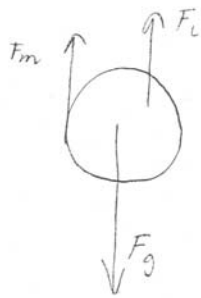


B1



När $F_g > F_m + F_L$ faller haglet till marken.

$$F_g = V \rho_{is} g$$

$$F_L = V \rho_{luft} g$$

$$F_m = \frac{C_D A_p \rho_{luft} U^2}{2}$$

$$V \text{ haglets volym} = \frac{4\pi r^3}{3}$$

A_p : projicerad area av haglet: πr^2

$$V \rho_{is} g = V \rho_{luft} g + \frac{C_D A_p \rho_{luft} U^2}{2}$$

$$U^2 = \frac{Vg(\rho_{is} - \rho_{luft})}{C_D A_p \rho_{luft}} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Insättning} \\ \text{av } V \text{ o. } A_p \end{array} \right\} = \frac{4\pi r^3 g (\rho_{is} - \rho_{luft})}{3 C_D \pi r^2 \rho_{luft}}$$

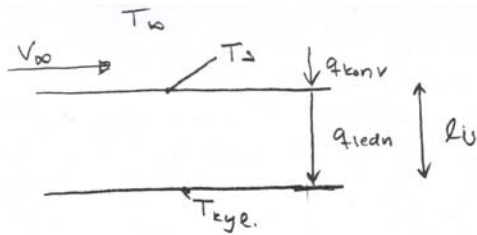
$$\left. \begin{array}{l} D = 2r = 4,2 \text{ cm} = 0,042 \text{ m} \\ g = 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \rho_{is} = 910 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{luft} = 0,653 \text{ kg/m}^3 \end{array} \right\} \Rightarrow U^2 = \frac{769}{C_D}$$

C_D är en funktion av Re som är en funktion av hastigheten U . fig. 12.4 ($\mu = 1,59 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)
Gissa $C_D = 0,45 \Rightarrow U = 41 \text{ m/s} \Rightarrow Re = 71285$

$$\Rightarrow C_D \approx 0,5 \Rightarrow U = 39 \text{ m/s}$$

$$\underline{U \approx 40 \text{ m/s}}$$

B2



Givet: $k_{i,s} = 2.1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
 $\Delta H_{\text{smält}} = 334 \text{ kJ/kg}$
 $\rho_{i,s} = 910 \text{ kg/m}^3$
 $T_s = 0^\circ\text{C}$
 $\delta_{i,s} = 7 \text{ cm}$
 $L = 50 \text{ m}$
 $V_\infty = 12 \text{ m/s}$
 $T_{\text{kyl}} = -7^\circ\text{C}$

a) Vid vilken temperatur börjar isen smälta?

$$q_{\text{konv}} \geq q_{\text{ledn}} \text{ då smälter isen}$$

$$q_{\text{konv}} = q_{\text{ledn}}$$

$$\frac{q_{\text{konv}}}{A} = h(T_\infty - T_s)$$

$$\frac{q_{\text{ledn}}}{A} = \frac{k}{\delta_i}(T_s - T_{\text{kyl}})$$

$$\Rightarrow h(T_\infty - T_s) = \frac{k_i}{\delta_i}(T_s - T_{\text{kyl}})$$

h beräknas mha korrelation.
 påtvungad konvektion över plan yta.

$$\text{Turbulent} \Rightarrow Nu_L = 0.036 Re_L^{4/5} Pr^{1/3} = \frac{hL}{k}$$

Materialdata tas vid filmtemperaturen \Rightarrow

$$T_{\text{film}} = \frac{T_\infty + T_s}{2} \Rightarrow \text{iterativ beräkning.}$$

$$\text{Gissa } T_\infty = 10^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow T_{\text{film}} = 5^\circ\text{C}$$

$$\nu = 1.3703 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 2.4512 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

$$Pr = 0.7136$$

$$\Rightarrow Re = \frac{V_\infty L}{\nu} = 4.3786 \cdot 10^7$$

$$\Rightarrow Nu_L = 41737 \Rightarrow h = 20.46 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \Rightarrow T_\infty = 10.3^\circ\text{C}$$

Gissa: $T_w = 10.3^\circ\text{C}$

$\Rightarrow T_{film} = 5.15^\circ\text{C}$

$\nu = 1.3716 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$k = 2.4524 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}\cdot\text{K}$

$Pr = 0.7136$

$\Rightarrow Re = 4.374 \cdot 10^7 \Rightarrow Nu_L = 41705 \Rightarrow \bar{h} = 20.46 \text{ W/m}^2\text{K}$

$\Rightarrow T_w = 10.3^\circ\text{C} \Rightarrow \text{OK!}$

b) Hur lång tid tar det för isen att ta sig
 från 7cm till 6cm i tjocklek pga smältning?
 Om temperaturen i luften är 14°C .

$$\left(\frac{q_{konv}}{A} - \frac{q_{ledn}}{A} \right) = -\Delta H_{smält} \cdot \rho_{is} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\Rightarrow h(T_w - T_s) - \frac{k_{is}}{x}(T_s - T_{kye}) = -\Delta H_{smält} \cdot \rho_{is} \cdot \frac{dx}{dt}$$

$$\Rightarrow \int_0^t dt = -\Delta H_{smält} \rho_{is} \int_{0.07}^{0.06} \frac{dx}{h(T_w - T_s) - \frac{k_{is}}{x}(T_s - T_{kye})}$$

$$\Rightarrow t = -\Delta H_{smält} \rho_{is} \int_{0.07}^{0.06} \frac{x \, dx}{hx(T_w - T_s) - k_{is}(T_s - T_{kye})} \quad [\text{Beta int. 10}]$$

$$\Rightarrow t = -\Delta H_{smält} \rho_{is} \left[\frac{x}{h(T_w - T_s)} + \frac{k_{is}(T_s - T_{kye})}{h^2(T_w - T_s)^2} \ln \left(hx(T_w - T_s) - k_{is}(T_s - T_{kye}) \right) \right]_{0.07}^{0.06}$$

$$= -\frac{\Delta H_{smält} \rho_{is}}{h(T_w - T_s)} \left[x + \frac{k_{is}(T_s - T_{kye})}{h(T_w - T_s)} \ln \left(hx(T_w - T_s) - k_{is}(T_s - T_{kye}) \right) \right]_{0.07}^{0.06}$$

Beräkna h vid $T_w = 14^\circ\text{C} \Rightarrow T_{film} = 7^\circ\text{C}$.

$\Rightarrow \nu = 1.3876 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

$k = 2.4671 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}\cdot\text{K}$

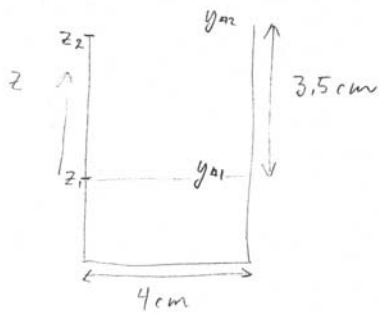
$Pr = 0.713$

$\Rightarrow h = 20.38 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$t = -\frac{334 \cdot 10^3 \cdot 910}{20.38(14-0)} \left[0.06 - 0.07 + \frac{2.1(0-(-7))}{20.38(14-0)} \ln \left(\frac{20.38 \cdot 0.06(14-0) - 2.1(0-(-7))}{20.38 \cdot 0.07(14-0) - 2.1(0-(-7))} \right) \right]$$

$\Rightarrow t = 53409 \text{ s} = 14.8 \text{ h}$

B3



Sökt: vikt % etanol
efter 30 min

$$\Delta m = N_{Az} A_i \cdot \text{Metanod} t$$

$$A = \text{etanol}$$

$$A_i = \pi r^2$$

Diffusionscell

Antag att luft inte löses i glöggem $N_{Oz} = 0$

Vi har diffusion genom stagnant zorr.

$$\text{ekv. 26-5} \quad N_{Az} = \frac{CD_{AB}}{z_2 - z_1} \ln \frac{(1 - y_{A2})}{(1 - y_{A1})}$$

$$C = \frac{P}{RT} = \frac{101,3 \cdot 10^3}{8,31 \cdot 299} = 40,9 \text{ mol/m}^3$$

$$y_{A1} = \frac{p_A}{P} = \frac{53,6 \cdot 10^3}{101,3 \cdot 10^3} = 0,529 \quad z_2 - z_1 = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$y_{A2} = 0$ försumbar halt av etanol i omgivningen

$$\text{Insättning i 26-5} \Rightarrow N_{Az} = 0,0116135 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \text{s}}$$

$$A_i = \pi r^2$$

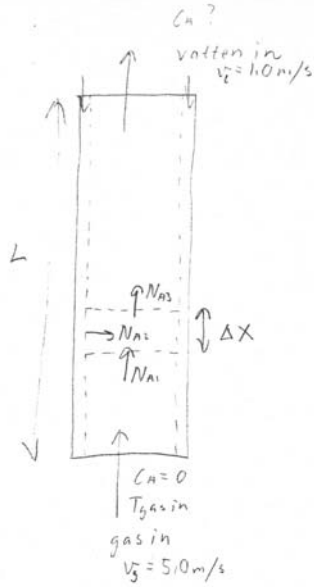
$$t = 30 \cdot 60 \text{ s}$$

$$\Delta m = 1,21 \text{ g}$$

$$\text{vikt-andel etanol: } \frac{30 \cdot 0,08 \cdot \Delta m}{30 - \Delta m} = 0,041 \quad 4,1 \text{ vikt\%}$$

12-13

B4



Sökt: vatten som överförs till
 luften per sekund: $Q(c_{\text{out}} - c_{\text{in}})$
 Q flöd (m^3/s)
 $c_{\text{in}} = 0$ ty torrluft.

Materialbalans över ett litet element i kolonnen Δx

$1n = 0t$ steady-state

$$N_{n1} A_1 + N_{n2} A_2 = N_{n3} A_3 \quad (1)$$

$$N_{n1} A_1 = c_a v_3 \pi D_i^2 / 4 \Big|_x \quad N_{n2} A_2 = k_c (c_i - c_a) \pi D_i \Delta x$$

$$N_{n3} A_3 = c_a v_3 \pi D_i^2 / 4 \Big|_{x+\Delta x} \quad c_i \text{ konc. av vatten vid vattenytan. } \left(\frac{p_{\text{H}_2\text{O}, 20^\circ\text{C}}}{RT} \right)$$

Insättning i (1) $c_a v_3 \pi D_i^2 / 4 \Big|_x + k_c (c_i - c_a) \pi D_i \Delta x =$
 $= c_a v_3 \pi D_i^2 / 4 \Big|_{x+\Delta x}$

dividera med $\Delta x (\pi D_i^2 v_3 / 4)$ och låt $\Delta x \rightarrow 0$

$$k_c (c_i - c_a) \frac{4}{D_i v_3} = \frac{\partial c_a}{\partial x} \quad \text{separera och integrera}$$

$$\frac{k_c 4}{D_i v_3} \int_0^L dx = \int_{c_{\text{in}}}^{c_{\text{out}}} \frac{1}{c_i - c_a} \partial c_a$$

$$\frac{k_c 4}{D_i v_3} L = - \ln \left(\frac{c_i - c_{\text{out}}}{c_i - c_{\text{in}}} \right) \quad c_{\text{out}} = - c_{\text{in}} e^{-\frac{k_c 4 L}{D_i v_3}} + c_i \quad (2)$$

B4
fort.

Ta fram massöverföringskoeff., k_c .

$$\text{Chilton-Colburn} \quad \frac{C_f}{2} = j_D = \frac{k_c}{v_\infty} (Sc)^{2/3} = j_H$$

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}}$$

Data ska tas vid film-
temperaturen.

$$T_{\text{film,medel}} = \left(\frac{T_{\text{gas,in}} + T_{\text{gas,ut}}}{2} + T_{\text{vatten}} \right) \frac{1}{2}$$

Giessa gastemp. ut 30°C $T_{\text{film,medel}} = 32,5^\circ\text{C}$

App. 7 $\rho D_{AB} = 2,634$ $P = 101,3 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

$$\nu_{32,5^\circ\text{C}} = 1,6208 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \Rightarrow Sc = 0,6233$$

$$\text{Diagram 14.1} \Rightarrow C_f(Re) \quad Re = \frac{v_{\text{rel}} D_i}{\nu}$$

$$D_i = 0,04 - 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}$$

$$v_{\text{rel}} = v_g + v_w = 6,0 \text{ m/s motriktade} \quad Re = 14437$$

$$\text{Diag. 14.1} \Rightarrow f_t = C_f = 0,007$$

För att beräkna temp. ut görs en energibalans
på elementet $A \Delta x$

$$\pi (D_i/2)^2 v \rho c_p T|_x - \pi D_i \Delta x h (T - T_w) = \pi (D_i/2)^2 v \rho c_p T|_{x+\Delta x}$$

dividera med $\pi D_i^2/4 v \rho c_p \Delta x$ och låt $\Delta x \rightarrow 0$

$$-\frac{4h}{D_i v \rho c_p} (T - T_w) = \frac{\partial T}{\partial x} \quad -\frac{4h}{D_i v \rho c_p} \int_0^L dx = \int_{T_{\text{in}}}^{T_{\text{ut}}} \frac{\partial T}{T - T_w}$$

$$-\frac{4hL}{D_i v \rho c_p} = \ln \left(\frac{T_{\text{ut}} - T_w}{T_{\text{in}} - T_w} \right) \quad T_{\text{ut}} = (T_{\text{in}} - T_w) e^{-\frac{4hL}{D_i v \rho c_p}} + T_w \quad (3)$$

$$j_H = \frac{h}{\rho v_\infty c_p} Pr^{2/3} = \frac{C_f}{2}$$

$$h = 30,9 \text{ W/Km}^2$$

$$Pr_{32,5^\circ\text{C}} = 0,707$$

$$\rho_{32,5^\circ\text{C}} = 1,1567 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{p,32,5^\circ\text{C}} = 1,01 \cdot 10^3 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

B4

fort. (3) \Rightarrow $T_{\text{ut}} = 23^\circ\text{C}$ $\nu = 1,5199 \text{ m}^2/\text{s}$
 $Re = 15396$ $\alpha_f \approx 0,007$

f_f ändras inte ok temp.

$k_c = 0,0288$ ekv. (2) \Rightarrow $C_{\text{aut}} = 0,9103 \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$

$Q = v_g A_i = 5 \cdot \pi D_i^2 / 4 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

$Q C_{\text{aut}} = 0,0054 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$ vatten örför till
gasfasen per sekund.
 $\approx 0,1 \text{ g/s}$