

$$\dot{q} = \frac{\lambda}{s} \cdot \Delta T$$

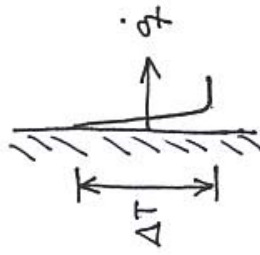
$$\left[\frac{W}{m^2} = \frac{W/mK}{m} K \right]$$

λ = värmeledningstal

Värmeledning

fast kropp

/stillastående
fluid



$$\dot{q} = \alpha \cdot \Delta T$$

$$\left[\frac{W}{m^2} = \frac{W}{m^2 K} \cdot K \right]$$

α = värmeövergångstal

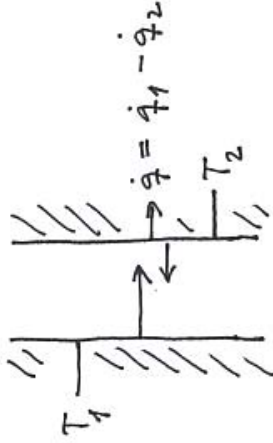
konvektion

naturlig

/påtvångad

/kondensation

/kokning



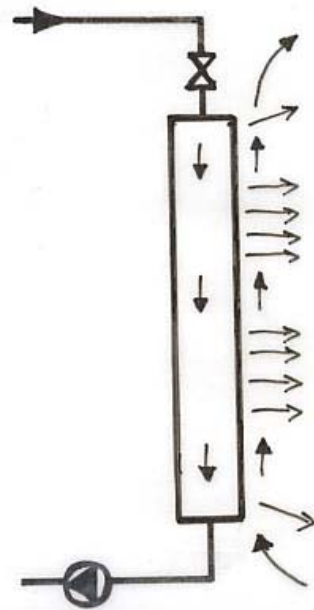
$$\dot{q} = k \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

$$\left[\frac{W}{m^2} = 1 \cdot \frac{W}{m^2 K^4} \cdot K^4 \right]$$

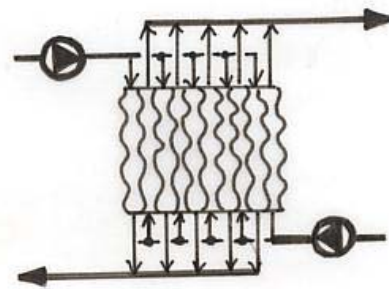
k = brutto-emissivitet
 ≈ 1

σ = Stefan Boltzmann's
konstant = $5.67 \cdot 10^{-8}$

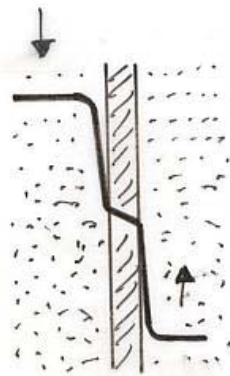
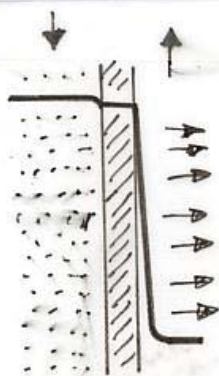
Strålning

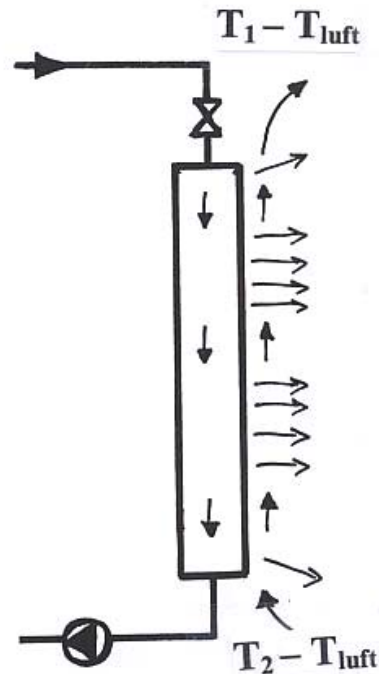


Radiator i krets med pump
Påtvungad konvektion
/ naturlig konvektion
+ strålning

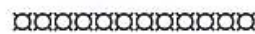


Motströms-värmeväxlare
Påtvungad konvektion
/ påtvungad konvektion





Radiator



Överförd värmeeffekt

$$P / P_o = (\Theta_m / (\Theta_{m,o})^n$$

Logaritmisk medeltemperatur-differens

$$\Theta_m = (T_1 - T_2) / \ln ((T_1 - T_{luft}) / (T_2 - T_{luft}))$$

T_1 = temperatur, inkommande radiatorvatten

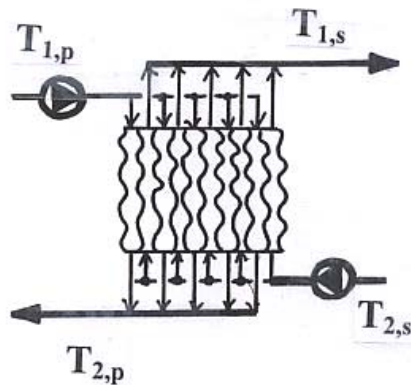
T_2 = temperatur, utgående radiatorvatten

T_{luft} = temperatur, luft utanför gränsskiktet

Index o för värden i referenstillstånd

n = radiatorexponenten

= 1.2 – 1.3 beroende på radiatortyp



Motströms-värmeväxlare



Överförd värmeeffekt $Q = k A \Theta_m$

där värmegenomgångstalet

$$k = (\alpha_1^{-1} + \alpha_2^{-1} + k_{\text{försmutning}})^{-1}$$

$k_{\text{försmutning}}$ = eventuellt försmutningsmotstånd

Logaritmiska medeltemperatur-differensen

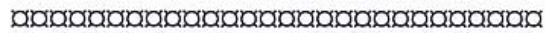
$$\Theta_m = (\Theta_1 - \Theta_2) / (\ln \Theta_1 / \Theta_2)$$

Temperaturdifferenser mellan primär- och sekundärsida:

$$\Theta_1 = T_{1,p} - T_{1,s} = \text{vid inlopp för primärflöde}$$

$$\Theta_2 = T_{2,p} - T_{2,s} = \text{vid utlopp för primärflöde}$$

Flöde i rör, tryckfall



$$\partial p / \partial x = \lambda_{\Delta p} / d \cdot \frac{1}{2} \rho v^2$$

$\lambda_{\Delta p}$ (Re_d , k/d) finns uppritad i Moody-diagram,
är för fullt utbildad turbulent strömning konstant
och = c:a 0.02 för vanliga tekniska rör

$\frac{1}{2} \rho v^2$ = dynamiska trycket

Reynolds tal: $Re_d = vd / \nu$ (dimensionslös hastighet)

k = ytråhet

ν = kinematiska viskositeten =

$\nu = \mu / \rho$

μ = dynamiska viskositeten =

$\tau / (\partial v / \partial y)$

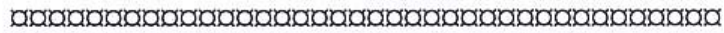
τ = skjuvspänning

$\partial v / \partial y$ = hastighetsgradienten vinkelrät på väggen

Kontrol: $Re [m/s \cdot m / (m^2 / s)] = [-]$ dimensionslös!

Påtvungad konvektion

Axiellt, turbulent flöde i rör



$$Nu_d = 0.035 Re_d^{3/4} Pr^{1/3}$$

Nusselt-talet

$Nu_d = \alpha d / \lambda$, dimensionslöst värmeövergångstal

α = värmeövergångstalet

λ = värmeledningstalet

Kontroll: $Nu [W/m^2K \cdot m / (W/mK)] = [-]$ - dimensionslös!

Prandtl-talet

$Pr = \nu / \alpha_d$ (mått på fluidens viskositet)

ν = kinematiska viskositeten

termiska diffusivitet $\alpha_d = \lambda / (c_p \rho)$

λ = värmeledningstalet

c_p = specifika värmekapaciteten

ρ = densiteten

$\alpha_d = \lambda / (c_p \rho)$ även i lagen för instationär värmeledning:

$$\partial T / \partial t = \alpha_d \partial^2 T / \partial x^2$$

Kontroll:

$Pr [m^2/s / (W/mK / (J / kg \cdot K / m^3))] = [-]$ – dimensionslös!

$Pr = 0.7$ (luft)

$Pr = 13.25$ vid 0°C, 1.54 vid 100°C (vatten)

Naturlig konvektion, Vertikal isoterm platta i stort utrymme



$$Nu_h = c (Gr_h Pr)^m$$

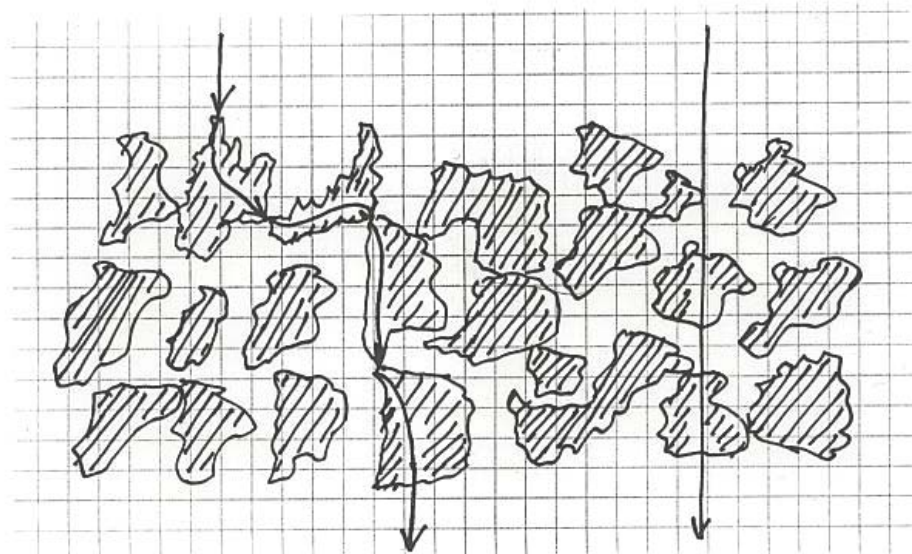
Nusselt-talet $Nu_h = \alpha h / \lambda$ (α = medelvärde för ytan)
 h = plattans höjd

Prandtl-talet $Pr = \nu / (\lambda / (c_p \rho))$

Grashof-talet $Gr = g \beta (T_v - T_f) h^3 / \nu^2$
= mått på lyftkraften p g a fluidens termiska expansion
 g = tyngdaccelerationen
 β = relative volymökningen vid temperaturökning
 T_v = väggens temperatur
 T_f = fluidens temperatur utanför gränsskiktet
 ν = kinematiska viskositeten

Kontroll: $Gr [m/s^2 T^{-1} T m^3 / (m^2 / s)^2] = [-]$ dimensionslös!

$Gr_h Pr = 10^4 - 10^9$: $c = 0.59$, $m = 1/4$
 $Gr_h Pr = 10^9 - 10^{13}$: $c = 0.021$, $m = 2/3$



Korn – korn

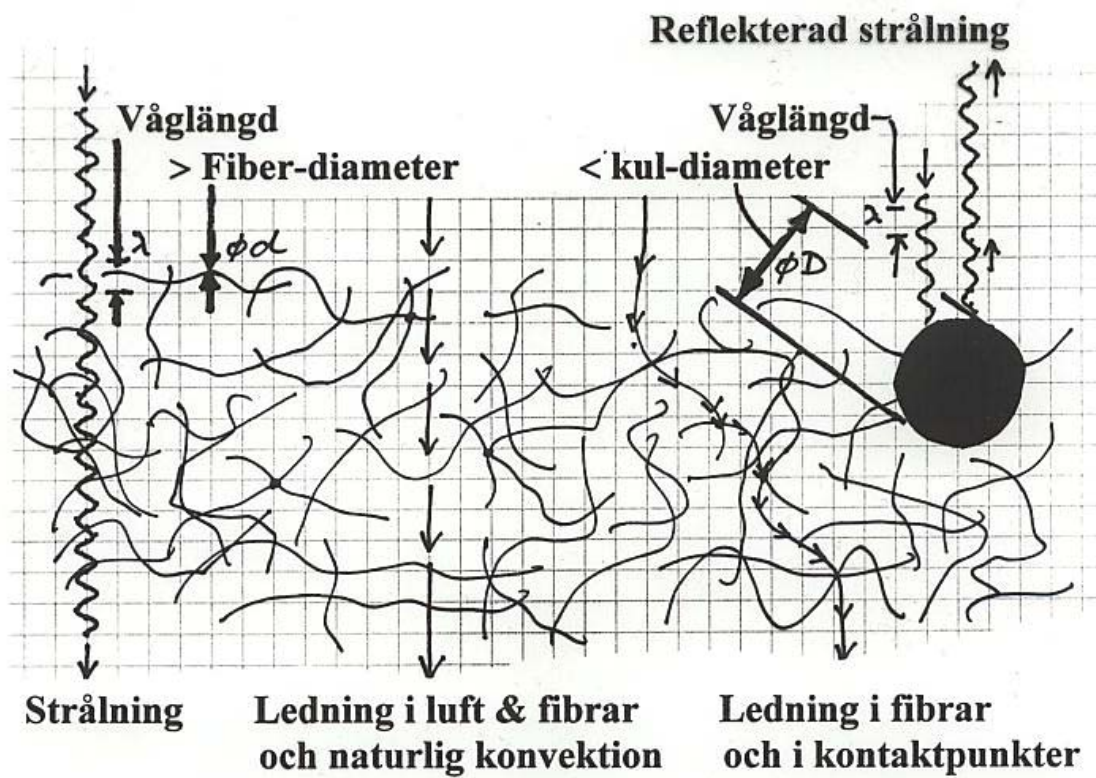
luft – korn

Kornig struktur

$$\lambda(\text{total}) = \text{c:a } 0.1 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{luft}) = 0.025 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{mineral}) = \text{c:a } 0.1 \text{ W/mK}$$

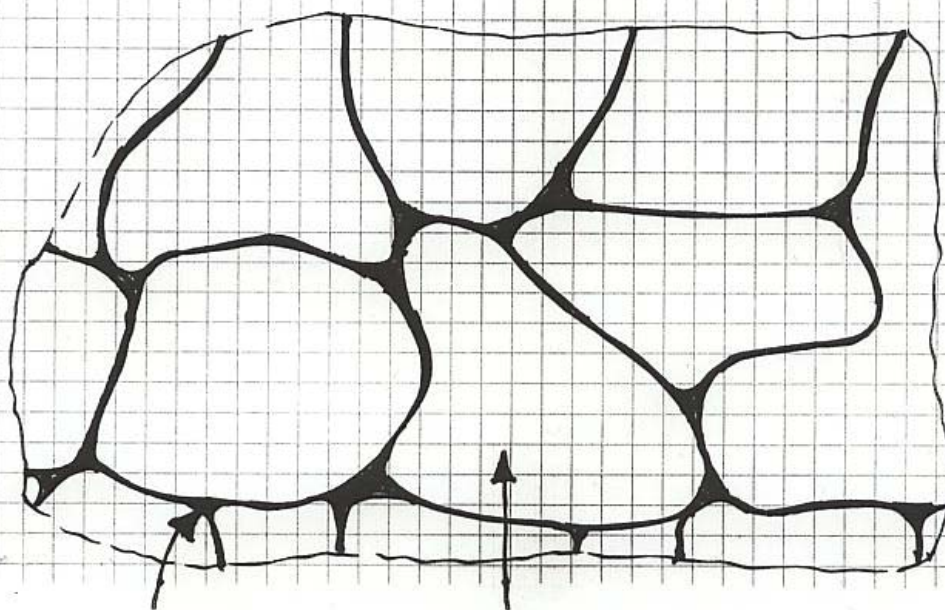


Mineralull

$$\lambda(\text{total}) = 0.04 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{luft}) = 0.025 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{mineral}) = c:a 0.1 \text{ W/mK}$$



Polyuretan (PUR) Isolergas (freon, CO₂, cyklopentan)

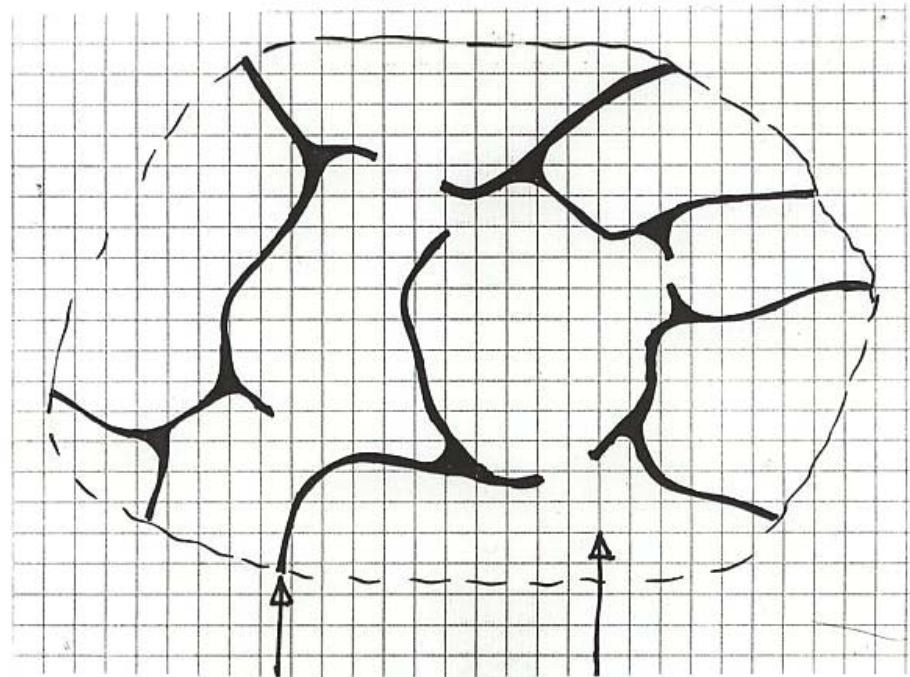
Plastskum med slutna celler

$\lambda(\text{total, cyklopentan, bästa garanterade värde}) = 0.024 \text{ W/mK}$

$\lambda(\text{total, efter års drift}) = \text{c:a } 0.03 \text{ W/mK}$

$\lambda(\text{PUR}) = 0.21 \text{ W/mK}$

$\lambda(\text{isolergas}) = \text{c:a } 0.020 \text{ W/mK}$



Expanderad polystyren (EPS) Luft (ev. med vatten)

Plastskum med öppna celler

$$\lambda(\text{total}) = 0.033 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{total, med vatten}) = \text{c:a (grovt) } 0.07 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{plast}) = \text{c:a } 0.2 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{luft}) = \text{c:a } 0.025 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{vatten}) = 0.3 \text{ W/mK}$$

Energihushållning, projekt VT 2007
SF 2007-02-01

**Ad litteratur till föreläsning
"Värmeöverföring" 2007-01-31**

Numeriska värden ur tabeller och diagram i:
J.P. Holman "Heat Transfer", 8th ed. McGraw-Hill 1997
(finns under kursen i Värmeöverförings bibliotek, 5. vån.)

Tabellerna 1-1, 1-2
Figureerna 1-4, 1-5, 1-6, 1-7, 8-1, 8-5, 8-64