

# GÉPTAN

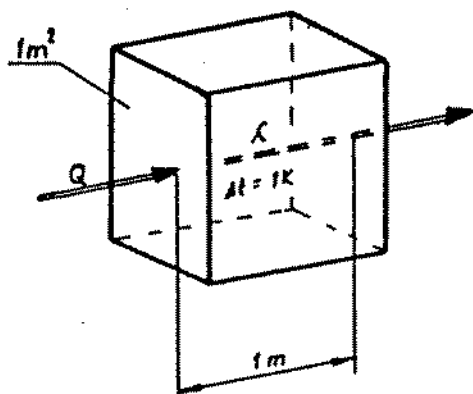


### 3. Hővezetés

Hővezetésen a hő olyan terjedését értjük, amikor a hőt két szomszédos részecske úgy adja át egymásnak, hogy közben helyükről nem mozdulnak el.

A meghatározásból következik, hogy tiszta hővezetés csak szilárd testekben valósul meg, ahol a szomszédos részecskék helyzete rögzített. Folyadékokban és gázokban a felmelegedést követő sűrűség-különbségek áramlást okoznak, így a hővezetés mellett kísérő jelenségként hőáramlás is megjelenik.

A hővezetés jelenségében érzékelhető legjobban a mozgási energia és a hőenergia mint egységes energiaforma megjelenése. A szilárd test részecskéi rezgő mozgást végeznek. Egy melegebb részecskének nagyobb a mozgási energiája, mint a hidegebb részecskének. A melegebb, nagyobb mozgási energiájú részecske energiájának egy részét átadja a mellette levő kisebb energiájú, hidegebb részecskének.



3.5. ábra. A hővezetési tényező értelmezése

A hővezetési tényező (jele:  $\lambda$  ; olvasd: lambda) az a hőmennyiség, ami  $1\text{ m}^2$  keresztmetszetű  $1\text{ m}$  hosszú anyagon

átáramlik 1 s alatt 1K hőmérséklet-különbség mellett  
(3.5. ábra).

A hővezetési tényező mértékegysége:

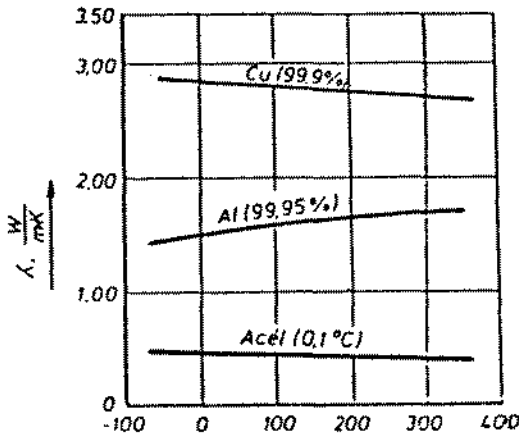
$$\frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}} = \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot$$

### Szilárd testek hővezetési tényezője

A szilárd testek hővezetési tényezője igen tág határok között változik. A hővezetési tényező a hőmérséklet lineáris függvénye:

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \alpha t),$$

ahol  $\lambda_0$  a 0 °C-nak megfelelő érték:  $\alpha$  az anyagi minőségtől függő állandó.



3.6. ábra. A hővezetési tényező változása a hőmérséklet függvényében

A fémek többségére  $\alpha$  kisebb, mint 0, tehát a hővezetési tényező a hőmérséklet növekedésével csökken. A nemfémek többségénél (pl. a kerámia anyagoknál  $\alpha > 0$ , vagyis a hővezetési tényező a hőmérséklet növekedésével nő).

Néhány fém hővezetési tényezőjének változását a hőmérséklet függvényében a 3.6. ábra tünteti fel. A lefontosabb szilárd anyagok átlagos hővezetési tényezőjét a tankönyv melléklete tartalmazza.

### Folyadékok és gázok hővezetése

A folyadékok és gázok hővezetési tényezője lényegesen kisebb, mint a fémek hővezetési tényezője. A folyadékok hővezetési tényezője a hőmérséklet növekedésével csökken. Ebből a szempontból a víz és a glicerin kivétel, ezek hővezetőképessége a hőmérséklet növekedésével nő.

A gázok hővezetési tényezője általában nő a hőmérséklet növekedésével együtt.

A folyadékok és a gázok hővezetése önállóan ritkán fordul elő. Hőtani számításokban ritkán van szükségünk ezek hővezetési tényezőjére. Szakkönyvekben diagramok, ill. táblázatok formájában megtaláljuk az adatokat.

### A hővezetés alapegyenlete

Hővezetéssel terjedő hő esetén az időegység alatt átszármaztatott hőmennyiség (Q) egyenesen arányos a hőmérséklet-különbséggel ( $\Delta t$ ) és fordítottan arányos a hőellenállással (R), (3.7. ábra):

$$Q = \frac{\Delta t}{R} ,$$

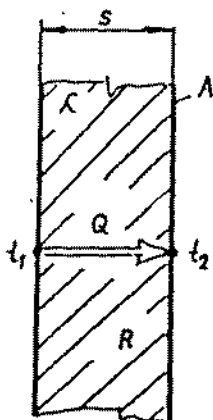
ahol  $\Delta t = t_1 - t_2$ , a fal két oldalán levő hőmérséklet-különbség.

A hőellenállás egyenesen arányos a fal vastagságával, fordítottan arányos a hővezetési tényezővel és a keresztmetszettel:

$$R = \frac{s}{\lambda A} .$$

Az összefüggések hasonlóságot mutatnak az elektrotechnikában tanult összefüggésekkel. Az első összefüggés

megfelel az elektrotechnikában tanult Ohm-törvénynek. A második képlet pedig egy vezeték ellenállásának számítására használható összefüggéssel mutat analógiát. Ez a matematikai hasonlóság nemcsak látszólagos, a villamosvezetés és a hővezetés között fizikai hasonlóság is van. A villamos áram (töltésáramlás) a feszültségkülönbség hatására jön létre. Ehhez hasonló a hőáramlás, amely a hőmérséklet-különbség következménye.



3.7. ábra. A hővezetés és befolyásoló tényezői

### Egyrétegű sík fal hővezetése

#### Feladat

A hővezetési feladatok megoldásánál többnyire ismerjük a szilárd fal hővezetési tényezőjét ( $\lambda$ ), a falfelület nagyságát ( $A$ ), a fal vastagságát ( $s$ ) és a hőáramlást előidéző hőmérséklet-különbséget ( $\Delta t$ ).

Írjuk fel a fenti adatokkal, hogyan határozható meg a sík falon keresztüláramló hőmennyiség.

#### Megoldás

Az alapegyenlet betűjelzéseit a legegyszerűbb eset, a sík fal példáján mutattuk meg. Az összefüggés tehát köz-

vetlenül használható. A behelyettesítést elvégezve a sík falon időegység alatt átvezetett hőmennyiség:

$$Q = \frac{\lambda A \Delta t}{s} \left( \frac{J}{s} = W \right).$$

A képletben  $\lambda$  a hővezetési tényező,  $W/(m \cdot K)$ ;  $A$  a sík-fal felülete,  $m^2$ ;  $\Delta t = t_1 - t_2$  a hőmérséklet-különbség a fal két oldalán,  $K$  ( $^{\circ}C$ );  $s$  a falvastagság,  $m$ .

### Többrétegű sík fal hővezetése

#### Feladat

Ha a fal több, egymástól különböző anyagi tulajdonságú rétegből áll, két esetet különböztetünk meg. Az egyik eset, hogy ha az egyes rétegek egymással szorosan érintkeznek. Ilyenkor a rétegek között nincs hőellenállás, tehát az érintkező felületek hőmérséklete azonos. Ha az egyes rétegek nem érintkeznek szorosan, akkor a rétegek közötti hőellenállást külön figyelembe kell venni.

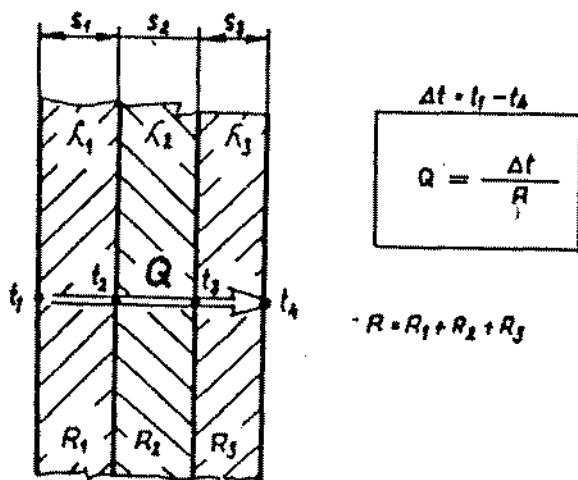
Szoros illeszkedés esetén a réteges fal összes hőellenállása egyenlő az egyes hőellenállások összegével.

A fenti megfontolások alapján vezessük le a 3.8. ábrán látható többrétegű falon átáramló hőmennyiséget! A végső összefüggésben a következő jelöléssel szerepeljenek:

$Q$  : az átáramló hőmennyiség;  $A$  : a fal felülete;  $\Delta t$  : a hőmérséklet-különbség;  $s_1, s_2, s_3$  : a fal egyes rétegeinek vastagsága;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  : a fal egyes rétegeinek hővezetési tényezője.

Milyen mértékegységekben kell behelyettesíteni az adatokat, ha a hőáramot  $W$ -ban akarjuk megkapni?

A helyes megoldást a 3.4. feladat megoldásával ellenőrizhetjük.



3.8. ábra. Hővezetés többretegű falon keresztül

### 3.4. feladat

A kemence fala két rétegből áll: 500 mm vastag tűzálló téglából és 250 mm vastag épülettéglából. A kemence falának belső hőmérséklete  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a fal külső hőmérséklete  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Határozzuk meg az  $1\text{ m}^2$  falfelületen vezetéssel átáramló hőmennyiséget.

### Megoldás

Adatok:  $s_1 = 0,5\text{ m}$ ;  $s_2 = 0,25\text{ m}$ ;  $t_1 = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

A hővezetési tényezők a mellékletből:

$$\lambda_1 = 1,05\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$\lambda_2 = 0,75\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Kétrétegű fal esetén a számítás:

$$Q = \frac{A \cdot t}{\frac{s_1}{\lambda_1} + \frac{s_2}{\lambda_2}} = \frac{1 \cdot 930}{\frac{0,5}{1,05} + \frac{0,25}{0,75}} = 1148\text{ W.}$$

A kemence  $1 \text{ m}^2$  falfelületén  $1,15 \text{ kW}$  vagyis másodpercenként  $1,15 \text{ kJ}$  hőmennyiség áramlik át hővezetéssel.

### 3.5. feladat

Hányszorosára nő egy  $2,5 \text{ mm}$  falvastagságú acélból készült berendezés  $1 \text{ m}^2$  felületű falának hőellenállása, ha a falat  $0,5 \text{ mm}$  vastag zománcreteggel vonjuk be? A készüléket tekintjük síkfalunak.

### Megoldás

Az acél és a zománc hővezetési tényezőjét a mellékletből vesszük.

Adatok:  $s_a = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ;  $\lambda_a = 46,5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ;

$s_z = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ;  $\lambda_z = 1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ .

Az acél hőellenállása:

$$R_a = \frac{s_a}{\lambda_a A} = \frac{2,5 \cdot 10^{-3}}{46,5 \cdot 1} = 5,37 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}.$$

A zománcreteggel bevont acélfal hőellenállása

$$R = R_a + R_z = \frac{s_a}{\lambda_a A} + \frac{s_z}{\lambda_z A} = 5,37 \cdot 10^{-5} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 1} = 55,37 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}.$$

A hőellenállások aránya:

$$\frac{R}{R_a} = \frac{55,37}{5,37} = 10,3.$$

A zománcreteggel bevont fal hőellenállása tízszerese a sima acélfal hőellenállásának.

### Hengeres fal hővezetése

Hengeres fal esetén (3.9. ábra) a hőellenállás összefüggésében szereplő  $A$  felület helyébe a cső külső és bel-

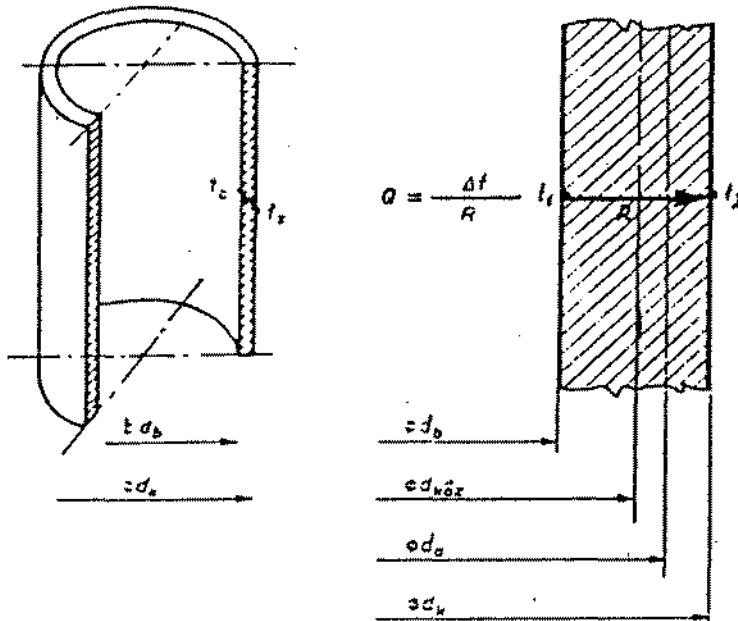


ső felületének logaritmikus átlagát kell helyettesítenünk. Ha a fal belső felületének nagyságát  $A_b$ -vel, a külső felületének nagyságát  $A_k$ -val jelöljük, akkor a logaritmikus átlag:

$$A_a = \frac{A_k - A_b}{2,3 \lg \frac{A_k}{A_b}} = 2\pi L \frac{r_k - r_b}{2,3 \lg \frac{r_k}{r_b}} = 2\pi L r_a = d_a \pi L$$

$2,3 \lg = \ln$

ahol a jelölések megfelelnek a 3.9. ábra jelöléseinek, illetve  $r_a$ ,  $d_a$  a cső  $r_1$  és  $r_2$  sugarának, ill. a  $d_1$  és a  $d_2$  csőátmérőnek a logaritmikus átlaga,  $L$  a cső hosszúsága, m.



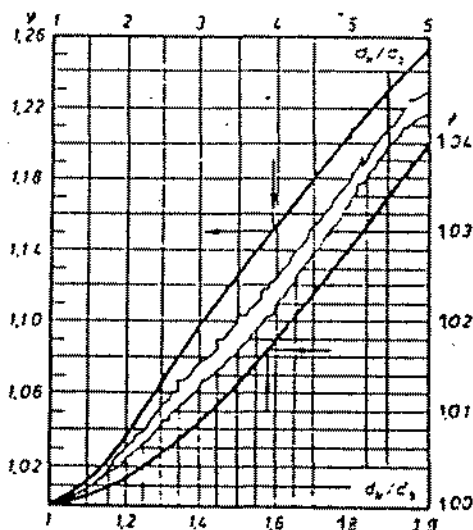
3.9. ábra. Hővezetés hengeres falon keresztül

A számítások egyszerűbbek lesznek, ha a logaritmikus átlag helyett egy alaktényezővel megszorított középátmérővel számolunk:

$$d_{köz} = \varphi d_a,$$

ahol  $d_{k\text{köz}} = \frac{d_k - d_b}{2}$  a közepes csőátmérő;  $\varphi$  a csőfal görbületének hatását figyelembe vevő alaktényező;  $d_a$  a logaritmusos középátmérő.

Különböző átmérő viszonyok esetére a 3.10. ábra mutatja az alaktényező értékét. Az ábrából látható, hogy ha  $d_k/d_b < 2$ , a  $\varphi$  értéke közel esik az egységhez.



3.10. ábra. Az alaktényező meghatározása diagram segítségével

$\varphi = 1$  esetén a képlet azonossá válik a sík falra érvényes összefüggéssel. Ha a cső falának vastagsága kicsi az átmérőhöz képest, vagy ami ezzel azonos, ha a  $d_k/d_b$  viszony kicsi, el lehet hanyagolni a fal görbületének hatását és a cső hővezetésének számítását a sík falra vonatkozó képletel végezhetjük.

### 3.4. Áramlásos hőcsere

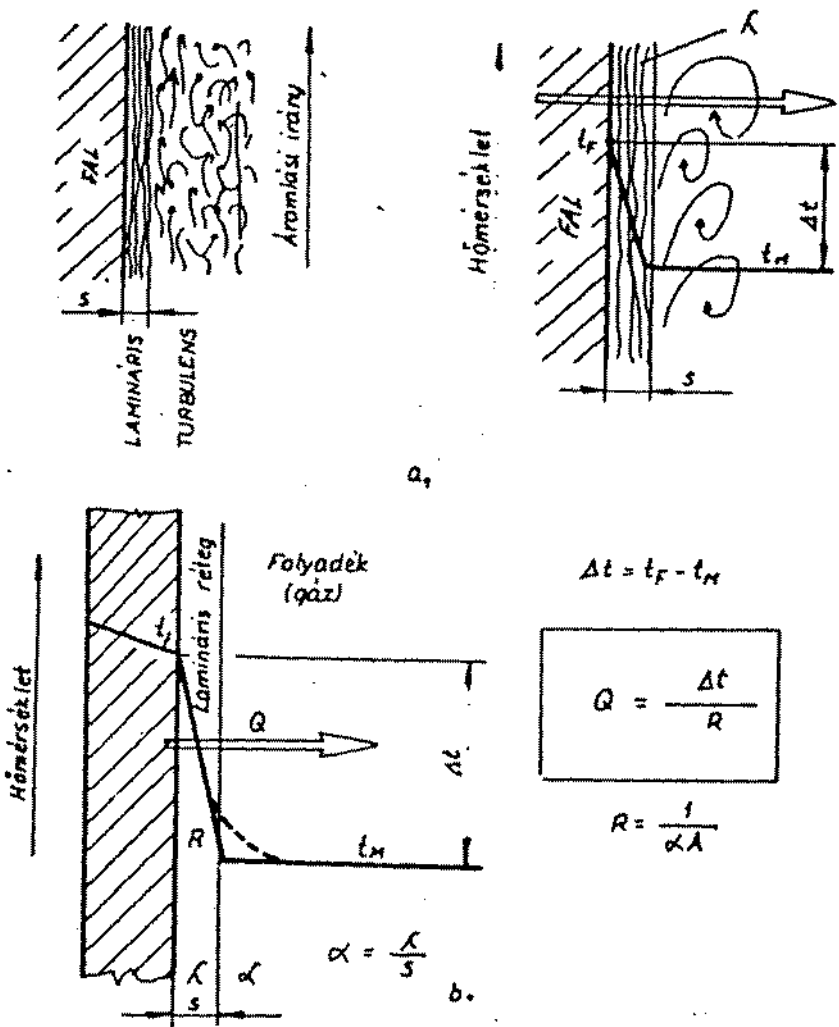
A hőközlésnek legfontosabb esete a hőátadási folyamat, amely általában szilárd fal és a határoló közeg (folyadék vagy gáz) között megy végbe. A hőátadási folyamat két alapvető hőközlési forma összegeződése. A hő egyrészt molekuláris méretekben vezetéssel, másrészt a folyadékrészek elmozdulásával, hőszállítással cserélődik a fal és a folyadék között.

Miután a hőátszármaztatás áramlásos jellegű, lefolyása jelentősen függ az áramlás tulajdonságaitól, az áramló közeg jellemzőitől, végül a közeggel hőcserében levő szilárd test alakjától és méreteitől.

#### 3.4.1. A hőátadás lényege

A hőátadás folyamata a 3.12. ábrán tanulmányozható. A folyadék (gáz) általában turbulens áramlással érkezik a falhoz. Az áramlási teret határoló fal közelében, a fal fékező hatása miatt azonban mindig kialakul egy vékony, lamináris fali réteg. A fali réteg vastagsága az áramló közeg viszkozitásának és az áramlás sebességének függvénye, a folyadék sebességének fokozódásával a réteg vastagsága csökken.

Ebben a rétegben a hőenergia hővezetéssel, míg a turbulens áramlással mozgó részben a részecskék intenzív összekeveredése révén terjed.



3.12. ábra. A hőátadás folyamata  
 a/ a hőátadás lefolyása, b/ a hőátadást befolyásoló tényezők

Az egész hőátadási folyamatot a lamináris réteg hőtani ellenállása szabályozza. Ezt a feltevést számos kísérlet is igazolja. A kísérletek egyöntetűen azt mutatták, hogy a falra merőleges irányban a hőmérséklet a 3.12. ábrán látható módon változik. Láthatjuk, hogy a legnagyobb hőmérsékletesés a lamináris rétegben van.

Ha feltételezzük, hogy a hőmérséklet-változás csak a fali rétegre korlátozó, akkor erre a rétegre a hővezetés egyenlete könnyen felírható:

$$Q = \frac{\Delta t}{R} ,$$

ill.

$$R = \frac{s}{\lambda A} .$$

### A hőátadási tényező fogalma

A gyakorlati számításokhoz azonban szükségünk lenne az  $s$  rétegvastagságra, de ez rendszerint nem ismeretes. Kísérletileg meghatározható azonban a  $\lambda/s$  hányados. A  $\lambda/s$  hányadost hőátadási tényezőnek nevezzük; jele:  $\alpha$ , mértékegysége:  $W/(m^2 \cdot K)$ .

### A hőátadás alapegyenlete

A hőátadási tényező bevezetésével a hőellenállás:

$$R = \frac{1}{\alpha A} .$$

A hőátadás alapegyenlete:

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \alpha A \Delta t ,$$

ahol  $Q$  az átszármaztatott hőmennyiség, (W);  $\alpha$  a hőátadási tényező,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $A$  a hőátadó felület,  $m^2$ ;  $\Delta t$  a hőmérsékletkülönbség, K,  $^{\circ}C$ .

### A hőátadási tényező értéke

A hőátadási tényező meghatározásából ( $\alpha = \lambda/s$ ) láthatjuk, hogy miután a fallal érintkező közeg hővezetési tényezője állandó, a hőátadási tényező értékét a lamináris fali réteg vastagsága szabja meg.

Az előbbiekben arról volt szó, hogy a fal réteg vastagsága az áramlási viszonyoktól függ. Az előzők alapján megállapítható, hogy a hőátadási tényező értékét az áramlás milyensége jelentősen befolyásolja, a turbulencia megnövekedésével a határréteg vastagsága csökken, így a hőátadási tényező értéke nő.

A hőközlés folyamán természetesen figyelembe kell venni a közeg hővezetési tényezőjét, a viszkozitással és a sűrűséggel együtt. Ezek a jellemzők is befolyásolják  $\alpha$  értékét.

Befolyást gyakorol  $\alpha$  értékére a közeggel érintkező szilárd fal anyaga, alakja és érdessége is.

A hőátadási tényező elméleti meghatározásakor, az előzőkben szereplő sok jellemzőt együttesen kellene figyelembe venni. Könnyen belátható, hogy ez nem egyszerű dolog, így néhány esettől eltekintve, az elméleti számítások helyett kísérletekre kell támaszkodnunk.

A hőátadási tényezők nagyságrendi értékeit a melléklet tartalmazza. Pontosabb számításoknál azonban nem elégedhetünk meg a nagyságrendi becsléssel, a hőátadási tényezők pontosabb meghatározására van szükség.

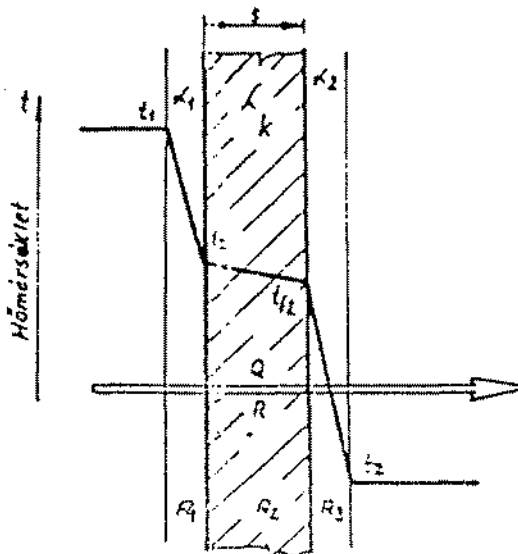
### 3.5. Hőátbocsátás

#### 3.5.1. A hőátbocsátás folyamata

A hőközlési folyamat rendszerint még összetettebb. Az esetek nagy részében ui. valamely folyékony vagy gáznemű közeg hőátadás (konvekció) révén hőt ad át egy szilárd testnek (falnak), amelyben a hő vezetéssel terjed és végül a test másik felületén ismét konvekciós hőátadással adódik át egy másik folyadéknak, vagy gáznak. Ez a kombinált folyamat a hőátbocsátás.

A hőbocsátás legegyszerűbb esetét a 3.14. ábrán ábrázoltuk. A sík fal egyik oldalán legyen  $t_1$  hőfoku közeg, a másik oldalon pedig  $t_2$  hőfoku közeg.

A közegből a falra konvekciós hőátadással, a fal egyik oldaláról a másikra vezetéssel, majd innen ismét konvekcióval adódik át a hő a másik közegnek.



3.14. ábra. A hőátbocsátást befolyásoló tényezők

### 3.5.2. A hőátbocsátás alapegyenlete

Az ábrából látható, hogy lényegében egy három réteges hővezetéssel van dolgunk. Figyelembe véve, hogy a fal egyik oldalán  $\kappa_1$ , a másik oldalán  $\kappa_2$  hőátadási tényező jellemzi a hőátadást, az ellenállások:

$$R_1 = \frac{1}{\kappa_1 A} ;$$

$$R_2 = \frac{s}{\lambda A} ;$$

$$R_3 = \frac{1}{\kappa_2 A}$$

Az összellenállás a három ellenállás összege, így a hőátbocsátás számítása:

$$Q = \frac{\Delta t}{R} = \frac{\Delta t}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\Delta t A}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\kappa_2}} .$$

Vezessük be a

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\kappa_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\kappa_2}}$$

összefüggést, ahol  $k$  az ún hőátbocsátási tényező, Ezzel a hőátbocsátás alapegyenlete tehát:

$$Q = k A \Delta t,$$

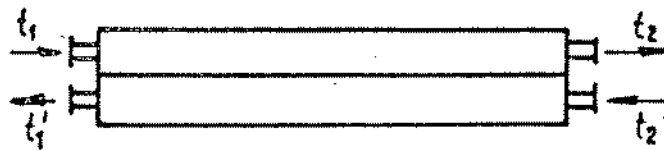
ahol  $Q$  az időegység alatt át bocsátott hőmennyiség,  $W$ ;  
 $k$  a hőátbocsátási tényező,  $W/(m^2 \cdot K)$ ;  $A$  a keresztmetszet felülete,  $m^2$ ;  $\Delta t$  a két közeg hőmérséklet-különbsége,  $K$ .



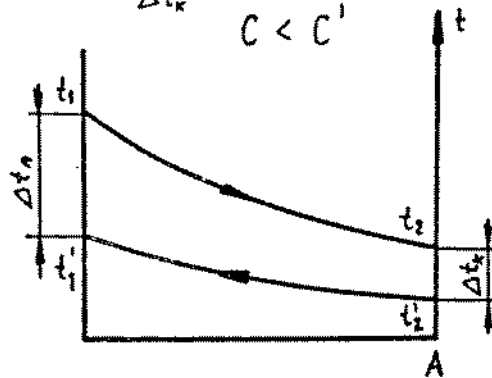
### 3.9.3. A közepes hőmérséklet-különbség számítása

A csököteges hőcserélőkben egyenáram mellett a közeget vezethetjük ellenáramban és keresztáramban is.

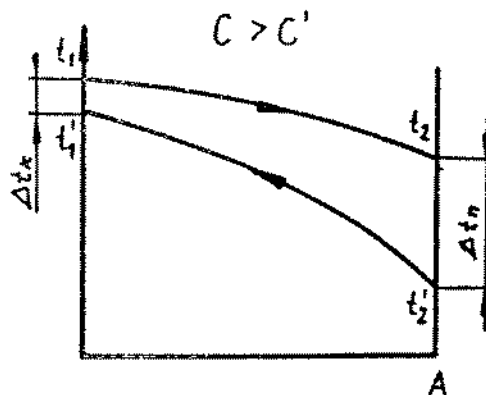
A 3.92. ábra ellenáramu közegvezetés mellett ábrázolja az érzékelhető hő átadását, abban az esetben, amikor a melegebb közeg hőkapacitása kisebb. A 3.93. ábrán pedig azt láthatjuk, amikor a hidegebb közeg hőkapacitása kisebb.



$$\Delta t_{lg} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}}$$



3.92. ábra. Ellenáramu hőcserélő hőmérsékletviszonyai



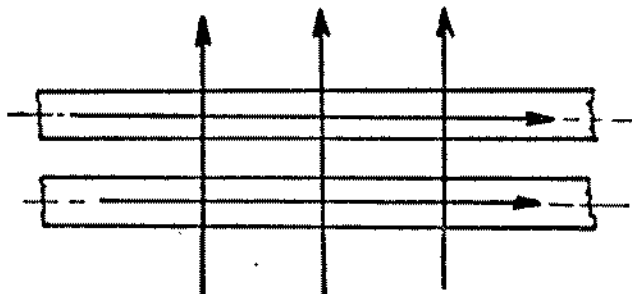
3.93. ábra. Ellenáramu hőcserélő hőmérsékletviszonyai /ha a hidegebb közeg kapacitása kisebb/

A 3.93. ábrán jól láthatjuk, hogy ellenáramu kapcsolással az egyik közeg kilépési hőmérsékletét a másik közeg belépési hőmérséklete fölé tudjuk növelni, ez egyenáramu közegvezetéssel nem lehetséges. A logaritmikus, közepes hőmérséklet-különbséget itt is az ismert képlet szerint számíthatjuk.

$$\Delta t_{lg} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}} \quad 2,3 \lg = L_h$$

A képletben  $\Delta t_{lg}$  a logaritmikus közepes hőmérséklet-különbség, °C;  $\Delta t_n$  a nagyobb hőmérséklet-különbség, °C;  $\Delta t_k$  a kisebb hőmérséklet-különbség, °C.

A 3.94. ábrán a keresztáramu közegvezetés látható.



3.94. ábra. Keresztáramu hőközlés

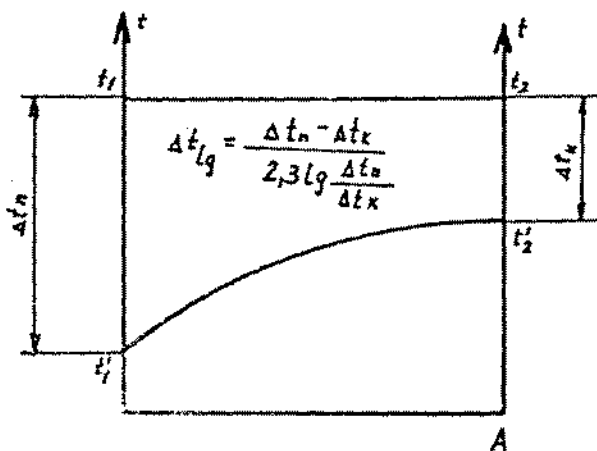
A kereszt- és a vegyesáramu hőcserélőknél a hőmérséklet-változások meglehetősen bonyolultak, így ábrázolásuktól eltekintünk. Meg kell jegyezni azonban, hogy az ilyen típusu hőcserélők számításához használt közepes hőmérséklet-különbséget a következő módon származtatjuk:

$$\Delta t_m = \varepsilon \Delta t_{log},$$

$\varepsilon$  értékét megfelelő diagramokból nyerhetjük /lásd melléklet/

A rejtett hő átadásakor két eset lehetséges. Az egyik amikor a hőcserében résztvevő közegek közül mindkettő változtatja halmazállapotát. Ez történik akkor, ha folyadékot forralunk gőzfűtéssel. Az ilyen hőközléskor mindkét közeg hőmérséklete állandó, a közegek nyomásával meghatározott érték.

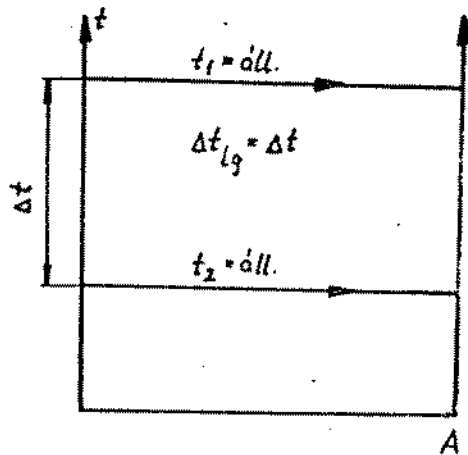
A rejtett hő átadásának másik esete, amikor csak az egyik közeg hőmérséklete állandó, vagyis csak az egyik szenved állapotváltozást. Ekkor az egyik közeg rejtett hőt, a másik érzékelhető hőt ad le, vagy vesz fel. Ilyen eset a hűtővízzel való kondenzálás.



3.95. ábra. Hőmérsékletviszonyok gőz kondenzáltatásánál

A 3.95. ábrán rejtett és az érzékelhető hő átadásával járó hőcsere hőmérsékletviszonyai láthatók. A hőcseréhez szükséges hőátadó felület nagyságának meghatározásához a logaritmikus közepes hőmérséklet-különbséget használjuk, melyet az előző képlet szerint határozzunk meg.

Mindkét közeg halmazállapot-változásával járó hőcsere hőmérsékletviszonyait láthatjuk a 3.96. ábrán. Megfigyelhetjük, hogy a hőmérséklet-különbség végig állandó, így a közepes hőmérséklet-különbség számítása felesleges.



3.96. ábra. Hőmérsékletviszonyok forrásban levő folyadék és lecsapódó gőz közötti hőközlés esetén

### Példa

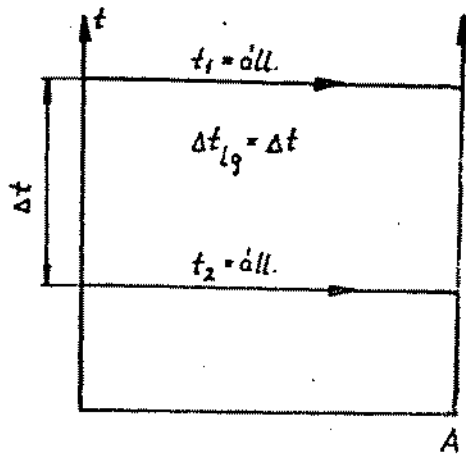
Egy hőcserélő készülékben 150-ről 100 °C-ra lehűlő olajjal 20-ról 80 °C-ra melegítünk fel vizet.

Állapítsuk meg a logaritmikus közepes hőmérséklet-különbséget egyenáram esetén. Mekkora lesz a logaritmikus közepes hőmérséklet-különbség értéke, ha változatlan hőmérséklet-értékek mellett ellenáramban vezetjük a két anyagot?

### Megoldás

Megrajzoljuk a hőcserélő fűtőfelülete mentén a hőmérséklet-változás diagramját /3.97. ábra/. Az ábrából leolvasva  $\Delta t_k$ , ill.  $\Delta t_n$  értékét és helyettesítve az előbbi összefüggésbe:

$$\Delta t_{lg} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}} = \frac{130 - 20}{2,3 \lg \frac{130}{20}} = 58,8 \text{ °C.}$$



3.96. ábra. Hőmérsékletviszonyok forrásban levő folyadék és lecsapódó gőz közötti hőközlés esetén

### Példa

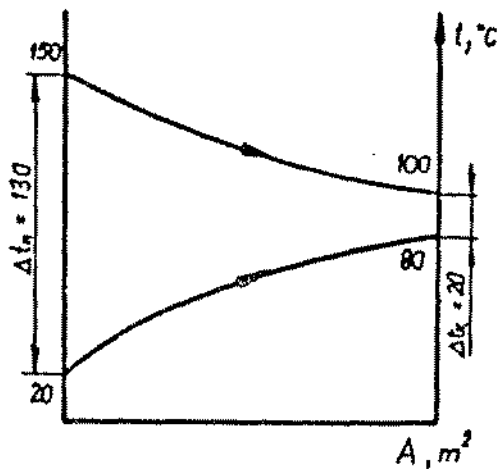
Egy hőcserélő készülékben 150-ről 100 °C-ra lehülő olajjal 20-ről 80 °C-ra melegítünk fel vizet.

Állapítsuk meg a logaritmikus közepes hőmérséklet-küliséget egyenáram esetén. Mekkora lesz a logaritmikus közep hőmérséklet-különbség értéke, ha változatlan hőmérséklet-tékek mellett ellenáramban vezetjük a két anyagot?

### Megoldás

Megrajzoljuk a hőcserélő fűtőfelülete mentén a hőmérséklet-változás diagramját /3.97. ábra/. Az ábrából leolvva  $\Delta t_k$ , ill.  $\Delta t_n$  értékét és helyettesítve az előbbi összefüggésbe:

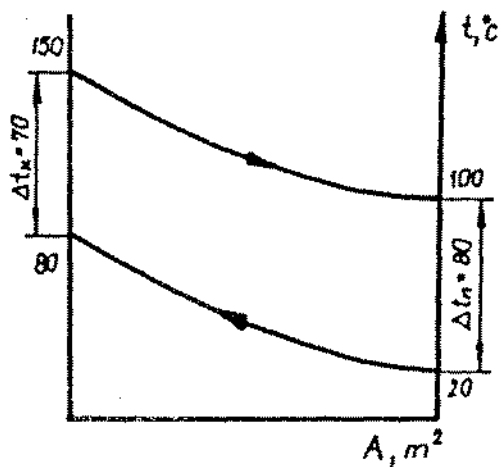
$$\Delta t_{lg} = \frac{\Delta t_n}{2,3 \lg \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}} = \frac{130 - 20}{2,3 \lg \frac{130}{20}} = 58,8 \text{ °C.}$$



3.97. ábra. Hőmérsékletváltozási diagram

Ellenáramnál /3.98. ábra/:

$$\Delta t_{lg} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}} = \frac{80 - 70}{2,3 \lg \frac{80}{70}} = 74,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$



3.98. ábra. Hőmérsékletváltozási diagram ellenáram esetén

Csökötleges kondenzátorban óránként 320 kg, 0,1 bar nyomású telített gőzt kondenzáltatnak hűtővízzel. A hűtővíz belépő hőmérséklete 15 °C, kilépő hőmérséklete 26 °C, fajhője 4,19 kJ/(kg·K).

Feladatok:

- Határozza meg a hűtéshez szükséges víz mennyiségét!
- Rajzolja meg a kondenzátorban a hőmérsékletváltozást! Számítsa ki a logaritmikus közepes hőmérsékletkülönbséget!
- Határozza meg a hőcserélőben a hőátviteli ( $k$ ) tényezőt és a hőcserélő felületét! A hőátadási tényező a gőzoldalon 12000 W/(m<sup>2</sup>·K); a vízoldalon 600 W/(m<sup>2</sup>·K); a csövek falvastagsága 4 mm, a csőanyag hővezetési tényezője 47 W/(m·K).

$$f \quad a) \quad q_{mg} \cdot (h_g - h_k) = q_{mv} \cdot c_v \cdot (t_{v2} - t_{v1})$$

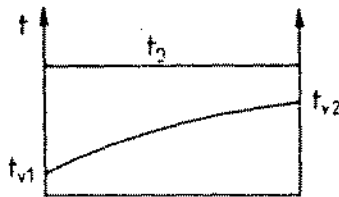
$$q_{mv} = q_{mg} \cdot \frac{h_g - h_k}{c_v \cdot (t_{v2} - t_{v1})}, \text{ ahol } h_g = 2584 \text{ kJ/kg}, h_k = 192 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{mv} = 320 \cdot \frac{2584 - 192}{4,19 \cdot (26 - 15)} = 16607 \text{ kg/h}$$

$$b) \quad \Delta t_n = t_g - t_{v1} = 46 - 15 = 31 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_k = t_g - t_{v2} = 46 - 26 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_k' = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{\ln \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}} = \frac{31 - 20}{\ln \frac{31}{20}} = 25,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$



$$Q = \frac{w \cdot c \cdot \Delta t}{3600}$$

$$c) \quad k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_v} + \frac{s}{\lambda}} = \frac{1}{\frac{1}{12000} + \frac{1}{600} + \frac{0,004}{47}} = 545 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$A = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_k} = \frac{219,6 \cdot 10^3}{545 \cdot 25,1} = 15,54 \text{ m}^2$$

## A hőátadási tényezők tájékoztató értékei

A hőátadás körülményei	$\alpha, \frac{W}{m^2 \cdot K}$
A levegő felmelegedése és lehülése	1 ... 60
Tulhevített gőz felmelegedése és lehülése	25 ... 120
Olajok felmelegedése és lehülése	60 ... 1700
Víz felmelegedése és lehülése	250 ... 12000
Víz forralása	600 ... 52000
Vizgők lecsapódása	4500 ... 150000
Organikus gőzök lecsapódása	600 ... 2500



A hőátbocsátási tényező tapasztalati tájékoztató értékei

Köpenyoldali közeg	Csőoldali	$k, \frac{W}{m^2 \cdot K}$
Víz	víz	1300 ... 2800
Gőz	tej	1000 ... 1200
Gőz	cukorlé	350 ... 850
Szerves oldószer	víz	250 ... 850
Gőz	aluminátlug	500 ... 800
Víz 0	aluminátlug	350 ... 550
Benzin	víz	350 ... 600
Kenőolaj	víz	100 ... 500
Benzin	gázolaj	290 ... 400
Gázolaj	gázolaj	250 ... 350
Fűtőolaj	gázolaj	200 ... 300
Könnyűbenzin	víz	250 ... 400
Könnyűbenzin	olaj	130 ... 200
Nehézolaj	nehézolaj	50 ... 250
Fűtőolaj	víz	80 ... 150
Fűtőolaj	olaj	50 ... 80
Szerves oldószer	szerves oldószer	100 ... 350

Szilárd anyagok hővezetési tényezője 0...100 °C hő-  
mérséklet esetén

Anyag	Sűrűség, kg/m <sup>3</sup>	Hővezetési tényező, W/(m·K)
Azbeszt	600	0,151
Bazalt, ömlesztett	3000	0,698
Beton	2300	1,28
Falazat hőszigetelő tégléből	600	0,116 ... 0,209
Falazat közönséges tégléből	1700	0,698 ... 0,814
Falazat tűzálló tégléből /800...1100 °C között/	1840	1,05
Fűrészpor	230	0,070 ... 0,093
Gyapju, nemezelt	300	0,047
Habanyag	30	0,047
Jég	920	2,33
Olajfesték	-	0,233
Parafatörmelék	160	0,047
PVC	1380	0,163
Salakgyapot	250	0,076
Textilbakelit	1380	0,244
Tőzeglemez	220	0,064
Üveg	2500	0,698 ... 0,814
Üveggyapot	200	0,035 ... 0,070
Vízgő, kazánkö	-	1,163 ... 3,49
Zománc	2350	0,872 ... 1,163
Fémek:		
Acél	7850	46,5
Acél, rozsdamentes	7900	17,5
Alumínium	2700	203,5
Bronz	8000	64,0
Ólom	11400	34,9
Öntöttvas	7500	46,5 ... 93,0
Sárgaréz	8500	93
Vörösréz	8800	384

### 3.6. Hőcserélő készülékek

A hőcserélők olyan berendezések, amelyek a hőenergiát valamely nagyobb hőmérsékletű /hőleadó/ közegtől egy másik, kisebb hőmérsékletű /hőfelvevő/ közeghez közvetítik.

A hőcserélőket a művelet célja szerint szokták elnevezni. Ilyen módon beszélhetünk:

hűtőkről, ahol a művelet célja valamilyen meleg közeg hűtése. A hűtőközeg lehet víz, levegő, sólé vagy alkalmas más folyadék;

fűtőkről, amelyekben levegőt vagy más gázt, esetleg folyadékot melegítünk rendszerint gőzzel, mint fűtőközeggel;

hőhasznosítókról, amikor hulladék hővel valamilyen közeget felmelegítünk, vagy forralunk;

forralókról, amelyekben rendszerint vízgőzzel forralunk fel más közeget;

bepárlókról, ahol egymástól nagyon eltérő forráspontu alkotók oldataiból az alacsonyabb forráspontu alkotót /rendszerint vízgőzt/ elgőzölögtetjük, többnyire fűtőgőzzel;

elpárologtatókról, ahol hűtő körfolyamatokban a hőelvonás történik;

visszaforralókról, ahol a desztillációs oszlopban lefolyó folyadékfázist /a reflux/ részben gőzfázissá alakítják fűtőközeg /rendszerint vízgőz/ által leadott hővel;

kondenzátorokról, amelyekben gőzt teljesen vagy részlegesen folyadék fázisba hoznak a rejtett hő elvonásával.

Az előbbi célokra alkalmazott készülékek között több-kevesebb hasonlóság és a funkciótól függő különbség van. Gyártástechnológiai és műveleti számítási szempontból például könnyen előfordulhat, hogy semmi különbség nincs folyadék-folyadék hűtő és egy ugyanolyan közegpárral üzemeltetett hőhasznosító berendezés között.

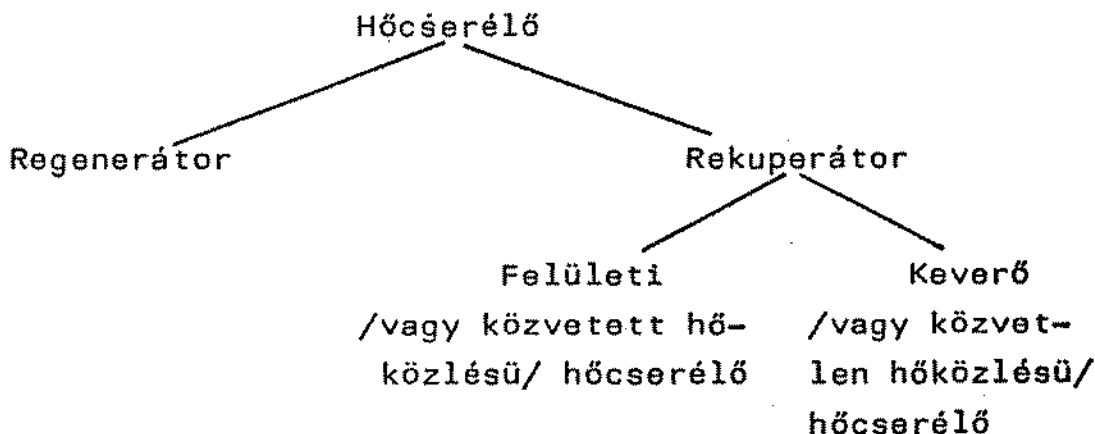
Műveleti számítási szempontból inkább az lényeges, hogy a műveletben részt vevő közegek valamelyikénél történik-e

a készüléken való áthaladás közben fázisváltás, forrás vagy kondenzáció.

### 3.6.1. A hőcserélők csoportosítása

A hőcserélő készülékeket több szempont szerint csoportosíthatjuk.

A legáltalánosabb csoportosítás a következő:



#### Regeneratív hőcserélők

A regeneratív hőcserélők általában szakaszos működésűek, mert a hőhordozók felváltva áramlanak a hőátadó felület mellett. Elsősorban gáz-gáz hőcserélőként alkalmazzák őket, mert gáz hőhordozókra jobb hatásfokúak, mint a rekuperatív hőcserélők.

Jellegzetes típusuk a 3.15. ábrán látható forgó regenerátor, amit Ljungström-féle léghevítőnek is neveznek. Fő alkalmazási területe a kazánok égési levegőjének előmelegítése. A betét folyamatosan, kis sebességgel forog, miközben a cellák egyik részét a füstgáz melegíti, a cellák másik oldala pedig a friss levegőt melegíti fel. Az egyetlen technikai problémát a forgó betét tömitése okozza.

### 3.6. Hőcserélő készülékek

A hőcserélők olyan berendezések, amelyek a hőenergiát valamely nagyobb hőmérsékletű /hőleadó/ közegtől egy másik, kisebb hőmérsékletű /hőfelvevő/ közeghez közvetítik.

A hőcserélőket a művelet célja szerint szokták elnevezni. Ilyen módon beszélhetünk:

hűtőkről, ahol a művelet célja valamilyen meleg közeg hűtése. A hűtőközeg lehet víz, levegő, sólé vagy alkalmas más folyadék;

fűtőkről, amelyekben levegőt vagy más gázt, esetleg folyadékot melegítünk rendszerint gőzzel, mint fűtőközeggel;

hőhasznosítókról, amikor hulladék hővel valamilyen közeget felmelegítünk, vagy forralunk;

forralókról, amelyekben rendszerint vízgőzzel forralunk fel más közeget;

bepárlókról, ahol egymástól nagyon eltérő forráspontu alkotók oldataiból az alacsonyabb forráspontu alkotót /rendszerint vízgőzt/ elgőzölögtetjük, többnyire fűtőgőzzel;

elpárologtatókról, ahol hűtő körfolyamatokban a hőelvonás történik;

visszaforralókról, ahol a desztillációs oszlopban lefolyó folyadékfázist /a reflux/ részben gőzfázissá alakítják fűtőközeg /rendszerint vízgőz/ által leadott hővel;

kondenzátorokról, amelyekben gőzt teljesen vagy részlegesen folyadék fázisba hoznak a rejtett hő elvonásával.

Az előbbi célokra alkalmazott készülékek között több-kevesebb hasonlóság és a funkciótól függő különbség van. Gyártástechnológiai és műveleti számítási szempontból például könnyen előfordulhat, hogy semmi különbség nincs folyadék-folyadék hűtő és egy ugyanolyan közegpárral üzemeltetett hőhasznosító berendezés között.

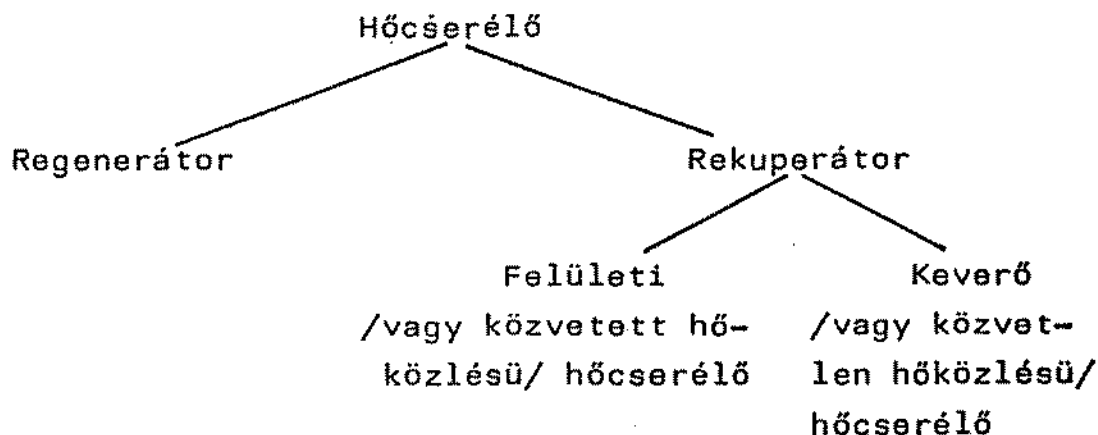
Műveleti számítási szempontból inkább az lényeges, hogy a műveletben részt vevő közegek valamelyikénél történik-e

a készüléken való áthaladás közben fázisváltás, forrás vagy kondenzáció.

### 3.6.1. A hőcserélők csoportosítása

A hőcserélő készülékeket több szempont szerint csoportosíthatjuk.

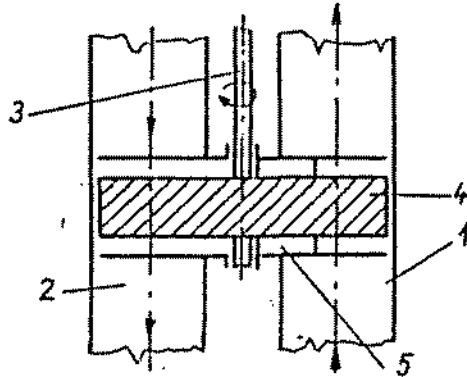
A legáltalánosabb csoportosítás a következő:



#### Regeneratív hőcserélők

A regeneratív hőcserélők általában szakaszos működésűek, mert a hőhordozók felváltva áramlanak a hőátadó felület mellett. Elsősorban gáz-gáz hőcserélőként alkalmazzák őket, mert gáz hőhordozókra jobb hatásfokúak, mint a rekuperatív hőcserélők.

Jellegzetes típusuk a 3.15. ábrán látható forgó regenerátor, amit Ljungström-féle léghevítőnek is neveznek. Fő alkalmazási területe a kazánok égési levegőjének előmelegítése. A betét folyamatosan, kis sebességgel forog, miközben a cellák egyik részét a füstgáz melegíti, a cellák másik oldala pedig a friss levegőt melegíti fel. Az egyetlen technikai problémát a forgó betét tömitése okozza.



3.15. ábra. Ljungström léghevitő vázlata  
 1 levegővezeték, 2 füstgázvezeték, 3 tengely, 4 forgó  
 betét, 5 válaszfal

### A rekuperatív hőcserélők

A rekuperatív hőcserélők olyan készülékek, amelyekben a hőcserében résztvevő közegek mindegyike egyidejűleg áramlik a készülékben, és a hőleadás a hőfelvétellel egyidőben megy végbe.

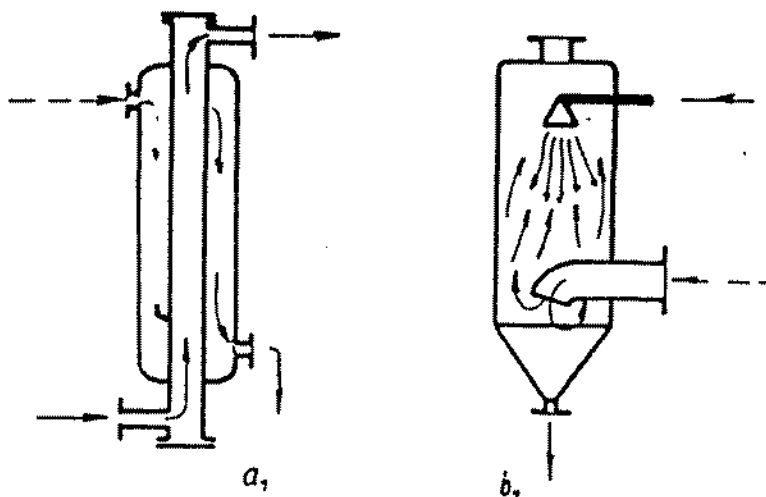
A rekuperatív hőcserélők két fő csoportra oszthatók:

- a felületi és
- a keverő hőcserélőkre.

A felületi hőcserélőben áramló felmelegedő, ill. lehűlő közegek egymással nem keveredhetnek, egymástól szilárd fallal /fém, kerámia/ vannak elválasztva. Ez a gyakoribb típus. A hőközlés, ill. a hőelvonás a válaszfalon keresztül történik.

A keverő hőcserélőben a felmelegedő, ill. a lehűlő közegek egymással elkeverednek, és a hőcsere közvetlen érint-

kezés útján megy végbe. A két típus elvi vázlatát a 3.16. ábra tünteti fel. A 3.16.a/ ábra a felületi hőcserélőt, a 3.16.b/ ábrarész keverő hőcserélőt ábrázol.



3.16. ábra. Hőcserélők

a/ felületi hőcserélő, b/ keverő hőcserélő

### 3.6.2. Keverő hőcserélők

Keverő hőcserélők azok a készülékek, amelyekben a két közeg /a melegítő és a melegítendő/ közvetlenül érintkezik egymással.

Keverő hőcserélők akkor alkalmazhatók, ha a hőcserében résztvevő közegek összekeveredése nem káros, a továbbiakban az összekeveredett közegek könnyen elválaszthatók egymástól.

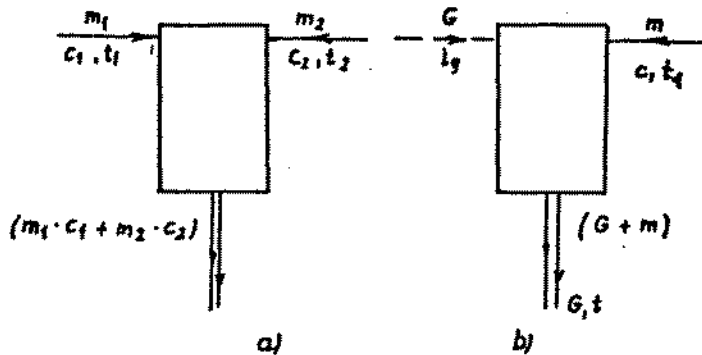
#### Keverő hőcserélők hőmérlege

A keverő hőcserélők általános működését a 3.17. ábrán tanulmányozhatjuk. A készülékbe két különböző hőmérsékletű közeget vezetünk be. A bevezetett közegek egymással közvetlenül érintkeznek, összekeverednek és közös hőmérsékleten lépnek ki a készülékből.



A készülékek hőtani számításait a hőmérleg felírása alapján végezhetjük el. A hőmérleg az energiamegmaradás tételéből következik:

a hőmérleg azt fejezi ki, hogy a készülékbe érkező és onnan távozó hőmennyiség megegyezik.



3.17. ábra. A keverő hőcserélők működése  
a/ folyadék-folyadék közegek esetén, b/ gőz-folyadék közeg esetén

E meghatározás természetesen úgy igaz, ha a készülékben nincs hőfejlődés vagy hőelnyelődés /pl. vegyi reakcióból adódóan/.

Abban az esetben, ha a készülékben a hőközlés során nem történik halmazállapot-változás, a hőmérleg így írható fel:

$$m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 = (m_1 c_1 + m_2 c_2) t,$$

ahol  $m_1$  az egyik közeg mennyisége, kg/s;  $m_2$  a másik közeg mennyisége, kg/s;  $c_1$ , ill.  $c_2$  a két közeg fajhője, kJ/(kg·°C);  $t_1$ , ill.  $t_2$  a két közeg hőmérséklete, °C;  $t$  a közös hőmérséklet, °C.

Az egyenletet csak akkor tudjuk megoldani, ha benne csak egy ismeretlen szerepel, de ez az egyenlet bármely tagja lehet.

Ha a hőcserét halmazállapot-változás is kíséri, akkor a hőmérleg felírása változik.

A halmazállapot-változással kísért hőcsere leggyakoribb esete a vizgőz vízzel való kondenzálása. Ennek a folyamatnak a vázlatát a 3.17.b/ ábrán láthatjuk.

A hőmérleg így írható fel:

$$G i_g + m i_m = G + m / c t,$$

ahol  $G$  a gőz tömegáram, kg/s;  $i_g$  a gőz fajlagos hőtartalma, kJ/kg;  $m$  a víz tömegárama, kg/s;  $i_m$  a víz fajlagos hőtartalma, kJ/kg;  $c$  a víz fajhője, kJ/(kg·°C);  $t$  a keveredés utáni közös hőmérséklet, °C.

A fenti egyenletben bármely tag szerepelhet ismeretlenként, de rendszerint a kondenzáláshoz szükséges víz mennyiségét vagy a kondenzálandó gőzmennyiséget keressük. Az utóbbira akkor van szükségünk, ha a vizet közvetlenül gőzbevezetéssel melegítjük.

A keverő hőcserélők területéhez tartoznak a gáz-folyadék hőcserét megvalósító készülékek is. Ezeknek működését bonyolítja a folyadéknak a gázba való párolgása, sőt hűtés-kor ezt a jelenséget hasznosítjuk.

### Példa

Óránként 5 m<sup>3</sup> toluolt 20-ról 80 °C-ra melegítünk. A melegítéshez 90 °C-os vizet használunk, ezt keverő hőcserélőben érintkeztetjük a toluollal.

Mennyi meleg víz szükséges óránként, ha a toluol sűrűsége 885 kg/m<sup>3</sup> 20 °C-on, közepes fajhője pedig 1,84 kJ/kg·°C ?

### Megoldás

Gyűjtsük össze az adatokat:

$$q = 5 \text{ m}^3/\text{h}, = 0,0014 \text{ m}^3/\text{s}; \quad \rho = 885 \text{ kg/m}^3; \quad t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$c_1 = 1,84 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C}); \quad t_2 = 90 \text{ }^\circ\text{C}; \quad c_2 = 4,19 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C});$$

$$t = 80 \text{ }^\circ\text{C}.$$

A toluol főmegárama:

$$m_1 = q \rho = 0,0014 \cdot 885 = 1,23 \frac{\text{kg}}{\text{s}},$$

a hőmérleg-egyenletet  $m_2$ -re rendezve:

$$m_2 = \frac{m_1 c_1 / t - t_1 /}{c_2 / t_2 - t /} = \frac{1,23 \cdot 1,84 / 80 - 20 /}{4,19 / 90 - 80 /} = 3,24 \frac{\text{kg}}{\text{s}};$$

$$m_2 = 11\,660 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \approx 11,7 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}.$$

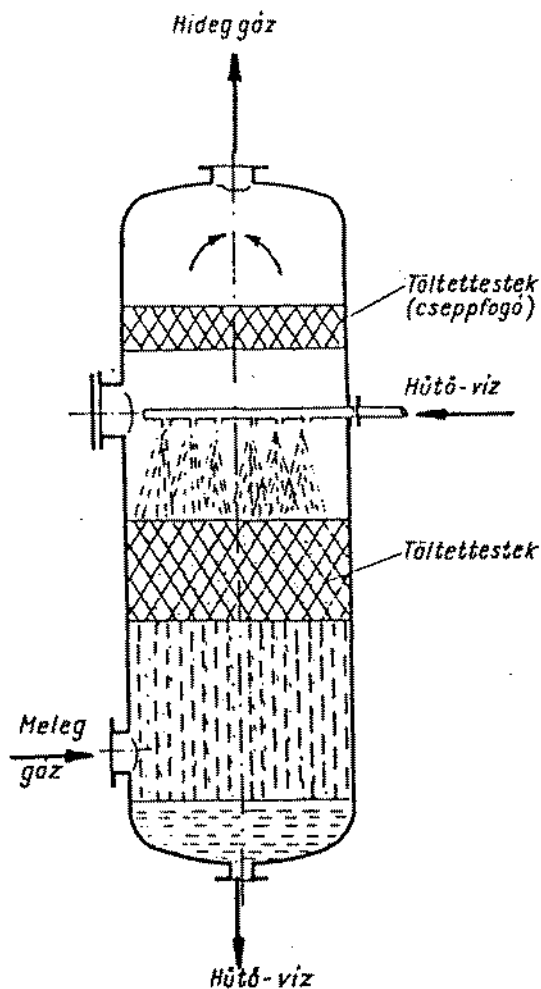
### Gázhűtők

A gázhűtőket sok területen alkalmazzák. Használatosak klimaberendezések elemeként, ahol a cirkuláltatott levegő hőmérsékletének és nedvességtartalmának beállítása mellett kimossa a levegőben lévő lebegő szennyeződések és a szaganyagokat. Felhasználhatók gázok mosására zárt, nyomás alatti üres, buboréksapkás vagy töltelékes toronyszerű kivitelben. Egy gázhűtő szerkezeti kialakítása a 3.18. ábrán látható.

A berendezésben a lefelé csurgó vízpermet hűti a fölfelé áramló gázokat. A hűtés a hőmérséklet-különbség és az elpárolgó víz hőelvonásának hatására jön létre. Az érintkezési felület növelésére rácsok és keramikus töltettestek szolgálnak.

### Keverőkondenzátorok

A keverőkondenzátorban vizgőzt csapatunk le hűtővízzel. Víztakarékoság végett általában csak annyi vizet keverünk a gőzhöz, amely elegendő rejtett hőjének elvonásához. Ez azt jelenti, hogy a keverőkondenzátorból a gőz hőmérsékletével egyező, azaz forrásponti hőmérsékletű víz távozik.

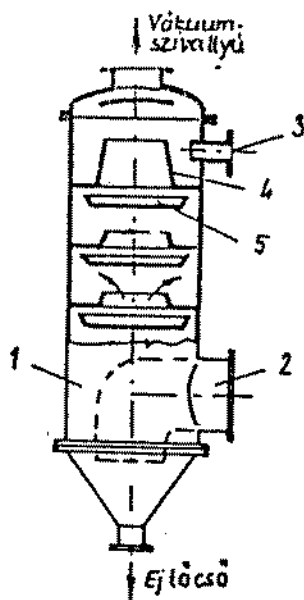


3.18. ábra. Gázhűtő

A keverőkondenzátorban érintkező vizet és gőzt vezet-  
hetjük egyenáramban és ellenáramban. Az ellenáramu vezetés  
gyakoribb, mert jobb keveredést biztosít.

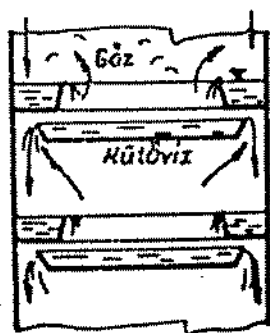
Ellenáramu keverőkondenzátort láthatunk a 3.19. ábrán.  
A készülék köpenyéhez csatlakozó 2 csonkon vezetjük be a  
kondenzálandó gőzt, a hűtővizet a 3 csonkon lép be. A gőz és  
a hűtővizet bensőséges keveredését több tálca biztosítja.  
Mint az ábrából is láthatjuk, egy tálca kétfajta elemből

áll. A felső elem kúpos kialakítású, gátként működik a hűtőviz elosztásához. A tálca alsó eleme összegyűjti a lefolyó hűtővizet, majd a tálca peremén átbukó viz a következő tálcára folyik. A felfelé áramló gőz kénytelen áttörni mind az alsó mind a felső tálcáról lefolyó vízfüggönyön, közben a vízzel érintkezve lecsapódik. A 3.20. ábrán a gőz és a víz útját láthatjuk két szomszédos tálcán.



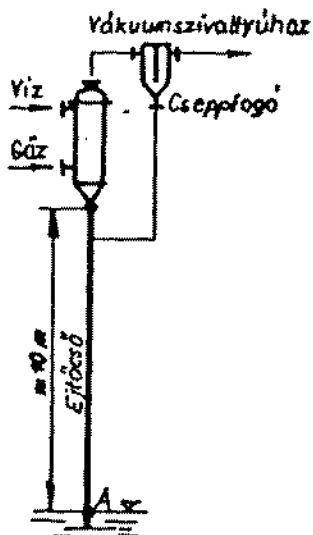
3.19. ábra. Ellenáramú keverőkondenzátor

1 készülékköpeny, 2 gőzbevezető csomk, 3 hűtővizbevezető csomk, 4 gát, 5 folyadékgyűjtő tálca



3.20. ábra. Az ellenáramú keverőkondenzátor működése

Külön gondot okoz a keverőkondenzátorban keletkező kondenzviz-hűtőviz keverék eltávolítása. A keverőkondenzátor rendszerint a légkörinél kisebb nyomáson üzemel, így a kondenzviz-hűtőviz keverék nem távozik önmagától a készülékből. A viz eltávolítására a keverőkondenzátort ejtőcsővel szereljük fel.



3.21. ábra. A barometrikus keverőkondenzátor kapcsolása

### A barometrikus ejtőcső

Az ejtőcső a Torricelli-féle csőhöz hasonlóan működik, és automatikusan távolítja el a hűtőviz-kondenzviz-elegyet a keverőkondenzátorból. A 3.21. ábrán látható kapcsolási rajzon az A-val jelzett pontban uralkodó külső nyomással az ejtőcsőben levő vizoszlop és a kondenzátor belső nyomása tart egyensúlyt. Már korábban tanultuk, hogy a légköri nyomást kb. 10 m hosszú vizoszlop nyomásával lehet kiegyensúlyozni. A kondenzátor belső nyomása hozzáadódik a vizoszlop nyomásához, így végeredményben nem szükséges 10 m-es vizoszlop, és nincs is, mert a vizoszlop hossza önmagától

beáll arra az értékre, mely a légköri nyomással egyensúlyt tart.

Miután az ejtőcsőben áramlás is van, és ez nem veszteségmentes, így a vizoszlop hossza valamivel nagyobb, mint ez a külső nyomásból következne.

A 3.21. ábrából láthatjuk, hogy a keverőkondenzátorhoz rendszerint még egy cseppfogót is kapcsolunk, és az egész berendezés légritkítását vákuumszivattyúval biztosítjuk.

A levegőt a kondenzátor leghidegebb helyéről, a tetejéről célszerű elszívni.

A cseppfogó aljáról a folyadékcseppek levezető csövét vagy a barometrikus ejtőcsőbe ágaztathatjuk, vagy pedig közvetlenül az ejtővizardályba vezethetjük. Az első esetben a becsatlakozás az alsó vízszinttől kb. 7...9 m szokott lenni

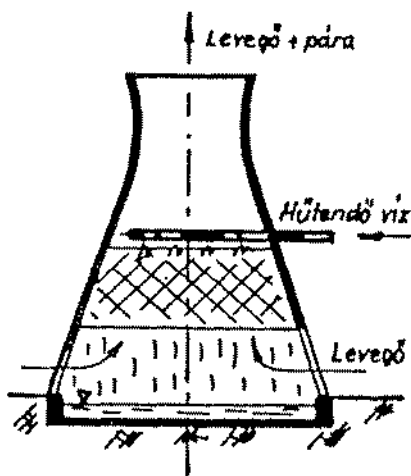
A kondenzátorállomás egyik leglényegesebb segédberendezése a légszivattyú vagy a vákuumszivattyú. Erre a célra száraz vagy nedves légszivattyút használnak. A száraz légszivattyúk közül a dugattyús, a nedvesek közül a vizgyűrűs és a sugárszivattyúk a legismertebbek.

Fontos megjegyezni, hogy a keverőkondenzátorban levő ritkítást nem a vákuumszivattyúnak köszönhetjük. A ritkítás azért áll elő, mert a gőzt kondenzáljuk, és a kondenzáció térfogatcsökkenéssel jár. A vákuumszivattyú csak arra való, hogy a nem kondenzálódó gázokat, esetleg gőzöket elszívjuk.

### Hűtőtorony

Gáz-folyadék hőcserén alapszik a 3.22. ábrán látható hűtőtorony működése. A hűtőtorony alul kiszélesedő, rendszerint betonból készült építmény, amelyben nagy felületű rácsozat van elhelyezve. A rácsozatra permetezett hűtendő víz lecsurog, miközben érintkezik az alulról áramló hideg levegővel. A hideg levegő hűtőhatást fejt ki, de a hűtés-

ben lényeges szerepet játszik a víz párolgása is. Az elpárolgó víz ui. önmaga lehűtésével fedezi párolgáshőjét.



3.22. ábra. Hűtőtorny

Az előbbiből következik, hogy különösen nyáron, jelentős vízvesztéssel kell számolni. A hűtőtornyok régebben igen elterjedtek voltak, különösen hőerőművekben. Manapság, szinte az egész világon jelentkező vízhiány más, viltakarékosabb megoldásokat eredményezett.

### 3.6.3. Felületi hőcserélők

A legtöbb hőközlési folyamatnál nem engedhetjük meg a hőcserében résztvevő közegek összekeverését, így felületi hőcserélőt kell alkalmaznunk.

Felületi hőcserélőknél a két közeg egy elválasztó felület mentén érintkezik egymással.

Miután az egyes hőcseréket számtalan, egymástól különböző körülmények között kell lebonyolítanunk, a hőcserélők szerkezeti kialakítása igen változatos. Van azonban egy közös vonás, éspedig az, hogy adott szerkezetnél igyekszünk a maximális hőátadó felületet biztosítani.



## A felületi hőcserélők méretezése

Felületi hőcserélőknél a hőátzármaztatás módja a hőátbocsátás, így az ott megismert összefüggésekkel számolhatunk.

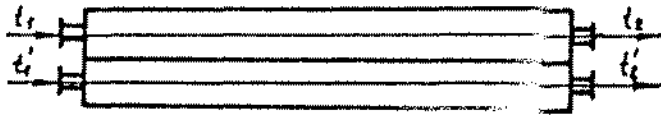
A hőcserélő méretezésekor a számítás végcélja a hőátadó felület megállapítása.

A felület:

$$A = \frac{Q}{k \Delta t},$$

ahol  $A$  a hőcserélő hőátadó felülete;  $Q$  az időegység alatt átbocsátott hőmennyiség;  $k$  a hőátbocsátási tényező;  $\Delta t$  a hőmérséklet-különbség.

A  $k$  hőátbocsátási tényező hőmérséklet-különbség:



Ábra. Felületi hőcserélő hőmérsékletviszonyai

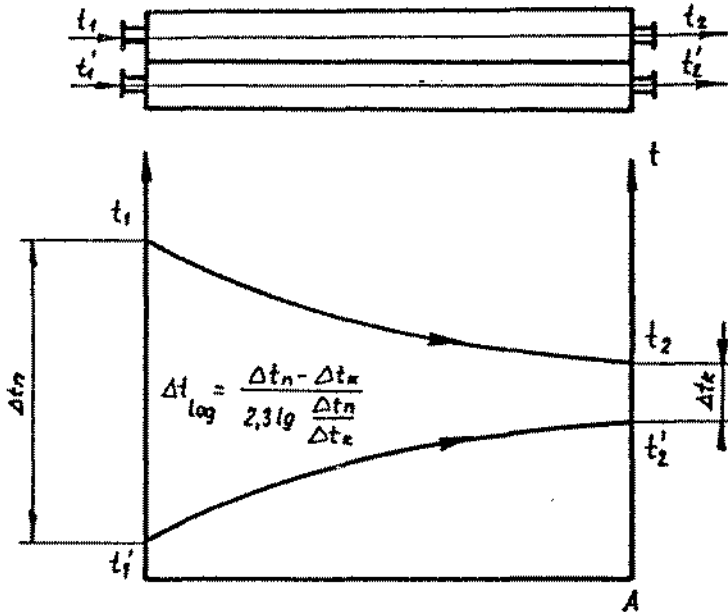
Számításunkhoz a  $\Delta t$  hőátbocsátási hőmérséklet-különbség a fal két oldalán a hőleadó,  $t_1$  és  $t'_1$  hőmérséklet-különbsége. Vizsgáljuk meg az ábrát. Miközben a két közeg átáramlik a hőcserélőn a melegebb közeg lehül  $t_1$  hőmérsékletéről  $t_2$  hőmérsékletre, a hidegebb közeg pedig felmelegszik  $t'_1$  hőmérsékletéről  $t'_2$  hőmérsékletre. A közegek találkozásánál a hőmérséklet-különbség:

$$\Delta t_1 = t_1 - t'_1.$$

A hőcserélő végén a hőmérséklet-különbség:

$$\Delta t_2 = t_2 - t'_2.$$

A hőmérséklet-változás a hőcserélőben a fűtőfelület mentén exponenciálisan változik /3.24. ábra/, ez a számításoknál sok nehézséget okoz. A számításoknál a  $\Delta t$  nyilván a hőmérséklet-változások átlagértéke.



3.24. ábra. A logaritmusos közepes hőmérséklet-különbség megállapítása

Az első próbálkozásra kézenfekvő volna a számtani középértékkel számolni. Ez azonban nem vezetne helyes eredményre, mert mint az ábrából is láthatjuk, a hőmérséklet nem lineárisan változik.

A bizonyítás mellőzésével fogadjuk el, helyes eredményt kapunk a logaritmusos, közepes hőmérséklet-különbség alkalmazásakor.

A logaritmusos, közepes hőmérséklet-különbséget a következőképpen számítjuk:

$$\Delta t_{\lg} = \frac{\Delta t_n - \Delta t_k}{2,3 \lg \frac{\Delta t_n}{\Delta t_k}}$$

A képletben  $\Delta t_{lg}$  a logaritmikus közepes hőmérséklet-különbség, °C;  $\Delta t_n$  a nagyobb hőmérséklet-különbség, °C;  $\Delta t_k$  a kisebb hőmérséklet-különbség, °C.

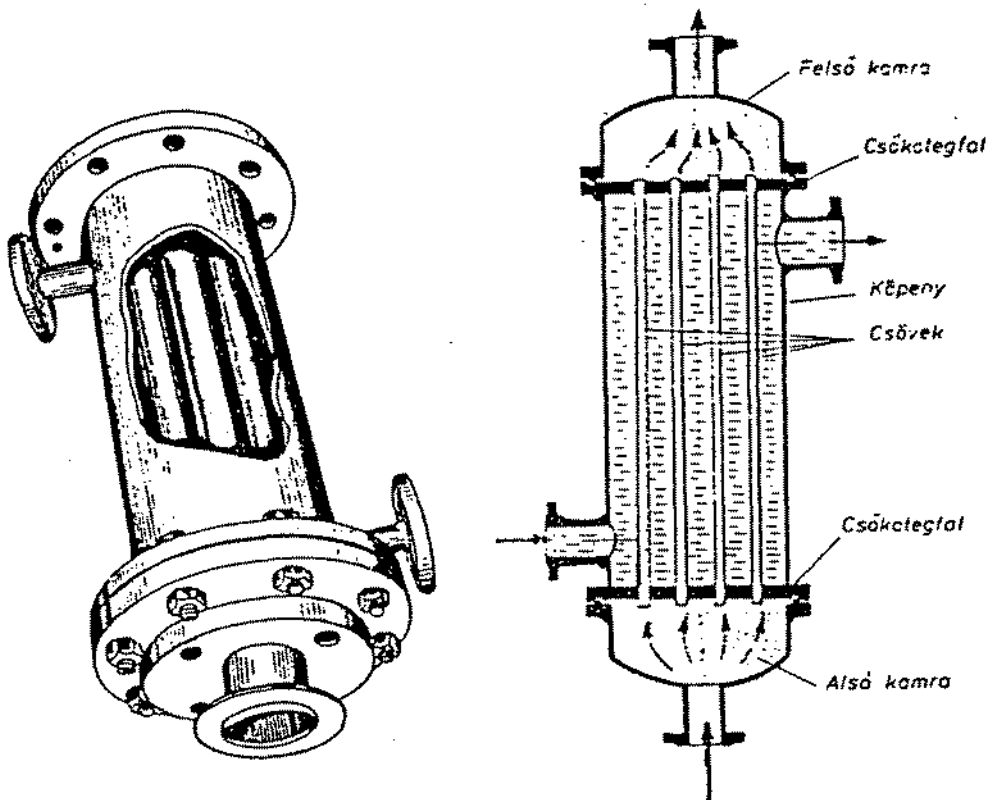
A közegek vezetése történhet ellenáramban és keresztáramban. Ezekkel a megoldásokkal a mellékletben találkozunk.

### Csőköteges hőcserélők

Ipari felhasználásukat tekintve a legfontosabb készülékek a csőköteges hőcserélők.

A merev csőköteges hőcserélők

A csőköteges hőcserélők legegyszerűbb típusa a merev csőköteges hőcserélő /3.25. ábra/.



3.25. ábra. Csőköteges hőcserélő

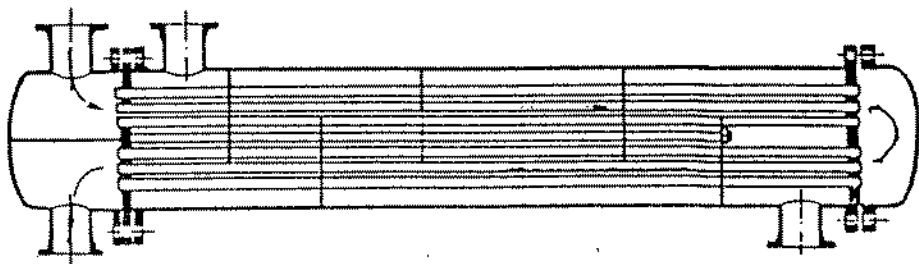
A készülék két csőköteg fal között elhelyezkedő csőkötegből és az azt körülvevő köpenyből áll. A csőkötegfalak hegesztett kötással csatlakoznak a köpenyhez. A csőkötegfalat mindkét oldalon fedelek /kamrák/ zárják le, amelyeket csavarokkal rögzítenek a csőkötegfalhoz.

Az egyik közeg a csövek belsejében /a csőtérben/, a másik közeg pedig a csövek közötti térben /a köpenytérben/ áramlik. A közegeket a leggyakrabban ellenáramban vezetik át a készüléken.

A hőcserélők lehetnek egy- és többjárataúak. A 3.25. ábrán látható hőcserélő egyjárataú. Ebben az esetben kis közegmennyiség esetén a csövekben kis áramlási sebesség alakul ki, ami rossz hőátadást eredményez. Adott hőátadó felület esetén ez a csövek átmérőinek csökkentésével javítható, ami a csövek hosszának egyidejű növelésével jár. A kis átmérőjű, nagyon hosszú készülékek alkalmazása azonban nem célszerű, mivel szerelésük nehézkes, helyszükségletük nagy, előállításukhoz több anyag szükséges. Ezért jobb megoldás az áramlási sebesség növelésére a többjárataú hőcserélő.

A többjárataú hőcserélő alapjaiban megegyezik az egyjárataú hőcserélővel. A különbség az, hogy a fedelek belső tere gátlemezekkel kamrákra van osztva, ezáltal a csövek is járatokra oszlanak. Az egyes járatokon a közeg egymás után halad végig. A csöveket úgy kell kiosztani, hogy az egyes járatokba azonos számú cső kerüljön.

A 3.26. ábra egy kétjárataú hőcserélőt ábrázol.



3.26. ábra. Kétjárataú csőköteges hőcserélő

A köpenytérben az áramló közegek sebessége a terelőlemezekkel növelhető. A vízszintes elrendezésű hőcserélőkben a terelőlemezek egyúttal a csököteg közbelső alátámasztására is valók.

Az átáramlási keresztmetszet csökkenése következtében a többjáratu hőcserélő csöveiben az áramlási sebesség a járatok számával egyenesen arányosan nő meg. Négyjáratu hőcserélő csöveiben pl. az áramlási sebesség - egyébként azonos feltételek esetén - négyszer nagyobb, mint az egyjáratu hőcserélőében. A többjáratu hőcserélőkben azonban a nagyobb áramlási sebesség a hidraulikai ellenállás növekedéséhez vezet. Az ilyen készülékek szerkezete bonyolultabb is. A többjáratu hőcserélőben általában keresztáramú hőcsere megy végbe, amikor a közepes hőmérséklet-különbség lényegesen kisebb, mint ellenáram esetén.

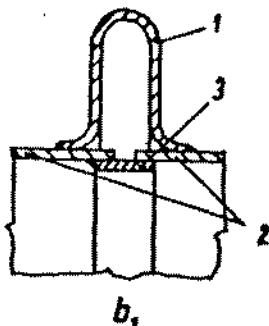
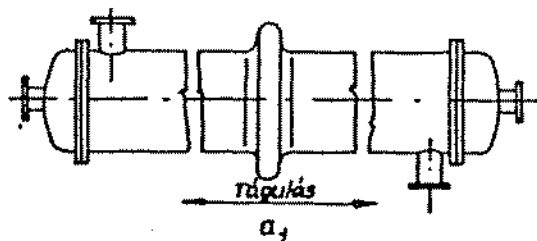
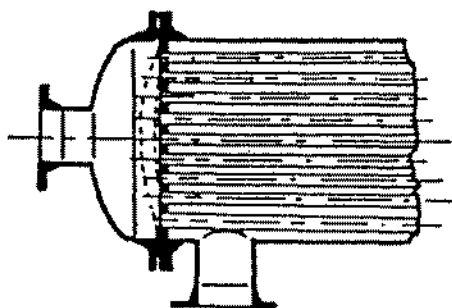
A hőcserélőkben a folyadékban /vagy gőzben/ levő levegő vagy nem kondenzálódó gázok kiválása és felgyülemlése lényegesen ronthatja a hőátadási tényezőt. A hőcserélők köpenyének felső részébe ezért a gázok eltávolítására légtelenítő csapot építenek be.

Az egy- és a többjáratu hőcserélők egyaránt lehetnek vízszintes és függőleges elrendezésűek. A függőleges hőcserélők üzemeltetése egyszerűbb, helyszükségletük kisebb. Álló elrendezés esetében a melegítendő közeget alulról felfelé a fűtőközeget pedig ellenkező irányban áramoltatják, mert így a hőmérséklet-különbség hatására kialakuló szabad áramlás iránya egybeesik a közeg áramlási irányával.

### A hőtágulást kompenzáló megoldások

Ha a merev csököteges hőcserélőkben a fal és a köpeny közötti hőmérséklet-különbség jelentős /100...120 °C, vagy annál nagyobb/, akkor a csövek és a köpeny nem azonos mér-

tékben nyúlnak meg. Ez jelentős feszültségeket okoz, elszakíthatja a varratokat, ill. másfajta tömitési hibát okozhat, ami a hőcserélőben áramló közegek meg nem engedett keveredését idézi elő, ill. ártalmára van a készüléknek. /3.27. ábra/. Ezért, ha a csövek és a köpeny közötti hőmérséklet-különbség nagy, vagy a csövek túlságosan hosszúak, a hőtágulást kompenzáló csőköteges hőcserélőket alkalmaznak. Ezeknél a megoldásoknál a csövek a köpenyhez képest bizonyos mértékben elmozdulhatnak.

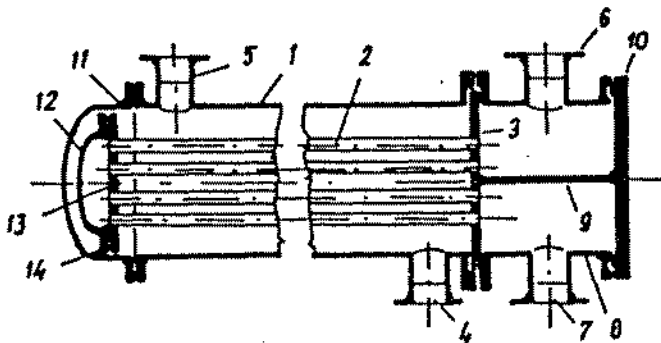


3.27. ábra. Lencsekompenzátoros hőcserélő  
a/ a hőcserélő kialakítása, b/ a lencsekompenzátor szerkezeti kialakítása  
1 kompenzátor, 2 köpenylemez, 3 béléscső

Ha a hőmérséklet-különbség  $180^{\circ}\text{C}$ -ot nem haladja meg, vagy ha a csököteg és a külső köpeny kétféle hőtágulási anyagból készül, lencsekompenzátort lehet beépíteni /3.27. ábra/. A lencsekompenzátor nagyobb nyomásoknál nem alkalmazható.

Ha a köpenytérben az üzemnyomás 3,5...4 bar-nál nagyobb, akkor más szerkezeti megoldást kell alkalmazni.

$180^{\circ}\text{C}$  hőmérséklet-különbség felett, vagy kényes, gyúlékony, mérgező közegnél és általában mindenféle közegnél 10 bar nyomáson felül az úszófejes megoldást használjuk. Ennél a forduló kamra olyan megoldású, hogy a csövek tágulása esetén a csököteggel és a fordulókamra együttesen szabadon elmozoghat a külső álló fejben /3.28. ábra/.

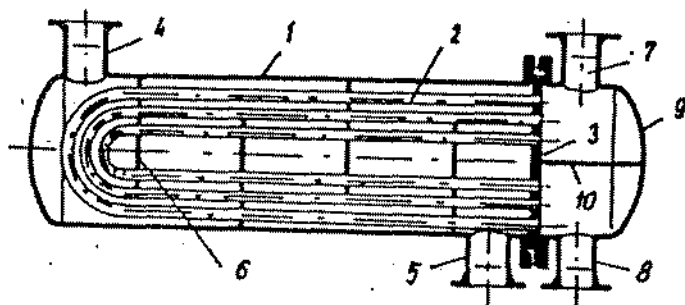


3.28. ábra. Úszófejes hőcserélő

1 köpeny, 2 csövek, 3 csököteggel, 4, 5 köpenyoldali csonkok, 6, 7 csőoldali csonkok, 8 fej, 9 járatosztó lemez, 10 fejfedél, 11 köpenyfedél, 12 uszófejfedél, 13 uszó csököteggel, 14 uszó fejkarima

Az uszófejet központosan kell elhelyezni, hogy a súly ne terhelje a csöveket. A külső fej beszerelése után az uszófej fordulókamrája is leszerelhető, és a csövek mind kívülről, mind belülről tisztíthatók.

A hajtűcsöves /U csöves/ hőcserélőben maguk a csövek egyenlítik ki a hőtágulást /3.29. ábra/.



3.29. ábra. Hajtűcsöves hőcserélő

1 köpeny, 2 csövek, 3 csőkötegfal, 4, 5 köpenyoldali csonkok, 6 tételólemez, 7, 8 csőoldali csonkok, 9 fedél, 10 járatosztó lemez

Az ilyen hőcserélők egyszerűek, súlyuk viszonylag kicsi, mivel bennük csak egy merev csőkötegfal van. A csövek külső felülete a csőköteg kihúzása után könnyen tisztítható. Az ilyen hőcserélők eleve két- vagy többjáratúak, ezáltal intenzív a hőátadás. A hajtűcsöves hőcserélők hátrányai: a csövek belsejének tisztítása nehézkes, sok esetben azok elrendezése bonyolult, különböző méretű csövekből kell készíteni.

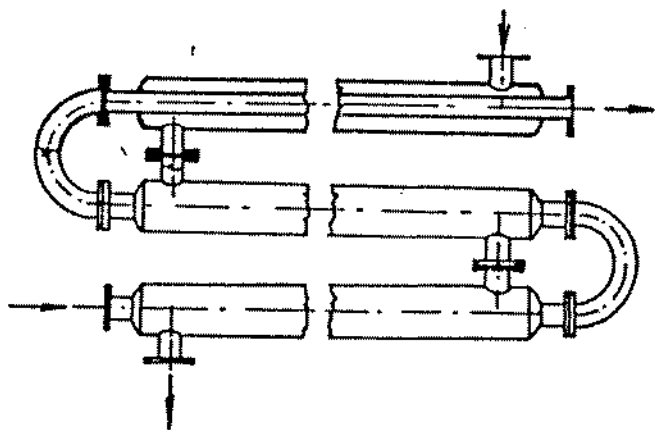
A különböző hőközlési feladatok megoldására az eddig megismert és leggyakrabban alkalmazott hőcserélőkön kívül számos egyéb megoldást is alkalmaznak. Ezek közül mutatunk be néhányat.

### Kettőscsővű hőcserélő

A kettős csöves hőcserélő két koncentrikusan egymásba helyezett csőből áll. A legegyszerűbb kivitelét a 3.30. ábra mutatja. Az ilyen hőcserélőkkel tiszta ellenáram, vagy tiszta egyenáram valósítható meg.



Ha egyenes szakasszal nem kapjuk meg a megfelelő nagyságú hőátadó felületet, akkor több ilyen részt egymás után csatlakoztatunk sorba kötve. Az egyenes részeket  $180^{\circ}$ -os könyökkel kötjük össze, így egymás alatt helyezkednek el az elemek.

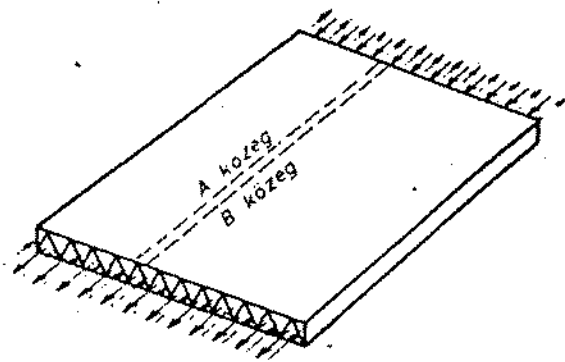


3.30. ábra. Kettőscsőves hőcserélő

### Lemezes hőcserélők

Gázokkal, kis hőmérsékleten végzett műveleteknél /pl.: levegőszétválasztás/ alkalmazott megoldások. A hőátadási tényező kicsinysége miatt különlegesen nagy hőátadó felület szükséges, amelyet legyezőszerűen hajtogatott lemezszerkezettel valósítunk meg. Összehajtogatás után a hajtogatott lemez mindkét oldalát siklemezzel borítjuk, így alakítjuk ki a fűtőcsatornákat /3.31. ábra/. A borítólemezeket leggyakrabban forrasztással kapcsolják a hajtogatott lemezekhez. Szerkezeti anyagként alumíniumot és rézet használhatunk.

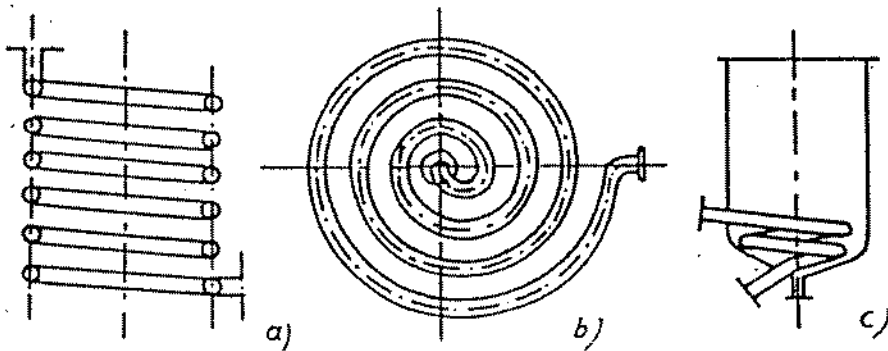
Az ilyen kis térfogategységben nagy hőátadó felületű hőcserélőket kompakt hőcserélőknek nevezzük.



3.31. ábra. Lemezes hőcserélő

### Csőkigyós készülékek

A vegyipari készülékeknél gyakran használatosak a hőcsere lefolytatásához a készülékbe beépített vagy a készülékre ráépített hőcserélő elemek. A kigyócsövek általában háromféle alakban rendezhetők el, amint azt a 3.32. ábra mutatja.



3.32. ábra. Csőkigyós készülékek

Az a/ ábrán a csőkigyó egy elképzelt hengerpalástra feltekereszt csavarmenetet alkot, tehát hengeres csőkigyó. A b/ ábrán a csőkigyó síkban - rendszerint vízszintes síkban - elhelyezett spirálist alkot. A harmadik fajta cső-

kigyó megoldás: a c/ ábrán vázolt elképzelt kuppalástra feltekercselt csavarmenetet alkot. Ez utóbbi megoldás előnyösebb, mint a síkcsőkigyó, mert ebből a fűtőközeg vagy a fűtőgőz kondenzátuma sokkal könnyebben elvezethető.

A kigyócsöves berendezések igen egyszerűek, könnyen gyárthatók, előállításuk igen olcsó. Hátrányuk az, hogy a cső belül nehezen tisztítható, aránylag nagy a helyszükségletük a fűtőfelületükhöz viszonyítva. Ha nagyobb fűtőfelületet akarunk elérni, akkor két-három csőkigyót kell párhuzamosan kapcsolni. Ebben az esetben viszont már a külső tisztítás is nehezkessé válik.

Kis mennyiségű fűtő- vagy hűtőfolyadék esetén az áramlási sebesség a kigyóban sokkal nagyobb, mintha csököteges megoldást alkalmaznánk. A csőkigyót körülvevő folyadékban viszont rossz a hőátadás. Keverős készülékeknél a csőkigyót körülvevő folyadék áramlási sebességét fokozhatjuk, de még így is a korszerű csököteges hőcserélőknél szokásos hőátviteli értékek alatt marad a hőátviteli tényező értéke.