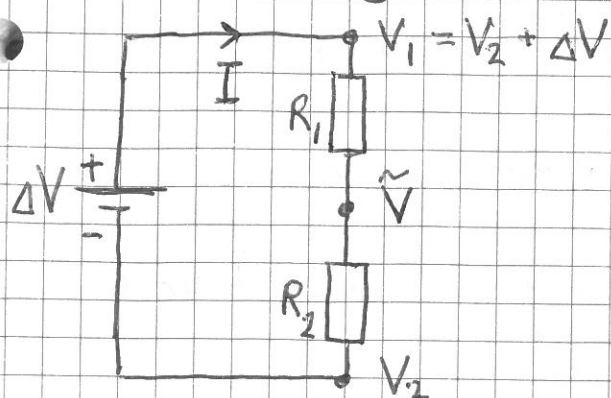


Seriekobling av motstander:



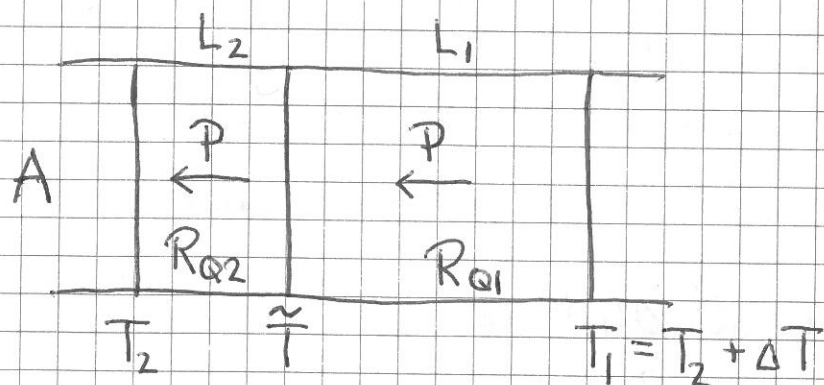
$$\left. \begin{aligned} V_1 - \tilde{V} &= R_1 I \\ \tilde{V} - V_2 &= R_2 I \end{aligned} \right\} \text{Ohms lov}$$

$$\Rightarrow \Delta V = (R_1 + R_2) I$$

Dvs: $R_1 + R_2$ er total motstand for seriekobling av R_1 og R_2

Varmeledningsanalogi: Vegg med areal A og to lag (f.eks. tre og glass) med tykkelser L_1, L_2 og varmeledningsemer κ_1, κ_2 , dvs varmemotstander hhv

$$R_{Q1} = \frac{L_1}{\kappa_1 A} \text{ og } R_{Q2} = \frac{L_2}{\kappa_2 A}.$$

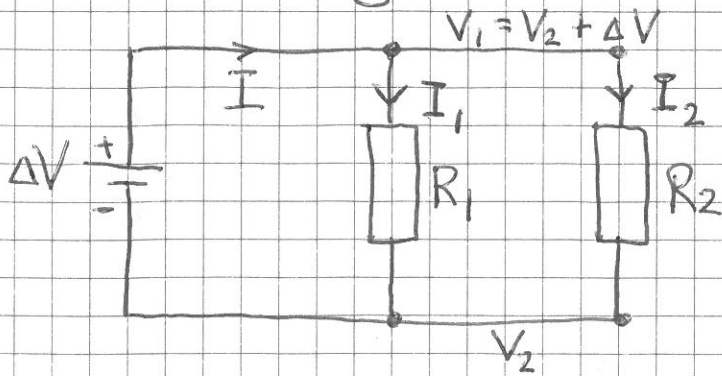


$$\left. \begin{aligned} T_1 - \tilde{T} &= R_{Q1} P \\ \tilde{T} - T_2 &= R_{Q2} P \end{aligned} \right\} \text{Fouriers lov}$$

$$\Rightarrow \Delta T = (R_{Q1} + R_{Q2}) P$$

Dvs: $R_{Q1} + R_{Q2}$ er total varmemotstand for seriekobling av R_{Q1} og R_{Q2}

Parallellkobling av motstander:

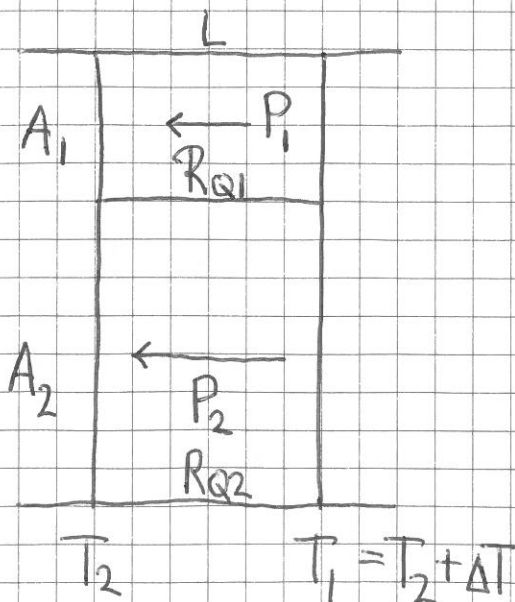


$$\Delta V = R_1 I_1 = R_2 I_2 \quad (\text{Ohms lov})$$

$$I = I_1 + I_2 = \Delta V / R_1 + \Delta V / R_2 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \Delta V$$

Dvs: $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1}$ er total motstand for parallellkobling av R_1 og R_2

Varmeledningsanalogi: Vegg med tykkelse L og to "parallelle" lag med arealer A_1, A_2 og varmeledningsevner κ_1, κ_2 , dvs varmemotstander hvor $R_{Q1} = \frac{L}{\kappa_1 A_1}$ og $R_{Q2} = \frac{L}{\kappa_2 A_2}$.



$$\Delta T = R_{Q1} P_1 = R_{Q2} P_2 \quad (\text{Fouriers lov})$$

$$P = P_1 + P_2 = \Delta T / R_{Q1} + \Delta T / R_{Q2} = \left(\frac{1}{R_{Q1}} + \frac{1}{R_{Q2}} \right) \Delta T$$

Dvs: $\left(1/R_{Q1} + 1/R_{Q2} \right)^{-1}$ er total varmemotstand for parallellkobling av R_{Q1} og R_{Q2}

Eks: Vegg, 20 cm glava ($\kappa_g = 0.035 \frac{W}{m \cdot K}$) mellom 2 cm innerpanel og 3 cm ytterpanel ($\kappa_t = 0.12 \frac{W}{m \cdot K}$), $\Delta T = 20 K$.
Regn ut effekttap pr m^2 og $T(x)$ gjennom vegg. (Se bort fra vind)

Løsn: Med $A = 1 m^2$, $L_g = 0.20 m$ og $L_t = 2 cm + 3 cm = 0.05 m$ blir

$$R_Q^g = 0.20 m / (0.035 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 1 m^2) = \frac{200}{35} \frac{K}{W} = 5.71 \frac{K}{W} \quad \text{og}$$

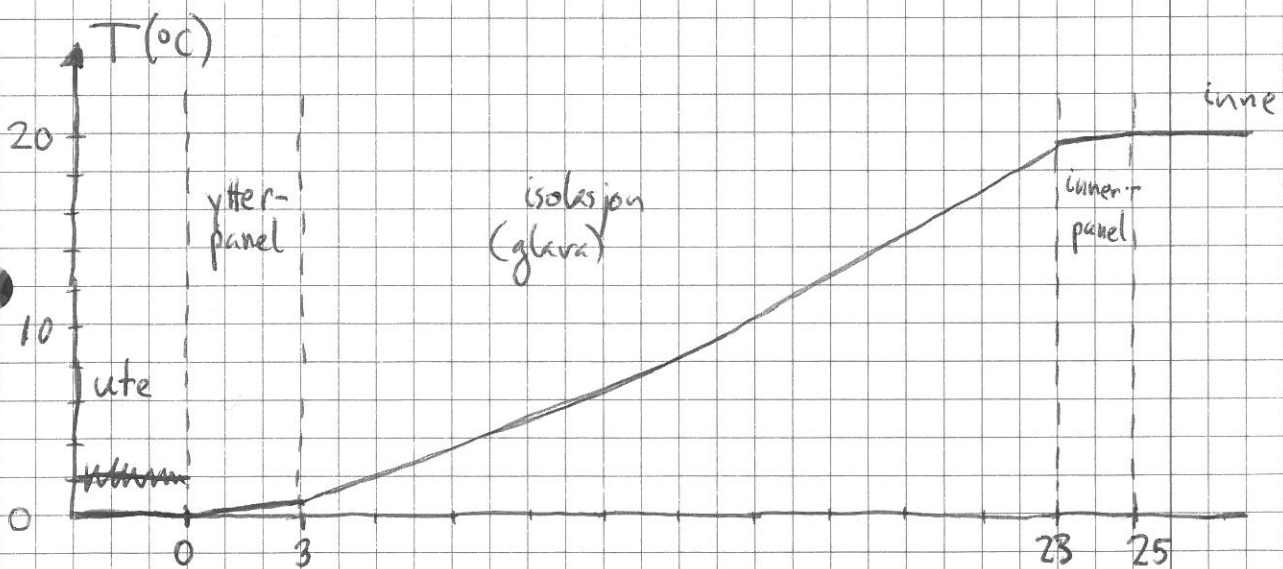
$$R_Q^t = 0.05 m / (0.12 \frac{W}{m \cdot K} \cdot 1 m^2) = \frac{5}{12} \frac{K}{W} = 0.42 \frac{K}{W}, \quad \text{dvs}$$

$$R_Q = R_Q^g + R_Q^t = 6.13 K/W. \quad \text{Effekt tap pr } m^2 \text{ blir da}$$

$$P = \Delta T / R_Q = 20 K / (6.13 K/W) \approx \underline{\underline{3.3 W}}$$

$$\text{Temp. fall gjennom 1 cm panel: } P \cdot R_Q^t / 5 = \frac{3.3 W \cdot 0.42 \frac{K}{W}}{5} = 0.27 K$$

$$\text{glava: } P \cdot R_Q^g / 20 = \frac{3.3 W \cdot 5.71 \frac{K}{W}}{20} = 0.93 K$$



Merk at $dT/dx = P/\kappa A$ er betydelig større i isolasjons-
laget enn i panellagene. Og klart størst temp. endring gjennom
glavaen, det materialet som isolerer best!

Stråling [YF 17.7; LHL 18.4]

(116)

- Akselererte ladninger emitterer elektromagnetiske (EM) bølger, dvs stråling, som kan absorberes, reflekteres og transmitteres av legemer omkring. ($a+r+t=1$)

- Svart legeme: $a=1$ ($r=t=0$); absorberer all innkommende stråling.

- Legeme i termisk likevekt, dvs konstant T , emitterer like mye strålingsenergi som det absorberer, for enhver bølglengde:

$$e(\lambda) = a(\lambda) \leq 1 \quad (e=1 \text{ for svart legeme})$$

- Stefan-Boltzmanns lov: (svart legeme, $e=1$)

$$j = \sigma T^4; \quad \sigma = 2\pi^5 k_B^4 / 15 h^3 c^2 \approx 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

$$[\text{Reelle legemer: } j = e\sigma T^4; e < 1]$$

- Kvantemekanikk og statistisk mekanikk gir Plancks fordelingslov (M. Planck, 1900).

Frekvensfordeling:

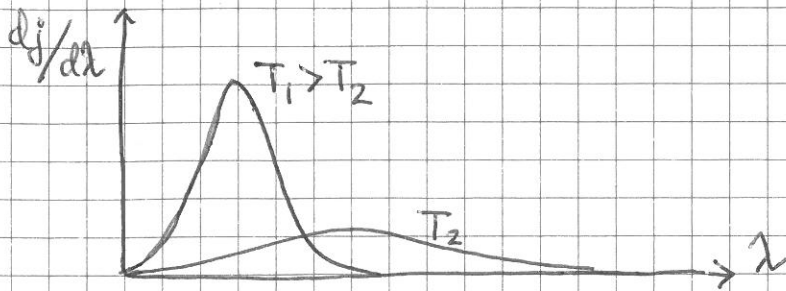
$$j(T) = \int_0^\infty \frac{dj}{df} df; \quad \frac{dj}{df} = \frac{2\pi h f^3 / c^2}{\exp[hf/k_B T] - 1} \quad (\text{W/m}^2 \text{Hz})$$

Bølglengdefordeling: ($c = \lambda f$)

$$j(T) = \int_0^\infty \frac{dj}{d\lambda} d\lambda; \quad \frac{dj}{d\lambda} = \frac{2\pi h c^2 / \lambda^5}{\exp[hc/\lambda k_B T] - 1} \quad (\text{W/m}^3)$$

- Wiens forskybningslov: $d_j/d\lambda$ har max-verdi for $\lambda \cdot T \approx 2.90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$

[d_j/df har maxverdi for $f/T \approx 5.88 \cdot 10^{10} \text{ Hz/K}$]



Solas overflade: $T \approx 6 \cdot 10^3 \text{ K} \Rightarrow \text{max for } \lambda \approx 480 \text{ nm}$
(Blågrønt; synlig lys fra 400 til 700 nm; blått, ..., rødt)

Kroppens overflade: $T \approx 303 \text{ K} \Rightarrow \text{max for } \lambda \approx 10 \mu\text{m}$ (IR)

Mørk, skyfri nattehimmel: $T \approx 240 - 260 \text{ K}$ (afhængig af relativ luftfugtighed og temperatur ved bakken) $\Rightarrow \text{max for } \lambda \approx 12 \mu\text{m}$

"CMB" (Cosmic Background Radiation): $T \approx 2.73 \text{ K}$
 $\Rightarrow \text{max for } \lambda = 1.87 \text{ mm}$

Ek5: ^{pga stråling} Finn effektbep fra nagen krop i omgivelser ved $+5^\circ\text{C}$.
Anta svart legeme, $T_{\text{hud}} = 30^\circ\text{C}$ og $A = 1.75 \text{ m}^2$.

$$\begin{aligned} \text{Løsn: } P_{\text{kp}} &= P_{\text{ut}} - P_{\text{inn}} = (j_{\text{ut}} - j_{\text{inn}}) \cdot A = \sigma (T_{\text{hud}}^4 - T_{\text{omg}}^4) \cdot A \\ &= 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \cdot (303^4 - 278^4) \text{ K}^4 \cdot 1.75 \text{ m}^2 \approx \underline{\underline{244 \text{ W}}} \end{aligned}$$

(Klær hindrer det meste av dette; se øv. 11 nr 4)

U-verdier i byggebransjen

Defineres ved

$$j = U \cdot (T_i - T_u)$$

dvs

U = varmekkasje pr m^2 og pr grad temp. forskjell mellom inne (i) og ute (u)

Eks: Lagdelt vegg s. 115. $j = 3,3 \text{ W/m}^2$ når $\Delta T = 20 \text{ K}$

$$\Rightarrow U = \frac{3,3}{20} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \approx \underline{\underline{0,16 \text{ W/m}^2 \text{K}}}$$

Krav i Tek 10 (byggeforskrifter):

Yttervegg $U < 0,18$

Tak $U < 0,13$

Gulv $U < 0,15$

Vindu $U < 1,2$