



TÁMOP-4.1.1.F-14/1/KONV-2015-0006

# Hőtani műveletek – HŐCSERE

**SZÉCHENYI**  2020



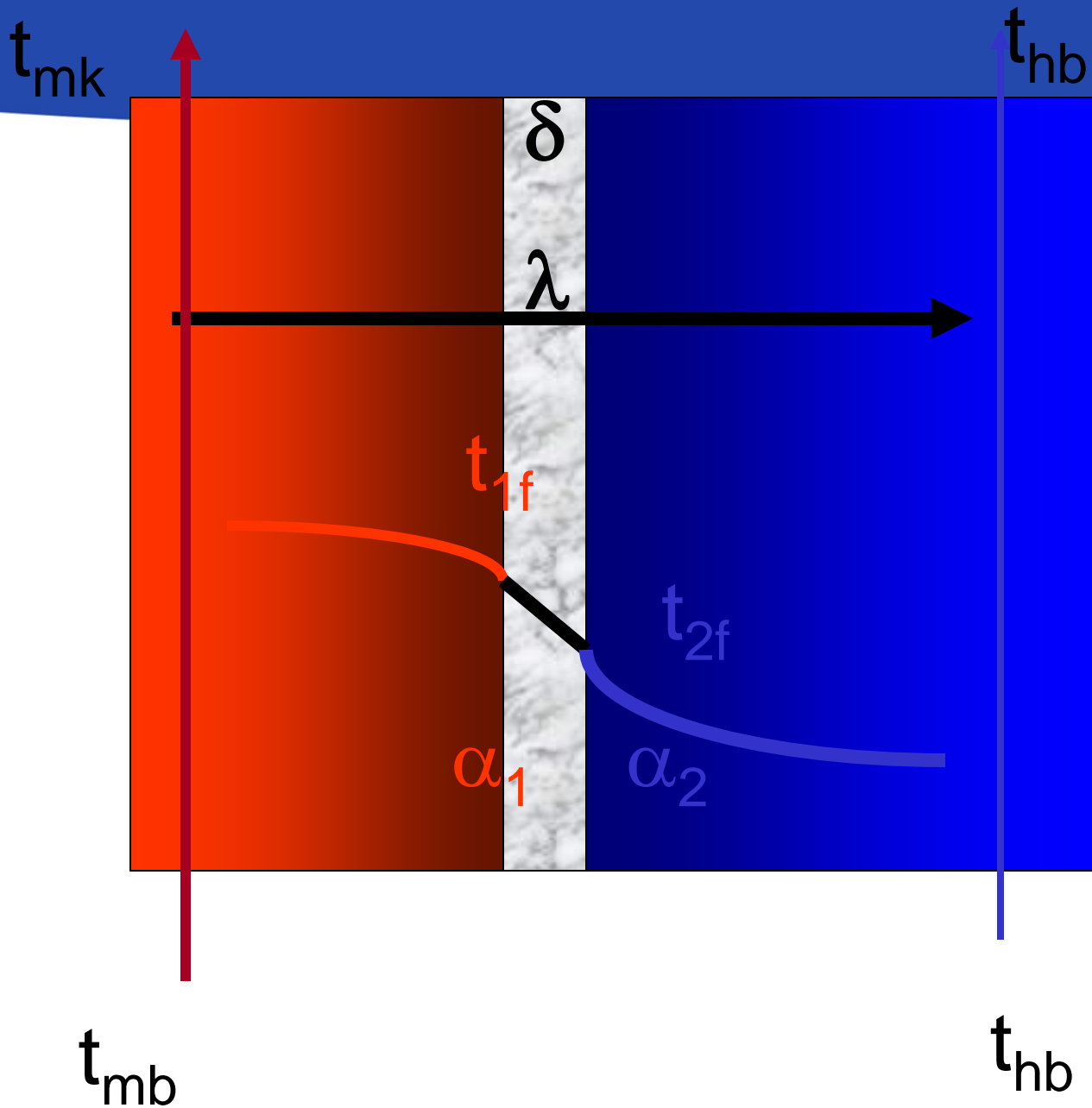
MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Európai Szociális  
Alap



**BEFEKTETÉS A JÖVŐBE**

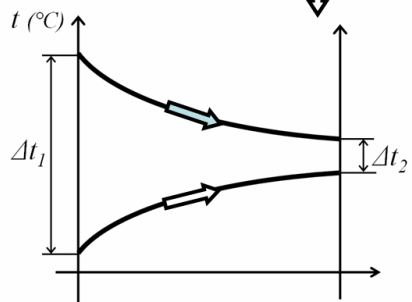
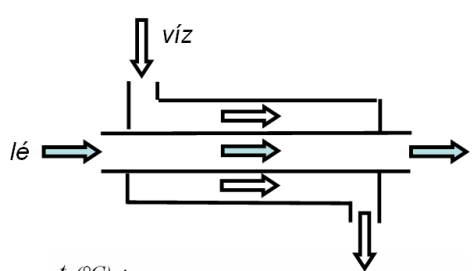
# HŐÁTBOCSÁTÁS



$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t_{k\ddot{o}z}$$

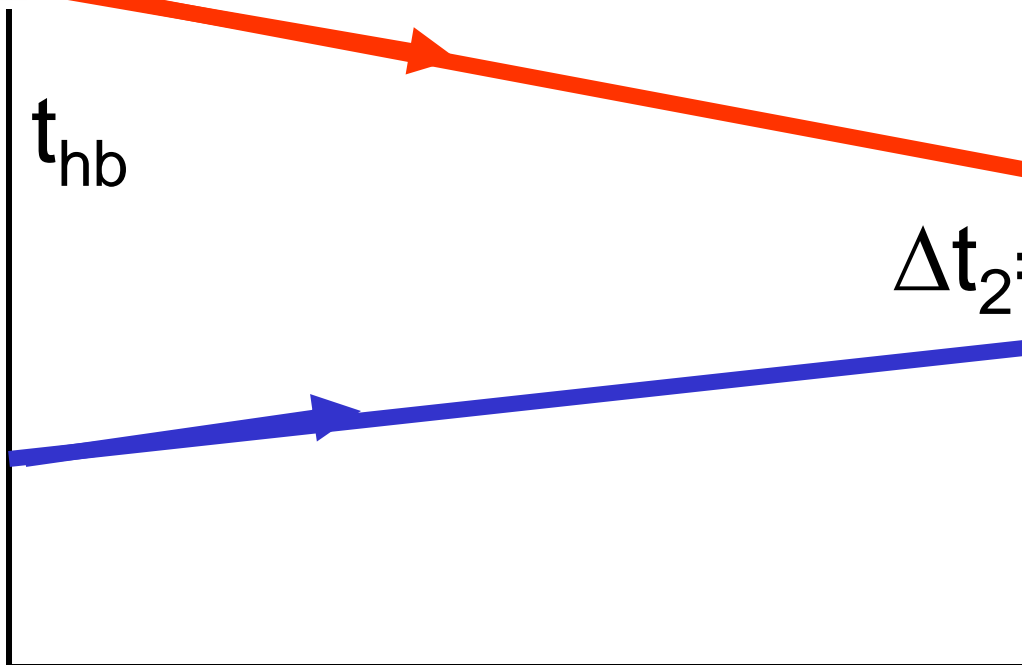
$$\Delta t_{k\ddot{o}z} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

# LOGARITMIKUS HŐMÉRSÉKLET KÜLÖNBSÉG



$$\Delta t_1 = t_{mb} - t_{hb}$$

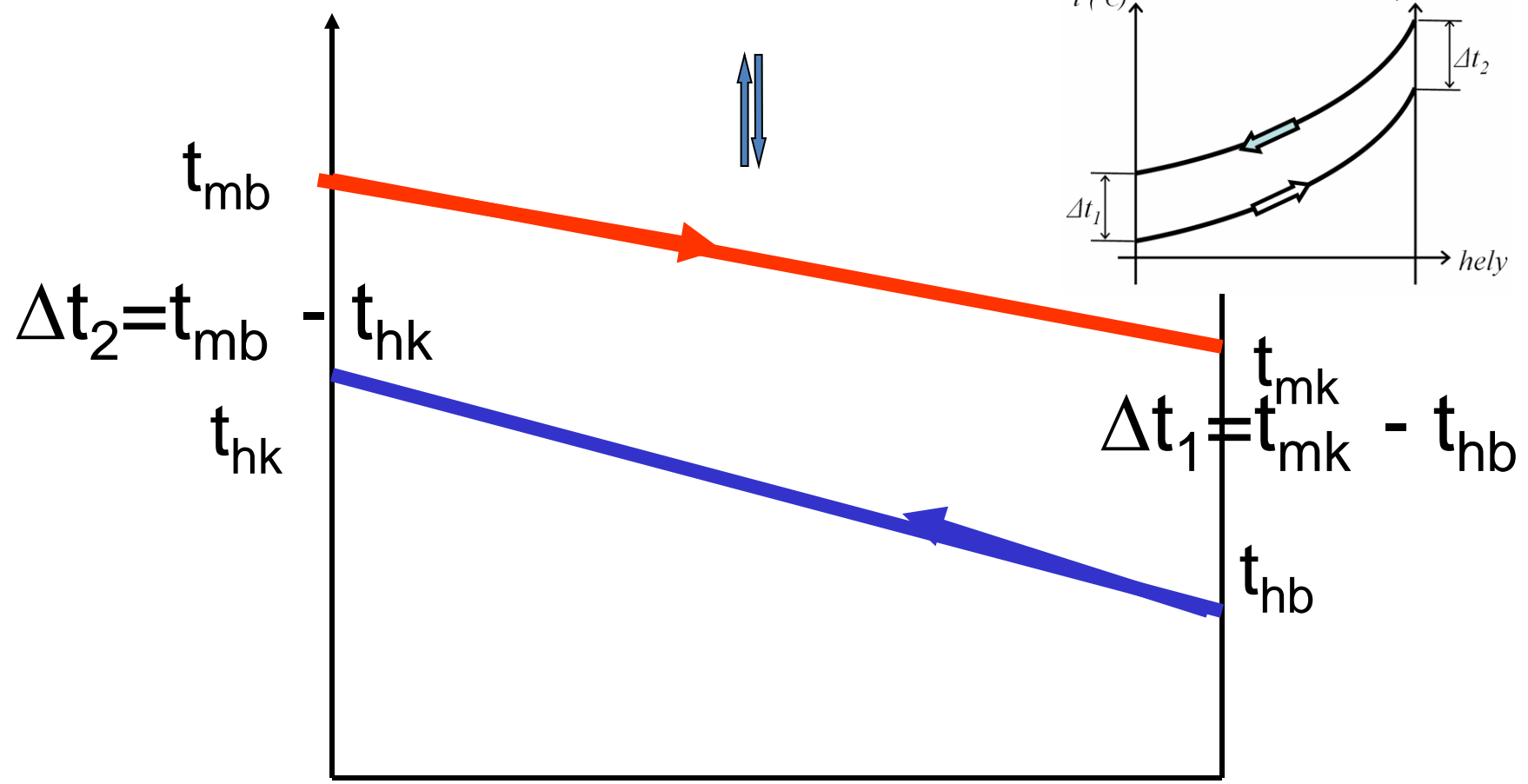
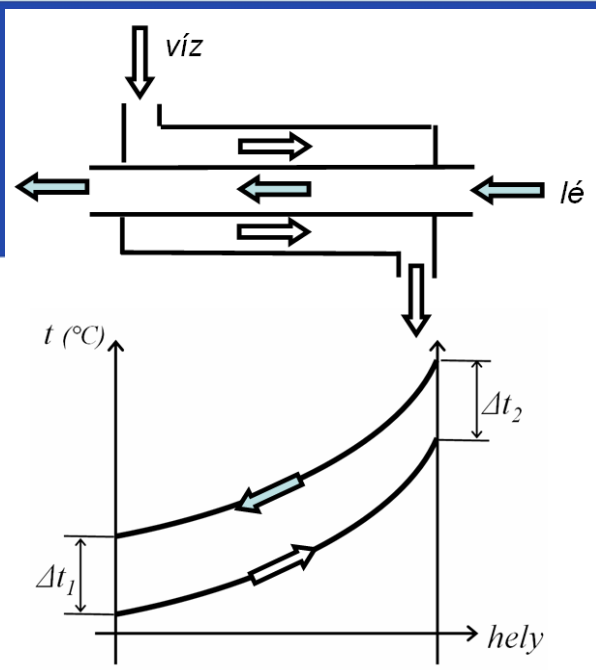
$t_{hb}$



$$\Delta t_2 = t_{mk} - t_{hk}$$

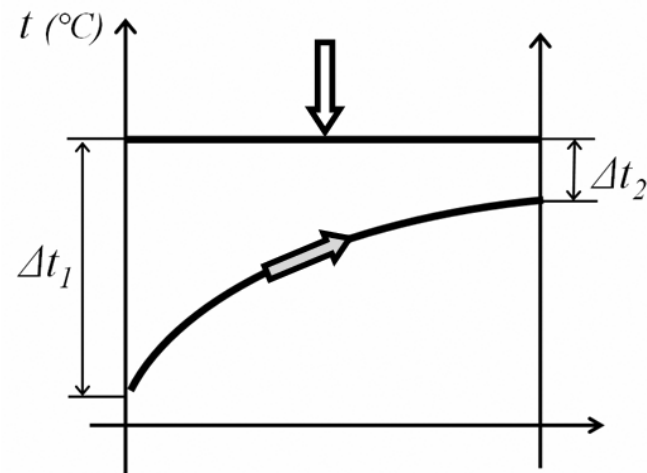
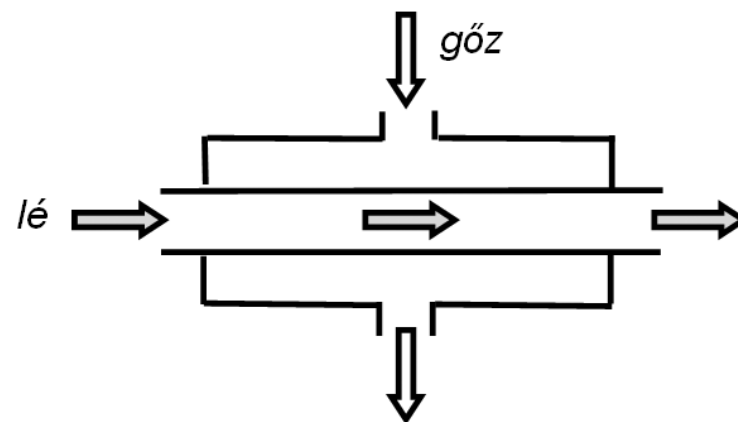
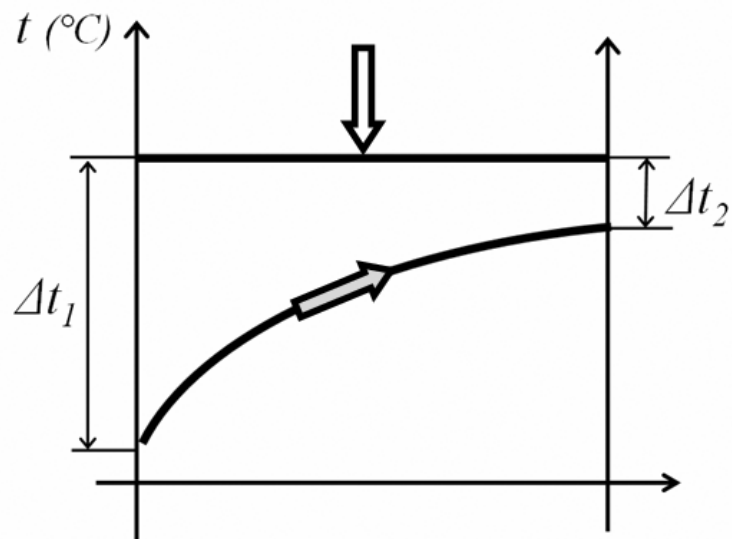
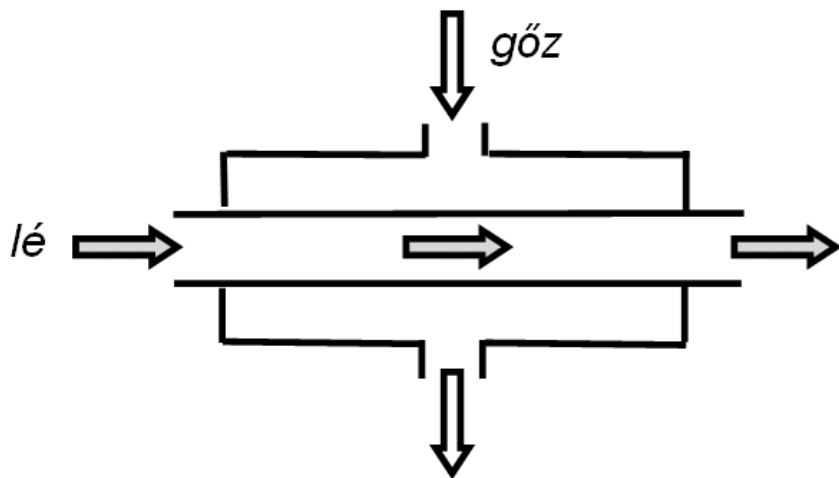
A

# LOGARITMIKUS HŐMÉRSÉKLET KÜLÖNBSÉG



A

# HALMAZÁLLAPVÁLTOZÁSSAL JÁRÓ HŐCSERE



## PÉLDA

- Egy fémből készült, folyadék-folyadék hőcserélő esetében a cső átmérője: 34x2 mm.  $\alpha_b = 1230 \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-1} \text{ ]}$  és  $\alpha_k = 987 \text{ [Wm}^{-2}\text{K}^{-1} \text{ ]}$  számítsuk ki  $k$  értékét a külső oldali csőfelületre vonatkoztatva ( $k_0$ ) elhanyagolva a fémfal hőellenállását.

$$(\alpha_b)_{k0} = \alpha_b \frac{A_b}{A_k} = (\alpha_b)_b \frac{30}{34} = 1230 \frac{30}{34} = 1085 \quad \frac{W}{m^2 K}$$

$$\frac{1}{k_k} = \frac{1}{(\alpha_b)_k} + \frac{1}{\alpha_k} = \frac{1}{1085} + \frac{1}{987}$$

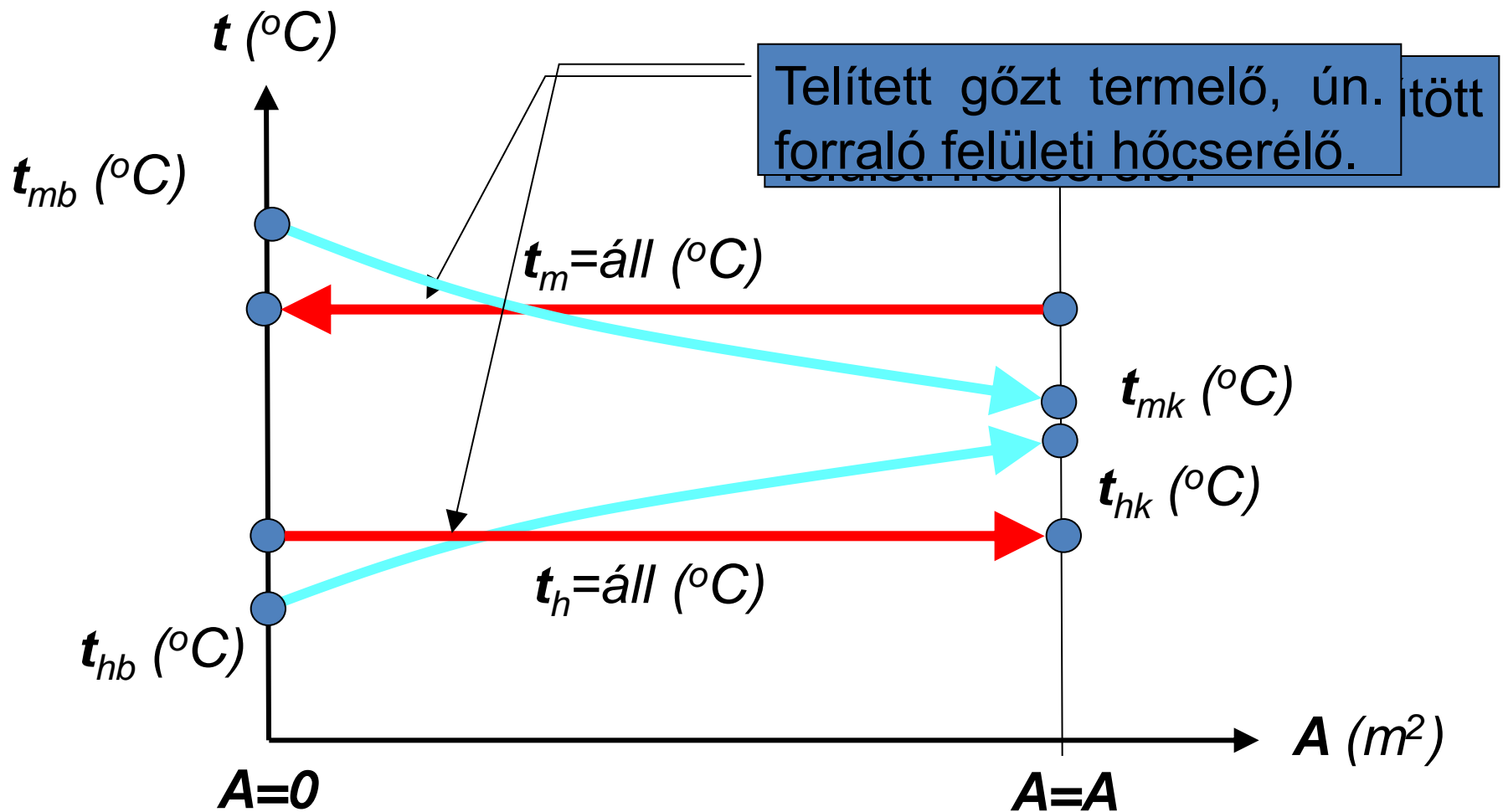
$$k_k = 517 \quad \frac{W}{m^2 K}$$

*figyelembe véve :  $k_b A_b = k_k A_k$*

$$\text{akkor : } k_b = 517 \cdot \frac{34}{30} = 586 \quad \frac{W}{m^2 K}$$



# HŐCSERE FORRÁS ILL. KONDENZÁCIÓ ESETÉN



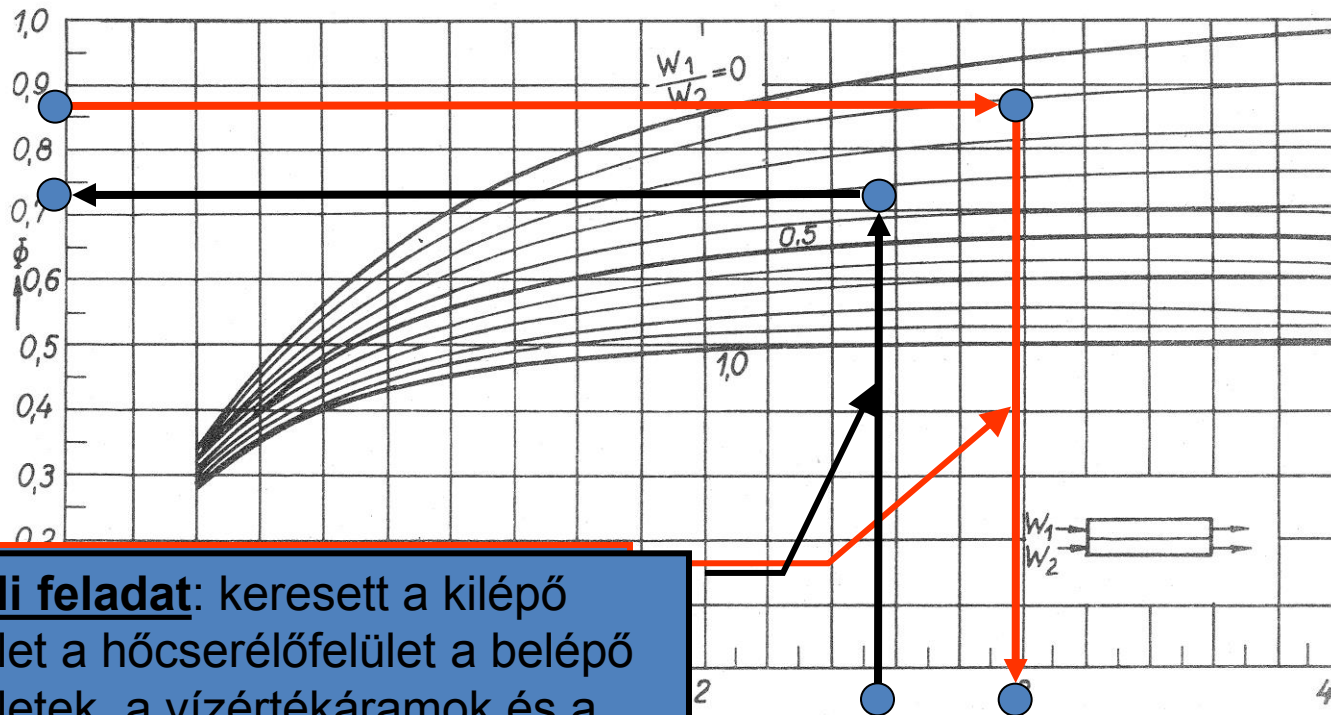
# PROBLÉMÁK A LOG, KÖZEPES HŐMÉRSÉKLET-KÜLÖNBSÉG GEL KAPCSOLATBAN

- A párhuzamos egyen- és ellenáramú alaptípusoktól eltérő készülékek esetében az esetek többségében vagy nem határozható meg, vagy annyira bonyolult, hogy szokványos számításokhoz használhatatlan.
- Adott hőcserélőbe bevezetett közegek kilépőhőfokainak meghatározására alkalmatlan.

**A megoldás:**

- A hatásosság-függvény.
- A korrekciós tényező.

# A BOSNIAKOVICS-FÉLE DIAGRAMMOK



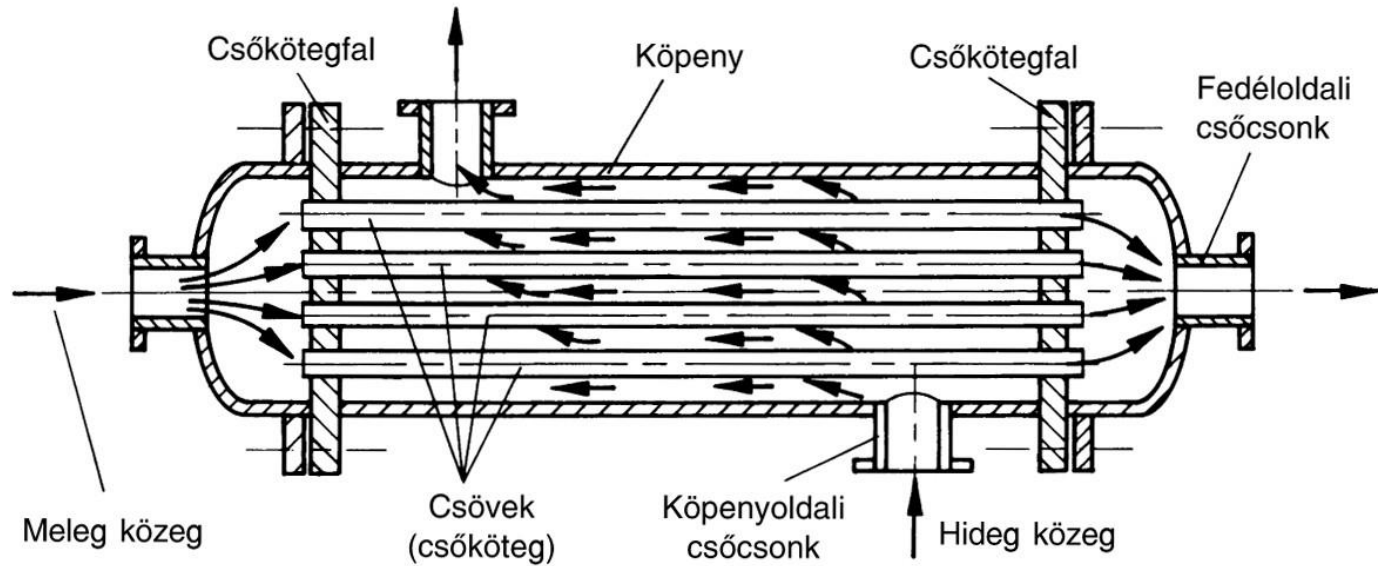
**Üzemviteli feladat:** keresett a kilépő hőmérséklet a hőcserélőfelület a belépő hőmérsékletek, a vízáramok és a hőátviteli tényező ismeretében

$$\Delta t_k = \varepsilon \cdot \Delta t_{k,ell}$$

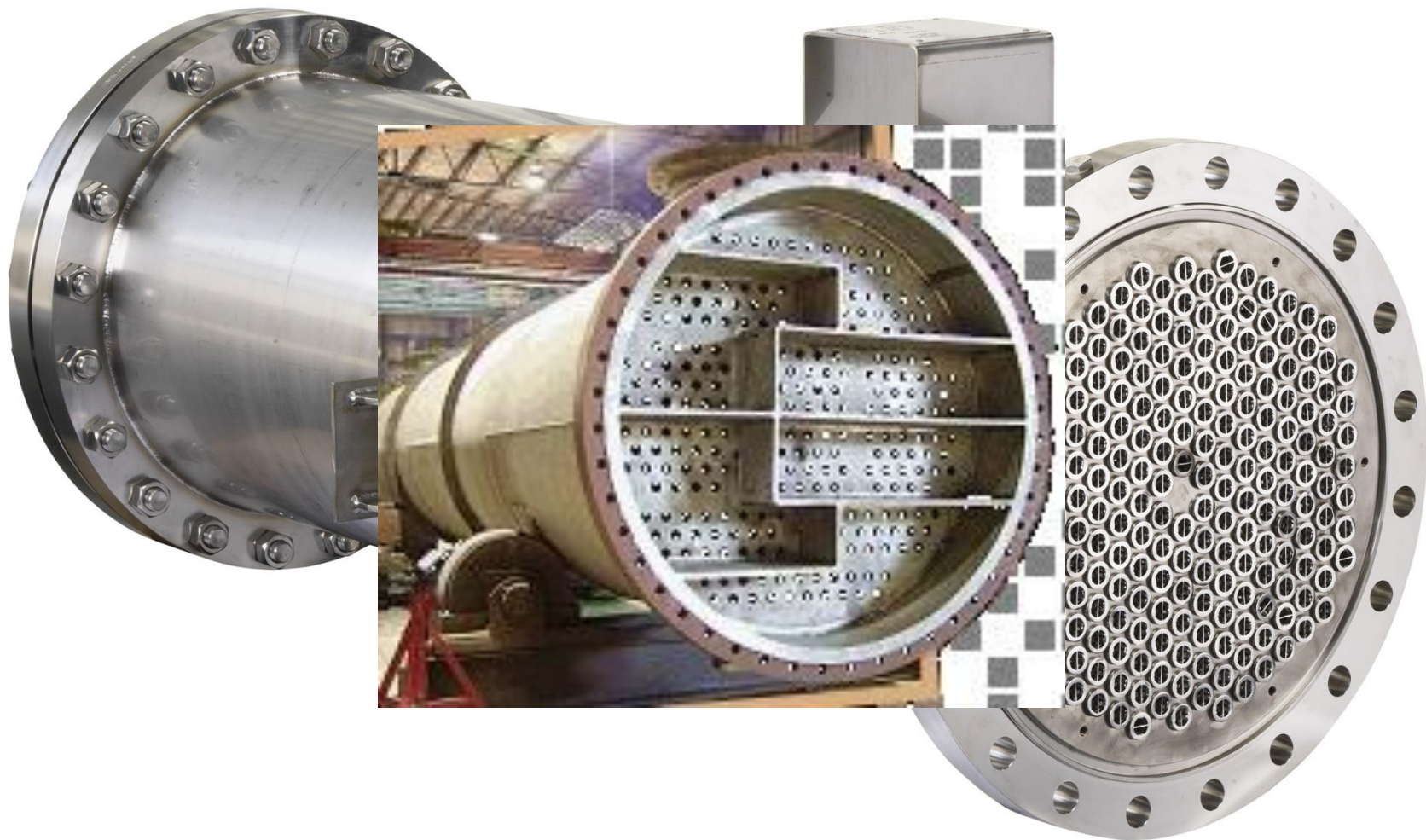
A logaritmusos közepes  
hőfokkülönbség korrekciós  
tényezője,  $\varepsilon \leq 1$

**Bonyolult áramlási rendszerű hőcserélők esetében  
a Bosnjakovics-féle módszer nem alkalmazható!**

# CSŐKÖTEGES – KÖPENYES HŐCSERÉLŐK



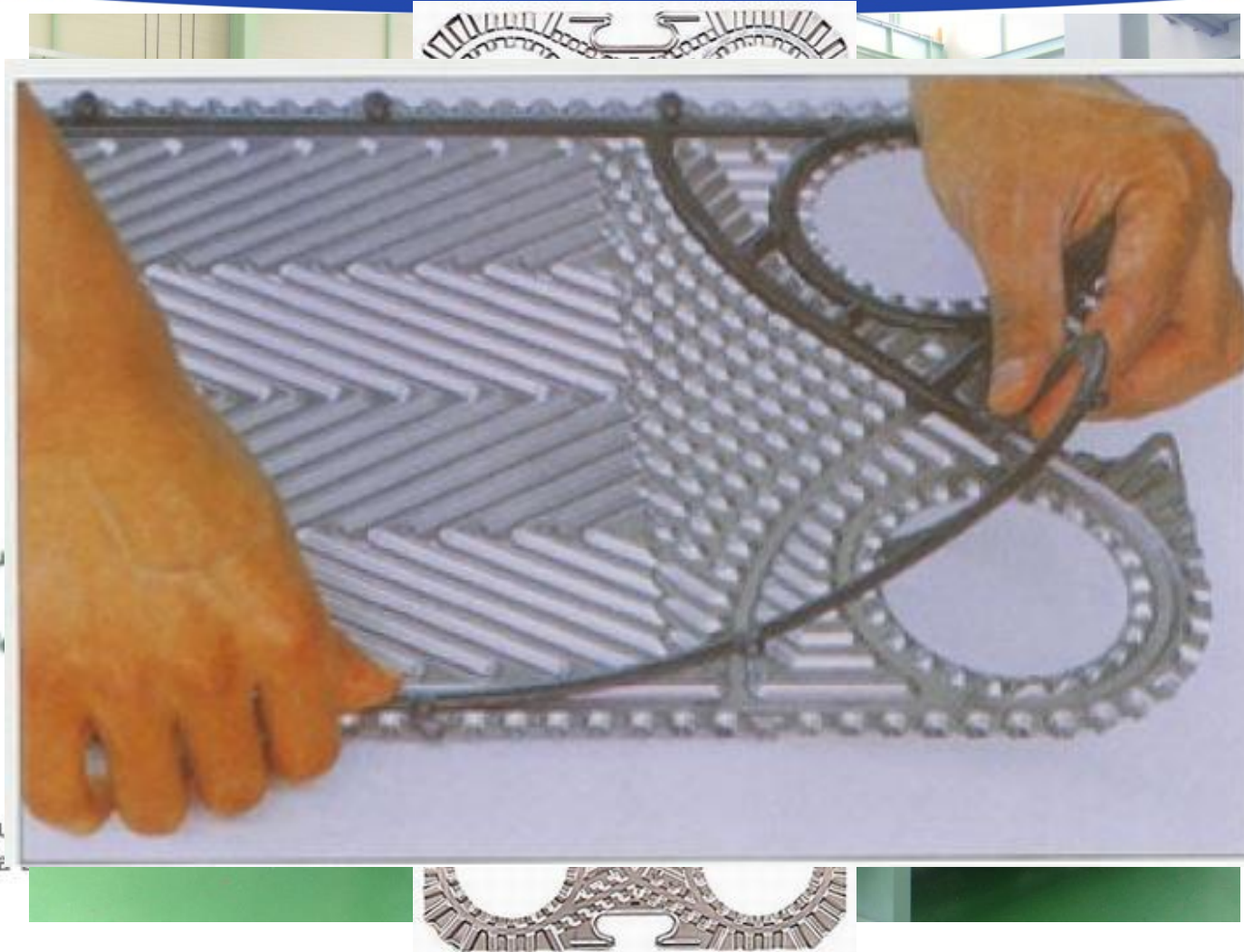
# CSŐKÖTEGES – KÖPENYES HŐCSERÉLŐK



# LEMEZES HŐCSERÉLŐK

- Folyadékok közötti hőcseréhez:
  - Gyakorlatilag ellenáramúak.
  - Jó hőátadási és így jó hővezetési tényezők.
  - Azonos elemekből felépíthető tetszés szerinti méret.

# LEMEZES HŐCSERÉLŐK



Su  
Guid  
Cot  
Alfa

ack  
it  
over



# PÉLDA

- A levegő 64 db 48,4x2,6 mm átmérőjű, 1,8 m hosszú acélcsőben áramlik. Mekkora a hőátadási tényező és mennyi levegő melegíthető fel, ha a légáramlást a turbulencia alsó határán tartjuk? A levegő hővezetési tényezője 0,0358 W/(mK), fajhője 1,015 kJ/(kgK), sűrűsége: 0,8343 kg/m<sup>3</sup>, kinematikai viszkozitása: 26,39 · 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s.
- Ha  $0,5 < Pr < 1,5$   
akkor  $Nu = 0,0214(Re^{0,8} - 100)Pr^{0,4}(1 + d/l)^{2/3}$ ,  
ha  $Pr > 1,5$  akkor  $Nu = 0,04Re^{0,75}Pr^{0,75}$ .
- A turbulencia alsó határa esetén  $Re = 10000$
- A cső belső átmérője  $d_b = 48,4 - (2 \times 2,6) = 43,2$  mm = 0,0432 m

$$\text{Re} = \frac{d \cdot v}{\nu}$$

$$v = \frac{\text{Re} \cdot \nu}{d} = \frac{10000 \cdot 26,39 \cdot 10^{-6}}{0,0432} = 6,1 \quad m/s$$

$$q_m = v \cdot A \cdot \rho = 6,1 \cdot 64 \cdot \left( \frac{0,0432^2 \cdot \pi}{4} \right) \cdot 0,8343 = 0,477 \quad kg/s$$

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot v \cdot \rho}{\lambda} = \frac{1015 \cdot 26,39 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8343}{0,0358} = 0,624$$

$$Nu = 0,0214 \cdot (\text{Re}^{0,8} - 100) \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot (1 + d/l)^{2/3}$$

$$Nu = 0,0214 \cdot (10000^{0,8} - 100) \cdot 0,624^{0,4} \cdot (1 + 0,0432/1,8)^{2/3} = 26,73$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{26,73 \cdot 0,0358}{0,0432} = 22,15 \quad W/m^2 K$$

# PÉLDA

- Mekkora hőáram szükséges egy 0,7 m hosszú, 62,2 mm átmérőjű vízszintes, egyenes csőben történő hőkezelés esetében a 20 °C-os, 0,8 m/s sebességgel áramló olajos tápközeg 60 °C-ra történő felmelegítéséhez?  
A tápközeg fizikai tulajdonságai: fajhője 4,178 kJ/(kgK), viszkozitása  $0,733 \cdot 10^{-3}$  Pas, hővezetési tényezője 0,6245 W/(mK), sűrűsége 990,7 kg/m<sup>3</sup>.
- $(Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4})$

$$\Phi = \alpha \cdot A \cdot \Delta t$$

$$\text{Re} = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\eta} = \frac{0,0622 \cdot 0,8 \cdot 990,7}{0,733 \cdot 10^{-3}} = 67254$$

$$\text{Pr} = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} = \frac{4178 \cdot 0,733 \cdot 10^{-3}}{0,6245} = 4,9$$

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} = 0,023 \cdot 67254^{0,8} \cdot 4,9^{0,4} = 316,2$$

$$\alpha = \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{l} = \frac{316,2 \cdot 0,6245}{0,0622} = 3174,71 \quad \text{W} / \text{m}^2 \text{K}$$

$$A = d \cdot \pi \cdot l = 0,0622 \cdot \pi \cdot 0,7 = 0,137 \quad \text{m}^2$$

$$\Phi = 3174,71 \cdot 0,137 \cdot (60 - 20) = 17397,4 \text{ W} \cong 17,4 \quad \text{kW}$$

# PÉLDA

- Mekkora a hőátadási tényező egy 3 m hosszú, 50 mm belső átmérőjű, vízszintes csőben történő áramlás esetében, ha a közeg hőmérséklete 50 °C, a csőfal hőmérséklete: 90 °C ?
- A közeg jellemzői: hővezetési tényező 0,64 W/mK, kinematikai viszkozitás  $5,56 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, hőfokvezetési tényező  $1,555 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s, sűrűség 1000 kg/m<sup>3</sup>. A közeg 0,8 m/s sebességgel áramlik.  
$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4}$$

$$\text{Re} = \frac{d \cdot v}{\nu} = \frac{0,05 \cdot 0,8}{5,56 \cdot 10^{-7}} = 7,2 \cdot 10^4$$

$$\text{Pr} = \frac{\nu}{a} = \frac{5,56 \cdot 10^{-7}}{1,555 \cdot 10^{-7}} = 3,57$$

$$\text{Nu} = 0,023 \cdot \text{Re}^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} = 0,023 \cdot (7,2 \cdot 10^4)^{0,8} \cdot 3,57^{0,4} = 294$$

$$\text{Nu} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} \alpha = \frac{294 \cdot 0,64}{0,05} = 3763,5 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$$

# PÉLDA

- Ecetes fermentációs végtermékből 30 mm átmérőjű csövekből álló csőköteges hőcserélő csöveiben óránként  $36 \text{ m}^3$  áramlik.
- Számítsa ki a lére vonatkozó hőátadási tényezőt, ha a közepes hőmérséklete  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , sűrűsége  $1630 \text{ kg/m}^3$ , viszkozitása:  $7 \cdot 10^{-4} \text{ Pas}$ , hővezetési tényezője:  $0,105 \text{ W/(mK)}$ , fajhője  $0,887 \text{ kJ/(kgK)}$ . (A hőcserélőben egyszerre 60 db csőben áramlik a felöntőlé.)  
$$\text{Nu}=0,023\text{Re}^{0,8}\text{Pr}^{0,4}$$

## PÉLDA

- Számítsa ki a levegő okozta hőveszteséget egy főzőedény falánál, ami egy függőleges henger alakú testnek fogható fel. A test átmérője 0,9 m, magassága 1,2 m. A fal hőmérséklete 49 °C, a levegőé 17°C.  $\eta=1,9 \cdot 10^{-5}$  Pas,  $c_p=1,01$  kJ/(kgK),  $\lambda=0,025$  W/(mK),  $\beta=0,0032$  1/K,  $\rho=1,12$  kg/m<sup>3</sup>.  
 $Nu=0,13(PrGr)^{0,33}$



$$Gr = \frac{g \cdot l^3 \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\eta^2} = \frac{9,81 \cdot 1,2^3 \cdot 1,12^2 \cdot 0,0032 \cdot (49 - 17)}{(1,9 \cdot 10^{-5})^2} = 6,03 \cdot 10^9$$

$$Pr = \frac{c_p \cdot \eta}{\lambda} = \frac{1010 \cdot 1,9 \cdot 10^{-5}}{0,025} = 0,76$$

$$Nu = 0,13 \cdot (Pr \cdot Gr)^{0,33} = 0,13 \cdot (0,76 \cdot 6,03 \cdot 10^9)^{0,33} = 201,16$$



$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l} = \frac{201,16 \cdot 0,025}{1,2} = 4,19 \quad W / m^2 K$$

$$\alpha = 1,8 \cdot \Delta t^{0,25} = 1,8 \cdot 32^{0,25} = 4,28 \quad W / m^2 K$$

$$A = d \cdot \pi \cdot l = 0,9 \cdot \pi \cdot 1,2 = 3,39 \quad m^2$$

$$\Phi = \alpha \cdot A \cdot \Delta t = 4,28 \cdot 3,39 \cdot 32 = 464,7 \quad W$$

# HŐCSERE TÍPUSOK

- Statikus v. direkt hőcsere:  
hőcsere egy közegen belül játszódik le,  
eredmény egy fázis (nincs hőátadó fal) 
- Kinetikus v. indirekt hőcse  
legalább két fázis határfelületén történő  
hőátmenet, a határfelület mindvégig   
megmarad.

# STATIKUS HŐCSERÉLŐK

- ✘ keverős tartályok
- ✘ barbotőr: direkt gőz bevezetésével működő készülék
- ✘ keverő kondenzátorok
- ✘ barometrikus kondenzátorok: keverős kondenzátor alá ejtőcső (12 m) vízoszlop ellensúlyozza a barometrikus nyomást.



# KINETIKUS HŐCSERÉLŐ TÍPUSOK

- duplikátor/autokláv
- cső a csőben hőcserélők
- spirálcsöves hőcserélők
- csőköteges hőcserélők
- lemezes hőcserélő
- kapart falú hőcserélők

# FELÜLETI HŐCSERÉLŐK ALAPEGYENLETEI

*leadott hőáram*:  $\Phi = q_m c_p (t_1 - t_2)$

$$\Phi = q_m (h_1 - h_2)$$

*felvett hőáram*:  $\Phi = q'_m c'_p (t'_2 - t'_1)$

$$\Phi = q'_m (h'_2 - h'_1)$$

*átviteli, hőátbocsátási egyenlet* :

$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t$$

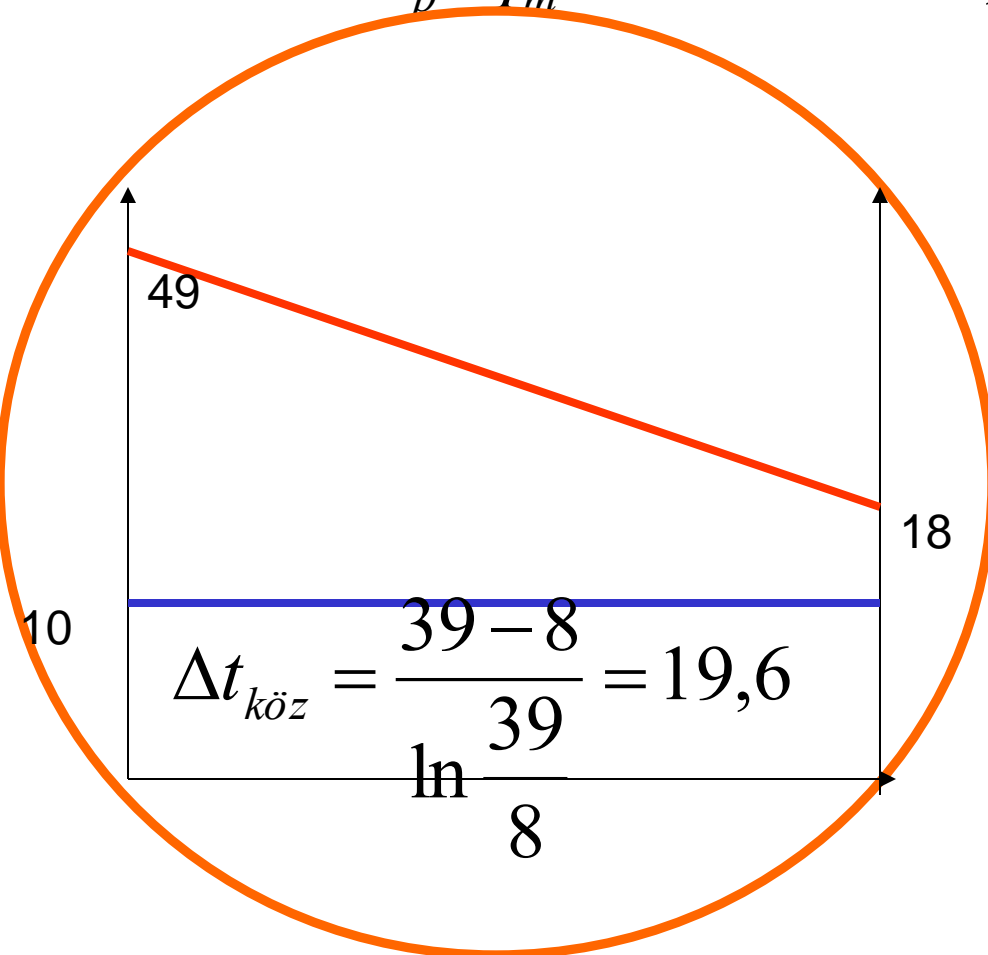
## PÉLDA

- Csöves hűtőben áramlik a tej.  $49\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ról  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra kell lehűteni  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os vízzel.
- Milyen hosszú csövet használjunk?
- Cső átmérője:  $2,5\text{ cm}$
- tömegáram:  $0,4\text{ kg/s}$
- hőátbocsátási együttható:  $900\text{ Wm}^{-2}\text{ K}^{-1}$
- fajhő:  $3890\text{ Jkg}^{-1}\text{ K}^{-1}$

# ? A HŐÁTADÓ FELÜLET???

$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t_{\text{köz}}$$

$$\Phi = c_p \cdot q_m \cdot \Delta t = 3890 \cdot 0,4(49 - 18) = 48,2 \text{ W}$$



$$48,2 = 900 \cdot A \cdot 19,6$$

$$A = 2,73 \text{ m}^2 = dL\pi$$

$$L = 34,8 \text{ m}$$

## PÉLDA

- Mennyi gőz szükséges 50 kg borsóleves 18°C-ról történő melegítésének elindításához?
- A gőznyomásmérő 100 kPa-t mutat,
- hőátadó felület: 1 m<sup>2</sup>
- hőátbocsátási együttható: 300 Wm<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>

100 kPa +1 bar       $\xrightarrow{120\text{ °C}}$


↙

fajhő: 2202 kJ/kg



$$\Phi = k \cdot A \cdot \Delta t_{\text{köz}}$$

$$\Phi = 300 \cdot 1 \cdot (120 - 18) = 3,06 \cdot 10^4 \text{ W}$$

$$\frac{\Phi}{r} = \frac{3,06 \cdot 10^4 \frac{\text{J}}{\text{s}}}{2202 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 1,4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$


Ha melegszik a leves,  $\Delta t$  csökken, akkor a hőáram is csökkeni fog.

# hőcserélő típusok

rekuperátorok  
felületi hőcserélők

regenerátorok

keverő,  
direkt hőcserélő

duplikátorok

csőígyós készülékek

csőköteges hőcserélők

bordázott felületű hőcserélők

kettőscsöves hőcserélők

spirállemezes hőcserélők

különleges hőcserélők

lemezes hőcserélők

keverős tartályok

barbotörök

keverős kondenzátor

barometrikus kondenzátor

# KÖSZÖNÖM A FIGYELMET!

**SZÉCHENYI**  2020



MAGYARORSZÁG  
KORMÁNYA

Európai Unió  
Európai Szociális  
Alap



**BEFEKTETÉS A JÖVŐBE**