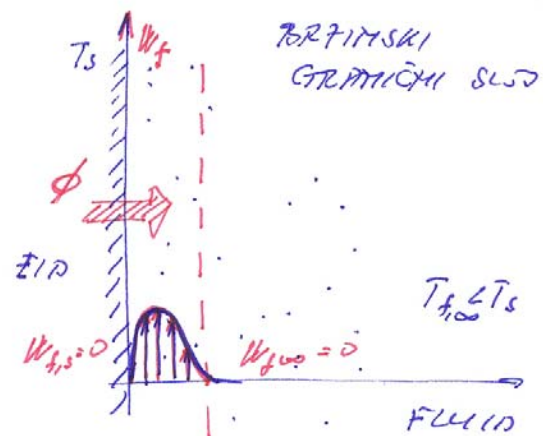
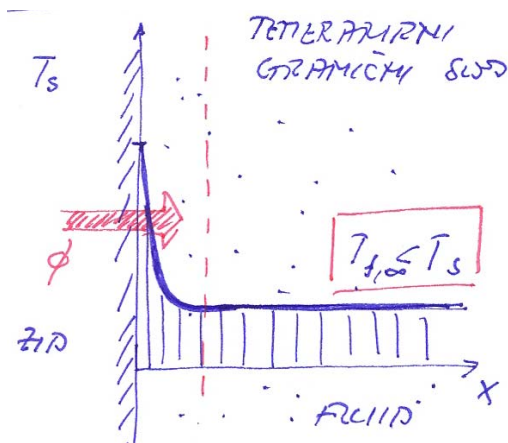


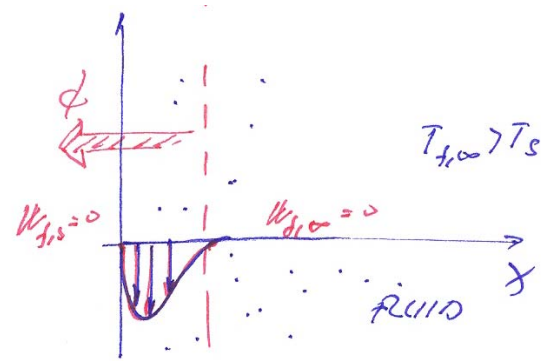
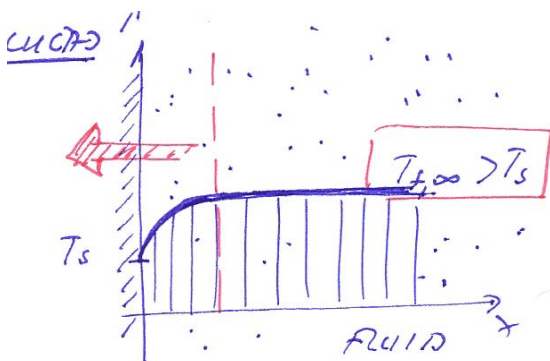
15.2. Prelaženje toplote ili konvektivno prelaženje toplote

- Bez promene agregatnog stanja (ključanje, kondenzacija)
- Konvektivno – kretanje fluidnih delića – prenošenje energije tzv. “molarnim” putem
- Zanimljivo mala kondukcija toplote – molekularnim kretanjem unutar fluidnih delića
- Razlikujemo dve vrste konvektivnog prelaženja toplote
 - prirodno (konvektivno) prelaženje toplote
 - prinudno (konvektivno) prelaženje toplote
- **Prirodno** – uzgonske sile – razlika temperatura fluidnih delića – razlika gustina – spontano kretanje fluidnih delića – bez pumpi i ventilatora
 - kaže se “prividno nepokretan fluid” ($w_{f,\infty} = 0$)

1 slučaj – Vertikalna ploča temperature više od temperature okolnog fluida

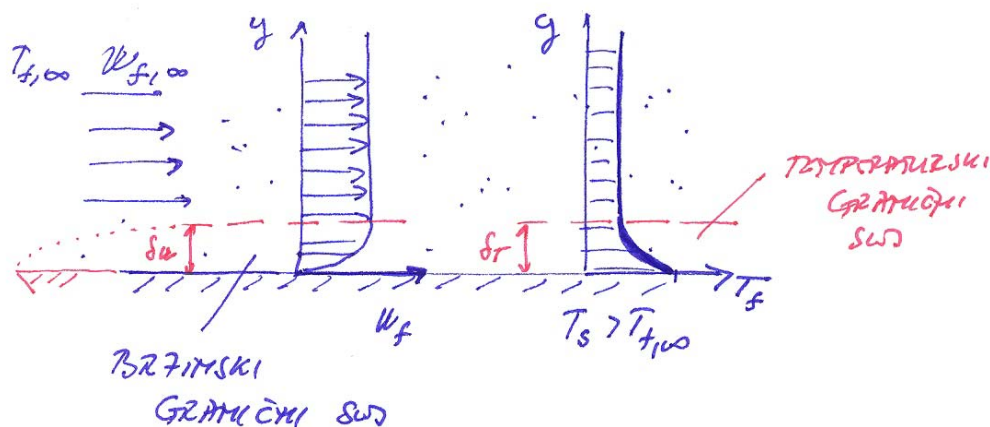


2 slučaj – Vertikalna ploča temperature niže od temperature okolnog fluida

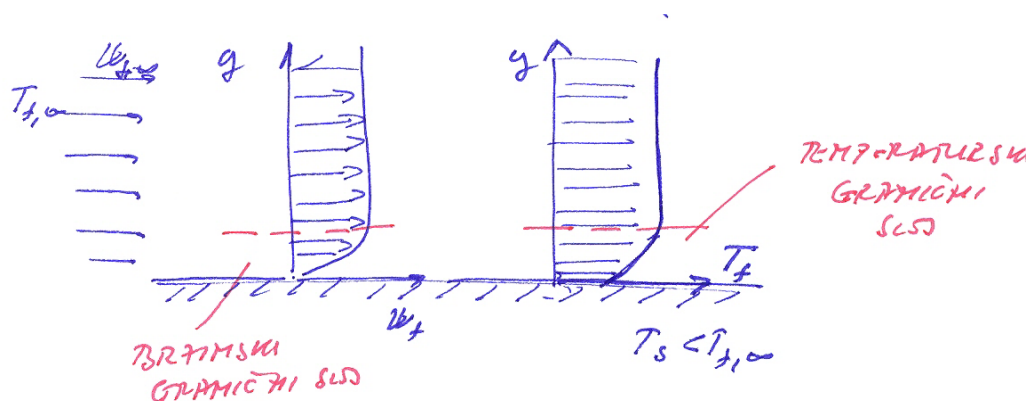


- **Prinudno** – Kretanje fluidnih deliça izazvano je pumpom, ventilatorom, kompresorom, ...
– Poznata je ili se može izračunati srednja brzina kretanja fluida ($w_{f,\infty} \neq 0$)

Primer 1 – Strujanje preko ploče (zagrejane)



Primer 2 – strujanje preko ploče (hladne)



Njutnova (Newton) hipoteza

- Površinski toplotni protok:

$$\varphi = h (T_s - T_f) \quad \text{za} \quad T_s > T_f$$

$$\varphi = h (T_f - T_s) \quad \text{za} \quad T_f < T_s$$

- Koeficijent prelaženja toplote:

$$h \left[\text{W}/(\text{m}^2\text{K}) \right]$$

$$h = f(\text{geometrije}, x, y, z; w_x, w_y, w_z; \lambda_f, \rho_f, c_p, \text{režima strujanja} \dots)$$

- Kako odrediti koeficijent prelaženja toplote h ?
- Kombinovanje analitičkog i eksperimentalnog \Rightarrow teorija sličnosti i bezdimenzionih brojeva + eksperiment \Rightarrow kriterijalne jednačine

- Za prirodnu konvekciju (prirodno konvektivno prelaženje toplote)
- Za prirodnu konvekciju (konvektivno prelaženje toplote)

$$Nu = C' \cdot (Gr \cdot Pr)^{n'} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad D.3.2.$$

- Za prinudnu konvekciju (prinudno konvektivno prelaženje toplote)

$$Nu = C \cdot Re^m \cdot Pr^n \cdot Gr^p \varepsilon_T \quad D.3.1$$

Nuseltov broj:

$$Nu = \frac{h \cdot l_{kar}}{\lambda}$$

Rejnoldsov broj

$$Re = \frac{w_f \cdot l_{kar}}{\nu}$$

Prandtllov broj

$$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu}{\lambda / (\rho c)}$$

Grashofov broj

$$Gr = \frac{\alpha_V \cdot g \cdot \Delta T \cdot l_{kar}^3}{\nu^2}$$

Koeficijent relativnog zapreminskog širenja

$$\alpha_V = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

Razlika temperatura:

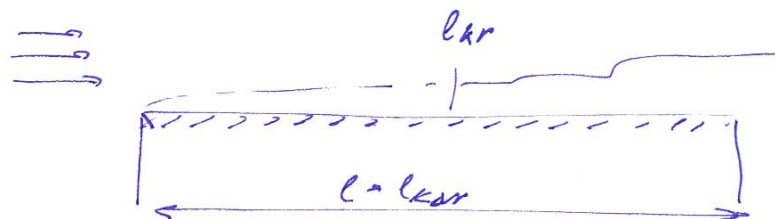
$$\Delta T = T_s - T_f$$

Karakteristična dužina

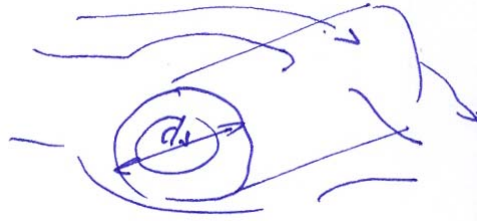
$$l_{kar}$$

Kinematska viskoznost fluida (ν), toplotna provodnost fluida (λ), gustina fluida (ρ), specifični toplotni kapacitet fluida (c_p), toplotna difuzivnost fluida (a)

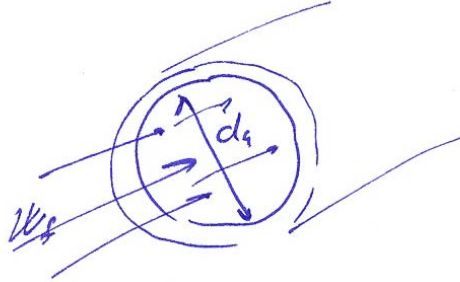
- Određivanje karakteristične dužina - l_{kar}
 - strujanje preko ploče $l_{kar} = l$



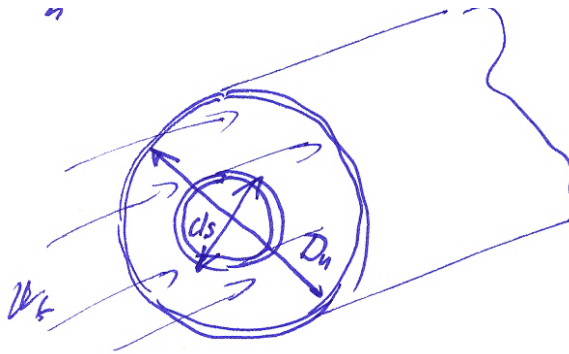
- opstrujavanje cilindra $l_{\text{kar}} = d_s$



- strujanje kroz cev $l_{\text{kar}} = d_u$

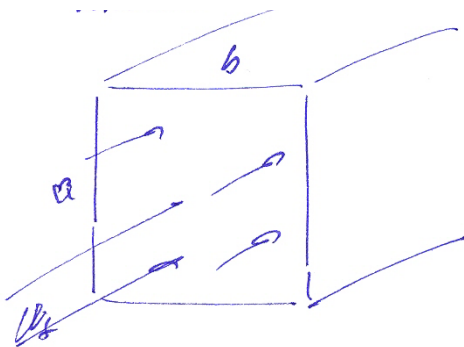


- strujanje kroz anularni prostor - „cev u cevi”



$$l_{\text{kar}} = d_{\text{ek}} = \frac{4A}{O} = \frac{4 \left(\frac{D_u^2 \pi}{4} - \frac{d_s^2 \pi}{4} \right)}{D_u^2 \pi + d_s^2 \pi} = D_u - d_s$$

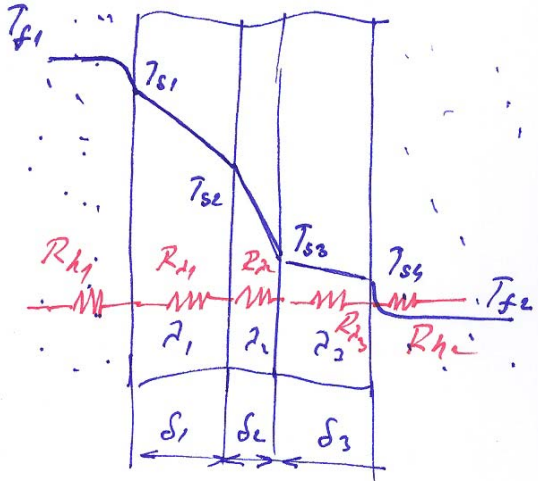
- kanal



$$l_{\text{kar}} = d_{\text{ek}} = \frac{4A}{O} = \frac{4ab}{2a+2b}$$

Prolaženje toplote

• Ravan beskonačan zid



– Njutnova hipoteza – $\varphi = h_l (T_{fl} - T_{s1})$

$$\Phi = A \cdot h_l (T_{fl} - T_{s1}) = \frac{T_{fl} - T_{s1}}{R_{hl}}$$

R_{hl} – otpor prelaženju toplote

$$R_{hl} = \frac{1}{A \cdot h_l} \text{ [K/W]}$$

R_{h2} – otpor prelaženju toplote

$$R_{h2} = \frac{1}{A \cdot h_2} \text{ [K/W]}$$

– Toplotni protok

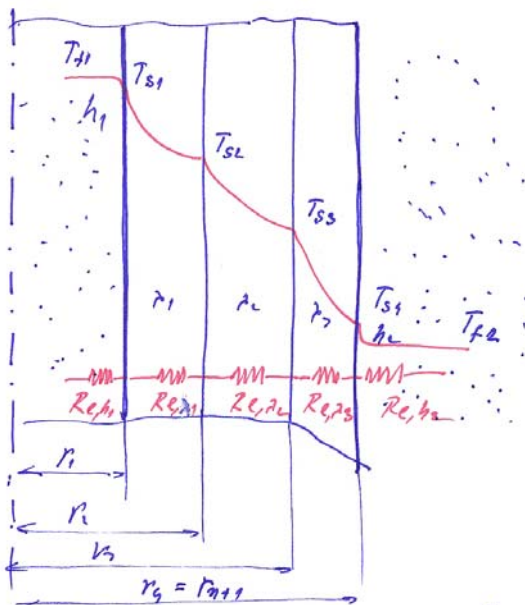
$$\Phi = \frac{T_{fl} - T_{f2}}{R_{hl} + \sum R_{\lambda i} + R_{h2}} = A k (T_{fl} - T_{f2}) \text{ [W]}$$

$k \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$ – koeficijent prolaženja toplote kroz ravan zid

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_2}}$$

$$\varphi = k (T_{fl} - T_{f2}) \text{ [W/m}^2\text{]}$$

• Beskonačan cilindričan zid



– Njutnova hipoteza – $\Phi = A \cdot h (T_f - T_s)$

$$\Phi = 2\pi r \cdot h \cdot l (T_f - T_s) = \frac{T_f - T_s}{\frac{1}{2\pi r \cdot l \cdot h}} = \frac{T_f - T_s}{R_{l,h}}$$

$R_{l,h}$ – otpor prelaženju toplote sa fluida na cilindričnu površ (i obrnuto) [K/W]

$$\varphi_l = \frac{T_f - T_s}{l \cdot R_{l,h}}$$

– za ustaljeno strujanje

$$\Phi_{h1} = \Phi_{h2}$$

$$A_1 \cdot h_1 (T_{f1} - T_{s1}) = A_2 \cdot h_2 (T_{s,n+1} - T_{f2})$$

– Prolaženje toplote kroz višeslojan

cilindričan zid

$$\Phi = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{R_{l,h1} + \sum_{i=1}^n R_{l,\lambda_i} + R_{l,h2}}$$

$$\varphi_l = \frac{\Phi}{l} = \frac{T_{f1} - T_{f2}}{\frac{1}{2\pi \cdot r_1 \cdot h_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{n+1} \cdot h_2}} = k_l (T_{f2} - T_{f1})$$

– koeficijent prolaženja toplote kroz cilindrični zid – k_l [W/mK]

$$k_l = \frac{1}{\frac{1}{2\pi \cdot r_1 \cdot h_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{2\pi \cdot r_{n+1} \cdot h_2}}$$