_1$  i sekundarnog napona  $U_2$  je jednak omjeru sekundarne struje  $I_2$  i primarne struje  $I_1$ , odnosno omjeru primarnog broja zavoja  $N_1$  i sekundarnog broja zavoja  $N_2$  prema izrazu (3-2).

Kod autotransformatora je namot nižega napona dio namota višega napona, a po tome se razlikuje od transformatora. Postojanje induktivne i strujne veze je karakteristično za autotransformatore. Ekonomičnost u bakru namota se ostvaruje primjenom autotransformatora umjesto običnog transformatora iste snage i s istim koeficijentom transformacije, a smanjenje ukupnog broja zavoja i debljine sekundarnog namota je odgovorno za to.



**Slika 3. 2.** Shema dvonamotnog transformatora. [16]

### 3.3. Električni kondenzator

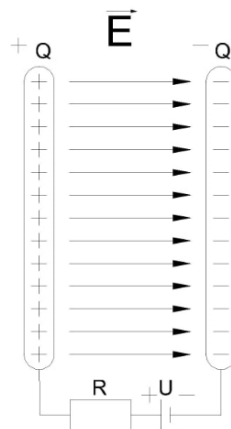
$$C = \frac{Q}{U} \quad (3-3)$$

Električni kapacitet je jednak omjeru naboja i napona prema izrazu (3-3). Jedinica za kapacitet je farad. Jedinici za kapacitet se obično dodaje prefiks mikro, nano ili piko, jer je 1 F jako velik kapacitet.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d} \quad (3-4)$$

Kapacitet između dviju metalnih ploča se može odrediti prema izrazu (3-4). Električno polje na samim rubovima ploča nije nužno homogeno, pa izračunati kapacitet se malo razlikuje od stvarnog. Ta razlika se može zanemariti ako je razmak  $d$  puno manji od dimenzija ploča. Taj rubni efekt se može smanjiti pomoću nekih tehničkih rješenja. Izračunati kapacitet je obrnuto proporcionalan razmaku  $d$  između ploča, a proporcionalan površini ploča  $S$  i permitivnosti dielektrika. Naponom je ograničen razmak između ploča. Smanjenje razmaka dovodi do smanjenja dozvoljenog napona  $U$  koji se smije priključiti između ploča. Shema pločastog kondenzatora je prikazana prema slici 3.3. Kapacitet i mogućnost uskladištenja energije su često uzrok korištenja sistema dvaju vodljivih izoliranih tijela u praksi. Električni kondenzator je sistem dvaju izoliranih tijela. Električni kondenzator se ugrađuje u mnoge električne krugove, a zbog toga se smatra komponentom električnog kruga. Međutim, postoje cilindrični, spiralni,

kuglasti, trokutasti i pločasti kondenzatori. U pločaste kondenzatore se ubraja promjenjivi zračni kondenzator, a on se često koristi u radiotehnici. Određeni broj paralelnih ploča izgrađuje taj kondenzator, a između tih ploča je dielektrik zrak. Za taj kondenzator je karakteristično da određena grupa tih ploča miruje, a druga grupa ploča se rotira. Međutim, postoji proporcionalnost kapaciteta tog kondenzatora s dijelom površina koje se preklapaju.

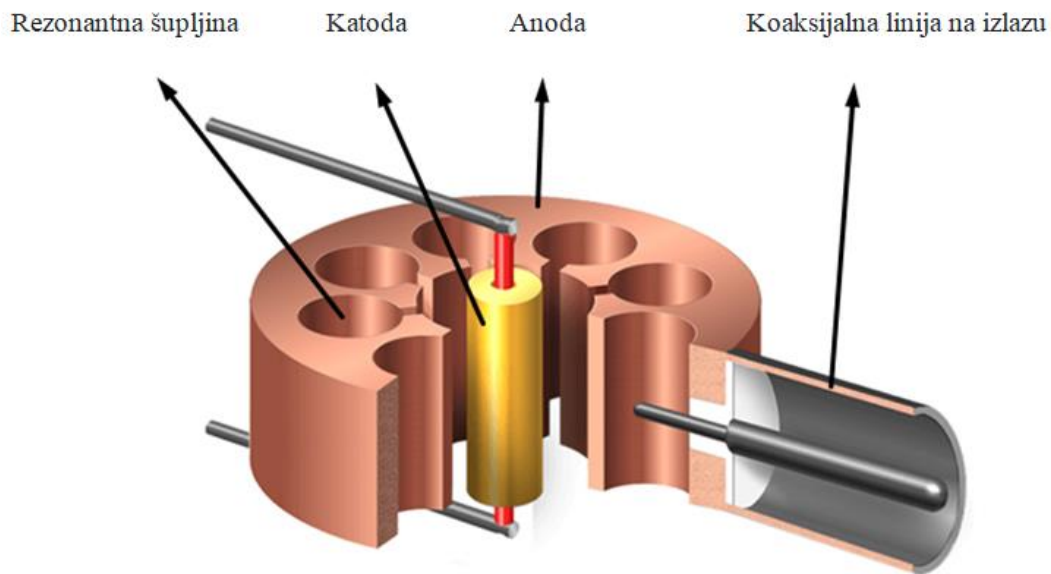


**Slika 3. 3.** Shema pločastog kondenzatora. [17]

### 3.4. Magnetron

Elektronska cijev za generiranje visokofrekventnih titraja naziva se magnetron, a sastoji se od katode i anode. Oko katode je koncentrično postavljena cilindrična anoda. Rezonantne šupljine se nalaze s unutarnje strane anode. Između katode i anode nalazi se istosmjerno električno polje, a ono je okomito na vanjsko statičko magnetno polje. To magnetno polje djeluje uzduž osi katode i anode. Elektroni koje emitira katoda gibaju se prema anodi po zakrivljenoj putanji, a uzrok tomu je djelovanje magnetnoga polja. Oblak elektrona koji rotira oko katode nastaje u prostoru između katode i anode. Elektroni s ispravnom fazom prolazeći kraj rezonantnih šupljina predaju dio svoje energije visokofrekventnom polju u rezonatorima, te tako elektroni podržavaju titraje. Elektroni s pogrešnom fazom vraćaju se na katodu i potiču nove

emisije elektrona, a usporeni elektroni padaju na anodu. Iz jednog od rezonatora se izvodi visokofrekventni signal (Slika 3.4.). U frekvencijskom području od približno jednoga gigaherca do nekoliko desetaka gigaherca izvor signala je magnetron. Magnetron može postići snagu od nekoliko megavata u impulsnom režimu rada i to uz djelotvornost do 80%. Magnetron je izvor velike snage, a zbog toga se koristi u radarskim odašiljačima. Kasnije se magnetron počeo primjenjivati u industriji i kućanstvu, a najbolji primjer je mikrovalna pećnica.



Slika 3. 4. Magnetron. [19]

### 3.5. Ventilator

Naprava za stvaranje struje plinova naziva se ventilator, a taj plin je obično zrak. Za razliku od puhalo i kompresora, područja najnižih tlakova dobave pokriva ventilator i to od samo nekoliko desetaka paskala do 10 kPa, a omjer izlaznoga prema ulaznom tlaku iznosi manje od 1,1.

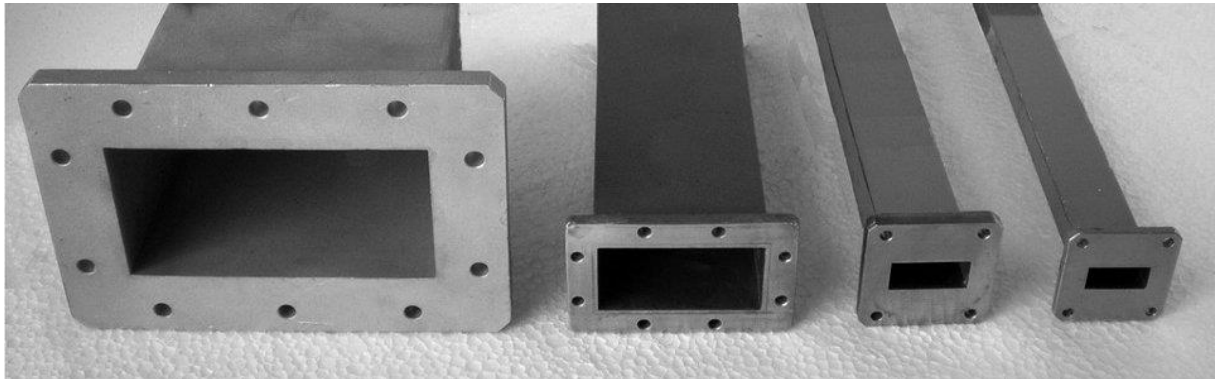
Ventilatori se prema prirastu tlaka dijele na niskotlačne, srednjetačne i visokotlačne. Preko pogonske osovine može se dovesti mehanička energija ventilatoru, a ta energija se predaje mediju dinamičkim djelovanjem rotorskih lopatica. Potom se mehanička energija pretvara dijelom u potencijalnu energiju, a dijelom u kinetičku energiju medija. Tlak se povećava ako se mehanička energija pretvara u potencijalnu energiju. Brzina medija se povećava ako se

mehanička energija pretvara u kinetičku energiju. Ventilatori se razlikuju prema smjeru strujanja čestica kroz rotor, a s obzirom na to mogu se podijeliti na radijalne, propelerske i mješovite ventilatore. Za provjetravanje u rudnicima, industrijskim prostorijama i na brodovima koriste se ventilatori velikih kapaciteta, a obično se izvode kao radijalni ventilatori. Ventilatori manjih kapaciteta koriste se bez kućišta u stanovima i manjim radnim prostorijama, a izvode se kao propelerski ventilatori. Ugradnja ventilatora u ventilacijske cjevovode i otvore u zidu je moguća kod propelerskih ventilatora. Propelerski ventilatori se mogu pričvrstiti na strop i tako se koristiti za miješanje zraka. Međutim, obje vrste ventilatora se mogu upotrebljavati kao dijelovi različitih uređaja i postrojenja. Ventilator se koristi za hlađenje prostora i strojeva, ali i za grijanje prostora. Ventilator se može koristiti za dopremu zraka koji je potreban za izgaranje ili gorenje, a može se koristiti i u ostale svrhe. Najbolji primjeri uređaja u kojima se ventilatori koriste kao dijelovi su: mikrovalne pećnice, usisavači prašine i klima uređaji.

### **3.6. Valovod**

Električni vod za provođenje elektromagnetskih valova naziva se valovod. Obično se koriste za provod elektromagnetskim valova s velikim frekvencijama. To frekvencijsko područje iznosi od 1 GHz do 100 GHz. Valovodi su obično izgrađeni od bakra i imaju pravokutni ili kružni presjek. Valovodi različitih veličina, koji imaju pravokutan presjek, su prikazani prema slici 3.5. Unutrašnjost valovoda se može posrebiti ili pozlatiti radi smanjenja gubitaka. Frekvencija elektromagnetskog vala mora biti veća od zaporne frekvencije valovoda, jer se samo u tom slučaju elektromagnetski val može širiti valovodom. Zaporna frekvencije valovoda je određena najvećim presjekom valovoda. Totalna refleksija elektromagnetskog vala od stijenke valovoda dovodi do njegovog širenja u valovodu. Geometrijski oblik presjeka valovoda određuje raspodjelu elektromagnetskog polja u valovodu. Postoje tri vrste valova koji se šire valovodom. Prva vrsta je transverzalno električni val i tada je električno polje u smjeru širenja jednako nuli. Ako je magnetsko polje u smjeru širenja jednako nuli, tada se radi o transverzalno magnetskom valu. Postoje još i hibridni valovi. Ako su električno i magnetsko polje u smjeru širenja istodobno jednaki nuli, tada se transverzalni elektromagnetski val ne može širiti zatvorenim cijevnim valovodom. Kako bi postojala samo jedna raspodjela polja, poželjno je koristiti valovod

u području frekvencija malo većih od zaporne frekvencije. Valovodom se može prenijeti velika električna snaga, a ona se može izraziti u megavatima. Obično se upotrebljava za prijenos energije na kraće udaljenosti. Najbolji primjer je zagrijavanje hrane u mikrovalnoj pećnici. Taj proces zagrijavanja je zapravo prijenos mikrovalova od magnetrona do komore za kuhanje. Otpornost prema iskrenju i proboju se povećava punjenjem valovoda inertnim plinom pod tlakom, a to punjenje plinom omogućuje i prijenos većih snaga.



**Slika 3. 5.** *Pravokutni valovodi za više frekvencijskih područja. [21]*

### **3.7. Princip rada mikrovalne pećnice**

Rad mikrovalne pećnice bazira se na pretvaranju električne energije u mikrovalove koji zagrijavaju hranu. Tipične mikrovalne pećnice generiraju mikrovalove koji imaju frekvenciju oko 2,45 GHz i valnu duljinu oko 12,2 cm. Izlazna snaga iznosi od 500 W do 1400 W. S dva parametra je određena radna frekvencija u mikrovalnoj pećnici. Prvi parametar je dizajn magnetrona, a drugi je izlazna impedancija mikrovalne pećnice i opterećenja. Frekvencija mikrovalova koje emitira magnetron se može mijenjati s godinama. Istraživanja su pokazala da pojedine mikrovalne pećnice istog proizvođača imaju različite radne frekvencije. Promjena napona između katode i anode tijekom rada također može utjecati na frekvenciju mikrovalova. Mikrovalna pećnica dobiva energiju iz električne mreže i to tako da struja kroz utičnicu i priključni kabel ulazi u mikrovalnu pećnicu. Osigurači onemogućuju da dođe do pregrijavanja ili kratkoga spoja. Vrata mikrovalne pećnice trebaju biti zatvorena da ispravna mikrovalna pećnica može raditi, a struni krug je tada zatvoren. Kada struja dođe do transformatora, ulazni napon se

pretvara u visoki napon. Visoki napon može iznositi od 3000 V do 4000 V. Taj napon je jako opasan za čovjeka. Uvjet da magnetron radi je taj da napon bude visok. Dakle, transformator zajedno s kondenzatorom pretvara struju iz mreže u visokonaponsku struju. Visokonaponska struja pokreće magnetron. Magnetron proizvede 50 impulsa u sekundi jer on radi samo za vrijeme trajanja negativne poluperiode mrežnog napona napajanja. Zagrijavanje hrane ili rad mikrovalne pećnice se odvija u dvije faze. U prvoj fazi magnetron radi neprekinuto stvarajući mikrovalove i pri tome nastaju grijna tijela. Druga faza nastaje prestankom rada magnetona i pri tome se ne generiraju mikrovalovi. Grijna tijela konvekcijski provode toplinu u toj fazi. Ventilator hladi magnetron koji se zagrijava dok radi. Magnetron stvara mikrovalove, a oni se provode valovodom do prostora za kuhanje ili zagrijavanje. Hrana upija energiju od mikrovalova u tom prostoru. Prostor za kuhanje u mikrovalnoj pećnici je okružen metalnim zidovima. Metalna komora mikrovalne pećnice nalikuj na trodimenzionalni rezonator. Volumen komore za kuhanje iznosi između  $8000 \text{ cm}^3$  i  $27000 \text{ cm}^3$ , jer su njezine dimenzije između 20 i 30 cm. Valovod ili tunel je bakrena cijev pravokutnog ili kružnog presjeka. Mikrovalne pećnice u komori za zagrijavanje imaju rotacijski tanjur koji služi za pravilniju raspodjelu mikrovalova. Rotacijski tanjur izgrađen od više materijala može poboljšati temperaturnu ujednačenost. Istu ulogu ima rotacijski reflektor. Rotacijski reflektor mijenja kut ulaska mikrovalova u prostor za kuhanje. Rotacijski reflektor ima još jednu ulogu, a to je sprečavanje da se vruć zrak i valovi reflektirani od metalne zidove vrata preko valovoda do magnetrona. Neki valovi su usmjereni izravno u hranu dok se drugi odbijaju od metalne zidove. Metalni zidovi onemogućavaju izlazak mikrovalova iz mikrovalne pećnice i tako mikrovalovi ne mogu ugroziti zdravlje ljudi. Mikrovalovi ostaju unutar prostora za kuhanje ili zagrijavanje. Mikrovalovi gotovo sa svih strana prodiru u hranu. U slučaju da se vrata mikrovalne pećnice otvore prije isteka podešenog vremena zagrijavanja, tada se prekida dovod mikrovalova. Istekom vremena zagrijavanja prekida se dovod mikrovalova u prostor za zagrijavanje. U mikrovalnoj pećnici postoji lampica koja svijetli kada se hrana zagrijava. Vrata mikrovalne pećnice koriste se za unosenje i vađenje hrane. Ona imaju stakleni prozor s mrežicom, koja onemogućuje mikrovalovima da iziđu van i ugroze čovjeka. Kroz taj prozor s mrežicom se može vidjeti što se događa u prostoru za kuhanje. Vrijeme zagrijavanja hrane se podešava analognim tajmerom ili digitalnom upravljačkom pločom. Pomoću njih se može odabrati snaga kojom će mikrovalna pećnica raditi. Kraj zagrijavanja hrane u mikrovalnoj pećnici popraćen je zvučnim signalom.



Frekvencija mikrovalova slična je frekvencijama atoma i molekula hrane. Samo zagrijavanje hrane dobije se zračenjem mikrovalova i to tako da mikrovalovi predaju energiju molekulama hrane, a obično su to molekule vode, ulja, šećera i masti. Ta predaja energije molekulama zove se rezonancija. Kada molekule prime energiju, one počnu intenzivnije titrati. Intenzivnije titranje molekula predstavlja jače doticanje i udaranje molekula jednih s drugima. Kada se hrana nalazi u nekoj posudi, tada molekule udaraju i u rubove posude. Intenzivnije titranje stvara toplinu i tako se povećava temperatura hrane. Mit je da se u mikrovalnoj pećnici zagrijava samo hrana jer se zagrijava i posuda. Neke posude se mogu brže zagrijati od neke hrane, pa čak mogu postati previše vruće za rukovanje. Idealna posuda za zagrijavanje u mikrovalnoj pećnici je tanka i apsorbira odgovarajuću količinu energije. Ako bi posuda bila debela i hladna, tada bi se kondukcijom toplina prenosila s hrane na posudu. Tanje stijenke posude predstavljaju manju količinu hladnoće, a čak je i korisno da se tanke stijenke neke posude paralelno s hranom malo zagriju.

### **3.8. Upotreba mikrovalne pećnice**

Prvo se je mislilo da mikrovalne pećnice mogu samo zagrijavati hranu, a tek kasnije se otkrilo da mogu i kuhati hranu. Prve mikrovalne pećnice koje su stigle na tržište su se zvale *Radar Range*. Rane mikrovalne pećnice su grijale hranu brzo i efikasno u novom hiper-potrošačkom društvu, ali nepoznavanje i visoke cijene ograničili su rane mikrovalne pećnice na industrijsku i komercijalnu upotrebu. No, ubrzo su postale sve prisutnije jer su postale jeftinije i gospodarstvo se počelo oporavljati od Drugog svjetskog rata. Danas se mikrovalni uređaji najviše proizvode za domaćinstvo. Primjena mikrovalnih pećnica u svijetu se povećava iz godine u godinu, a to se može vidjeti povećanjem proizvodnje mikrovalnih pećnica za 10 puta u razdoblju od 1965. do 1980. godine. Rasla je i kvaliteta elektronskih sklopova koji se koriste u mikrovalnoj pećnici. Magnetron je visokofrekventni generator, a njegov radni vijek se povećava s 300 sati na više tisuća sati. Poboljšanje generatora predstavlja napredak u proizvodnji industrijskih uređaja veće snage i kapaciteta. Proizvodnja industrijskih uređaja se naglo povećala, a godišnja stopa rasta prodaje iznosi 35 %. Zagrijavanje nekog materijala pomoću elektromagnetskih valova se koristi i u tehnološkim procesima, a ti elektromagnetski valovi su obično mikrovalovi. Zagrijavanje pomoću elektromagnetskih valova u industriji skraćuje trajanje pojedinih tehnoloških procesa, a tim zagrijavanjem se može poboljšati kvaliteta pojedinih proizvoda. Efikasnost i ekonomičnost

se u tehnološkim procesima povećavaju primjenom mikrovalnog zagrijavanja. Primjenom mikrovalova mogu se uništiti neki mikroorganizmi i može se smanjiti aktivnost nekih enzima, a to može produžiti trajnost nekog proizvoda u hermetičkoj ambalaži. Treba naglasiti da zagrijavanje mikrovalovima nije uvijek bolje od klasičnog zagrijavanja. Treba dobro proučiti prednosti i nedostatke zagrijavanja nekog materijala pomoću mikrovalova. Jedino tako se mogu postići dobri rezultati.

Neravnomjerna raspodjela električnog polja događa se kada su električna polja visokog i niskog intenziteta prisutni na čvorovima i protu-čvorovima stojećih valova. Zagrijavanje hrane ovisi o položaju unutar mikrovalne pećnice. Tako se može dogoditi da se hrana na jednom mjestu jako zagrije, a na drugom ostane hladna. Taj problem se može djelomično riješiti korištenjem rotacijskog tanjura i rotirajućeg reflektora. Taj rotacijski tanjur je obično staklen jer staklo ne upija mikrovalove. Može se provesti mjerenje, a potrebno je staviti mokri papir na vrh tanjura ili navlažiti stakleni tanjur tankim slojem vode. Visina tanjura se može podešavati korištenjem stiropora. Tanjur se postavlja na različite visine i to između 3,5 cm i 8 cm. Tanjur se zagrijava u mikrovalnoj pećnici određeno vrijeme. To vrijeme zagrijavanja iznosi 15 s, a snaga mikrovalne pećnice je 800 W. Vrata mikrovalne pećnice se otvaraju nakon isteka vremena zagrijavanja, i onda se tanjur analizira pomoću infracrvene kamere. Može se zaključiti da zagrijavanje hrane ovisi o visini tanjura. Ako je hrana smještena unutar mikrovalne pećnice i pri tome ta hrana apsorbira mikrovalove, tada proračun takve napunjene mikrovalne pećnice prikazuje drukčije rezultate. Ovaj eksperiment se odnosi na vodoravno djelovanje mikrovalova na hranu. Rotacijski tanjur neće u potpunosti riješiti problem neujednačenog zagrijavanja hrane u mikrovalnoj pećnici.

Cilindar promjera oko 2 cm napuni se vodom i stavlja se u mikrovalnu pećnicu. Cilindar se zagrijava u mikrovalnoj pećnici određeno vrijeme, a nakon zagrijavanja se koristi infracrvena kamera. Može se zapaziti prilično neujednačeno zagrijavanje jer je razlika veća od 20 K između gornjeg, srednjeg i donjeg dijela cilindra. Ako se hrana u visokoj posudi stavi u mikrovalnu pećnicu, gornji dio se neće zagrijati kao niži dijelovi posude. Najbolji primjer hrane u visokoj posudi je hrana za bebe. Može se pogrešno pretpostaviti da je cijela hrana u visokoj posudi hladna. Važno je hranu promiješati prije posluživanja. Rotacijski tanjur ima ključnu ulogu u ovom problemu. Tanjur se okreće, a hrana u posudi se kreće kroz jača i slabija elektromagnetska

polja. Kretanje kroz jače i slabije elektromagnetsko polje može dovesti do ravnomjernijeg zagrijavanja hrane.

Puno ljudi je u pravu što misle da se metali ili predmeti s metalnim dijelovima ne smiju stavljati u mikrovalnu pećnicu. Istina je da metali apsorbiraju manji dio energije, a obično se mikrovalovi odbijaju od metale. Apsorbirana energija se brzo distribuira po cijelom metalnom tijelu jer metali imaju dobru toplinsku vodljivost. Ako je metalno tijelo veliko, mikrovalovi će slabo zagrijati to tijelo. Zidovi komore za zagrijavanje su primjer velikog metalnog tijela. Zagrijavanje metala manje dimenzije jako ovisi o njegovoj geometriji i masi. Takva metalna tijela imaju mali toplinski kapacitet i mogu se brzo ugrijati. Zagrijavanje ploče sa zlatnim rubovima može dovesti do žarenja i isparavanja. Zato se takve ploče ne stavljaju u mikrovalnu pećnicu. Opasnost od žarenja i isparavanja se rješava uklanjanjem zlatnog ruba. Hrana se obično omotava metalnom folijom. Metalne folije se mogu brzo zagrijati, a obično su to aluminijske folije. Ako bi dvije čaše napunili vodom i jednu od te dvije čaše još omotali aluminijskom folijom debljine 30 mikrometara, tada zračenje može doseći vodu u čaši omotanoj aluminijskom folijom samo odozgo. Folija je dovoljno debela da kroz nju ne mogu proći mikrovalovi. Folija upija malo energije koja se zbog dobrog toplinskog kontakta prenosi na vodu u čaši. Taj prijenos energije je puno manji od energije koju u drugoj čaši apsorbira sama voda. Može se zaključiti da se hrana omotana metalnom folijom slabije zagrijava u mikrovalnoj pećnici. Hrana omotana metalnom folijom se ne stavlja u mikrovalnu pećnicu.

### **3. 9. Praktična analiza rada**

Na Glas Slavonije nanesen je tanak sloj šećera prema slici 3.6. Grijanjem na maksimalnoj snazi došlo je do zapaljenja ruba novina prema slici 3.9. Razlog zapaljenja je taj što Glas Slavonije sadrži više vlage od šećera. Potrebno je izvaditi rotacijski tanjur iz mikrovalne pećnice prema slici 3.7. Zagrijavanje novina i šećera u mikrovalnoj pećnici je prikazano prema slici 3.8. Neovisno o rezultatu koji nije sličan primjerima iz literature, termografski zapis pokazuje nejednoliko zagrijavanje. Napravljen je termografski prikaz šećera i novina prije zagrijavanja u mikrovalnoj pećnici prema slici 3.10. Pomoću termovizijske kamere načinjen je prikaz zagrijavanja novina i šećera u mikrovalnoj pećnici prema slici 3.11. Termografski prikaz novina i šećera je napravljen i nakon zagrijavanja u mikrovalnoj pećnici prema slici 3.12. Termografska

analiza napravljena je pomoću FLIR E6 kamere, rezolucije  $160 \times 120$  piksela, vidnog polja  $45^\circ \times 34^\circ$ , temperaturnog raspona  $-20^\circ\text{C}$  do  $250^\circ\text{C}$ , razlučivosti  $< 0,06^\circ\text{C}$ , brzine osvježavanja od 9 Hz i točnosti  $\pm 2\%$  ili  $2^\circ\text{C}$ .



**Slika 3. 6.** Tanak sloj šećera na novinama Glas Slavonije.



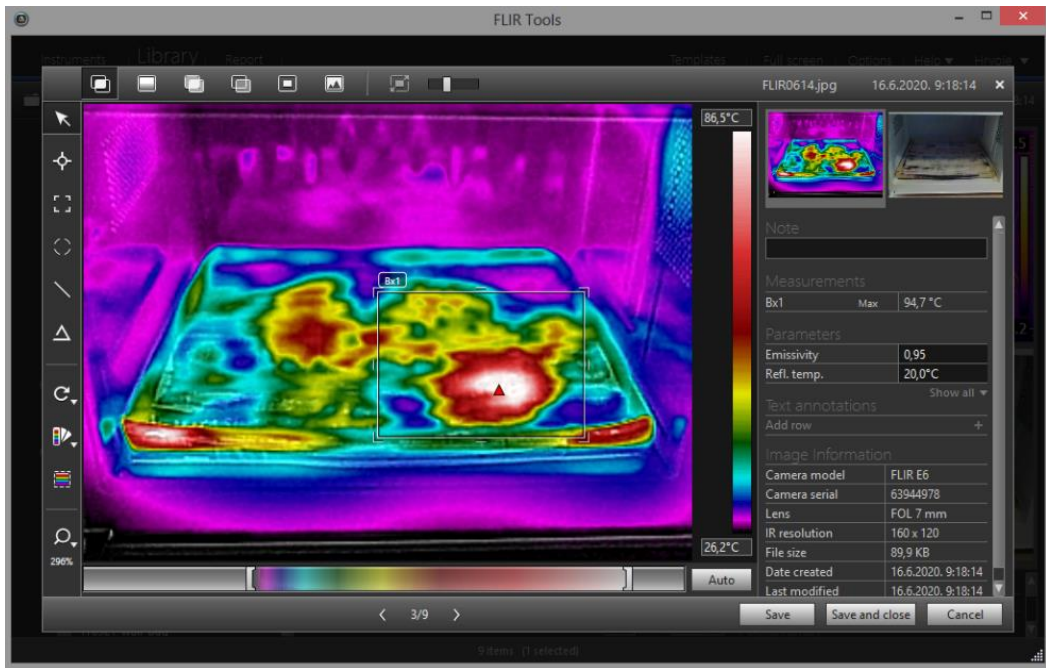
**Slika 3. 7.** Komora za zagrijavanje bez rotacijskog tanjura.



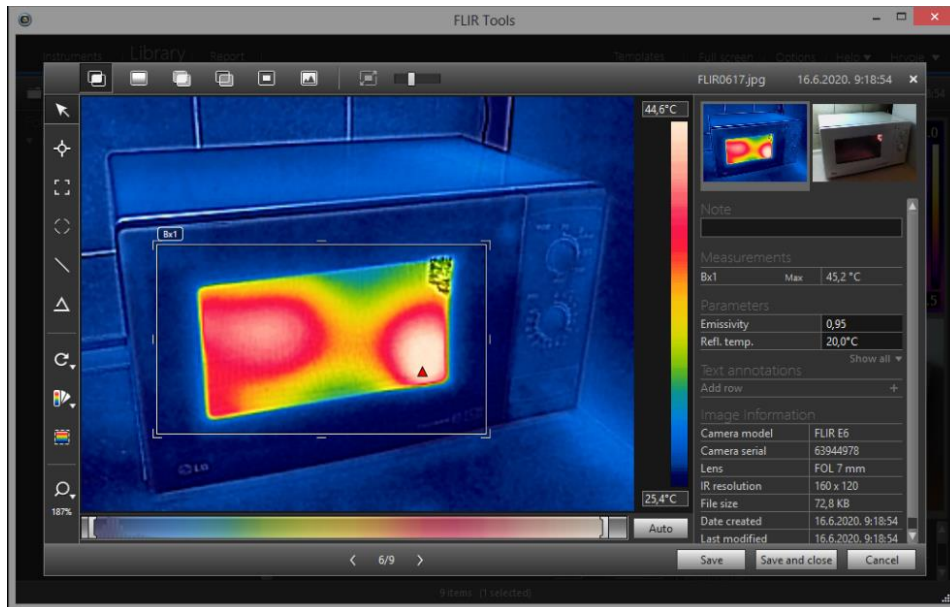
**Slika 3. 8.** *Zagrijavanje šećera i novina u mikrovalnoj pećnici.*



**Slika 3. 9.** *Šećer i novine nakon zagrijavanja u mikrovalnoj pećnici.*

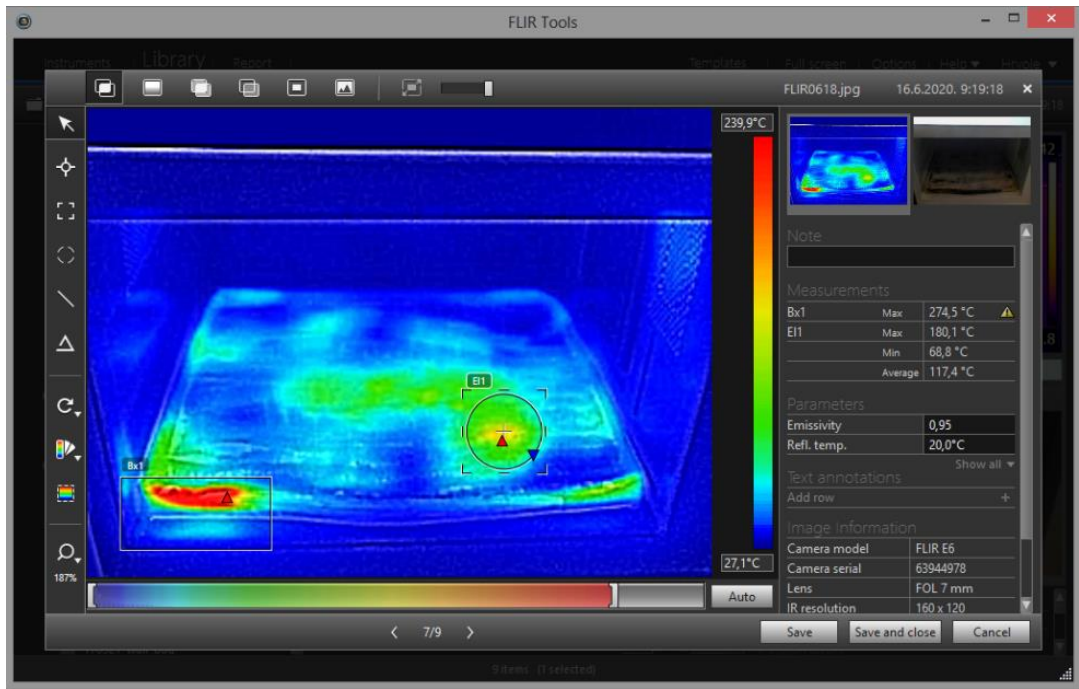


**Slika 3. 10.** Termografski prikaz šećera i novina.



**Slika 3. 11.** Termografski prikaz zagrijavanja šećera i novina u mikrovalnoj pećnici.





**Slika 3. 12.** Termografski prikaz šećera i novina nakon zagrijavanja u mikrovalnoj pećnici.

## 4. ZAKLJUČAK

Mikrovalna pećnica je nedvojbeno dio suvremenog društva. Gotovo svako kućanstvo posjeduje mikrovalnu pećnicu. Uloga mikrovalne pećnice je zagrijavati hranu, ali ima i bitnu ulogu u industriji. Princip rada mikrovalne pećnice se zasniva na generiranju mikrovalova. Mikrovalovi zagrijavaju hranu u komori za kuhanje. Hrana posjeduje dielektrična svojstva, a zbog tih svojstva njezine molekule se mogu polarizirati. Polarizacija se postiže izlaganjem molekula hrane elektromagnetskom polju. Pozitivni naboj se orijentira u smjeru električnog polja, a negativni naboj se orijentira suprotno. Takva orijentacija naboja predstavlja titranje molekula, a titranje molekula stvara toplinu. Hrana se na jednom mjestu u mikrovalnoj pećnici može jako zagrijati, a na drugom može ostati hladna. Problem neujednačenog zagrijavanja hrane se može ublažilo korištenjem rotacijskog tanjura i rotacijskog reflektora. Taj problem se ne može u potpunosti ukloniti, a razlog tome je da zagrijavanje hrane ovisi o njezinom položaju unutar mikrovalne pećnice. Drugi problem predstavlja djelovanje mikrovalova na čovjeka. Mikrovalne pećnice su tako konstruirane da jako malo mikrovalnog zračenja izlazi van. Mali intenzitet mikrovalnog zračenja ne predstavlja opasnost za čovjeka. Komora za kuhanje je omeđena metalnim zidovima, a oni onemogućavaju mikrovalovima da iziđu izvan mikrovalne pećnice. Na prednjoj strani mikrovalne pećnice se nalaze vrata, a na vratima prozor. Kroz taj prozor se može vidjeti sadržaj u mikrovalnoj pećnici, a mrežica u tom prozoru onemogućuju da mikrovalovi iziđu van. Mikrovalna pećnica dobiva energiju iz električne mreže, a transformator i kondenzator pretvaraju ulazni napon u visoki napon. Taj visoki napon iznosi od 3000 V do 4000 V, a on predstavlja uvjet da magnetron generira mikrovalove. Mikrovalovi putuju valovodom do komore za kuhanje. Zagrijavanje metala, uključujući i zagrijavanje aluminijske folije, može dovesti do žarenja metala. Stavljanje metala ili aluminijske folije u mikrovalnu pećnicu je zabranjeno jer žarenjem metala se može oštetiti mikrovalna pećnica, pa čak i zapaliti. Taljenje i isparavanje metala su također mogući, a time se može zatrovati hrana.



## LITERATURA

- [1] B. Kuzmanović, Osnove elektrotehnike I, Element, Zagreb, 2000.
- [2] S. Galović, M. Srdelić, Fizika 2: 3.2 Električno polje, Hrvatske akademske i istraživačke mreže – CARNET, Zagreb, 2017., dostupno na: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/b11cdcfa-bab1-4778-b12e-14d7386bf96b/html/2525\\_Elektricno\\_polje.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/b11cdcfa-bab1-4778-b12e-14d7386bf96b/html/2525_Elektricno_polje.html) (10. 3. 2020.)
- [3] S. Galović, M. Srdelić, Fizika 2: 5.1 Magneti i magnetsko polje, Hrvatske akademske i istraživačke mreže – CARNET, Zagreb, 2017., dostupno na: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/452e1469-e362-4711-abcb-6f535c3b5254/html/7578\\_Magneti\\_i\\_magnetsko\\_polje.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/452e1469-e362-4711-abcb-6f535c3b5254/html/7578_Magneti_i_magnetsko_polje.html) (10. 3. 2020.)
- [4] J. Labor, Fizika 3, Alfa, Zagreb, 2008.
- [5] N. Brković, Zbirka zadataka iz fizike, Luk, Zagreb, 2001.
- [6] I. Puharić, Mikrovalovi i njihove primjene: 2. Svojstva elektromagnetskih valova, Odjel za fiziku - Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2016., dostupno na: <https://repositorij.fizika.unios.hr/islandora/object/fizos%3A34/datastream/PDF/view> (14. 3. 2020.)
- [7] D. Brozović, A. Kovačec, S. Ravlić, Hrvatska enciklopedija: Elektromagnetski valovi, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1999. – 2009., dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=17633> (10. 3. 2020.)
- [8] B. Đerek, S. Ivković, A. M. Kukuruzović, D. Takač, Fizika 8: 4.1 Postanak i vrste valova, Hrvatske akademske i istraživačke mreže – CARNET, Zagreb, 2017., dostupno na: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a743968a-901e-4aa4-9117-d7d5dedac0d5/html/7179\\_Postanak\\_i\\_vrste\\_valova.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/a743968a-901e-4aa4-9117-d7d5dedac0d5/html/7179_Postanak_i_vrste_valova.html) (10. 3. 2020.)
- [9] I. Puharić, Mikrovalovi i njihove primjene: 3. Mikrovalovi, Odjel za fiziku - Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2016., dostupno na:

<https://repositorij.fizika.unios.hr/islandora/object/fizos%3A34/datastream/PDF/view>

(14. 3. 2020.)

[10] I. Puharić, Mikrovalovi i njihove primjene: 4. Primjene mikrovalova, Odjel za fiziku - Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Osijek, 2016., dostupno na:

<https://repositorij.fizika.unios.hr/islandora/object/fizos%3A34/datastream/PDF/view>

(14. 3. 2020.)

[11] N. Taboršak, N. Anić, K. Anić, Primjena toplinske energije mikrovalova u prehrambenoj industriji, Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka, No. 6, Vol. 33, str. 174 -177, lipanj 1983., dostupno na:

[https://hrcak.srce.hr/index.php?show=toc&id\\_broj=9526](https://hrcak.srce.hr/index.php?show=toc&id_broj=9526) (15. 3. 2020.)

[12] J. Ye, T. Hong, Y. Wu, L. Wu, Y. Liao, H. Zhu, Y. Yang, K. Huang, Model Stirrer Based on a Multi-Material Turntable for Microwave Processing Materials, Materials, No. 95, Vol. 10, str. 1-13, siječanj 2017., dostupno na: <https://www.mdpi.com/1996-1944/10/2/95/htm#> (23. 6. 2020.)

[13] T. Santos, L. C. Costa, M. Valente, J. Monteiro, J. Sousa, 3D Electromagnetic Field Simulation in Microwave Ovens: a Tool to Control Thermal Runaway, University of Aveiro, Aveiro (Portugal), 2010., dostupno na:

[https://www.comsol.co.in/paper/download/63024/santos\\_paper.pdf](https://www.comsol.co.in/paper/download/63024/santos_paper.pdf) (23. 6. 2020.)

[14] G. Blonder, Catch the wave, Genuine Ideas, Boston, 2016., dostupno na:

<https://genuineideas.com/ArticlesIndex/wave.html> (23. 6. 2020.)

[15] Microondas Samsung Queimando Fusível: Caso de Oficina, Tempermaq, Brazil, 2017., dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=xXyt8IzqAOk> (12. 3. 2020.)

[16] B. Kuzmanović, Osnove elektrotehnike II, Element, Zagreb, 2002.

[17] D. Horvat, D. Hrupec, Fizika 2, Neodidacta, Zagreb, 2010.

- [18] D. Brozović, A. Kovačec, S. Ravlić, Hrvatska enciklopedija: Magnetron, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1999. – 2009., dostupno na:  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=38048> (16. 3. 2020.)
- [19] C. Wolff, Radar Basics: Magnetron, Christian Wolff, Köln, dostupno na:  
<https://www.radartutorial.eu/08.transmitters/Magnetron.en.html> (12. 3. 2020.)
- [20] D. Brozović, A. Kovačec, S. Ravlić, Hrvatska enciklopedija: Ventilator, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1999. – 2009., dostupno na:  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=64273> (16. 3. 2020.)
- [21] D. Brozović, A. Kovačec, S. Ravlić, Hrvatska enciklopedija: Valovod, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 1999. – 2009., dostupno na:  
<https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=63784> (16. 3. 2020.)
- [22] M. Vollmer, K. P. Möllmann, Infrared Thermal Imaging: Fundamentals, Research and Applications, Wiley-VCH, München, 2010.
- [23] D. Luan, Y. Wang, J. Tang, D. Jain, Frequency Distribution in Domestic Microwave Ovens and Its Influence on Heating Pattern, Journal of Food Science, Nr. 0, Vol. 00, str. 1-8, studeni 2016., dostupno na: <https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/1254/2017/01/tang264.pdf> (23. 6. 2020.)

## SAŽETAK

Tema ovog završnog rada je mikrovalna pećnica i njezina primjena. Na početku rada opisana su svojstva elektromagnetski valova, magnetsko polje, električno polje i kako nastaju elektromagnetski valovi. U sklopu elektromagnetskih valova opisane su antene, mikrovalovi, Maxwellove jednadžbe i spektar elektromagnetskog zračenja. Maxwellove jednadžbe su prikazane u diferencijalnom obliku i opisane jednostavnim rečenicama. U ovom dijelu završnog rada opisano je zagrijavanje hrane pomoću mikrovalova. U drugome dijelu rada opisani su glavni dijelovi, izvedba i način rada mikrovalne pećnice. Glavni dijelovi mikrovalne pećnice su transformator, električni kondenzator, ventilator i magnetron. Ti dijelovi mikrovalne pećnice su prikazani na jednoj slici. U ovom dijelu rada je prikazana shema transformatora, električnog kondenzatora i magnetrona. Krajnji rezultat ovog rada je opisati princip rada mikrovalne pećnice i njezinu upotrebu.

**Ključne riječi:** Elektromagnetski valovi, mikrovalovi, mikrovalna pećnica, magnetron

# MICROWAVE OVEN ENERGY BALANCE ANALYSIS

## ABSTRACT

The theme of this final paper is microwave oven and their application. At the beginning of the paper are described the properties of electromagnetic waves and generation of electromagnetic waves. As part of the electromagnetic waves the antenna, microwaves, Maxwell's equations and spectrum of electromagnetic radiation are described. Maxwell's equations are written as differential equations and described with simple sentences. In this part of the paper is described the heating food by microwaves. In the second part of the paper are described the main parts, performance and modes of microwave oven. The main parts of microwave oven are transformer, electrical capacitor, ventilator and magnetron. These parts of the microwave oven are shown in one picture. In this part of the paper are shown the schemes of transformer, electrical capacitor and magnetron. The final result of this paper is to describe the operating principle and use of the microwave oven.

**Keywords:** electromagnetic waves, microwave, microwave oven, magnetron

## **ŽIVOTOPIS**

Mislav Alduk je rođen 1. srpnja 1996. godine u Đakovu. 2003. godine kreće u Osnovnu školu Josipa Antuna Čolnća u Đakovu. Nakon završetka osnovne škole, 2011. godine kreće u Gimnaziju Antuna Gustava Matoša u Đakovu. Nakon završetka srednje škole, 2015. godine upisuje Elektrotehnički fakultet u Osijeku.