

## ЛАБОРАТОРИЈСКА ВЕЖБА III

### СУШЕЊЕ ДРВЕТА ПОМОЋУ ДИЕЛЕКТРИЧНОГ ВИСОКОФРЕКВЕНТНОГ И ИНДИРЕКТНОГ ЕЛЕКТРООТПОРНОГ ЗАГРЕВАЊА

#### 1. УВОД О ДИЕЛЕКТРИЧНОМ ЗАГРЕВАЊУ

Полазећи од *Maxwell-ових* једначина електромагнетног поља и примењујући теорију поља, уз увођење комплексне пермитивности и пермеабилности, за простопериодично електромагнетно поље се долази до *Poynting*-ове теореме у комплексном облику, која гласи

$$\underline{S}_{izvora u V} = \oiint_S (\underline{E} \times \underline{H}^*) ds + \iiint_V \sigma E^2 dV + \iiint_V j\omega(\mu_0 \underline{\mu} H^2 - \varepsilon_0 \underline{\varepsilon}_{rd} E^2) dv + \iiint_V \rho_e \gamma_e \underline{E} dv \quad (\text{II.1})$$

где су:

$V$  - запремина обухваћена затвореном површи површине  $S$ ,

$\underline{S}_{izvora u V}$  - комплексна снага извора енергије у запремини  $V$  и

$\oiint_S (\underline{E} \times \underline{H}^*) ds$  - комплексна снага која се кроз затворену површ површине  $S$  размењује између

запремине  $V$  и околине; нормала према којој се рачуна флуks комплексног *Поунтинг*-овог вектора ( $\underline{P} = \underline{E} \times \underline{H}^*$ ) је оријентисана ван затворене површи, па овај интеграл представља снагу која се предаје околини и има алгебарско значење.

Од интереса у електротермији је случај када у запремини  $V$  не постоје извори енергије ( $\underline{S}_{izvora u V} = 0$ ). Тада једначина (II.1) постаје

$$\oiint_S (\underline{E} \times \underline{H}^*) ds = \iiint_V \sigma E^2 dV + \iiint_V j\omega(\mu_0 \underline{\mu} H^2 - \varepsilon_0 \underline{\varepsilon}_{rd} E^2) dv + \iiint_V \rho_e \gamma_e \underline{E} dv \quad (\text{II.2})$$

при чему је нормала према којој се рачуна флуks комплексног *Poynting*-овог вектора оријентисана ка унутрашњости затворене површи. Сада интеграл на левој страни једначине (II.2) представља

снагу којом околина, кроз затворену површ, предаје енергију запремини  $V$ , која се може дефинисати као један термодинамички систем.

Сабирци на десној страни једначине, редом, имају значење:

- компонента активне снаге којом се енергија претвара у топлоту у електропроводном делу запремине  $V$  (*Joul*-ови губици),
- компонента комплексне снаге којом се енергија размењује са делом запремине  $V$  који је описан комплексним вредностима пермитивности (диелектрична средина) и пермеабилности (магнетна средина) и
- компонента комплексне снаге којом се енергија размењује са делом запремине  $V$  у коме постоје слободна наелектрисања.

За случај диелектричног загревања важи следеће:  $\rho_e = 0$ ,  $\underline{\mu}_r = \mu_r$ ,  $\underline{\varepsilon}_{rd} = \varepsilon'_{rd}(1 - j \cdot \text{tg} \delta_e)$ ,  $\sigma = 0$ , односно  $\sigma$  је укључено у комплексну пермеабилност преко  $\text{tg} \delta_e = \text{tg} \delta + \sigma / (\omega \varepsilon'_{rd} \varepsilon_0)$ . Вредност  $\varepsilon'_{rd}$  се добија као производ  $\varepsilon_{rd} \cdot \cos \delta$ , према изразу за комплексну пермеабилност

$$\underline{\varepsilon}_{rd} = \varepsilon_{rd} \cdot e^{-j\delta} = \varepsilon_{rd} (\cos \delta - j \sin \delta) = \varepsilon_{rd} \cos \delta (1 - j \cdot \text{tg} \delta) \quad (\text{II.3})$$

Из израза (II.2) се добија израз за снагу диелектричног загревања, као реални део комплексне снаге која улази кроз затворену површ површине  $S$ :

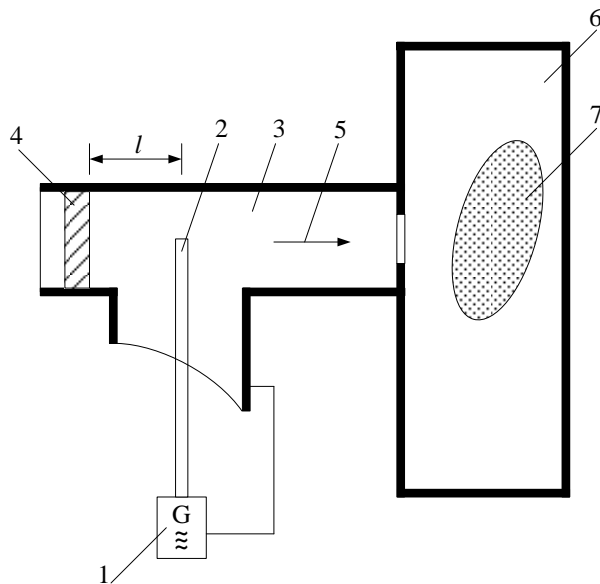
$$P = \text{Re} \left( \iint_S (\underline{E} \times \underline{H}^*) ds \right) = \omega \iiint_V \varepsilon_0 \varepsilon_{rd} \text{tg} \delta_e E^2 dv \quad (\text{II.4})$$

Специфичност диелектричног високофреквентног загревања је да се, због велике дубине продирања, загревање врши по читавој запремини. То омогућава широку примену овог начина загревања и даје му одређене предности у односу на друге начине.

Поступци диелектричног загревања би се могли сврстати у три групе:

1. Загревање у пољу кондензаторског типа. Код њега се користе стандардне учестаности 13,56 MHz, 27,12 MHz и 40,68 MHz. Електроде кондензатора могу бити различитог облика (плочасте, ваљкасте, ...), у зависности од намене. Ово загревање се користи за сушење разних материјала, за вулканизацију гуме и пластичних маса, производњу шпер плоча итд.
2. Уређаји са микроталасима. Ту се за пренос енергије користе таласоводи. Опсег употребљиваних фреквенција је од 433,93 MHz до 22175 MHz. Принципи конструкције микроталасних пећи је дат на слици II.1.

Део таласа се одбије од шарже, али се после извесног броја рефлесија од зидова резонаторске кутије опет враћа на њу. Резонаторска кутија има добра рефлексивна својства.



1. магнетрон (претварач учестаности)
2. класична дипол антена
3. таласовод (у њему се формирају електромагнетски таласи)
4. рефлектор (растојање  $l$  је једнако таласној дужини)
5. формиран прогресивни електромагнетни талас (у литератури познат као ET10)
6. резонаторска кутија (имитација црне кутије, у којој се комплетно апсорбује енергија таласа)
7. шаржа

Слика II.1

3. Индукционо диелектрично загревање. Овакво загревање се користи код диелектричног плазма генератора.

## 2. ЗАДАТАК И ПОСТУПАК

Задатак је да се упореде ефикасности сушења дрвета помоћу високофреквентног диелектричног и индиректног електроотпорног загревања. Високофреквентно диелектрично загревање се врши у микроталасној (МТ) пећи, а индиректно електроотпорно помоћу инфрацрвених (ИЦ) извора.

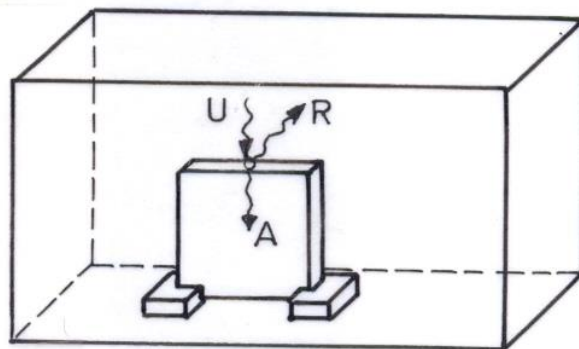
Поређење ефикасности сушења дрвета у МТ пећи и помоћу ИЦ извора се врши при истим снагама загревања. Код професионално израђене микроталасне пећи постоји могућност регулације снаге на сваких 10% пуне снаге. Код инфрацрвеног извора, регулација снаге се врши преко аутотрансформатора; променом напона напајања, мења се снага загревања.

Поређење ефикасности сушења се врши на бази мерења масе узорка од дрвета у току сушења, то јест губитка воде из запремине дрвета.

### 2.1 Сушење у микроталасној пећи

Поступак мерења је следећи:

1. Измери се маса узорка од дрвета. То мерење даје податак о почетној влажности.
2. Усвоји се интензитет снаге којом се дрво суши, као и време после кога ће се мерити маса узорка; усвајају се вредности 260 W, 1 min.
3. Узорак се постави у пећ, на носаче направљене од погодног материјала (стиропора), као што је показано на слици II.2. Затим се изврши програмирање рада пећи - 260 W, 1 min.

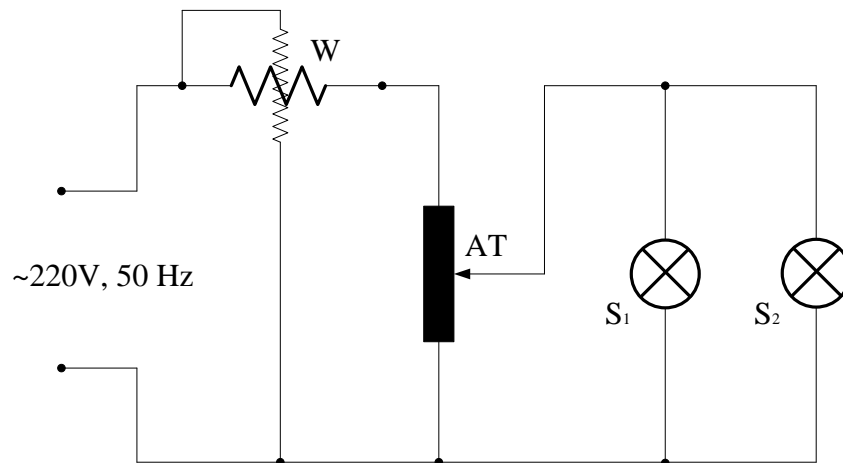


Слика II.2

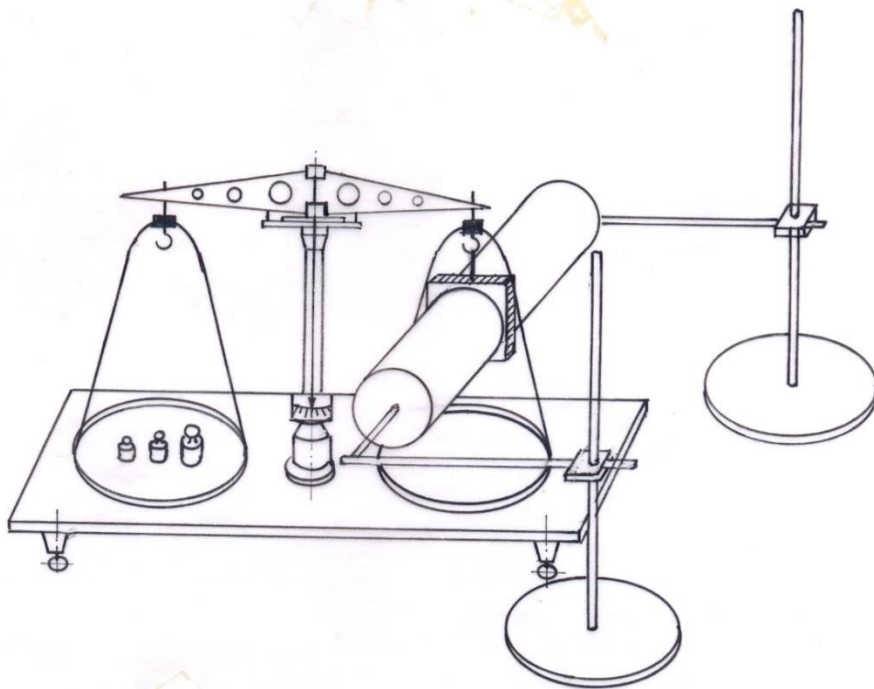
4. По завршетку задатог програма рада МТ пећи, узорак се вади из пећи, па се одмах измери његова маса.
5. Циклус 3 - 4 се понавља 10 пута. То значи да се за сушење троши укупна енергија од 156 kJ.

## 2.2 Сушење помоћу ИЦ извора

Узорак који се суши се, помоћу металне кукице (месе 2,58 g), окачи на један тас ваге. Изврши се уравнотежење ваге, односно измери маса узорка, што даје податак о почетној влажности. Са таса ваге са теговима се скине 500 mg. Прикључењем аутотрансформатора на мрежу и подешавањем снаге на вредност 260 W, почиње загревање и сушење узорка од дрвета, када се започиње и са мерењем времена. Електрична шема веза је дата на слици П.3, а изглед дела апаратуре који сачињавају сијалице, узорак од дрвета и вага, на слици П.4. По започињању сушења, прати се положај казаљке ваге. Када се вага уравнотежи, забележи се време. Одмах после тога се скида следећих 500 mg и поново чека уравнотежење ваге, када се бележи време. Дакле, региструју се тренуци у којима се из дрвеног узорка исушује по 500 mg влаге. Сијалице су укључене све време. На наведени начин се врши 15 мерења. То значи да се из мокрог узорка од дрвета исушује укупно 7,5 g влаге.



Слика П.3



Слика П.4

### 3. РЕЗУЛТАТИ

Резултате мерења треба средити на начин приказан у табlici П.1. У табlici треба приказати масе дрвета у грамама и процентима, при чему 100 % одговара маси мокрог дрвета - пре сушења.

Таблица П.1

редни број мерења	МТ пећ			ИЦ сијалице		
	маса		$t_{загр} (min)$	маса		$t_{загр} (min)$
	грама	%		грама	%	
мокро дрво		100	0		100	0
1						
2						
3						

Податке из таблице II.1 треба приказати графички. Црта се зависност масе дрвета (изражене у процентима) од времена сушења. Практично, овај график представља и зависност масе дрвета од утрошене електричне енергије, са одговарајућом размером на апсциси. Обе зависности масе дрвета од времена (за сушење у МТ пећи и помоћу ИЦ сијалица) треба приказати на истом графику, како би се јасно видело при ком начину загревања се остварује ефикасније сушење. Наравно, при цртању ових зависности **треба максимално искористити ординатну осу**, односно искористити њену пуну дужину за опсег од минималне масе ( $m_{min}$ ) - на крају сушења до максималне (100 %) - на почетку сушења:  $[m_{min}, 100]$  %.

У оквиру извештаја за ову вежбу треба одговорити на следећа питања:

1. Шта се може закључити у погледу ефикасности сушења?
2. Шта је главни разлог томе? Водич за одговор: 1. колика је фреквенција електромагнетних таласа при загревању у МТ пећи и при загревању ИЦ сијалицама?  
2. колика је дубина продирања таласа? 3. какав је профил расподеле снаге загревања?  
4. какав је профил расподеле температуре? 5. како наведени профили расподеле температуре утичу на физички процес сушења?