

$\alpha$  tényező is. Tovább növelve a hőáramot egy  $q_{\max}$  értékig, a folyamat jellege megváltozik, a felületen képződő gőzbuborékok összeolvadnak és a hőátadó felületet elborítja egy gőzfilm, amely a folyadékot elválasztja a szilárd faltól, s így a hőátadás csak a gőzrétegen keresztül mehet végbe. Emiatt a hőszállítási tényező értéke erősen lecsökken, s a  $\Delta t$  hőmérsékletkülönbség ugrásszerűen megnő (D tartomány). Ez bizonyos esetekben a  $t_0$  falhőmérséklet olyan mértékű megemelkedését jelenti, hogy az anyag keresztülég. A  $q$  hőterhelés csökkentésével elérhető az ábrán C-vel jelölt tartomány is, amelyben a buborékos és a film elgőzölgés keveredve fordul elő. Jellemző, hogy a  $q$  és  $\alpha$  ebben a tartományban csökkennek, a  $\Delta t$  viszont erősen emelkedik. A film elgőzölgésének a felső határa a gőz termikus bomlásához tartozó hőmérsékletnél van.

Végül néhány olyan számadat álljon itt, amely durva tájékoztatást ad az  $\alpha$  hőszállítási tényező várható értékeiről.

#### Szabad áramlásnál

gázokra	$\alpha =$	3- 13	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
vizre		1160- 7 000	" "
forrásban levő vizre		11000-23 000	" "

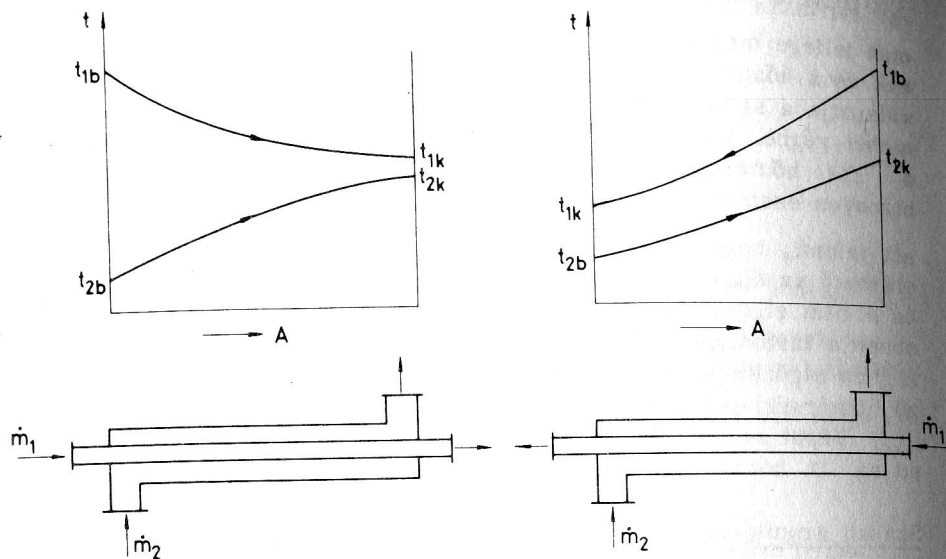
#### Kénszeráramlásnál

gázokra	$\alpha =$	10- 110	$W/m^2 \text{ } ^\circ C$
viszkózus folyadékokra	=	60- 580	" "
vizre	=	580- 11 000	" "
kondenzálódó gőzre	=	11000-120 000	" "

Látható, hogy az áramlási sebesség a hőszállítást jelentősen megnöveli, továbbá, hogy a fázisátalakulás közben a hőszállítási tényező nagyságrendileg nagyobb, mint egyébként.

### 6.2.7. Hőcserélők

A gyakorlatban használatos hőátadó berendezéseket hőcserélőknek szokás nevezni. A hőcserélők rendeltetése az, hogy a hőátadó és a hőfelvevő közeget egymástól fallal elválassza. A hőcserélő falán keresztül hőátbocsátási folyamat megy végbe. A legegyszerűbb hőcserélő szerkezet sematikus rajza a 123. ábrán látható kettős cső, amelyben belül az egyik, a két csőfal közötti térben pedig a másik közeg áramlik.



123. ábra

A hőcserélő szerkezetek három alapvető csoportba sorolhatók. Ha a két közeg áramlása a hőcserélőben azonos irányú, akkor egyenáramu, ha ellentétes irányú, akkor pedig ellenáramu hőcserélőről szokás beszélni. A 123. ábra bal oldali képén egyenáramu, jobb oldalon pedig ellenáramu hőcserélő vázlat látható, mindkét hőcserélő felett fel van rajzolva a hőátadó felület két oldalán áramló közeg hőmérsékletváltozása. Az esetek nagy részében azonban keresztáramu a hőcserélő, tehát a fal két oldalán áramló közegek áramlása részben, vagy egészben kereszttezi egymást.

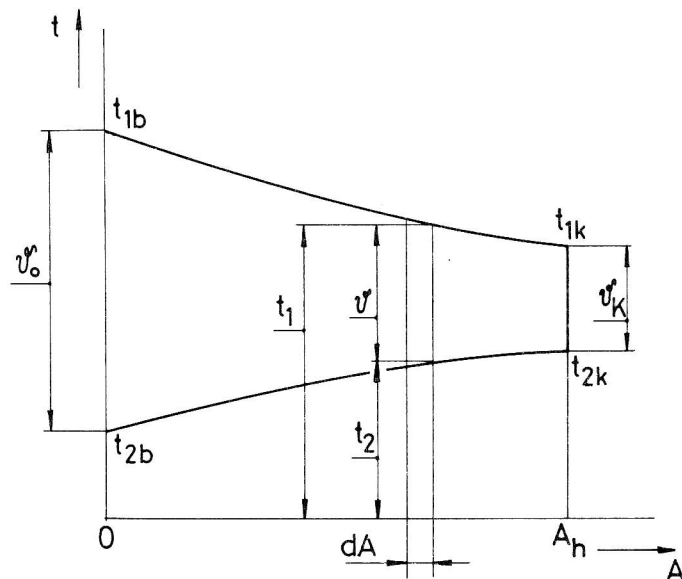
A hőcserélők számításának alapegyenlete a hőátbocsátási folyamat alapegyenlete, amely szerint az átadódó hő az időegység alatt

$$\dot{Q} = k A (t_1 - t_2).$$

A hő tehát a felület nagyságával, a hőátbocsátási tényezővel és a fal két oldalán áramló közegek hőmérsékletének különbségével arányos. Amint azt a 123. ábrán már láttuk, a közegek hőmérséklete a felület mentén változik, s így a különbségük is felületelemről felületelemre változik. Kivételt képez az az eset, amikor valamely közeg halmazállapotváltozás közben adja le a hőt, amikor is a hőmérséklet állandó. Változó hőmérsékletek esetén azonban külön kell meghatározni azt a hőmérsékletkülönbséget, amellyel az átadódó hő helyesen számítható. Ez az alábbiak szerint végezhető.

### 1. Egyenáramu hőcserélő

A hőmérsékleteloszlás görbéje a 124. ábrán látható. Az ábrából látható, hogy a hőleadó közeg  $t_{1b}$ -ről  $t_{1k}$  hőmérsékletre hűl le, míg a hőfelvevő közeg  $t_{2b}$ -ről  $t_{2k}$ -ra melegszik fel. Az egyenáramu hőcserélőben a két közeg kilépő hőmérséklete egymáshoz közeledik, éspe- dig annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a hőátadó felület. Vég- telen nagy felület esetén a  $t_{1k}$  megegyezne  $t_{2k}$ -val.



124. ábra

A folyamat során a melegebb közeg által az időegység alatt leadott hő a

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_1 c_1 (t_{1b} - t_{1k}),$$

míg a hidegebb által felvett hő a

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_2 c_2 (t_{2k} - t_{2b})$$

kifejezésekből számítható, amelyekben  $\dot{m}_1 c_1$ , ill.  $\dot{m}_2 c_2$  a közegek hőkapacitását jelenti. Elhanyagolva a hőcserélő hőveszteségét, feltételez- hetjük, hogy a leadott ill. felvett hő egyenlő egymással:

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 = \dot{Q}$$

Vizsgáljuk most az egyenáramu hőcserélő egy elemi hőátadó felületét. Az ezen a felületen az időegység alatt átadott hő

$$d\dot{Q} = k (t_1 - t_2) dA.$$

Másrészt azonban - a hővesztéseket figyelmen kívül hagyva - a hőleadó közeg lehüléséből, ill. a hőfelvevő közeg felmelegedéséből írható:

$$d\dot{Q} = -\dot{m}_1 c_1 dt_1 = \dot{m}_2 c_2 dt_2.$$

A két utóbbi egyenlet összevonásával a

$$-d(t_1 - t_2) = \left( \frac{1}{\dot{m}_1 c_1} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_2} \right) (t_1 - t_2) k dA$$

összefüggést kapjuk, amelyből a

$$\vartheta = t_1 - t_2 \quad \text{és} \quad K = \frac{1}{\dot{m}_1 c_1} + \frac{1}{\dot{m}_2 c_2}$$

jelöléseket bevezetve a

$$\frac{d\vartheta}{\vartheta} = -K k dA$$

differenciálegyenlethez jutunk. A felület mentén a  $k$  hőátbocsátási tényezőt állandónak véve integrálás után a

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-KkA}$$

kifejezést kapjuk, amely szerint tehát a hőmérsékletek különbsége a felület mentén exponenciálisan csökken. A hőcserélő kezdetén

$$A = 0 \quad \text{és} \quad \vartheta = \vartheta_0 = t_{1b} - t_{2b}$$

és a hőcserélő végén

$$A = A_h \quad \text{és} \quad \vartheta = \vartheta_h = \vartheta_0 e^{-KkA_h} = t_{1k} - t_{2k}.$$

A hőcserélőben átszámaztatható hő a

$$d\dot{Q} = k \vartheta dA$$

integrálásával

$$\dot{Q} = \frac{\vartheta_0}{K} (1 - e^{-KkA_h})$$

alakban írható, amelyet átalakíthatunk a következőképpen:

$$\dot{Q} = k A_h \frac{\vartheta_0 - \vartheta_h}{\ln \frac{\vartheta_0}{\vartheta_h}} = k A_h \Delta t_k.$$

Ebben

$$\Delta t_k = \frac{\vartheta_0 - \vartheta_h}{\ln \frac{\vartheta_0}{\vartheta_h}} \quad 6.17$$

az ún. logaritmusos hőmérsékletkülönbség. A hőcserélő egy közbenső helyén - tehát amelyhez a nagyságú hőcserélő felület tartozik - a két oldali közeghőmérséklet a

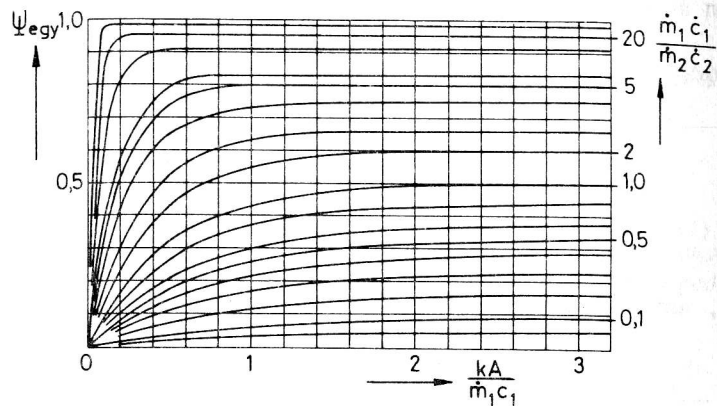
$$t_1 = t_{1b} - \vartheta_0 \frac{\dot{m}_2 c_2}{\dot{m}_1 c_1 + \dot{m}_2 c_2} (1 - e^{-KkA}),$$

ill. a

$$t_2 = t_{2b} + \vartheta_0 \frac{\dot{m}_1 c_1}{\dot{m}_1 c_1 + \dot{m}_2 c_2} (1 - e^{-KkA})$$

kifejezésből számítható.

Jó áttekintést ad a hőátbocsátási viszonyokról, ill. a hőcserélő felület kihasználásáról a 125. ábrán feltüntetett diagram, amely a következőképpen adódik. A hőmérsékleteloszlás kifejezéseit átalakítva a



125. ábra

$$\frac{t_{1b} - t_1}{\vartheta_o} = \frac{\dot{m}_2 c_2}{\dot{m}_1 c_1} \psi_{egy}$$

és a

$$\frac{t_2 - t_{2b}}{\vartheta_o} = \psi_{egy}$$

összefüggéseket kapjuk, amelyekben

$$\psi_{egy} = \frac{1 - \exp \left[ - \left( 1 + \frac{\dot{m}_1 c_1}{\dot{m}_2 c_2} \right) \frac{kA}{\dot{m}_1 c_1} \right]}{\frac{\dot{m}_2 c_2}{\dot{m}_1 c_1} + 1}$$

a tömegáramok, a fajhők és a hőátadó felület, valamint a  $k$  tényező ismeretében kiszámítható érték. A 125. ábrán a  $\psi_{egy}$  a  $kA/\dot{m}_1 c_1$  függvényében van feltüntetve. Az  $\dot{m}_1 c_1 / \dot{m}_2 c_2$  viszonytól függően más-más görbe adja ezt a  $\psi_{egy}$  értéket. A hőcserélő közbenső helyén tehát a hőfelvevő közeg  $\Delta t_2 = t_2 - t_{2b}$  felmelegedése egyrészt a két oldalon áramló közeg hőkapacitásától, másrészt pedig a  $kA/\dot{m}_1 c_1$  vi-

szonytól függ, és a hőcserélő felület növelésével a felmelegedés növelhető.

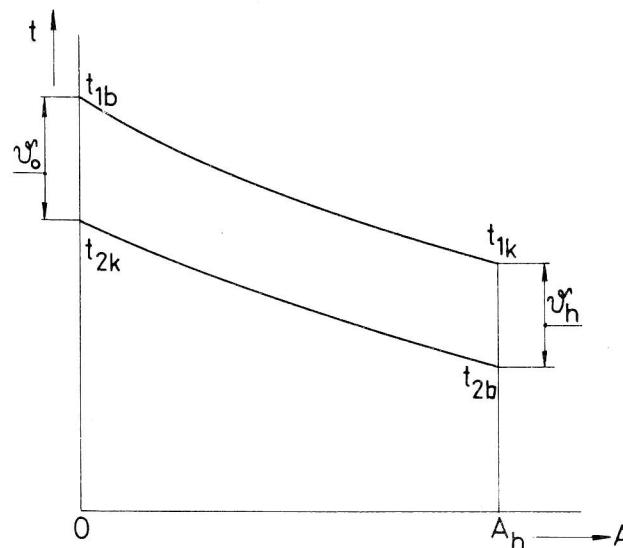
A hőcserélő méretezésénél rendszerint a két közeg hőkapacitása és a belépésnél mérhető közeghőmérsékletek ismertek. Mivel a hőcserélő méreteit csak egy bizonyos mértékig gazdaságos növelni (a hőcserélő felületének növelésével a hőmérsékletkülönbség már csak kissé változik), ezért rendszerint a hőcserélőből történő kilépésnél a két közeg közötti hőmérsékletkülönbséget előírjuk. Ezekkel az adatokkal a  $\psi_{egy}$  meghatározható:

$$\psi_{egy} = \frac{1 - \frac{\vartheta_h}{\vartheta_o}}{1 + \frac{\dot{m}_2 c_2}{\dot{m}_1 c_1}}$$

Ennek ismeretében a diagramból vehető a  $kA_h/\dot{m}_1 c_1$  érték, amelyből a keresett  $A_h$  hőcserélő felület számítható.

## 2. Ellenáramu hőcserélő

Az ellenáramu hőcserélő hőmérsékletgörbéi a 126. ábrán láthatók. A görbék egyenlete és a közepes hőmérsékletkülönbség, valamint az átszarmaztatható hő az előbbiektől mintájára írható fel. A hőcserélőre jellemző  $\psi_{ell}$  görbéket a 127. ábra tünteti fel (a diagramban a törés helyén az abszcissza léptéke megváltozik.)

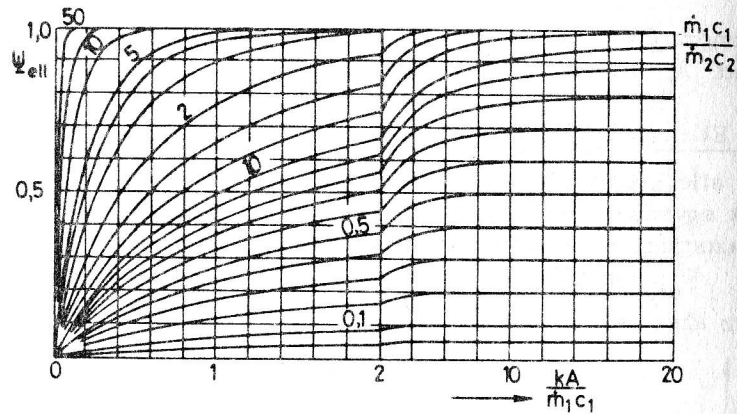


126. ábra

Az ellenáramu hőcserélő előnyösebb, mint az egyenáramu, mert lehetővé teszi, hogy a hőfelvevő közeg a hőleadó közeg kilépési hőmérsékleténél magasabb hőmérsékletre melegedjen fel. Az ellenáramu hőcserélőnél:

$$\psi_{\text{ell}} = \frac{1 - \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\dot{m}_1 c_1}{\dot{m}_2 c_2} \right) \frac{kA_h}{\dot{m}_1 c_1} \right]}{\frac{\dot{m}_2 c_2}{\dot{m}_1 c_1} - \exp \left[ - \left( 1 - \frac{\dot{m}_1 c_1}{\dot{m}_2 c_2} \right) \frac{kA_h}{\dot{m}_1 c_1} \right]}$$

A hőcserélő szükséges méreteit az előzőhöz hasonló módon a megfelelő diagramból lehet megállapítani.



127. ábra

### 3. Keresztáramu hőcserélő

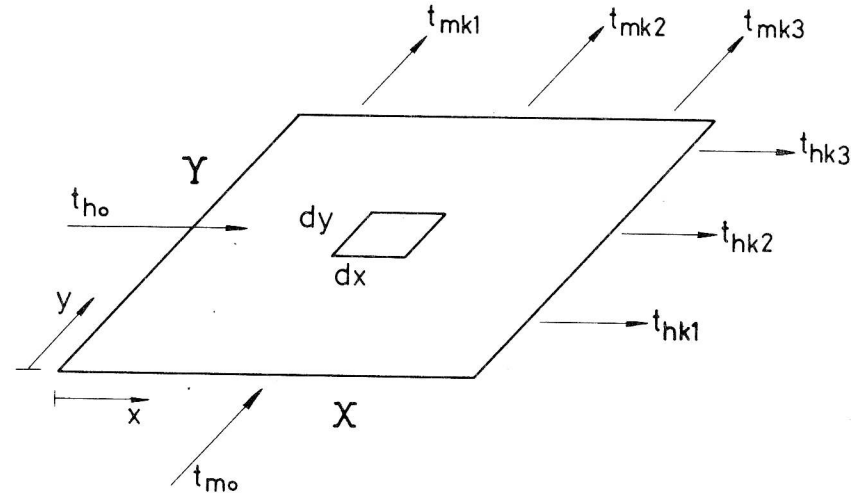
A keresztáramu hőcserélőben a hőátadó felület két oldalán áramló közeg áramlási iránya egymásra merőleges. Ennek a tisztán keresztáramu hőcserélőnek elvi vázlatát a 128. ábra mutatja. Amint a vázlatból kitűnik, bár a közegek hőmérséklete a belépésnél a teljes felületszélességben állandó, a kilépésnél már nem az, a hőátbocsátás miatt a melegebb közeg nem hűl egyenletesen, s a hidegebb közeg is egyenlőtlenül melegszik fel.

A számításnál feltételezzük, hogy a  $k$  hőátbocsátási tényező az egész hőátadó felület mentén állandó, továbbá ismertnek vesszük a két közeg  $\dot{m}_m c_m$ , ill.  $\dot{m}_h c_h$  hőkapacitását, ahol az  $m$  index a melegebb, a  $h$  index pedig a hidegebb közegre vonatkozik. Jelöljük a kö-

zegek hőmérsékletét  $t_m$  és  $t_h$ -val és feltételezzük, hogy a 128.

ábrának megfelelően a hőátadó felület  $X$  és  $Y$  oldalhosszuságu derékszögű négyzet alakú. Ennek elemi  $dx dy$  nagyságú felületelemén átadódó hő az időegység alatt

$$d\dot{Q} = k (t_m - t_h) dx dy .$$



128. ábra

A  $dx dy$  felületelemén az  $y$  irányban áramló melegebb közeg ennek a hőnek megfelelően lehül:

$$-d\dot{Q} = \frac{\dot{m}_m c_m}{X} \frac{\partial t_m}{\partial y} dy dx ,$$

a hidegebb közeg pedig felmelegszik:

$$d\dot{Q} = \frac{\dot{m}_h c_h}{Y} \frac{\partial t_h}{\partial x} dx dy .$$

Feltételezzük, hogy mindkét közeg állandó hőmérséklettel lép be a hőcserélőbe, így a peremfeltételek a következők:

$$\text{ha } y = 0, \quad t_m = t_{m0} ; \quad \text{ha } x = 0, \quad t_h = t_{h0} .$$

Bevezetve a

$$\xi = \frac{x}{X} \text{ és az } \eta = \frac{y}{Y},$$

ill. a

$$T_m = \frac{t_m - t_{ho}}{t_{mo} - t_{ho}} \text{ és a } T_h = \frac{t_h - t_{ho}}{t_{mo} - t_{ho}}$$

dimenzió nélküli változókat és az

$$a = \frac{kXY}{\dot{m}_h c_h} \text{ és } b = \frac{kXY}{\dot{m}_m c_m}$$

rövidítéseket használva a

$$T_m - T_h = \frac{\partial T_h}{\partial (a\xi)}, \text{ ill. a } T_h - T_m = \frac{\partial T_m}{\partial (b\eta)}$$

kapcsolt differenciálegyenleteket kapjuk az

$$\eta = 0, T_m = 1 \text{ és } \xi = 0, T_h = 0$$

peremfeltételekkel. A differenciálegyenlet rendszert megoldva a melegbb közeg kilépésénél a

$$T_{mk} = \frac{t_{mk} - t_{ho}}{t_{mo} - t_{ho}}$$

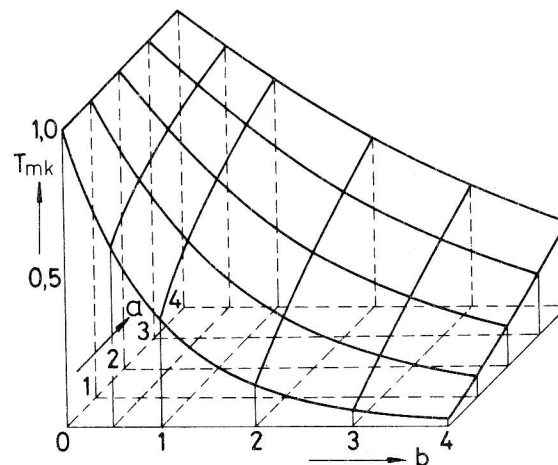
dimenzió nélküli középhőmérséklet adódik, amely az  $a$  és  $b$  értékektől függ  $s$  táblázatból vehető. A  $T_{mk}$  e paraméterek függvényében a 129. ábrán látható. A  $T_{mk}$  ismeretében az  $XY$  nagyságu felületen átadódó hő  $a$

$$\dot{Q} = \dot{m}_m c_m (t_{mo} - t_{mk}) = \dot{m}_m c_m (t_{mo} - t_{ho}) (1 - T_{mk})$$

egyenletből számítható. Ehhez a  $k$  hőátbocsátási tényezőt, a  $t_m$  és  $t_{ho}$  belépő közeghőmérsékleteket, valamint az  $\dot{m}_m c_m$  hőkapacitásokat kell ismernünk. A hidegebb közeg  $t_{hk}$  közepes kilépő hőmérséklete a

$$\frac{t_{mo} - t_{mk}}{t_{hk} - t_{ho}} = \frac{\dot{m}_h c_h}{\dot{m}_m c_m}$$

összefüggésből számítható.



129. ábra

A gyakorlatban a tiszta egyen-, az ellen- és a keresztáramu hőcserélő nem fordul elő, hanem ezeknek valamiféle kombinációja. A hőátbocsátás szempontjából mértékadó  $\Delta t$  hőmérsékletkülönbséget ezért konkrét esetben külön kell meghatározni.

### 6.3. Hősugárzás

A hősugárzás a hőközlésnek egy másik, az eddigiektől alapvetően különböző formája; amíg a hővezetés és a hőszállítás során a folyamatban résztvevő anyagokban hőmérsékletmező alakul ki és a hőmérséklet folyton változik, addig a hősugárzás egy adott helyen független az ott uralkodó hőmérséklettől. Példa erre a Nap, amely merőleges beesés esetén a Föld felületére  $1330 \text{ W/m}^2$  energiát sugároz, a közbenső tér viszont az abszolút nullponthoz közeleső hőmérsékletű.

A hősugárzás kettős jellegű; egyrészt a sugárzó energia egyenes vonalban fénysebességgel terjedve diszkrét kvantumokban hagyja el a sugárzó testet, másrészt igen sok jelenségben hullámtermészetű. A hősugárzás az elektromágneses hullámok közé sorolható, s az így végbe-