

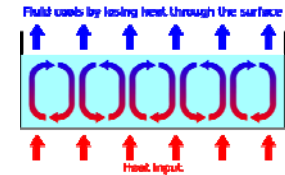
Varmetransport

2. hovedsetning: Varme fra varmt til kaldt legeme (og fra varm til kald del av et legeme)

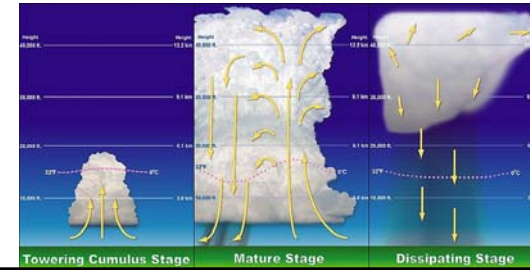
Avhengig av typen transport og materialegenskaper:

1. Varmeledning, Fouriers lov
2. Konveksjon (strømning)
3. Varmestråling, Stefan-Boltzmanns lov

Konveksjon



Viktig for atmosfæren og vær



Varmetransport

1. Varmeledning, Fouriers lov $\dot{Q} = \kappa A \frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{\Delta T}{R}$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = j = \kappa \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$\vec{j} = \kappa \vec{\nabla} T$$

2. Konveksjon (strømning).
Varmeovergang (vegg/luft): $j = \alpha \Delta T$

3. Varmestråling, Stefan-Boltzmanns lov

Varmeledningsevne,

$(k =) \kappa$

For ulike materialer ved romtemp

Varmeovergangstall:

$\alpha_{\text{ute}} = 25 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
 $\alpha_{\text{inne}} = 7,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$i \quad j = \alpha \Delta T$

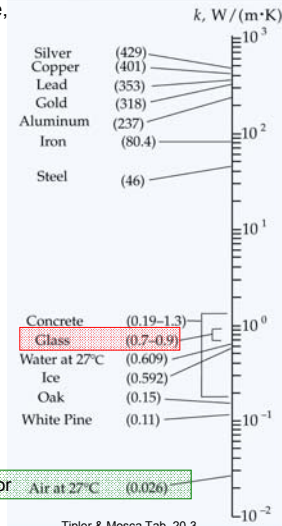


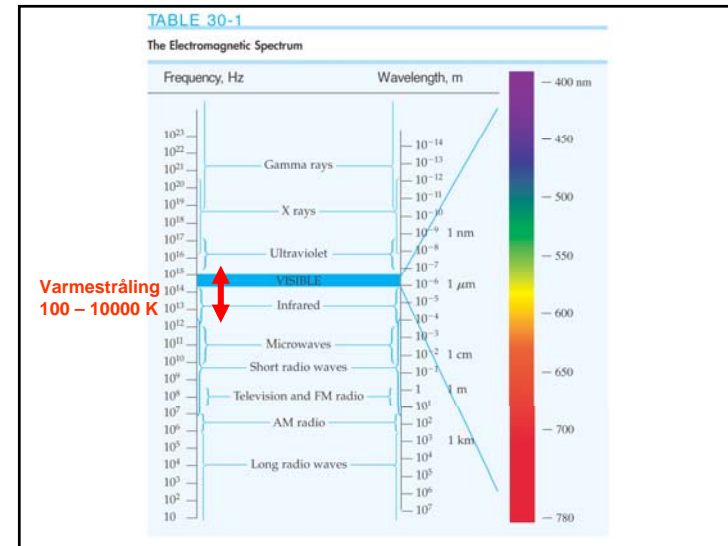
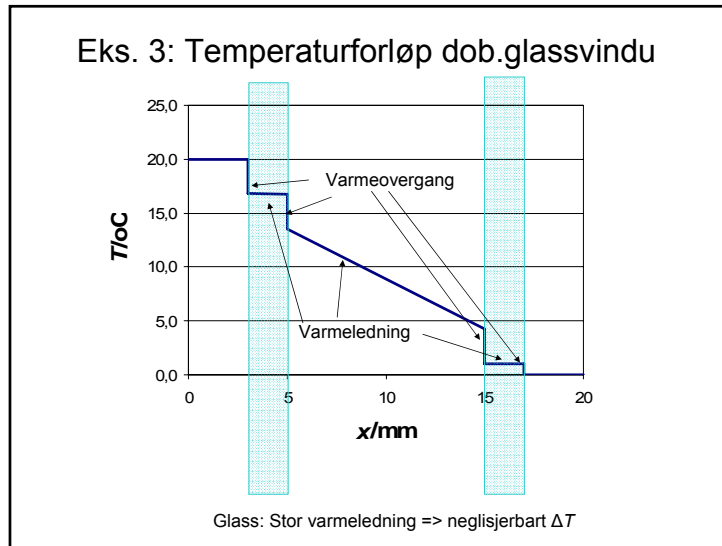
Table 17.5 Thermal Conductivities

Substance	k (W/m·K)
Metals	
Aluminum	205.0
Brass	109.0
Copper	385.0
Lead	34.7
Mercury	8.3
Silver	406.0
Steel	50.2
Solids (representative values)	
Brick, insulating	0.15
Brick, red	0.6
Concrete	0.8
Cork	0.04
Felt	0.04
Fiberglass	0.04
Glass	0.8
Ice	1.6
Rock wool	0.04
Styrofoam	0.027
Wood	0.12-0.04
Gases	
Air	0.024
Argon	0.016
Helium	0.14
Hydrogen	0.14
Oxygen	0.023

Tabell Wikipedia

Tipler & Mosca Tab. 20-3

© 2013 Pearson Education, Inc. Y&F Tab 17.5



Varmetransport

1. Varmeledning, Fouriers lov
2. Konveksjon (strømning).
Varmeovergang vegg/luft
3. Varmestråling, Stefan-Boltzmanns lov

Alle legemer sender ut e.m.stråling:
Infrarødt ved romtemp, rødt - hvitt ved høyere temperaturer

Årsak: termiske vibrasjoner i molekyler = akselererende elektroner

Infrarød varmestråling:

Emissivitet e for ulike materialer

Materiale	e
Omhyggelig polert gull	0,02 - 0,03
Omhyggelig polert sølv	0,02 - 0,03
Omhyggelig polert messing	0,03
Oksydert messing	0,6
Polert aluminium og -folie	0,04 - 0,06
Upolert aluminium	0,06 - 0,07
Sterkt oksydert aluminium	0,2 - 0,3
Karbon: grafitt	0,7 - 0,8
Karbon: sot på overflate	0,96
Glasert porselen	0,92
Gummi	0,85 - 0,95
Gips	0,93
Vann	0,95 - 0,96
Betong	0,85
Wolfram (glødetråd)	0,4 - 0,5

$j = e \sigma T^4$

Liten

Stor

Emissivitet e
=
absorpsjonsevne a

Fra Handbook og Physics & Chemistry og
www.engineeringtoolbox.com/
emissivity-coefficients-d_447.html

- Varmestråling:**
 - Alle legemer/overflater stråler ut el.magn.stråling:
 - Stefan-Boltzmanns lov: $j = e \sigma T^4$ (W/m²)
- Eks. 5: Menneskekroppen:**

$T = 33 \text{ }^\circ\text{C} = 306 \text{ K}$, $e = 0,8$ $A = 1,8 \text{ m}^2$


 - $P_{\text{ut}} = e \sigma (306 \text{ K})^4 \cdot 1,8 \text{ m}^2 = 716 \text{ W}$ (naken kropp)
 - 20 °C omgivelser:

$P_{\text{inn}} = e \sigma (293 \text{ K})^4 = 602 \text{ W}$ $P_{\text{netto}} = 114 \text{ W}$ (ut)
 - 0 °C omgivelser:

$P_{\text{inn}} = e \sigma (273 \text{ K})^4 = 454 \text{ W}$ $P_{\text{netto}} = 262 \text{ W}$ (ut)
 - Steikende sol 1,0 kW/m² :

$P_{\text{inn}} = e \cdot 1,0 \text{ kW/m}^2 \cdot 0,9 \text{ m}^2 + e \sigma (293 \text{ K})^4 \cdot 0,9 \text{ m}^2 = 1021 \text{ W}$
 $P_{\text{inn}} = e \cdot 1,0 \text{ kW/m}^2 \cdot 0,5 \text{ m}^2 + e \sigma (293 \text{ K})^4 \cdot 1,8 \text{ m}^2 = 1002 \text{ W}$
 $P_{\text{netto}} \approx 300 \text{ W}$ (inn)

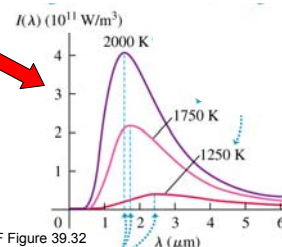
Max Planck (1858 – 1947)



- Grunnlegger kvantemekanikk:
- 1900: Strålingens bølgelengdefordeling
- 1918: Nobelpris fysikk

$$I(\lambda) = \frac{dj}{d\lambda} = 2\pi hc^2 \frac{\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{k_B T \lambda}\right) - 1}$$

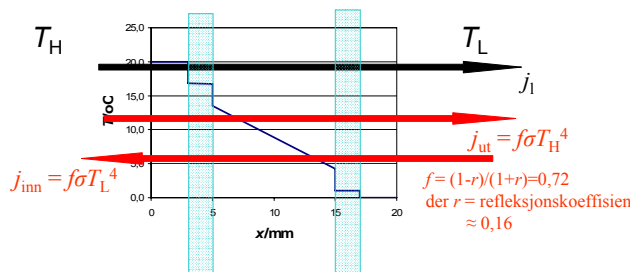
$f \lambda = c = \text{lysfart}$

$$I(f) = \frac{dj}{df} = \frac{2\pi h}{c^2} \frac{f^3}{\exp\left(\frac{hf}{k_B T}\right) - 1}$$


$\lambda_{\text{max}} = 2898 \mu\text{m K} / T$

Y&F Figure 39.32

Eks 6: Temperaturforløp dob.glassvindu



varmeledning: $j_1 = (T_H - T_L) / \Sigma R$, $\Sigma R = R_{\text{overgang}} + R_{\text{glass}} + R_{\text{luff}} = 0,83 \text{ m}^2\text{K/W}$

varmestråling: $j_s = j_{\text{ut}} - j_{\text{inn}} = f\sigma T_H^4 - f\sigma T_L^4 \approx f\sigma 4T_m^3 (T_H - T_L) = 3,72 \text{ W/m}^2\text{K} (T_H - T_L)$
 $f = (1-r)/(1+r) = 0,72$ der $r = \text{refleksjonskoeffisient} \approx 0,16$

Totalt: $j = (1,2 + 3,72) \text{ W/m}^2\text{K} (T_H - T_L)$ Stråling vesentlig bidrag!

Varmetransport

- Varmedledning (Fouriers lov):**
 - Varmerøm (W): $dQ/dt = \kappa A \Delta T / \Delta l = \Delta T / R$
er lik for alle lag gjennom f.eks. vindu.
 - Varmerømtetthet (W/m²): $j = dQ/dt / A = -\kappa dT/dx$
- Konveksjon (materietransport)** i gasser og væsker
 - Varmerømtetthet: $j = -\alpha \Delta T$ avhengig av konveksjon i overgangen
- Varmestråling:**
 - Alle legemer/overflater stråler ut el.magn.stråling, som øker sterkt med temperaturen T :
 - Stefan-Boltzmanns lov: $j = e \sigma T^4$ $e = a$
 $e = 1$ helt sorte overflater; $e = 0$ helt blanke overflater
 - Plancks strålingslov:
 - Bølgelengdefordelingen for strålingsintensiteten: $j(\lambda, T)$.
 - Wiens forskyvningslov: $\lambda_{\text{max}} T = 2898 \text{ nm K}$
 - Linearisering: $j = \sigma (T_H^4 - T_L^4) \approx \sigma 4T_m^3 (T_H - T_L)$, T_m mellom T_H og T_L