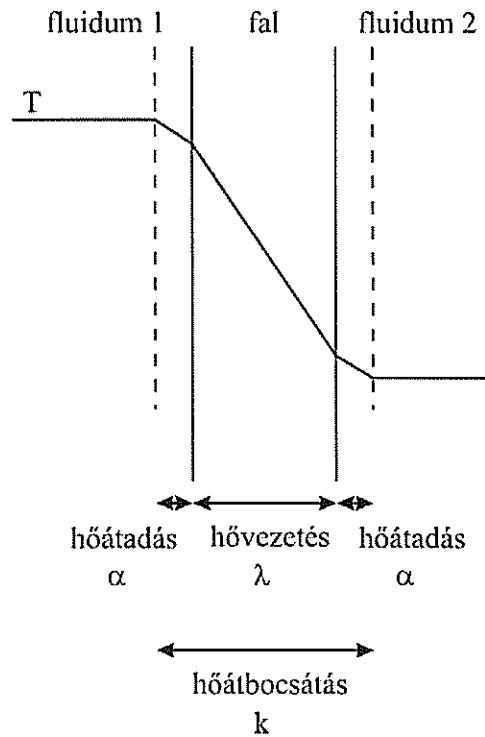


Ellenáramú hőcserélő

1 Elméleti összefoglalás, emlékeztető

A hőcserélő alapvető működésével és az egyszerűsített számolásokkal a Vegyipari műveletek 1. tárgy keretében ismerkedtek meg. A mérés elvégzéséhez az ott tanultak átismétlése szükséges. Az alábbiakban a legfontosabb tudnivalókat, képleteket gyűjtöttük össze emlékeztetőként.

1.1 Hőtranszport típusai egy hőcserélőben (filmelmélet szerinti ábrázolás)



λ	szilárd anyag hővezetőképessége	$\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
α	fluidum hőátadási tényezője	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$
k	hőátbocsátási tényező	$\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

1.2 Hővezetés (kondukción)

Hőtranszport szilárd anyagokban.

λ	szilárd anyag hővezetőképessége	$\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$
-----------	---------------------------------	--------------------------------------

Hővezetés sík falon keresztül:

$$\dot{Q} = \frac{1}{\sum_j \frac{s_j}{\lambda_j}} \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

ahol s falvastagság [m]

j a fal száma

A a fal felülete [m²]

T_1 és T_2 a belső fal belső oldalán illetve a külső fal külső oldalán mért hőmérséklet [°C vagy K].

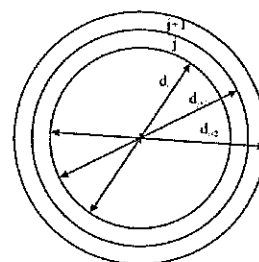
Hővezetés hengeres falon keresztül

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L}{\sum_j \frac{1}{\lambda_j} \cdot \ln \frac{d_{j+1}}{d_j}} \cdot (T_1 - T_2)$$

ahol L cső hossza [m]

d átmérő [m]

T_1 és T_2 a belső fal belső oldalán illetve a külső fal külső oldalán mért hőmérséklet [°C vagy K].



1.3 Hősugárzás (radiáció)

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot C_0 \cdot A \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

ahol ε test relatív emissziós tényezője (feketésig foka) [-]

C_0 abszolút fekete test sugárzási együtthatójának (σ) 10^8 -szorososa $5,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

T_1 és T_2 a fal illetve a közeg hőmérséklete Kelvinben kifejezve.

(Azért használjuk a C_0 -t a σ helyett, hogy a negyedik hatványra emelésnél kezelhetőbb értékekkel dolgozzunk.)

A hőátadás analógiájára szokás sugárzási hőátadási együtthatót is definiálni:

$$\dot{Q} = \alpha_{\text{rad}} \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

ahol α_{rad} sugárzási hőátadási együttható $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

1.4 Hőátadás (konvekció)

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

ahol α hőátadási együttható $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

A a hőátadó felület [m²]

T_1 és T_2 a fal illetve a fluidum főtömegének hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$ vagy K].

Kényszeráramlás csőben

Turbulens áramlás esetén alkalmazható a Sieder-Tate egyenlet, amely az átmeneti tartományra is kellőképpen jó becslést ad, ha $\text{Re} > 7000$.

$$\text{Nu} = C \cdot \text{Re}^a \cdot \text{Pr}^b \cdot \text{Vis}^c$$

ahol	$\text{Nu} = \frac{D \cdot \alpha}{\lambda}$	Nusselt-szám	[-]
	D	jellemző méret	[m]
	C	arányossági tényező	[-]
	$\text{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\eta}$	Reynolds-szám	[-]
	ρ	sűrűség	[kg/m^3]
	η	dinamikai viszkozitás	[Pas]
	$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda}$	Prandtl-szám	[-]
	c_p	fajlagos hőkapacitás (fajhő)	[$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
	$\text{Vis} = \frac{\eta_{\text{bulk}}}{\eta_{\text{fal}}}$	viszkozitási index	[-]

Turbulens tartományban $C=0,023$; $a=0,8$; $b=1/3$; $c=0,14$; nem viszkózus folyadékok esetében $\text{Vis} \approx 1$.

Az anyagi állandókat az átlagos hőmérsékleten kell venni.

Víz, vizes oldatok esetén, valamint olyan anyagoknál, ahol a viszkozitás változása a hőmérséklet függvényében elhanyagolható $\text{Vis} \approx 1$.

$\text{Pr} = 3-6$	víz
$\text{Pr} > 3-6$	más folyadékok (akár több nagyságrenddel is)
$\text{Pr} \approx 1$	gáz

Ha lehetséges, áramlás szempontjából az átmeneti tartományt célszerű elkerülni. Amennyiben a hőátadási folyamatot átmeneti tartományba eső áramlás mellett kell végezni, a számításokhoz pl a Gnielinski egyenlet használható:

$$\text{Nu} = \frac{\left(\frac{f_F}{2}\right) \cdot (\text{Re} - 1000) \cdot \text{Pr}}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{f_F}{2}\right)^{1/2} \cdot (\text{Pr}^{2/3} - 1)} \left[1 + \frac{D}{L}\right]^{2/3} \cdot \text{Vis}^{0,14}, \text{ ahol } f_F = (3,64 \cdot \lg \text{Re} - 3,28)^{-2}.$$

1.5 Hőátbocsátás

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{\text{atl}}, \text{ ahol}$$

k	hőátbocsátási tényező	[$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
A	hőátbocsátási felület	[m^2]
ΔT_{atl}	közepes logaritmikus hőmérsékletkülönbség	[$^{\circ}\text{C}$ vagy K]

Az egyes rétegek termikus ellenállásai összeadódnak:

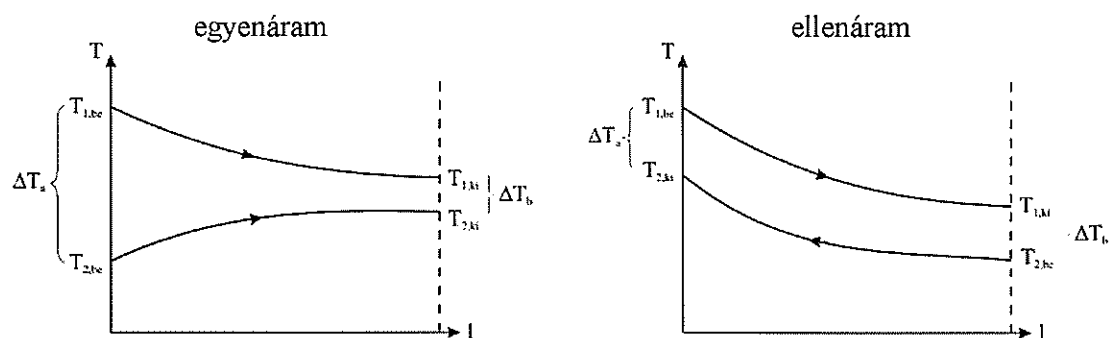
$$k = \frac{1}{\sum_i R_i}$$

Ha két kényszeráramoltatott fluidum között n db szilárd réteg van (sík fal):

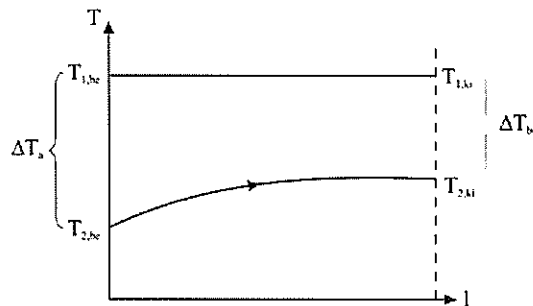
$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{j=1}^n \frac{s_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

1.6 Közepes logaritmikus hőmérsékletkülönbség

Hőmérsékletprofilok egyszerű hőcserélőkben (l a hőcserélő hossza).



Hőmérsékletprofil, ha az egyik áram halmazállapota a hőátadás során változik (kondenzáló gőz).



Ilyenkor nincs értelme egyen-, illetve ellenáramról beszélni.

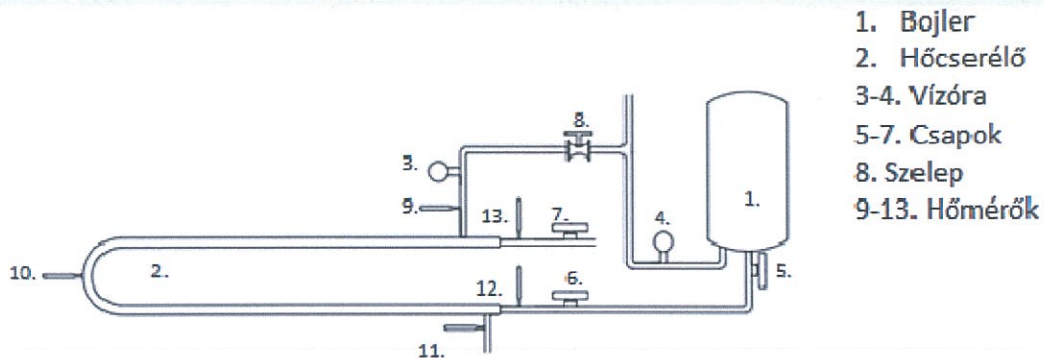
A közepes logaritmikus hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta T_{\text{atl}} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln \frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}}$$

2 A mérés célja:

A feladat célja megismerni az ellenáramú cső a csőben hőcserélővel és sajátosságaival, valamint a mért adatokból ki kell számolni a Reynolds számokat és a hőátbocsátási tényezőket, valamint becsülni a szennyezési ellenállás értékét.

3 A készülék leírása



A képen látható készülék egy meleg-hideg vizes cső a csőben hőcserélő. A meleg víz áramát a 4-es vízóra, a $T_{be, meleg}$ hőmérsékletet 12. hőmérő, a $T_{ki, meleg}$ hőmérsékletet 13. hőmérő méri. A hideg víz áramát a 3-as vízóra, a $T_{be, hideg}$ értéket a 9. hőmérő, a $T_{köztes, hideg}$ a 10. hőmérő és a $T_{ki, hideg}$ hőmérsékletet a 11. hőmérő méri. A meleg víz áramát az 5 csappal lehet állítani, míg a hideg víz áramát a 8-as szeleppel lehet szabályozni. A meleg víz felmelegítését az 1-es bojler végzi.

A hőcserélő adatai:

köpeny külső átmérője	0,050 m
köpeny belső átmérője (becsült)	0,046 m
belső cső belső átmérője	0,026 m
belső cső külső átmérője	0,030 m
cső hővezetési tényezője (rozsdamentes acél)	$16 \frac{W}{m \cdot K}$
a hőcserélő hossza	4 m

4 A mérés menete

Először a falon megnyitjuk a központi csapot (nem látható az ábrán), majd a 6. és a 7. csapot teljesen kinyitjuk. Az 5-ös csappal a meleg víz áramát állítsuk be úgy, hogy a térfogatáram kb. $0,36 \frac{m^3}{h}$ legyen. A meleg víz térfogatáramát a 4-es jelű vízórával mérjük. Ezután az 1-es bojleret áram alá helyezzük és $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -ra állítjuk. Megvárjuk, amíg a 12. és a 13. hőmérő

állandósult értéket, körülbelül 50 °C-ot mutat. Ezután kicsit kinyitjuk a 8-as jelzésű szelepet és ezzel egy időben elindítjuk a stopperórát. 10 percen keresztül percenként leolvassuk az összes hőmérő állását, vagy ha ez idő alatt nem állna be az állandósult állapot, akkor addig olvassuk le, amíg be nem áll. Valamint megmérjük 3-as jelzésű vízórával a hideg áram térfogatáramát. Állandósult állapotban 2 percenként olvassák le az összes hőmérsékletet, és mérik meg a térfogatáramokat (5-5 adat). Számolják ki a Reynolds számot (mind a hideg mind a meleg oldalra).

Ezután mindkét oldalon állítsanak be lehetőleg turbulens áramlást (ha ez nem lehetséges, részletesen indokolják a jegyzőkönyvben, mellékeljék a számítást, és a hőtani számításoknál a megfelelő áramlási tartományra vonatkozó képleteket használják) és az állandósult állapot eléréséig percenként mérik a hőmérsékleteket. Állandósult állapotban 2 percenként olvassák le az összes hőmérsékletet, és mérik meg a térfogatáramokat (5-5 adat). Ezután változtassák meg a térfogatáramot. Minimum 3 állandósult állapotban mérjenek.

A mérés végeztével a bojleret áramtalanítsák és várják meg amíg a készülék lehűl. Végül az összes csapot és szelepet gondosan zárják el.

5 Kiértékelés

A mért hőmérsékleti értékekből számított átlaghőmérséklethez keressék ki a víz jellemzőit (sűrűség, fajlagos hőkapacitás, hővezetési tényező, dinamikai viszkozitás).

Kiszámolandó (minden állandósult állapotban, a középértékek felhasználásával):

1. A Re-szám a hideg és a meleg oldalon.
2. Az átadott hőáram és a becsült hőveszteség.
3. A számított hőátbocsátási tényező.
4. Turbulens vagy átmeneti áramlás esetén a hőátadási tényező a hideg és meleg oldalon a megfelelő $Re - Nu$ összefüggés felhasználásával.
5. Turbulens/átmeneti áramlás esetén a szennyezések hőtani ellenállása. Vessék össze mekkora eltérést okoz, ha a hővezetés számításánál a hengeres, illetve a sík falra vonatkozó képleteket használják!

A mérési leíratot a tanszéki munkaközösség korábbi munkáinak felhasználásával készítette:
Székely Edit

Ellenőrizte: Mizsey Péter

Kiértékelés összefoglaló táblázat

	1		2		3	
	meleg	hideg	meleg	hideg	meleg	hideg
T_{be} [°C]						
T_{ki} [°C]						
$T_{köztes}$ [°C]	--		--		--	
\dot{Q} [W]						
\dot{Q}_{veszt} [W]						
$T_{\text{átlag}}$ [°C]						
c_p [kJ/kgK]						
ρ [kg/m ³]						
η [mPas]						
λ [W/mK]						
\dot{V} [m ³ /h]						
Re						
Pr						
Nu						
α [W/m ² K]						
k [W/m ² K]						
$\Delta T_{\text{átl}}$ [°C]						
Rszenny						
\dot{Q}_{sik} [W]						
\dot{Q}_{heng} [W]						
eltérés [%]						