

- A1 (a) Flödesegenskaper: *skjuvspänning, hastighet, tryckgradient*.
 Fluidegenskaper: *tryck, densitet, temperatur, värmekapacitet, ljudhastighet*. (2 p)
- (b) Normalkrafter (och gravitationskrafter). (1 p)
- (c) Under stationära förhållanden följer ett fludelement "sin" strömlinje medan det kan byta strömlinje under transienta betingelser. (1 p)
- A2 (a) Re-talet är lika med $v_{medel}\rho d/\mu$ och relaterar tröghetskrafter till viskösa krafter. (1 p)
- (b) $Re_2 = v_{medel}\rho d_2/\mu = v_{medel}\rho 2d_1/\mu = 2Re_1 = 2 \cdot 2 \cdot 10^3 = 4 \cdot 10^3$. (1 p)
- (c) $Re_2 = v_{medel}\rho d_2/\mu = \dot{m}/A_2 \cdot d_2/\mu = 4\dot{m}/(\pi d_2\mu) = 4\dot{m}/(\pi 2d_1\mu) = Re_1/2 = 2 \cdot 10^3/2 = 1 \cdot 10^3$. (2 p)

A3 Kraftbalans i y-led (rörelsens riktning, z-led är oändlig):

$$F_y = \int \int_{cs} v_y \rho (\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}) dA$$

$$= P\Delta x|_y - P\Delta x|_{y+\Delta y} + \tau_{xy}\Delta y|_{x+\Delta x} - \tau_{xy}\Delta y|_x - \rho g\Delta x\Delta y = 0$$

Dividera med kontrollvolymen $\Delta x\Delta y$ och låt $\Delta x, \Delta y \rightarrow 0$ för att få differentialekvationen:

$$0 = -\frac{dP}{dy} + \frac{d\tau_{xy}}{dx} - \rho g$$

Separera variabler: $= -\left(\frac{dP}{dy}\right) dx + d\tau_{xy} - \rho g dx$

Integrera: $C_1 = -\left(\frac{dP}{dy}\right) x + \tau_{xy} - \rho g x$

Inför Newton's lag: $C_1 = x \left[\left(-\frac{dP}{dy}\right) - \rho g \right] + \mu \frac{dv_y}{dx}$

Separera/integrera: $C_1 x + C_2 = \frac{x^2}{2} \left[\left(-\frac{dP}{dy}\right) - \rho g \right] + \mu v_y$

Hastigheten blir: $v_y = \frac{x^2}{2\mu} \left[\left(-\frac{dP}{dy}\right) + \rho g \right] + C_1 x + C_2$

Konstanterna C_1 och C_2 fås ur lämpliga randvillkor.

Vid $x = 0$ är $v_y = 0$ så att: $C_2 = 0$

Vid $x = L$ är $v_y = v_0$ så att: $C_1 = \frac{v_0}{L} - \frac{L}{2\mu} \left(\frac{dP}{dx} + \rho g \right)$

(4 p)

- A4 (a) Värmetransport genom huden sker med ledning och är i sig oberoende av vindhastighet. Värmetransport från hud till omgivande luft sker med ledning (eller möjligtvis fri konvektion) om det är vindstilla men med påtvingad konvektion

när det blåser. Den påtvingade konvektiva värmetransporten ökar med ökad vindhastighet eftersom värmeöverföringskoefficienten ökar och gränsskiktets tjocklek minskar. Stationärt är värmetransport genom huden lika med värmetransport till luften vilket medför att när den senare ökar sänks temperaturen på hudens yta, vilket resulterar i att värmetransporten genom huden också ökar (kraftigare temperaturgradient). Kroppen kyla mer ju mer det blåser. (3 p)

- (b) Exempelvis korrelation för flöde vinkelrätt mot cylinder: $Nu_D = BRePr^{1/3}$ (WRF7, 20-35) där h fås ur Nu -talet. (1 p)

- A5 (a) I varje väggdel gäller Fourier's samband som säger att värmeffluxet beror på värmekonduktiviteten multiplicerat med temperaturgradienten. Vid stationära förhållanden och oförändrad area är värmeffluxet konstant. Således har material B den högsta värmekonduktiviteten eftersom dess temperaturgradient är minst. (2 p)

- (b) Värmegenomgångstalet, U , är lika med $(A\Sigma R)^{-1}$ där A är konstant i det aktuella fallet så att: (2 p)

$$U = \left(A \left[\frac{L}{k_A A} + \frac{2.5L}{k_B A} + \frac{L}{k_C A} \right] \right)^{-1} = \left(\frac{L}{k_A} + \frac{2.5L}{k_B} + \frac{L}{k_C} \right)^{-1}$$

- A6 (a) Nej, det måste finnas en koncentrationsgradient för den aktuella komponenten för att den skall transporteras. (1 p)

- (b) Utgå från transportekvationerna för komponent A och B i en dimension (z-led): (3 p)

$$N_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + y_A(N_{A,z} + N_{B,z})$$

$$N_{B,z} = -cD_{BA} \frac{dy_B}{dz} + y_B(N_{A,z} + N_{B,z})$$

$$\text{Summera: } N_A + N_B = -(cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + cD_{BA} \frac{dy_B}{dz}) + (y_A + y_B)(N_{A,z} + N_{B,z})$$

$$\text{men: } 1 = y_A + y_B$$

$$\text{så att } 0 = -(cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + cD_{BA} \frac{dy_B}{dz})$$

$$\text{vidare blir: } dy_B = d(1 - y_A) = -dy_A$$

$$\text{så att: } 0 = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + cD_{BA} \frac{dy_A}{dz}$$

$$\text{således är: } D_{AB} = D_{BA}$$

- A7 I härledningen av den generella masstransportekvationen (inkompressibelt) för komponent A i blandning med B finns termen $\nabla \cdot (\rho_A \mathbf{v})$.

- (a) Termen avser det nettomassflöde (divergens) av A som sker på grund av fluidens bulk rörelse (strömning). (1 p)

- (b) $\nabla \cdot (\rho_A \mathbf{v}) = \mathbf{v} \cdot \nabla \rho_A + \rho_A \nabla \cdot \mathbf{v} = \mathbf{v} \cdot \nabla \rho_A$ eftersom $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$ för inkompressibelt flöde. (3 p)

B1 **Sökt:** Volymflöde olja, dvs Q uttryckt i m^3/dygn .

Fysikalisk situation: Stationär (isoterm) rörströmning med inkompressibelt flöde.

Strategi: Antag laminärt flöde och använd Hagen-Poiseuilles ekv. för att relatera känt tryckfall till medelhastighet, varur sökt volymflöde sedan kan beräknas.

Beräkning: Det sökta volymflödet är:

$$Q = v_{medel}A = v_{medel}\frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

Försumma förluster i rör och rörböjor och kombinera Hagen-Poiseuilles ekv. (WRF7, 8-9) med ekv. (1):

$$-\frac{dP}{dx} = -\frac{32\mu v_{medel}}{D^2} = -\frac{128\mu Q}{\pi D^4} \quad (2)$$

Separering av variabler och integration mellan P_1 och P_2 ger:

$$\int_{P_1}^{P_2} dP = -\frac{128\mu Q}{\pi D^4} \int_0^{L_{1-2}} dx \Rightarrow P_1 - P_2 = \Delta P_{1-2} = \frac{128\mu Q}{\pi D^4} L_{1-2} \quad (3)$$

Efter delningspunkten halveras flödet och vi får på motsvarande sätt att:

$$\int_{P_2}^{P_3} dP = -\frac{128\mu Q/2}{\pi D^4} \int_0^{L_{2-3}} dx \Rightarrow P_2 - P_3 = \Delta P_{2-3} = \frac{64\mu Q}{\pi D^4} L_{2-3} \quad (4)$$

Det totala tryckfallet är:

$$\Delta P_{1-3} = \Delta P_{1-2} + \Delta P_{2-3} = 6.2 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad (5)$$

Kombinera ekv. (3)-(5):

$$\Delta P_{1-3} = \frac{128\mu Q}{\pi D^4} L_{1-2} + \frac{64\mu Q}{\pi D^4} L_{2-3} = 6.2 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad (6)$$

och sätt in givna värden: $\mu = 0.5 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, $D = 0.2 \text{ m}$ och $L_{1-2} = L_{2-3} = 30000 \text{ m}$. Då blir $Q = 0.0108 \text{ m}^3/\text{s} \approx \underline{935 \text{ m}^3/\text{dygn}}$.

Kontroll: Laminärt flöde gäller om $\text{Re} < 2300$.

$$\text{Re} = \frac{\rho v_{medel} D}{\mu} = \frac{\rho Q D}{A \mu} = \frac{4 \rho Q}{\pi D \mu} = \frac{4 \cdot 1000 \cdot 0.0108}{3.14 \cdot 0.2 \cdot 0.5} = 137.7 < 2300 \quad \text{OK!}$$

B2 **Sökt:** Maximal effekt ($\dot{q}$) uttryckt i W/m³ för att temperaturen någonstans i plastisoleringen ej skall överstiga 94 °C.

Fysikalisk situation: Stationär värmetransport med värmekälla (antas homogen), värmeledning genom plastisolering och konvektiv värmetransport från plastisoleringens yta till omgivande luft.

Strategi: Stationär värmebalans med homogen värmekälla, ledning i plastisolering samt konvektion från plastisoleringens utsida till luft.

Beräkning: Stationär värmebalans där genererad värmeeffekt är i balans med transporterad värme:

$$q_r = \dot{q}V \quad (1)$$

där V är volymen av koppartråd dvs $V = \pi r_1^2 L$ där r_1 är kopparledningens radie. Den genererade effekten kan då skrivas:

$$\dot{q} = q_r / (\pi r_1^2 L) \quad (2)$$

Värmeflödet q_r kan skrivas:

$$q_r = \frac{\Delta T}{\sum R_T} = \frac{T_1 - T_\infty}{[\ln(r_2/r_1)]/(2\pi Lk) + 1/(h2\pi r_2 L)} = \frac{2\pi L(T_1 - T_\infty)}{[\ln(r_2/r_1)]/k + 1/(hr_2)} \quad (3)$$

som med ekv. (2) ger:

$$\dot{q} = \frac{2(T_1 - T_\infty)}{r_1^2 [\ln(r_2/r_1)/k + 1/(hr_2)]} \quad (4)$$

Varmaste punkten på plastisoleringen är i kontakten med kopparledning, dvs vid $r_1 = 0.0025$ m är $T_1 = 94$ °C. Med givna materialdata och $r_2 = 0.0045$ m fås för 1 m tråd att:

$$\dot{q} = \frac{2 \cdot (94 - 20)}{0.0025^2 \cdot [\ln(0.0045/0.0025)/0.25 + 1/(40 \cdot 0.0045)]} = 2994928 \approx \underline{3.0 \cdot 10^6 \text{ W/m}^3}$$

B3 **Sökt:** a) Maximal lufthastighet för att hålla en ärtä svävande och b) Tid att djupfrys en ärtä från -1 till -18 °C.

Fysikalisk situation: a) Fallande kropp i fluid och b) instationär värmetransport.

Strategi: a) kraftbalans över ärtan och b) analysera Bi-talet och välj metod, dvs analytisk eller grafisk lösning med tid-temperatur diagram.

Beräkning:

a) Balansera gravitationskraften (F_g) mot lyftkraft (F_l) och motståndskraft (F_m) enligt $F_g = F_l + F_m$. Om ärtan approximeras med en sfär med volymen $V = \pi d_{\text{ärtä}}^3/6$ och projicerade arean $A_p = \pi d_{\text{ärtä}}^2/4$ kan balansen uttryckas som:

$$V_{\text{ärtä}} \rho_{\text{ärtä}} g = V \rho_{\text{luft}} g + C_D A_p \frac{\rho_{\text{luft}} v_{\infty}^2}{2} \quad (1)$$

och maximal fallhastighet (v_{∞}) kan lösas ut som:

$$v_{\infty} = \sqrt{\frac{4(\rho_{\text{ärtä}} - \rho_{\text{luft}})gd_{\text{ärtä}}}{3\rho_{\text{luft}}C_D}} \quad (2)$$

Appendix I ger för luftens temperatur $T_{\infty} = -23 \text{ °C} \approx 250 \text{ K}$: att $\rho_{\text{luft}} = 1.4133 \text{ kg/m}^3$. Med känd data blir nu ekv (1):

$$v_{\infty} = \sqrt{\frac{4 \cdot (980 - 1.4133) \cdot 9.81 \cdot 0.006}{3 \cdot 1.4133 \cdot C_D}} = \frac{7.37}{\sqrt{C_D}} \quad (3)$$

Här är C_D en funktion av Re som i sin tur är en funktion av hastigheten som skall beräknas. För att komma runt detta kan man iterera genom att 1) gissa C_D , 2) beräkna v_{∞} , 3) beräkna Re, 4) läsa av C_D i figur 12.4 (WRF7) och 6) jämföra detta med gissningen och ev. iterera med ny gissning om för stor skillnad.

Antag $C_D = 2$. Det ger $v_{\infty} = 7.37/\sqrt{2} = 5.21 \text{ m/s}$. Appendix I ger $\mu = 1.5991 \cdot 10^{-5} \text{ Pas}$, och $\text{Re} = v_{\infty} \rho d / \mu = 5.21 \cdot 1.4133 \cdot 6 \cdot 10^{-3} / (1.5991 \cdot 10^{-5}) = 2764$. Avläsning i figur 12.4 ger $C_D \approx 0.4$. Ny beräkning med $C_D = 0.4$ ger $v_{\infty} = 11.7 \text{ m/s}$ och $\text{Re} = 6181$. Avläsning ger $C_D = 0.4$ och beräknad hastighet, dvs 11.7 m/s, accepteras.

b) För att beräkna Bi-talet behövs värmeöverföringskoefficienten (h). Den kan fås ur korrelation för påtvingad konvektion, externt flöde och enskild sfär (WRF7, Fig. 20.11). Figur ger för $\text{Re} = 6184$ att $\text{Nu} = 58$ och det gäller att:

$$\text{Nu} = 58 = \frac{hD}{k_{\text{luft}}} = \frac{h \cdot 0.006}{2.2269 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow h = 215 \text{ W/(m}^2\text{K)} \quad (4)$$

och Bi-talet blir:

$$\text{Bi} = \frac{hV/A}{k} = \frac{hr}{3k} = \frac{215 \cdot 0.003}{0.8 \cdot 3} = 0.27 \Rightarrow \text{diagramlösning} \quad (5)$$

Parametrar för diagramlösning:

$$\begin{aligned} Y &= \frac{T_{\infty} - T_{\text{slut}}}{T_{\infty} - T_{\text{start}}} = \frac{-23 - (-18)}{-23 - (-1)} = 0.227 \quad n = 0 \text{ för centrum} \\ m &= \frac{k}{hx_1} = \frac{0.8}{217 \cdot 0.003} = 1.24 \quad \text{avläsning i F.9 ger } X = 0.85 \\ X &= \frac{\alpha t}{x_1^2} \Rightarrow t = \frac{Xx_1^2}{\alpha} = \frac{0.85 \cdot 980 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 0.0003^2}{0.8} = \underline{18.7 \text{ s}} \end{aligned} \quad (6)$$

B4 a) **Sökt:** Masshastighet (g/s) på vatten som avdunstar.

Fysikalisk situation: Diffusion av vatten (komponent A) genom stagnant luft (komponent B) i en dimension (z-led) med konstant diffusionslängd (L) under isoterma betingelser.

Strategi: Använd fluxekvation för diffusion genom stagnant komponent för att beräkna vattenflux, och omvandla till massa per tidsenhet.

Beräkning: Masshastigheten kan tecknas:

$$\dot{m} = N_{A,z} A M_{H_2O} = N_{A,z} \pi (d/2)^2 M_{H_2O} = N_{A,z} \pi (0.04/2)^2 \cdot 18 = 226.08 N_{A,z} \quad (1)$$

Det totala molfluxet ($N_{A,z}$) ges av (ekv. 26-8, WRF7):

$$N_{A,z} = \frac{c D_{AB}}{z_2 - z_1} \ln \frac{1 - y_{A,2}}{1 - y_{A,1}} = \frac{P D_{AB}}{RT(z_2 - z_1)} \ln \frac{P - p_{A,2}}{P - p_{A,1}} \quad (2)$$

där index 1 avser positionen vid vattenytan och index 2 positionen vid regnmätarens kant, P är totala trycket, $z_2 - z_1$ är avståndet mellan kanten och vätskeytan och $p_{A,1}$ och $p_{A,2}$ partialtrycket av A i gasfas vid vattenytan och kanten, respektive.

Appendix J ger $D_{AB}P = 2.634 \text{ (m}^2 \cdot \text{P)/s}$ vilket ger $D_{AB} = 2.634/101325 = 2.6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Kombination av ekv. (1) och (2) ger:

$$m = 226.08 \frac{101325 \cdot 2.634 \cdot 10^{-5}}{8.3145 \cdot 298.15 \cdot (0.2 - 0.05)} \ln \frac{101325 - 1585}{101325 - 2980} = \underline{2.3 \cdot 10^{-6} \text{ g/s}} \quad (3)$$

b) **Fysikalisk situation:** Samma situation som i a) men med varierande diffusionslängd.

Strategi: Använd fluxekvation för pseudo-stationär.

Beräkning: Kombinera ekv. (2) med samband för pseudo-stationärt fall (ekv. 26-16, WRF7):

$$N_{A,z} = \frac{\rho_{A,L}}{M_A} \frac{dz}{dt} = \frac{P D_{AB}}{RTz} \ln \frac{P - p_{A,2}}{P - p_{A,1}} \quad (4)$$

Separera och integrera:

$$\int_0^t dt = \frac{\rho_{A,L}}{M_A} \frac{RT}{D_{AB}P} \left(\ln \frac{P - p_{A,2}}{P - p_{A,1}} \right)^{-1} \int_{z_0}^{z_{8h}} z dz \quad (5)$$

för att få:

$$t = \frac{\rho_{A,L}}{M_A} \frac{RT}{D_{AB}P} \left(\ln \frac{P - p_{A,2}}{P - p_{A,1}} \right)^{-1} \frac{z_{8h}^2 - z_0^2}{2} \quad (6)$$

och z_{8h} kan lösas ut som:

$$\begin{aligned} z_{8h} &= \sqrt{2t \frac{M_A}{\rho_{A,L}} \frac{D_{AB}P}{RT} \left(\ln \frac{P - p_{A,2}}{P - p_{A,1}} \right) + z_0^2} \\ &= \sqrt{2 \cdot 8 \cdot 3600 \frac{0.018}{998.7} \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot 101325}{8.3145 \cdot 298.15} \left(\ln \frac{101325 - 1585}{101325 - 2980} \right) + 0.15^2} = 0.15016 \text{ m} \end{aligned}$$

Slutligen får vi att:

$$z_{8h} = z_2 - z_1 \Rightarrow z_1 = z_2 - z_{8h} = 0.2 - 0.15016 = 0.04984 \text{ m} \quad (6)$$

Antal gram vatten i regnmätaren:

$$m = \pi r^2 \cdot z_1 \cdot \rho = 3.14 \cdot 0.02^2 \cdot 0.04984 \cdot 998.7 = \underline{62.5 \text{ g}} \quad (6)$$

Omtentamen i Transportprocesser



Program: TKKMT-2 TKKEF-2, TKBIO-2

Kurskod: KBT340 och KAA061

Examinator: Per-Anders Carlsson

Maximal poäng (p) är 60 och betyg Tre, Fyra och Fem kräver 30, 40 och 50 p, respektive.

Resultat anslås inom 15 arbetsdagar. Visning av omtentamen meddelas via anslag i Canvas.

15 April 2025

Tid: 8:30-13:30

Sal: SBMultisal

LÄS DETTA FÖRST!

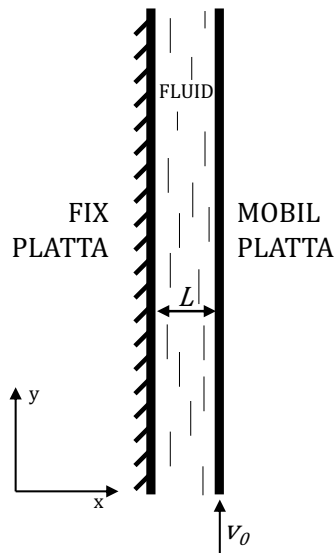
Hjälpmedel: valfri minnestömd miniräknare; formelsamlingar (TEFYMA, BETA, Physics Handbook, Nya Formelsamlingen och liknande); kursboken "Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer" av J. R. Welty, G. L. Rorrer and D. G. Foster.

Kom ihåg! Alla svar skall skrivas med egna ord på svenska. För full poäng på beräkningsuppgift måste beräkningarna presenteras klart och tydligt, och antaganden och försumningar motiveras. Korrekt utförda delsteg ger delpoäng även om uppgiften inte är löst i sin helhet.

Lycka till!

DEL A

- T1 (a) Vilka av följande åtta kvantiteter beskriver flödets egenskaper och vilka beskriver fluidets egenskaper? (2 p)
tryck skjuvspänning hastighet densitet temperatur tryckgradient värmekapacitet ljudhastighet
- (b) Vilka krafter verkar på en fluid i vila? (1 p)
- (c) Hur färdas ett fluidelement i förhållande till strömlinjer under stationära respektive transienta betingelser? (1 p)
- T2 Rumstempererat vatten strömmar med medelhastigheten v_{medel} i ett rör med diametern d_1 . Re-talet är $2 \cdot 10^3$ i detta fall.
- (a) Definiera Re-talet och ge fysikalisk tolkning. (1 p)
- (b) Vad blir Re-talet vid en fördubbling av rördiametern om medelhastigheten (m/s) är konstant? (1 p)
- (c) Vad blir Re-talet vid en fördubbling av rördiametern om massflödes hastigheten (kg/s) är konstant? (2 p)
- T3 En vätska strömmar laminärt mellan två vertikala plattor under inflytande av en tryckgradient. Den ena ytan är fix och den andra rör sig uppåt med hastigheten v_0 enligt figuren. Härled med stationär differentiell rörelsemängdsbalans (dvs ej genom förenkling av Navier- Stokes ekvationer) ett uttryck för hastighetsprofilen i spalten. Ange lämpliga randvillkor. Ändeffekter kan försummas. Modellen behöver ej lösas. (4 p)



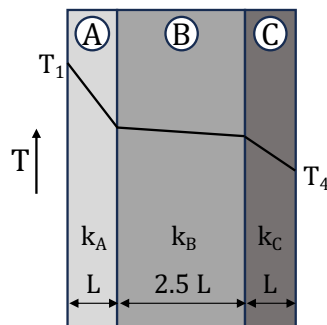
T4 Vid en skidlift finns en skala för den så kallade *köldeffekten*, dvs en omräkning från faktisk temperatur och vindhastighet till ekvivalent temperatur utan vind.

(a) Vilken är den fysikaliska grunden för omräkningen? (3 p)

(b) Ange ett lämpligt uttryck för att bestämma värmeöverföringskoefficienten för en kropp under förutsättning att det blåser kallt. (1 p)

T5 (a) Figuren visar temperaturprofilen vid stationär värmeledning genom en vägg gjord av tre olika material (A, B och C). Vilket material har den högsta värmeledningsförmågan? Motivera! (2 p)

(b) Teckna värmegenomgångstalet för väggen. (2 p)



T6 (a) Den Brownska rörelsen gör att molekyler i en fluid alltid rör på sig, men är detta tillräckligt för att diffusiv masstransport skall ske? Motivera. (1 p)

(b) Utgå från ekvationen för det totala massfluxet och visa hur D_{AB} förhåller sig till D_{BA} ? (3 p)

T7 I härledningen av den generella masstransportekvationen (inkompressibelt) för komponent A i blandning med B finns termen $\nabla \cdot (\rho_A \mathbf{v})$.

(a) Ange fysikalisk betydelse av denna term. (1 p)

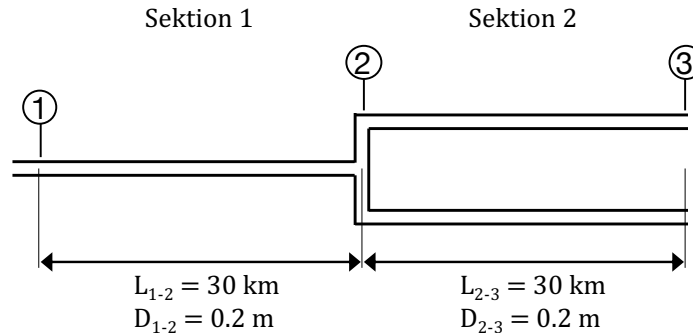
(b) Visa att $\nabla \cdot (\rho_A \mathbf{v}) = \mathbf{v} \cdot \nabla \rho_A$ (3 p)

DEL B

- B1 Olja med viskositeten 0.5 Pas och densiteten 1000 kg/m transporteras i rörsystemet enligt figuren. Oljan flödar från position 1 till position 3 och tryckfallet mellan dessa positioner är 6.2 MPa. Hur mycket olja transporteras under ett dygn?

(8 p)

Ej skalenlig



- B2 Elektrisk energi omvandlas till värme i en kopparledning som har diametern 0.5 cm. Runt ledningen sitter ett isolerande plastskikt som har tjockleken 0.2 cm och värmeledningsförmåga 0.25 W/(m·K). Värmeöverföringskoefficienten mellan den yttre plastytan och omgivande luften är 40 W/(m²·K). Luftens temperatur är 20 °C. Hur stor effekt (W/m³) i koppartråden kan omvandlas till värme om plastens temperatur ej får överstiga 94 °C?

(8 p)

- B3 Emilias första uppgift som kemiingenjör hos en livsmedelsproducent är att designa en process för styckvis djupfrysning av ärtor i en så kallad fluidbäddfrys.

(a) Beräkna lufthastigheten som krävs för att ärtor med diametern 6 mm skall hållas svävande av den uppåtgående luftströmmen.

(4 p)

(b) Antag att ärtorna har en homogen temperatur på -1.0 °C när de tillförs fluidbäddfrysen och att luften håller -23 °C. Hur lång tid tar det då för en ärtä att djupfrysas till temperaturen -18.0 °C i centrum?

(4 p)

För en fryst ärtä gäller: $\rho = 980 \text{ kg/m}^3$
 $k = 0.8 \text{ W/(m·K)}$
 $C_p = 2.0 \text{ kJ/(kg·K)}$

- B4 Emil har skaffat sig en regnmätare som har höjden 20 cm och innerdiametern 4 cm. Första gången den används fylls den med 5 cm regnvatten. Luften har temperaturen 25 °C och innehåller vatten motsvarande 1585 Pa. Vattnets mättnadstryck är 2980 Pa.

(a) Med vilken masshastighet (g/s) avdunstar vattnet precis efter att det slutat regna?

(3 p)

(b) Emil läser av regnmätaren först efter ett dygn. Hur många gram vatten finns det i regnmätaren då? *Tips: Notera att diffusionslängden varierar.*

(5 p)