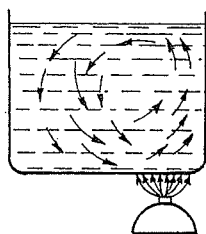


### III ODREDJIVANJE KOEFICIJENTA PRELASKA TOPLOTE PRIRODNIM STRUJANJEM SA ČVRSTOG TELA NA VAZDUH

#### 1. UVOD

Prenos toplote predstavlja razmenu energije usled temperaturne razlike. Postoje tri osnovna oblika prenosa toplote: provodjenje (kondukcija), zračenje (radijacija) i strujanje (konvekcija). Za toplotno provodjenje i strujanje je neophodno postojanje materijalne sredine. Prenos toplote se gotovo nikada ne vrši samo jednim od navedenih oblika, a najčešće su prisutna sva tri, pri čemu je jedan od njih dominantan. Pojedini oblici prenosa toplote su karakteristični za određena agregatna stanja. Na primer, prenos toplote toplotnim provodjenjem se kao dominantan oblik vrši kod čvrstih tela, dok je kod tečnosti i gasova dominantan prenos toplote strujanjem. Interesantan je slučaj odvodjenja toplote sa čvrstog tela, okruženog vazduhom, na različitim temperaturama. Na nižim temperaturama preovladjuje strujanje, kao oblik prenosa toplote, a na višim zračenje.



Slika III.1

Prenos toplote strujanjem se javlja samo kod fluida (tečnosti i gasova). To je prenos toplote do koga dolazi između površi i pokretnog fluida, kada se oni nalaze na različitim temperaturama. On obuhvata dva mehanizma prenosa toplote: molekularni prenos toplote (na identičan način koji se odigrava kod konduktivnog prenosa toplote) i prenos toplote usled makroskopskog kretanja fluida. Kao dobra ilustracija prenosa toplote strujanjem može da posluži zagrevanje vode u nekoj posudi, prikazanoj na slici III.1. Desni deo posude se zagreva intenzivnije nego levi. Zbog lokalnog zagrevanja fluida (vode) raste njegova temperatura, usled čega se smanjuje gustina. Kao posledica toga nastaje uzgonska sila koja izaziva kretanje fluida, čime započinje i konvektivni prenos toplote. U konkretnom slučaju, strujanje vode se odigrava u suprotnom smeru od smera kazaljke na satu. Pojavom strujanja vode u sudu, dolazi do mešanja pojedinih njenih slojeva i zagrevanja celokupne mase vode.

Ako bi vodu zagrevali odozgo, ne bi bilo strujanja. Masa vode bi se zagrevala samo usled provodjenja toplote, pa bi njeno progrevanje, zbog male toplotne provodnosti, bilo veoma malo.

Opisani primer prenosa toplote na slici III.1 predstavlja prirodno strujanje, jer se

kretanje fluida vrši samo usled razlike gustina fluida, prouzrokovane različitim temperaturama.

Postoji i prinudno strujanje. Kretanje fluida se tada izaziva veštačkim putem (mešalicom, ventilatorom, pumpom, itd.). Pri tome bi se progrevanje celokupne mase fluida (slika III. 1) odvijalo znatno brže nego pri prirodnom strujanju.

Toplotni fluks (snaga)  $\Phi$  konvektivnog prenosa toplote sa površi čvrstog tela na fluid je proporcionalan površini površi na kojoj se ona razmenjuje i razlici temperatura površi i fluida. Koeficijent proporcionalnosti se naziva koeficijent prelaska toplote. Prema tome, može se napisati izraz

$$\Phi = \alpha S (\vartheta_1 - \vartheta_2), \quad (\text{III. 1})$$

gde su:

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| $\Phi$ (W)                       | toplotni fluks (snaga) konvektivnog prenosa toplote,   |
| $\alpha$ (W/(m <sup>2</sup> °C)) | koeficijent prelaska toplote,                          |
| $S$ (m <sup>2</sup> )            | površina površi sa koje se odvodi toplota konvekcijom, |
| $\vartheta_1$ (°C)               | temperatura površi tela sa koje se odvodi toplota i    |
| $\vartheta_2$ (°C)               | temperatura fluida kojim se odvodi toplota.            |

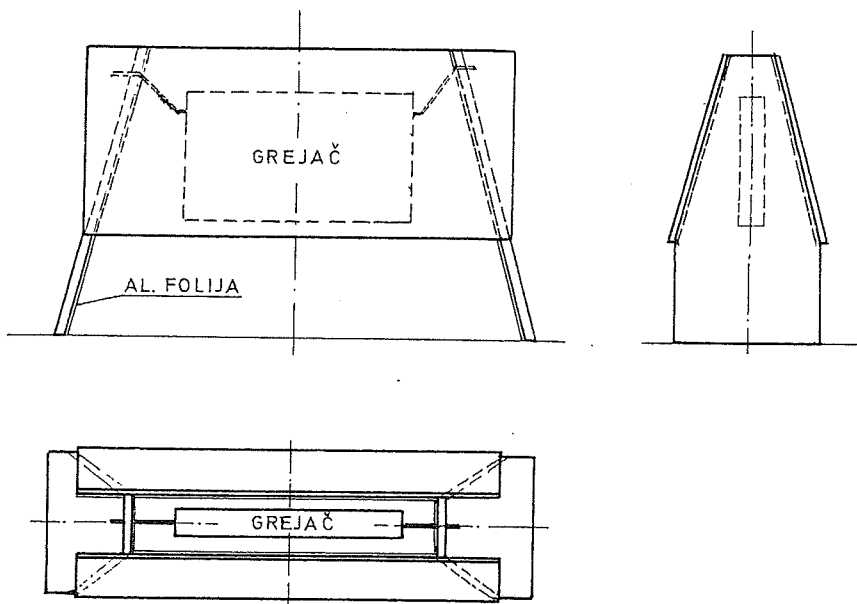
Na  $\alpha$  utiču monogobrojni faktori: brzina strujanja fluida, karakter sila koje izazivaju strujanje, osobine samog fluida (gustina, viskoznost, toplotna provodnost), a pre svega režim strujanja fluida.

*Reynolds* je u svojim eksperimentima (1884. godine) otkrio da postoje dva osnovna tipa kretanja fluida (laminarni i turbulentni) i da se fizičke pojave pri njima kvalitativno razlikuju i opisuju različitim jednačinama. Pri laminarnom kretanju, sve čestice fluida se kreću po paralelnim trajektorijama i ne dolazi do mešanja - prelaska čestica iz jednog sloja u drugi. Pri tome se prenos toplote od jednog sloja ka drugom odvija isključivo toplotnim provodjenjem. S obzirom da je toplotna provodnost fluida mala, ovaj tip prenosa toplote se odvija slabim intenzitetom, čemu odgovara mala vrednost  $\alpha$ . Pri turbulentnom režimu dolazi do mešanja čestica fluida izmedju "slojeva" i prenosa toplote iz oblasti viših temperatura u oblast nižih temperatura, odnosno do prenosa toplote strujanjem. Pri tom premeštanju dolazi do neizbežnog sudaranja čestica i tada se pojačava prenos čak i toplotnim provodjenjem. Prenos toplote strujanjem se ostvaruje na račun premeštanja mase - mikro i makro čestica (vrtloga), a provodjenje na račun kretanja molekula.

### 3. OPIS METODA ZA ODREDJIVANJE KOEFICIJENTA PRELASKA TOPLOTE

#### 3.1. ODREDJIVANJE KOEFICIJENTA PRELASKA TOPLOTE DIREKTNOM METODOM

Ovom metodom, u laboratorijskoj vežbi se određuje koeficijent prelaska toplote ( $\alpha$ ) sa paralelopipednog grejača na vazduh. Grejač se nalazi unutar skupljača toplog vazduha, kao što je prikazano na slici III.2. Skupljač je iznutra obložen aluminijumskom folijom, a grejač je smešten u aluminijumski omotač, da bi se minimizirala razmena energije zračenjem. Zagrevanje skupljača vazduha usled apsorpcije energije koju zrači grejač i prelazak toplote sa stranica skupljača toplog vazduha na okolni vazduh strujanjem dovodi do netačnih rezultata za koeficijent prelaska toplote sa paralelopipednog grejača na vazduh. Može se smatrati da je ovaj neželjeni efekat zanemarljiv, zahvaljujući postavljenim aluminijumskim ekranima.



Slika III.2

Snaga konvektivnog odvodjenja toplote iznosi

$$P_k = \alpha S_g (\vartheta_g - \vartheta_v), \quad (\text{III.10})$$

gde su:

$\vartheta_v$  temperatura vazduha u prostoriji,

$\vartheta_g$  temperatura izotermičke površi tela (grejača) sa koga se odvodi toplota,

$\alpha$  koeficijent prelaska toplote strujanjem sa površi grejača na vazduh i

$S_g$  površina omotača grejača - površina sa koje se odvodi toplota strujanjem.

Energija ( $W_k$ ), koju za vreme  $\Delta t$  primi vazduh usled prelaska toplote sa površi grejača, može se iskazati u obliku

$$W_k = m c_p \Delta\theta = \rho V c_p \Delta\theta, \quad (\text{III.11})$$

gde su:

$m$  masa vazduha čija se temperatura povećava za  $\Delta\theta$ ,

$c_p$  specifični toplotni kapacitet pri konstantnom pritisku,

$\Delta\theta$  porast temperature vazduha ( $\Delta\theta = \vartheta_{\text{toplog vazduha}} - \vartheta_v$ ),

$\rho$  gustina vazduha i

$V$  zapremina vazduha čija se temperatura povećava za  $\Delta\theta$ .

Vazduh se zagreva i kao specifično lakši kreće na gore. Pretpostavimo da celokupni zagrejeni vazduh prolazi kroz gornji otvor skupljača (slika III.2). Iz jednačine (III.11) se može doći do izraza za snagu (energiju u jedinici vremena) koju prima vazduh:

$$P = \frac{W_k}{\Delta t} = \rho \frac{\Delta V}{\Delta t} c_p \Delta\theta \quad (\text{III.12})$$

i koja je po svojoj prirodi jednaka snazi  $P_k$  ( $P = P_k$ ).

Temperature toplog vazduha se razlikuju po preseku otvora skupljača. Takodje, ni brzina vazduha ( $v$ ) nije konstantna po preseku, što znači da se ni zapreminski protok ( $\Delta V/\Delta t$ ) ne može lako odrediti. Da bi se izmerila snaga  $P$ , mora se usvojiti neka aproksimacija, s obzirom na promenljivost temperature i brzine strujanja vazduha po preseku. Podelimo površ skupljača vazduha na određen broj jednakih delova. Posmatrajmo ukupnu snagu  $P$  kao zbir snaga konvektivnog odvođenja toplote (oblika datog jednačinom (III.12)) kroz svaku od površi na koje je podeljen gornji otvor. Ako se površ podeli na 21 jednak deo, površine  $S_i = S_{\text{otvora}} / 21$ , može se napisati

$$P = \sum_{i=1}^{21} P_i. \quad (\text{III.13})$$

Pretpostavimo da je na svakoj od ovih "malih" površi konstantna temperatura i brzina strujanja vazduha. Usvojimo na svakoj od njih središnju tačku kao reprezent. Pod usvojenim pretpostavkama, za snage  $P_i$  se može napisati izraz

$$P_i = \rho_i \frac{\Delta V_i}{\Delta t} c_{pi} \Delta\theta_i. \quad (\text{III.14})$$

Zapreminski protok toplog vazduha kroz površ dela (površine  $S_i$ ) se može izračunati kao fluks vektora brzine ( $v$ ) kroz površ:

$$\frac{\Delta V_i}{\Delta t} = \iint_{S_i} v dS \quad (\text{III.15})$$

Na osnovu usvojene aproksimacije o konstantnosti brzine, zapreminski protok kroz površ površine  $S_i$  je jednak

$$\frac{\Delta V_i}{\Delta t} = v_i S_i = v_i \frac{S_{\text{otvora}}}{21}, \quad (\text{III.16})$$

gde je  $v_i$  brzina strujanja vazduha izmerena u središnjoj tački površi.

$\rho_i$  i  $c_{pi}$  su parametri vazduha, koji se očitavaju iz tablice III.2 za temperaturu  $\vartheta_{\text{toplog vazduha } i}$ . Na osnovu datih objašnjenja se lako dolazi do izraza za snagu

$$P_k = P = \frac{S_{\text{otvora}}}{21} \sum_{i=1}^{21} \rho_i v_i c_{pi} (\vartheta_{\text{toplog vazduha } i} - \vartheta_v) \quad (\text{III.17})$$

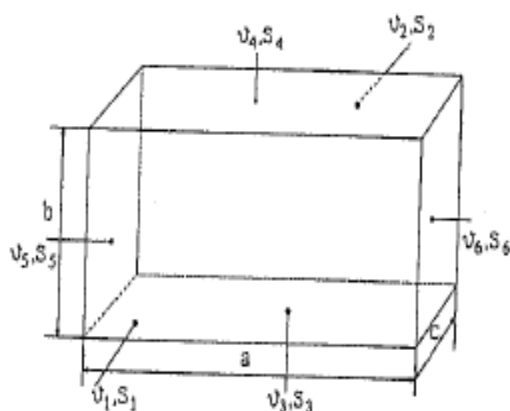
i do koeficijenta prelaska toplote strujanjem

$$\alpha = \frac{P_k}{S_g (\vartheta_g - \vartheta_v)}. \quad (\text{III.18})$$

Temperatura grejača se određuje usrednjavanjem vrednosti temperatura izmerenih u središnjim tačkama na svakoj od šest površi omotača paralelopipednog grejača, uz odgovarajuće težinske faktore (slika III.3):

$$\vartheta_g = \frac{\sum_{i=1}^6 (\vartheta_i S_i)}{\sum_{i=1}^6 S_i} \quad (\text{III.19})$$

Izraz (III.19) je postavljen pod pretpostavkom da je temperatura po svakoj od šest površi konstantna i jednaka izmerenoj vrednosti u središnjoj tački.



Slika III.3

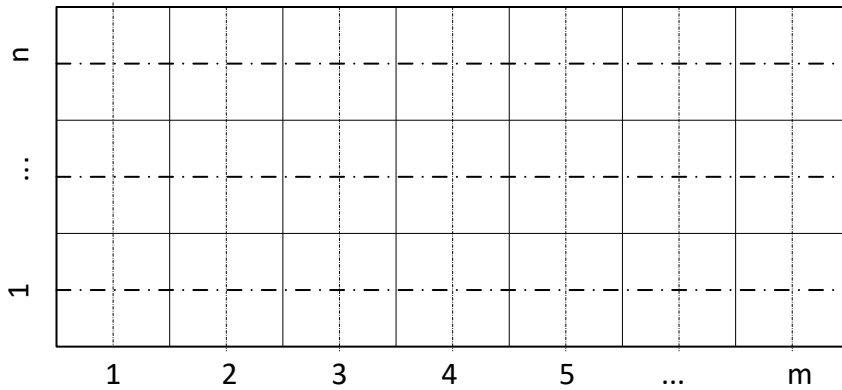
#### 4. ZADATAK I REZULTATI

Treba izvršiti merenje svih potrebnih veličina za određivanje koeficijenta prelaska toplote sa paralelopipednog grejača na vazduh, prema direktnoj metodi

Za direktnu metodu je potrebno izmeriti brzinu  $v$  i temperaturu  $\vartheta_{\text{toplog vazduha } i}$  zagrejanog vazduha u naznačenim tačkama otvora skupljača toplog vazduha (21 vrednost). Brzina strujanja vazduha se meri propelernim anemometrom. Takođe, treba izmeriti temperaturu vazduha u prostoriji  $\vartheta_v$  i odrediti temperaturu grejača  $\vartheta_g$  (prema naznačenom postupku). Dimenzije paralelopipednog grejača su:  $a = 39,5$  cm,  $b = 23$  cm i  $c = 6$  cm. Za određivanje temperature grejača  $\vartheta_g$  treba izmeriti temperature u središnjim tačkama svake od šest površi paralelopipeda. Parametri vazduha  $\rho_t$  i  $c_{pt}$  se određuju iz tablice III.2, za temperature  $\vartheta_{\text{toplog vazduha } i}$ . Površina otvora iznosi  $S_{\text{otvora}} = 0,045$  m<sup>2</sup>.

Снага преноса топлоте струјањем је одређена као збир снага кроз  $m \times n$  делова на слици III.2, доња лева слика, поглед одозго

(у тексту упутства  $m = 7, n = 3, m \times n = 21$ )



Одабир  $m = 7$  и  $n = 3$  је извршен пре свега према величини анемометра, којим се мери брзина струјања ваздуха. Примена новијих (савременијих) анемометара у односу на тренутак када је формирана вежба може да доведе до одабира погоднијег броја  $m$  и  $n$ , што ће бити речено на самој лабораторијској вежби.

Ситуација у новембру 2018. ( $m = 6$  и  $n = 1$ )

