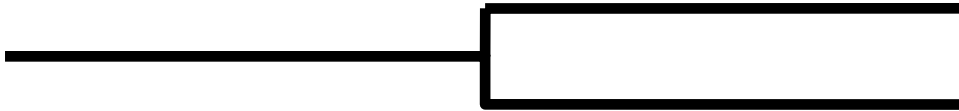


B1

Tryckfallet över ett rörsystem som transporterar olja 60 km är 6.2 MPa. De första 30 km transporteras oljan i en pipeline och efter 30 km delar oljan sig i två parallella pipelines, se figur. Rörens diameter är 0.2 m och oljans viskositet är 0.5 Pas. Hur mycket olja transporteras i rörsystemet per dygn?

8p



B2

I en kopparledning med en diameter på 0.5 cm omvandlas elektrisk energi till värme. Runt ledningen sitter ett 0.2 cm tjockt isolerande plastskikt som högst får bli 94°C innan det börjar smälta. Värmeöverföringskoefficienten mellan den yttre plastytan och luften är 40 W/(m<sup>2</sup>,K). Värmekonduktivitet för plasten är 0.25 W/(m,K). Luftens temperatur är 20°C. Hur mycket effekt (W/m<sup>3</sup>) får högst omvandlas till värme utan att plasten smälter?

8p

B3

Börje har köpt sig en regnmätare eftersom han är mycket intresserad av hur mycket regn som faller i hans trädgård. Regnmätaren är cylinderformad, höjden är 20 cm och diametern är 4 cm. Första gången det regnar hamnar vattenytan 5 cm ovanför botten. Det är 25°C varmt ute och partialtrycket av vatten i luften är 1585 Pa. Mättnadstrycket för vattnet vid ytan är 2980 Pa.

- Med vilken hastighet (g/s) avdunstar vattnet precis när det har slutat att regna? Antag att luften är olöslig i vattnet. 4p
- Börje glömmer att läsa av regnmätaren när det slutat regna och gör det först ett dygn senare. På vilken höjd befinner sig vattnet då? Hänsyn ska tas till att diffusionslängden ändras. 6p

B4

En maratonlöpare tränar inför EM under en varm sommardag. Det är 27°C ute och den relativa luftfuktigheten är 70%. Löparen svettas ordentligt och man kan anta att ytan av hans kropp är mättad av fukt hela tiden. Löparens hastighet är 12 km/h och det är vindstilla. Vilken temperatur håller löparens kroppsytta?

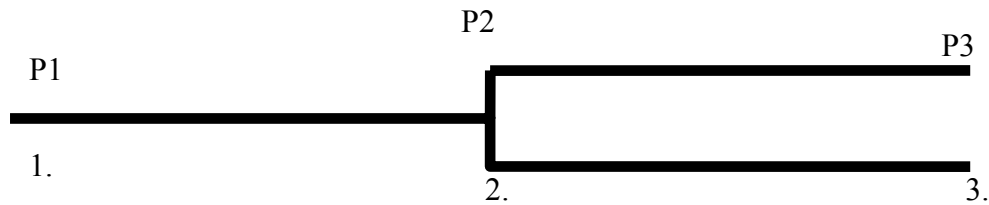
Du kan anta att:

- Löparen kan approximeras som en cylinder med diametern 0.25 m och höjden 1.75 m.
- Ändarna av cylindern kan försummas.
- Nettoinstrålningen från solen är 248 W/m<sup>2</sup>.
- Effekten som kroppsytan tillförs genom ledning från insidan av kroppen är 825 W/m<sup>2</sup>.
- Svetten kan antas bestå av endast vatten.
- Ingen hänsyn till kläder och skor behöver tas.

<b>Temp. (°C)</b>	<b>Mättnadstryck (bar)</b>	<b>Specifik ångbildningsentalpi (kJ/kg)</b>
10	0.012271	2477
20	0.023368	2453
30	0.042418	2406
40	0.073750	2592

10p

Lösning till uppgift B1 060822



Antag laminärt, fullt utvecklat, stationärt och inkompressibelt flöde. Hagen-Poiseuille (H-P) ekv. 8-9 i WWW kan användas.

$$-\frac{dP}{dx} = \frac{32\mu v_{avg}}{D^2}$$

$$\int_{P_1}^{P_2} dP = -\frac{32\mu v_{avg}}{D^2} \int_0^L dx$$

$$P_1 - P_2 = \frac{32\mu v_{avg}}{D^2} L$$

$$Q = v_{avg} \frac{\pi D^2}{4}$$

$$v_{avg} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{32\mu}{D^2} \frac{4Q}{\pi D^2} L = \frac{128\mu Q}{D^4 \pi} L$$

Ekv. 1

Tryckförluster i rörböjen (vid 2) försummas. Flödet delas vid 2. i två pipelines.

H-P ekv. mellan 1. och 2.

$$P_1 - P_2 = \frac{128\mu Q}{D^4 \pi} L$$

H-P ekv mellan 2. och 3. Flödet halveras

$$P_2 - P_3 = \frac{128\mu Q/2}{D^4 \pi} L$$

Totalt tryckfall:

$$P_1 - P_3 = \frac{128\mu Q}{D^4 \pi} L + \frac{128\mu Q/2}{D^4 \pi} L = 5.73 \cdot 10^8 Q$$

$$P_1 - P_3 = 6.2 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$Q = 1.08 \text{ m}^3 / \text{s} = 935 \text{ m}^3 / \text{dygn}$$

Kontrollera om laminärt flöde. Beräkna Reynoldstalet. Om  $Re < 2300$  laminärt Antag oljans densitet  $1000 \text{ kg/m}^3$ , överskattar  $Re$ .

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = 138 < 2300 \text{ Hagen-Poiseuille ekv. gäller.}$$

Lösning till uppgift B2 060822

Sökt: Effekt per volymenhet,  $S$  ( $\text{W}/\text{m}^3$ ) som kan produceras i ledningen utan att plasten smälter.

Värme transporteras ut från ledningen och den högsta temperaturen på plasten fås vid ytan mot ledningen. Stationära betingelser antas. Värmen som bildas i ledningen transporteras ut genom plasten. I beräkningen nedan är  $L$  lednings längd.  $T_1$  är temperaturen i gränsen mellan ledningen och plasten,  $T_2$  temperaturen på plastens utsida och  $T_3$  är luftens temperatur, se figur.

$$S \cdot V = Aq|_{r_1} = Aq|_{r_2}$$

$$V = \pi r_1^2 L$$

$$A = 2\pi r L$$

$$q|_r = -k \frac{dT}{dr}$$

$$S \cdot \pi r_1^2 L = 2\pi r L q|_r$$

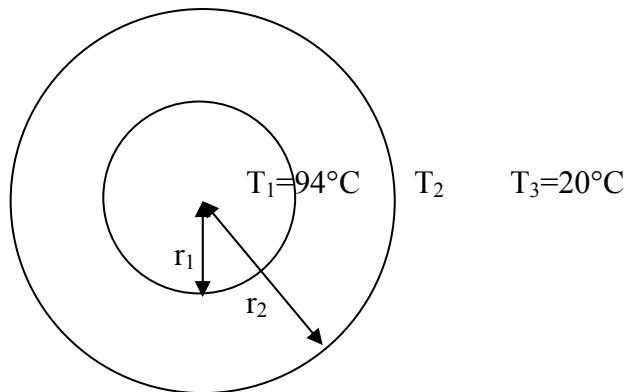
$$S \cdot r_1^2 = 2r q|_r$$

$$S \cdot r_1^2 = -2rk \frac{dT}{dr}|_r$$

$$S \cdot r_1^2 \frac{1}{r} dr = -2k dT$$

$$S \cdot r_1^2 \ln \frac{r_1}{r_2} = -2k(T_1 - T_2)$$

$$S = \frac{-2k(T_1 - T_2)}{r_1^2 \ln \frac{r_1}{r_2}} \quad (\text{ekv.1})$$



Behöver  $T_2$  för att beräkna  $S$ . Ställer upp balans för transporten från yttre plastytan ut till luften.

$$S \cdot V = Aq|_r$$

$$S \cdot \pi r_1^2 L = 2\pi r_2 L h(T_2 - T_3)$$

$$S = \frac{2\pi r_2 h(T_2 - T_3)}{\pi r_1^2} \quad (\text{ekv.2})$$

Ekv. 1 och ekv. 2 ger temperaturen  $T_2$ .

$$\frac{-2k(T_1 - T_2)}{r_1^2 \ln \frac{r_1}{r_2}} = \frac{2\pi r_2 h (T_2 - T_3)}{\pi r_1^2} \quad (\text{ekv. 2})$$

$$\frac{-kT_1}{\ln \frac{r_1}{r_2}} + r_2 h T_3}{r_2 h - \frac{k}{\ln \frac{r_1}{r_2}}} = T_2$$

Insättning ger  $T_2 = 345 \text{ K}$

S kan nu beräknas med ekv.1 eller ekv. 2.  
 $S = 3.0 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3$

Lösning till uppgift B3 060822

a) Diffusion genom stagnant komponent:

$$N_{A,z} = \frac{D_{AB}P}{RT(z_2 - z_1)} \frac{(p_{A1} - p_{A2})}{p_{B,lm}} \quad (26-8)$$

$D_{AB}$  för luft-vatten fås ur appendix J:

$$D_{AB}P = 2.634 \text{ (m}^2\text{,Pa)/s} \Rightarrow D_{AB} = \frac{2.634}{101325} = 2.6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2\text{/s}$$

$$z_2 - z_1 = 0.2 - 0.05 = 0.15 \text{ m}$$

$$p_{B,lm} = \frac{p_{B2} - p_{B1}}{\ln \frac{p_{B2}}{p_{B1}}} = \frac{(P - p_{A2}) - (P - p_{A1})}{\ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}}} = \frac{p_{A1} - p_{A2}}{\ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}}} \Rightarrow (26-8)$$

$$N_{A,z} = \frac{D_{AB}P}{RT(z_2 - z_1)} \ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}} = \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot 101325}{8.3145 \cdot 298 \cdot 0.15} \ln \frac{101325 - 1585}{101325 - 2980} = 9.984 \cdot 10^{-5} \text{ mol/m}^2\text{,s}$$

$$N_{A,z} AM_{H_2O} = N_{A,z} \frac{\pi d^2}{4} M_{H_2O} = 9.984 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\pi \cdot 0.04^2}{4} \cdot 18 = 2.3 \cdot 10^{-6} \text{ g/s}$$

b) Pseudo-Stationär Diffusion

Under pseudo-stationära förhållanden gäller denna ekvation, antag  $z = z_2 - z_1$  :

$$N_{A,z} = \frac{D_{AB}P}{RTz} \ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}} = \frac{\rho_{A,L}}{M_A} \frac{dz}{dt} \quad (26-8,26-16)$$

Ekvationen kan integreras från  $t = 0$  till  $t = t$  och från  $z = 0.05 \text{ m}$  till  $z = z_{8h}$

$$\Rightarrow \int_0^t dt = \frac{\rho_{A,L}}{M_A} \frac{RT}{D_{AB}P} \frac{1}{\ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}}} \int_{z_0}^{z_t} z \cdot dz$$

$$\Rightarrow t = \frac{\rho_{A,L}}{M_A} \frac{RT}{D_{AB}P} \frac{1}{\ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}}} \left( \frac{z_t^2 - z_0^2}{2} \right)$$

$$\Rightarrow z_t^2 = 2t \frac{M_A}{\rho_{A,L}} \frac{D_{AB}P}{RT} \ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}} + z_0^2$$

$$\Rightarrow z_t = \sqrt{2t \frac{M_A}{\rho_{A,L}} \frac{D_{AB}P}{RT} \ln \frac{P - p_{A2}}{P - p_{A1}} + z_0^2} = \sqrt{2 \cdot 8 \cdot 3600 \frac{0.018}{998.7} \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot 101325}{8.3145 \cdot 298} \ln \frac{101325 - 1585}{101325 - 2980} + 0.15^2}$$

$$= 0.15016 \text{ m}$$

$$z_t = z_2 - z_1 \Rightarrow z_1 = z_2 - z_t = 0.2 - 0.15016 = 0.04984 \text{ m} = 4.98 \text{ cm}$$

## Lösning till uppgift B4 060822

Kopplad mass- och värmeöverföring →

Värmeöverföringskoefficienten,  $h$ , tas fram korrelation, för påtvingad konvektion, cylinder  
Chilton-Colburn ger  $k_c$ .

Värmebalans:

$$q_{\text{strål}} + q_{\text{ledn, kropp}} = q_{\text{konv}} + q_{\text{avdunst}}$$

$$q_{\text{konv}} = hA(T_s - T_{\text{luft}})$$

$$q_{\text{avdunst}} = N_{A,Z} A M_A \lambda = A M_A \lambda k_c (C_{A,s} - C_{A,\infty})$$

Beräkna  $T_s$ !

Detta görs med en iterativ beräkning:

- Gissa  $T_s$
- Ta fram materialparametrarna  $h$  och  $k_c$  vid filmtemperaturen
- Beräkna  $T_s$

$$T_{\text{film}} = (T_s + T_{\text{luft}})/2$$

Chilton-Colburn:

$$k_c = \frac{h}{\rho c_p} \left( \frac{\text{Pr}}{\text{Sc}} \right)^{2/3}$$

$$\text{Gissa } T_s = 30^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow T_{\text{film}} = 28.5^\circ\text{C} = 301.5 \text{ K}$$

Ur appendix I fås:

$$\rho = 1.1714 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1006.4 \text{ J/kg,K}$$

$$\nu = 1.5831 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0.7076$$

$$k = 0.026356 \text{ W/m,K}$$

Ur appendix J och ekvation 24-41 för temperaturkorrektion fås:

$$D_{AB} = 2.645 \cdot 10^{-5} \rightarrow$$

$$\text{Sc} = \frac{\nu}{D_{AB}} = 0.599$$

Ur fig 20.9 kan  $\text{Nu}_D$  fås om man har  $\text{Re}$ :

$$\text{Re} \frac{ud}{\nu} = \frac{12 \cdot 0.25}{3.6 \cdot 1.5925 \cdot 10^{-5}} = 52600$$

$$\rightarrow \text{Nu}_D = 170$$

$$h = \frac{\text{Nu}_D k}{d} = 18.1 \text{ W/m}^2, \text{K}$$

Ur tabell given i uppgiften fås:

$$\lambda(27^\circ\text{C}) = 2420.1 \text{ kJ/kg}$$

$$P_A^*(27^\circ\text{C}) = 3670.3 \text{ Pa}$$

$$P_A^*(30^\circ\text{C}) = 4241.8 \text{ Pa}$$

$$T_{s,ber} = \frac{q_{strål} + q_{ledn,kropp}}{hA} + T_{luft} - M_A \lambda \frac{1}{\rho c_p} \left( \frac{Pr}{Sc} \right)^{2/3} \left( \frac{P_A^*(30^\circ\text{C})}{RT_{s,gissat}} - \frac{0.7P_A^*(24^\circ\text{C})}{RT_{luft}} \right) = 333\text{K} = 60^\circ\text{C}$$

Kroppens yttemperatur kan ej vara större än  $37^\circ\text{C}$  då ledning sker från insidan av kroppen. Människokroppens temperatur sägs ju vara  $37^\circ\text{C}$ . Ny gissning bör vara högre än föregående då det beräknade värdet blev för högt förra gången. Ökar man sin gissning så ökar man "den negativa sidan" av ovanstående ekvation eftersom jämviktstrycket är starkt temperaturberoende. Det vill säga det beräknade värdet kommer att minska.

Gissa  $T_s = 35^\circ\text{C}$

$$\rightarrow T_{film} = 31^\circ\text{C} = 304\text{K}$$

Ur appendix I fås:

$$\rho = 1.1622 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1006.5 \text{ J/kg,K}$$

$$\nu = 1.6067 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0.707$$

$$k = 0.026549 \text{ W/m,K}$$

Ur appendix J och ekvation 24-41 för temperaturkorrektion fås:

$$D_{AB} = 2.678 \cdot 10^{-5} \rightarrow$$

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = 0.60$$

Ur fig 20.9 kan  $Nu_D$  fås om man har  $Re$ :

$$Re \frac{ud}{\nu} = \frac{12 \cdot 0.25}{3.6 \cdot 1.5925 \cdot 10^{-5}} = 52000$$

$$\rightarrow Nu_D = 170$$

$$h = \frac{Nu_D k}{d} = 18.1 \text{ W/m}^2, \text{K}$$

Ur tabell given i uppgiften fås:

$$\lambda(27^\circ\text{C}) = 2420.1 \text{ kJ/kg}$$

$$P_A^*(27^\circ\text{C}) = 3670.3 \text{ Pa}$$

$$P_A^*(35^\circ\text{C}) = 5808.4 \text{ Pa}$$

$$T_{s,ber} = \frac{q_{strål} + q_{ledn,kropp}}{hA} + T_{luft} - M_A \lambda \frac{1}{\rho c_p} \left( \frac{Pr}{Sc} \right)^{2/3} \left( \frac{P_A^*(35^\circ\text{C})}{RT_s} - \frac{0.5P_A^*(24^\circ\text{C})}{RT_{luft}} \right) = 35.0^\circ\text{C}$$

→ OK!