

SOOJUSÜLEKANDETEGURI JA -LÄBIKANDETEGURI MÄÄRAMINE

1. Töö eesmärk

Määrata auruga köetava keskkütteradiaatori soojuslähikandegur k , soojusüleandegur α_2 radiaatori pinnalt õhule, lisaks arvutada ka kiirguslik soojusüleandegur α_k .

2. Töök vajalikud vahendid

1. Keskkütteradiaator
2. Kondensaadi kogumisanumad (2 tk)
3. Kaalud
4. Manomeeter
5. Termopaarid
6. Ajamõõtur
7. Millivoltmeeter ja elektrooniline temperatuurimõõtur
8. Elavhõbetermomeeter
9. Baromeeter

3. Katseseadme skeem ja tööpõhimõtte kirjeldus

Soojuslevi auruga köetava keskkütteradiaatori ja ümbrusruumi vahel on komplitseeritud soojusüleandeprotsess, kus esinevad koos nii soojusjuhtivus, konvektiivne kui ka kiirguslik soojuslevi. Soojuslähikande intensiivsust iseloomustab soojuslähikandegur

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (8.1)$$

kus α_1 – soojusüleandegur kondenseeruvast aurult radiaatori sisepinnale $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

δ – radiaatori seinapaksus m ;

λ – radiaatori seinamaterjali soojusjuhtivustegur $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

α_2 – soojusüleandegur radiaatori välispinnalt õhule $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

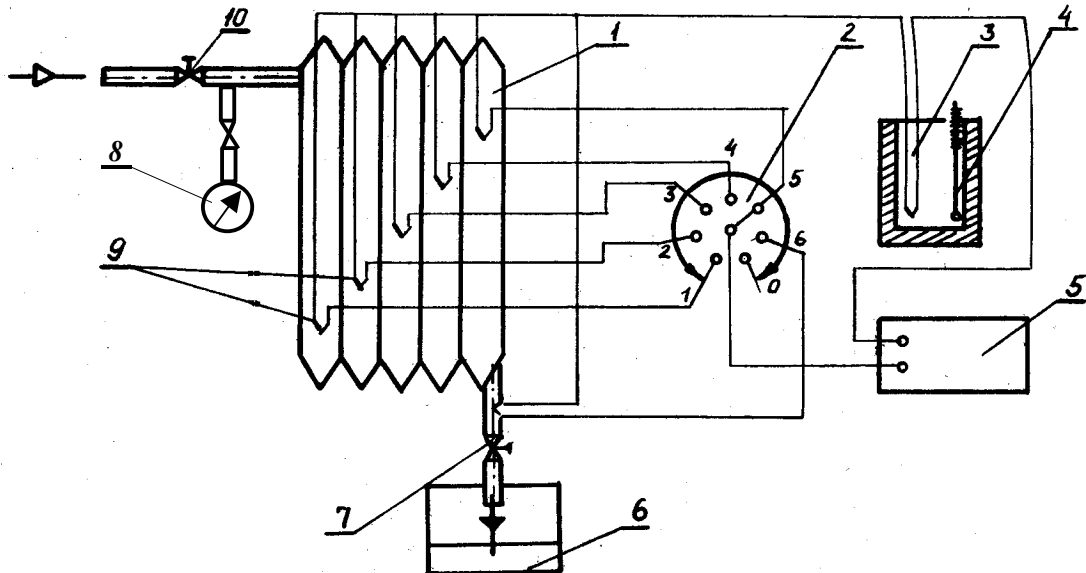
Radiaatoris aur kondenseerub ja vabanev soojus (aurustussoojus r) kandub väga intensiivselt ($\alpha_1 \approx 7000 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) üle seina sisepinnale. Läbi radiaatori seina kandub soojus seinamaterjali soojusjuhtivuse teel ($\delta = 5 \text{ mm}$; $\lambda = 60 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$).

Radiaatori välispinnalt kandub soojus ümbritsevasse keskkonda konvektiivselt ja kiirguse teel ning soojusüleandegur α_2 ($10 - 12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) arvestab neid koos. Konvektiivne soojuslevi radiaatori pinnalt õhule on olemuselt vaba-(termogravitatsiooniline)konvektsioon. Käesoleval juhul on konvektiivse ning kiirgusliku soojusüleandega osa ligikaudu võrdne.

Märkus: Tänapäeval elu- ja tööruumide kütmiseks enam auruga ei köeta, sest seda on tehniliselt keerukam teha ja auruküte on kallim kui vesiküte. Antud töös õigustab auru kasutamist soov määrata radiaatorile oluline tegur α_2 võimalikult täpselt (võimaldab eirata soojusüleandegurit α_1 selle suhteliselt suure väärtuse tõttu kondenseerumisel, samuti oluliselt lihtsamalt ja täpsemalt määrata kondensaadi kulu).

Katseseadme skeem on joonisel 8.1. Keskkütteradiaator 1 saab niisket küllastunud auru laboratooriumi madalrõhu aurugeneraatorist. Radiaatorisse siseneva auru rõhku mõõdetakse peale reguleerimisventiili 10 ühendatud manomeetriga 8. Keskkütteradiaatori välispinnale on kinnitatud 5 vask-konstantaan(T-tüüpi)termopaari 9 selliselt, et nende keskmine lugem võimaldaks arvutada pinna keskmise temperatuuri. Kondensaat juhitakse radiaatorist välja läbi

radiaatori allossa kinnitatud klaasist torukese 7, milles on kromell-alumel(K-tüüpi)termopaar mõõtmaks kondensaadi temperatuuri Radiaatori pinna termopaarid on ühendatud ümberlüli 2 kaudu millivoltmeetriga 5 läbi termopaaride külmiideste temperatuuri stabiliseerimise ja mõõtmise ploki (termostaadi) 3, mille temperatuuri mõõdetakse termomeetriga 4. Kondensaadi temperatuuri mõõdetakse elektroonilise temperatuurimõõturiga.



Joonis 8.1. Radiaatori soojuslähikande- ja soojusülekande teguri määramise skeem:
 1 – radiaator; 2 – ümberlüli; 3 – külmiideste termostaat; 4 – elavhõbetermomeeter;
 5 – millivoltmeeter või elektrooniline temperatuurimõõtur; 6 – kondensaadianum;
 7 – kondensaadikraan klaastorukese otsas; 8 – manomeeter; 9 – termopaarid; 10 – auruventiil

4. Töö käik

Töö alustamiseks asetatakse anum 6 kondensaaditoru alla, avatakse kondensaadikraan 7 ja auruventiil 10. Jälgides auru rõhku radiaatori ees, sätitakse see mainitud kraani ja ventiili abil nii, et aur siseneks radiaatorisse ülerõhuga umbes 10 kPa. Sellel tasemel tuleb rõhku hoida kogu katse vältel.

Kui aur hakkab kondensaaditorust väljuma, siis reguleeritakse kondensaadikraani nii, et kondensaadi tase oleks pidevalt näha klaastoru 7 keskosas. Ühtlasi jälgitakse radiaatori ribide pinna temperatuure. Kui temperatuurid enam ei muutu, siis on radiaator termilises tasakaalus ning võib alustada mõõtmisi. Esmalt kallatakse teise tühja kondensaadinõusse ligikaudu 1 kg külma vett ja kaalutakse see anum koos veega. Seejärel vahetatakse kondensaadinõud asetades voolik nii, et selle ots ulatub vette. Sellest hetkest algab katse.

Katse vältel mõõdetakse 5-minutilise vaheaja järel radiaatori pinna, kondensaadi ja õhu temperatuuri. Katse lõpul eemaldatakse kondensaadinõu radiaatori alt ja kaalutakse. Kondensaadinõu masside vahe katse lõpul ja alguses näitab katse jooksul radiaatorit läbinud ning seal kondenseerunud auru massi. Kuna kuum kondensaat aurustub lahtises anumas intensiivselt, siis vähendamaks aurustumiskadu valataksegi algul kondensaadianumasse külma vett.

Katse algus ja lõpp fikseeritakse täpselt ajamõõturiga. Katse kestuseks valitakse 16 minutit. Mõõtmisandmed kantakse tabelisse 8.1.

Tabel 8.1 Mõõtmisandmed

Aeg min	Radiaatori pinna temperatuurid					Kondensaadi temperatuur °C	Külmliidese temperatuur °C	Ruumi õhu temperatuur		
	1 mV	2 mV	3 mV	4 mV	5 mV			1 °C	2 °C	3 °C
0										
2										
4										
6										
8										
10										
12										
14										
16										
Keskmine										

5. Katseandmete töötlemine

Katse koondandmed esitatakse järgmise skeemi kohaselt

Katse kestus $\tau = \dots\dots\dots$ s
 Kondensaadianuma mass katse lõpul..... kg
 Kondensaadianuma mass katse algul kg

Kondensaadi mass $M = \dots\dots\dots$ kg
 Õhurõhk ruumis $B = \dots\dots\dots$ kPa
 Auru ülerõhk $p_m = \dots\dots\dots$ kPa

Auru absoluutne rõhk $P_a = \dots\dots\dots$ MPa

Auru kuivusaste $x = 0,95$

Kondensaadi keskmine temperatuur $t_k = \dots\dots\dots$ °C
 Radiaatori välispinna keskmine temperatuur $t_p = \dots\dots\dots$ °C
 Ruumi õhu keskmine temperatuur $t_0 = \dots\dots\dots$ °C

Radiaatori pind $A = 1,15 \text{ m}^2$.

Juhul kui termopaaride signaale mõõdetakse millivoltmeetriga, siis tuleb temperatuuri leidmiseks kasutada T-tüüpi termopaaride gradueerimistabeleid, viies eelnevalt sisse külmliidese temperatuuri parandi. Selleks leitakse gradueerimistabelist külmliidese temperatuurile vastav termopinge, mis liidetakse mõõtepunktis mõõdetud termopingele ning summa kaudu leitakse tabelitest vajalik temperatuur.

Termiliselt statsionaarses olukorras kandub auru kondenseerumisel vabanenud soojusvoog Q läbi radiaatori seina ja antakse üle väliskeskkonnale. Sellisel juhul leitakse soojuslähikandetegur valemi järgi

$$k = \frac{Q}{A(t_a - t_0)} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (8.2)$$

ja soojusülekande tegur välispinnalt keskkonda valemist

$$\alpha_2 = \frac{Q}{A(t_p - t_\delta)} \quad W/(m^2 \cdot K) \quad (8.3)$$

Soojusülekanne võib toimuda soojusjuhtivuse, konvektsiooni või kiirguse kaudu.

Konvektsioon on aine liikumisega kaasnev soojuse levimine vedelikus või gaasis. Tekib raskusjõu toimel, sest erisuguse temperatuuriga piirkondades on keskkonna tihedus erisugune. Soojusülekande tegur kiirgusega

Soojusjuhtivuseks nimetatakse soojuse spontaanset kandumist kuumemalt kehalt külmemale kehale aineosakeste vastasmõju tagajärjel.

Soojuskiirgus on osakeste soojusliikumise tõttu tekkiv elektromagnetiline kiirgus. Kõik ained, mis on absoluutselt nullist kõrgema temperatuuriga, eraldavad soojuskiirgust.

$$\alpha_k = \frac{\varepsilon_{\text{süst}} \sigma (T_p^4 - T_\delta^4)}{t_p - t_\delta} \quad W/(m^2 \cdot K) \quad (9.16)$$

kus

$\varepsilon_{\text{süst}} = 0,8$ – süsteemi värvitud keha - ruum taandatud mustsusaste. See on tegur, mis näitab, kui suure osa kiirgusvoo intensiivsusest annab keha, võrreldes absoluutselt musta kehaga. Keha, mis neelab kogu temale langeva kiirguse, nimetatakse absoluutseks mustaks kehaks;

$$\sigma = 5,670400 \cdot 10^{-8} \frac{J}{sm^2 K^4} - \text{Stefan-Boltzmanni konstant}$$

T_p, T_δ – keha pinna ja ruumi keskmised absoluuttemperatuurid K.

Auru temperatuur t_a leitakse veeauru h-s – diagrammilt või tabelist kuivusastme x ja rõhu P_a järgi. Soojusvoog Q arvutatakse valemist

$$Q = \frac{M}{\tau} [x r + (t_a - t_k) c_p] 10^3 = \frac{M}{\tau} [h'' - (1-x)r - h_k] 10^3 \quad W \quad (8.4)$$

kus r – aurustussoojus kJ/kg;

h'' – kuiva küllastunud auru entalpia kJ/kg;

h_k – kondensaadi entalpia kJ/kg;

c_p – vee erisoojus kJ/(kg·K).

Aurustussoojus ja kuiva küllastunud auru entalpia leitakse küllastunud auru tabelitest rõhul p_a ja kondensaadi entalpia vee tabelist rõhul P_a ja temperatuuril t_k (otsi internetist „steam properties“).

6. Kontrollküsimused

1. Kuidas defineeritakse soojusülekande tegurit ja soojuslähikandetegurit?
2. Millest oleneb radiaatori soojuslähikandetegur?
3. Millised tegurid mõjutavad radiaatori välist soojusülekande tegurit α_2 ?
4. Kuidas on võimalik suurendada radiaatori soojuslähikandeteguri väärtust?
5. Mida mõistetakse radiaatori termilise takistuse all ning millistest termilistest osatakidustest see koosneb?
6. Milline termiline osatakidus on keskkütteradiaatorite korral kõige suurem, milline kõige väiksem?
7. Kui suure osa (%) moodustab soojusülekande termiline takistus välispinnalt keskkonda radiaatori termilisest kogutakidusest?

7. Kirjandus

1. Soojustehnika käsiraamat /koost. I.Mikk. Tallinn: Valgus. 1977. 619 lk.
2. Soojus- ja massilevi. I osa. Põhikursus /koostajad A. Paist, A. Poobus, T. Tiikma. TTÜ, 1998. 70 lk.