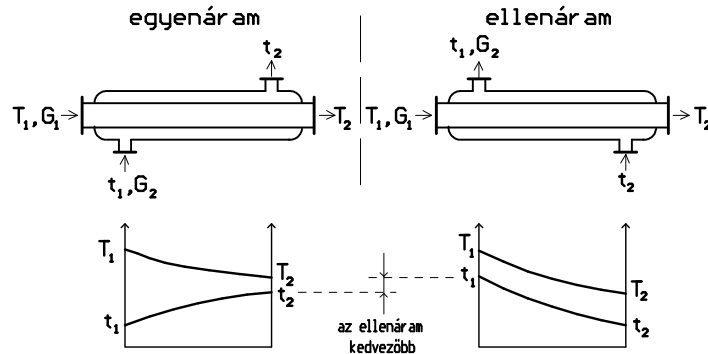


Hőcserélők alapegyenlete

(írta : Ortutay Miklós)

1. Hőátviteli tényező
2. Közepes hőmérséklet különbség (egyenáram)
3. Hőátvitel csőoldalon kétjáratú, köpenyoldalon egyjáratú hőcserélőnél



1. Hőátviteli tényező

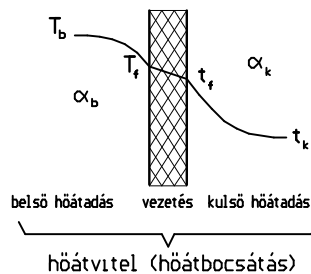
Állandósult állapotban a cső külső és belső felületén hőátadással, a csővön keresztül hővezetéssel történő energiatranszport révén azonos a hőáram.

A hőátviteli (hőátbocsátási) tényező bevezetésével a hőátvitel a teljes hajtóerőre vonatkozóan kifejezhető

$$k(T_b - t_k).$$

A külső és belső felületet azonosnak tekintve, egy egyrétegű síkfal hőátvitelét vizsgálva a hőáram azonossága a részfolyamatoknál és a teljes folyamat esetén:

$$q = \alpha_b(T_b - T_f) = \frac{\lambda}{s}(T_f - t_f) = \alpha_k(t_f - t_k) = k(T_b - t_k)$$



A hőmérséklet különbségek a részfolyamatoknál:

$$T_b - T_f = q / \alpha_b$$

$$T_f - t_f = qs / \lambda$$

$$t_f - t_k = q / \alpha_k$$

$$T_b - t_k = q \left(\frac{1}{\alpha_b} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_k} \right)$$

A hőátvitelből:

$$T_b - t_k = \frac{q}{k}$$

A hőátviteli tényező:

$$k = \frac{1}{1/\alpha_b + s/\lambda + 1/\alpha_k}$$

Cső esetén a külső és belső felület nagysága eltérő. Állandósult állapotra vonatkozóan a következő összefüggés írható fel:

$$Q = \alpha_b A_b (T_b - T_f) = \frac{\lambda}{s} A_x (T_f - t_f) = \alpha_k A_k (t_f - t_k) = kA (T_b - t_k)$$

Ahonnán a hőátviteli tényező:

$$\frac{1}{kA} = \frac{1}{\alpha_b A_b} + \frac{s}{\lambda A_x} + \frac{1}{\alpha_k A_k}$$

A cső közepes felületéhez tartozó sugár vastagfalú csöveknél a külső és belső sugár logaritmikus közepe. Normál csövek esetén a számtani közép.

$$r_x = \frac{r_k - r_b}{\ln \frac{r_k}{r_b}} \approx \frac{r_k + r_b}{2}$$

2. Közepes hőmérséklet különbség (egyenáram)

Ha a hőcserélő tökéletesen szigetelt

$$Q = G_1 c_1 (T_1 - T_2) = G_2 c_2 (t_2 - t_1)$$

$$Q = W_1 (T_1 - T_2) = W_2 (t_2 - t_1)$$

$$m = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = \frac{T_1 - T_2}{Q} + \frac{t_2 - t_1}{Q} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{Q} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{Q} \quad (1)$$

A hőátvitel folyamán a cső belső és külső felülete mentén lévő anyag jellemző hőmérséklete a különböző pontokban eltérő lehet. Az ábrán a T-t hajtóerő állandóan változik.

Egy elemi felületen átadásra került energia következtében a felület két oldalán bekövetkezett energiaváltozás megegyezik:

$$dQ = -W_1 dT = W_2 dt$$

$$m = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = -\frac{dT}{dQ} + \frac{dt}{dQ} = -\frac{d(T-t)}{dQ} = -\frac{d\Delta T}{dQ}$$

Innen:

$$dQm = -d\Delta T \quad (2)$$

A hőátvitellel elemi felületen átadott energia:

$$dQ = k dF (T - t) = k dF \Delta T \quad (3)$$

A (2) és (3) összefüggésből

$$-d\Delta T = k dF m \Delta T$$

$$-\frac{d\Delta T}{m\Delta T} = k dF \quad - \int_{T_1}^{T_2} K = \int_0^F K$$

k és m állandóságát feltételezve, baloldalon határt cserélve

$$\frac{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}{m} = kF$$

Figyelembe véve (1)-gyet, rendezés után

$$Q = k F \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

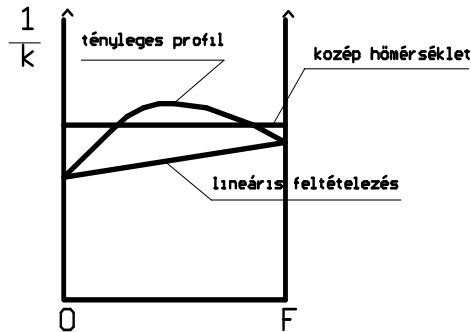
$$A \quad \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

kifejezéssel számítható a közepes hőmérséklet-különbség.

Ellenáram esetén hasonló levezetéssel ugyancsak ez az összefüggés adódik. Ez az összefüggés alkalmazható akkor is, ha a hőcserélő egyik oldalán fázisváltás miatt a hőmérséklet állandó. Colburn szerint pontosabb eredmény nyerhető a hőmérsékletkülönbség és a hőátviteli tényező együttes figyelembevételével.

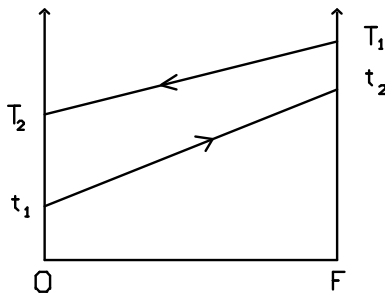
$$Q = F \frac{k_1 \Delta T_1 - k_2 \Delta T_2}{\ln \frac{k_1 \Delta T_1}{k_2 \Delta T_2}}$$

Ekkor a k lineárisan változik, míg a korábban vizsgált esetben állandó volt.



Hőcserélő méretezésnél, ellenőrzésnél általában akkor változik jelentősen a k érték, ha a hőmérsékletváltozás hatására az anyagjellemző változások miatt a Reynolds szám, Nusselt szám megváltozása miatt a hőátadási tényező(- k) változása jelentős.

A különböző hőmérsékletkülönbségekből képezhető két fizikai tartalommal rendelkező hányados.



Az ábrán látható ellenáramú hőcserélő hőmérséklet lefutási görbék a felületet növelésével módosulnának, a két végpontban a hőmérsékletkülönbségek csökkennének. Elvileg végtelen

nagy felület esetén a kisebb $(T_1 - t_2)$ hőmérsékletkülönbség 0-vá válhatna. Ezt figyelembe véve a hőátvitel hatásossága kifejezhető a tényleges és az elméletileg átvihető energiák hányadosaként:

$$E = \frac{(t_2 - t_1)G_2c_2}{(T_1 - t_1)G_2c_2} = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (1)$$

Az un. víztételek hányadosára az energiamérlegből:

$$Q = G_1c_1(T_1 - T_2) = G_2c_2(t_2 - t_1)$$

$$R = \frac{G_2c_2}{G_1c_1} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Az átvitt energia a hőcserélők alapegyenletéből:

$$Q = kF\Delta t_{\text{köz}}$$

$$\frac{kF}{W_2} = \frac{t_2 - t_1}{\Delta t_{\text{köz}}} = \frac{t_2 - t_1}{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)} \ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \quad (3)$$

Egy elemi felületre felírt energiamérlegből:

$$dQ = W_2 dt = k dF (T - t)$$

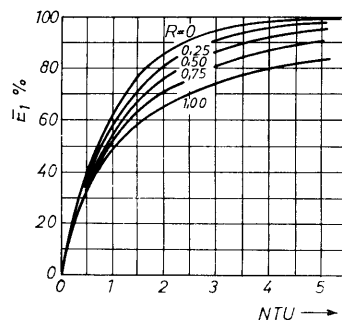
$$\frac{kF}{W_2} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{dt}{T - t} = \text{NTU}$$

Az NTU, az átviteli egységek száma (number of transfer units).

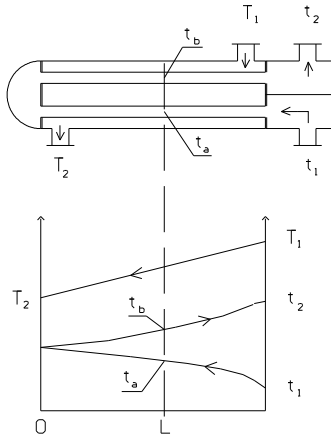
A (3) összefüggés az (1) és (2) figyelembevételével átalakítások után:

$$\frac{kF}{W_2} = \frac{\ln \frac{1-E}{1-ER}}{R-1}$$

, azaz az átviteli egységek száma közvetlenül meghatározható E és R ismeretében.



3. Hőátvitel csőoldalon kétjáratú, köpenyoldalon egyjáratú hőcserélőnél



A köpenyterben mozgó folyadékkal a csőtér egyik felében egyen-, míg a másik felében ellenáramban halad a csőtérben felmelegedő folyadék.

A hőátvitellel átvitt energia a csőtérben lévő folyadék hőmérsékletét növeli:

$$dQ_a = \frac{k dF}{2} (T - t_a) = -W_2 dt_a$$

$$dQ_b = \frac{k dF}{2} (T - t_b) = W_2 dt_b$$

A köpenyterben a két csőtérbe érkező energia miatt bekövetkezett változás:

$$dQ = k dF \left(T - \frac{t_a + t_b}{2} \right) = -W_1 dT$$

Az energiamérleg L hosszúságú szakaszra:

$$W_1(T - T_2) = W_2(t_b - t_a)$$

Az első két, a csőtérre felírt egyenletekből:

$$\frac{dt_b}{dt_a} = -\frac{T - t_b}{T - t_a}$$

Magle, Bowman, Muller levezetése szerint:

$$\frac{kF}{W_2} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + 1}} \ln \frac{2 - E(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - E(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})} = \frac{t_2 - t_1}{\Delta t_{k\acute{s}z}}$$

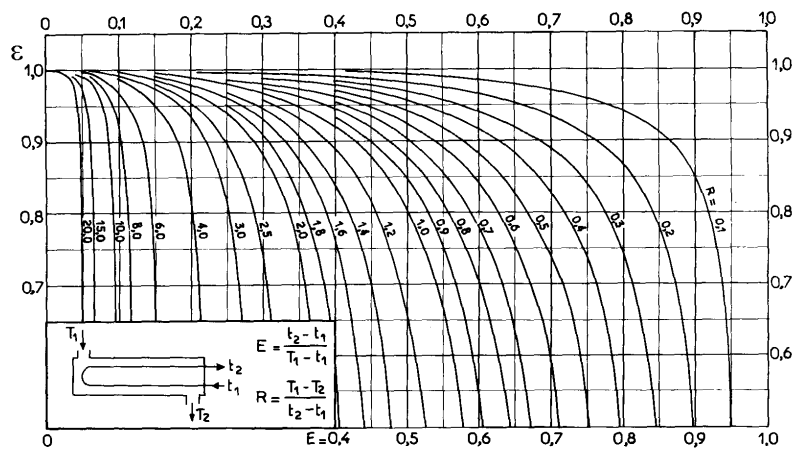
Figyelembe véve az ellenáramú hőcserélőre levezetett kifejezést, a hőcserélőben átvitt energia:

$$Q = k F \varepsilon \Delta t_{k\acute{s}z}$$

ahol

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln \frac{1 - E}{1 - ER}}{(R - 1) \ln \frac{2 - E(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - E(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}}$$

Bár a csőoldali járatszám növekedésével a függvény változik, számítógépes programok esetén a kézi értékbevitel elkerülésére gyakran e függvénnyel számolnak.



[Vissza]