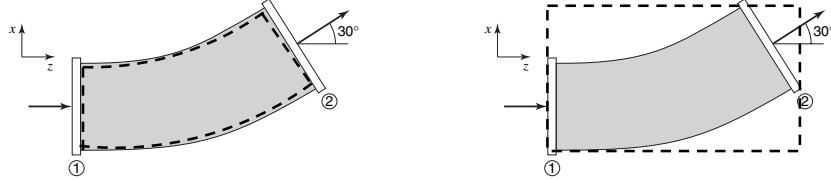


- A1 (a) En kontrollvolym är ett område i rymden genom vilket strömning sker. Kontrollvolymen används för att ställa upp relevanta balanser m.a.p. rörelsemängd, värme och massa. (2 p)
- (b) En fix kontrollvolym har samma position medan en rigid kontrollvolym har samma form. (1 p)
- (c) Exempel på kontrollvolymer: (1 p)



- A2 (a) Ja eftersom tröghetstermerna i detta fall är försumbart små jämfört med viskositetstermerna. Matematisk gäller för $v_x = v_y = v_z \approx 0$ och stort μ att: (2 p)

$$\rho \left(v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) \ll \mu \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right)$$

- (b) Nej eftersom det finns betydande hastighetsgradienter nära exempelvis en yta även för lågviskösa flöden. Dessa är viktiga eftersom de ingår i andra ordningens derivator. Matematiskt hade försumning av viskositetstermerna sänkt ordningen på differentialekvationerna så att relevanta randvillkor såsom vidhäftningsvillkoret ("no-slip condition") ej går att uppfylla. (2 p)

- A3 Integrering av givet samband ger skjuvspänningen i de båda faserna (I och II) som:

$$\begin{aligned} \tau_{xz}^I &= \left(\frac{p_0 - p_L}{L} \right) x + C_1^I \\ \tau_{xz}^{II} &= \left(\frac{p_0 - p_L}{L} \right) x + C_1^{II} \end{aligned} \quad (1)$$

I gränsytan måste transporten av rörelsemängd vara kontinuerlig vilket betyder att randvillkoret $\tau_{xz}^I = \tau_{xz}^{II}$ gäller vid $x = 0$ så att $C_1^I = C_1^{II} = C_1$. Insättning av Newtons viskositetslag i ekvationsparet (1) ger:

$$\begin{aligned} \mu^I \frac{dv_z^I}{dx} &= \left(\frac{p_0 - p_L}{L} \right) x + C_1 \\ \mu^{II} \frac{dv_z^{II}}{dx} &= \left(\frac{p_0 - p_L}{L} \right) x + C_1 \end{aligned} \quad (2)$$

som efter integration blir:

$$\begin{aligned} v_z^I &= \left(\frac{p_0 - p_L}{2L\mu^I} \right) x^2 + \frac{C_1}{\mu^I} x + C_2^I \\ v_z^{II} &= \left(\frac{p_0 - p_L}{2L\mu^{II}} \right) x^2 + \frac{C_1}{\mu^{II}} x + C_2^{II} \end{aligned} \quad (3)$$

Vidhäftningsvillkoret ("no-slip condition") ger att i) vid $x = 0$ är $v_z^I = v_z^{II}$, ii) vid $x = -b$ är $v_z^I = 0$ och iii) vid $x = b$ är $v_z^{II} = 0$. Detta ger att:

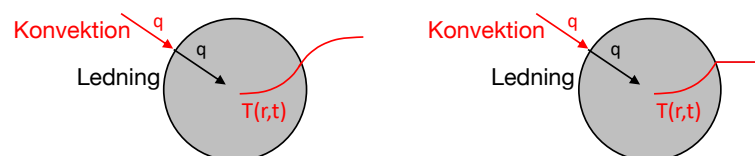
$$\begin{aligned} C_2^I &= C_2^{II} \\ 0 &= \left(\frac{p_0 - p_L}{2L\mu^I} \right) (-b)^2 - \frac{C_1}{\mu^I} b + C_2^I \\ 0 &= \left(\frac{p_0 - p_L}{2L\mu^{II}} \right) b^2 + \frac{C_1}{\mu^{II}} b + C_2^{II} \end{aligned} \quad (4)$$

Konstanterna kan lösas ut som:

$$\begin{aligned} C_1 &= \left(\frac{p_0 - p_L}{2L\mu^I} \right) b \left(\frac{\mu^{II} - \mu^I}{\mu^{II} + \mu^I} \right) \\ C_2^I &= - \left(\frac{p_0 - p_L}{2L\mu^{II}} \right) b^2 \frac{2\mu^I}{\mu^I + \mu^{II}} = C_2^{II} \end{aligned} \quad (5)$$

Hastighetsprofilerna i de två faserna ges av ekvationsparet (3) med konstanter enligt ekvationsparet (5).

- A4 (a) Nusselts tal, här $Nu = hL/k$, relaterar verkligt konvektiv värmetransport till fiktivt fall med enbart värmeledning. Reynolds tal, här $Re = v_\infty L/\nu$, relaterar tröghetskrafter till viskösa krafter. (2 p)
- (b) Värmeffluxet är proportionellt mot h enligt Newtons kylningslag. h ges av Nu_{AB} som beror av hastigheten som $\sqrt{v_\infty}$ genom Re-talet därmed beror värmeffluxet också på hastigheten som $\sqrt{v_\infty}$. En fördubbling av hastigheten leder således till att värmeffluxet ökar med en faktor $\sqrt{2}$. (1 p)
- (c) $Nu_{AB} = 0.664 Re^{1/2} Sc^{1/3}$
- A5 (a) Utbredningshastigheten av temperaturprofilen minskar då materialet kan ta upp mer värme. Tidskonstanten (faktorer framför tidsderivatan) ökar. (1 p)
- (b) Utbredningshastigheten av temperaturprofilen ökar då materialet leder värme mer effektivt (snabbare). Värmetransporttermen "förstärks" med ökad värmeledning. (1 p)
- (c) Vid uppvärmning av potatis är både intern värmeledning och extern värmekonvektion viktiga. Utan fläkt är det externa värmetransportmotståndet betydande och det finns temperaturgradienter i potatisen och i omgivande luft (vänstra skissen). När fläkten används minskas det externa värmetransportmotståndet (h ökas) så att potatisen blir klar fortare eftersom dess yta praktiskt taget har samma temperatur som luftbulken. Temperaturgradient finns enbart i potatisen (högra skissen).



- A6 (a) Massfluxet ges av:

$$N_{A,z} = -cD_{AB} \frac{dy_A}{dz} + y_a N_{A,z}$$

där den första termen i högerledet beskriver diffusionsbidraget och den andra termen strömningsbidraget. Detta uttryck förutsätter bland annat stationära betingelser, att B är olöslig i A och att B inte reagerar med A.

(2 p)

(b) För en kall vätska dominerar diffusionsbidraget. Detta eftersom långsam avdunstning av A ger en låg halt av A (y_A) så att strömningsbidraget blir litet.

(1 p)

(c) En vätska nära kokpunkten avdunstar fort och det omvända till a) gäller, dvs att y_A är signifikant större så att strömning blir det dominerande bidraget.

(1 p)

A7 Den fysikaliska situationen innebär samtidig transport av värme och massa från luftbulken till vattenfilmen på röret (rörelsemängdtransport försummas då droppbildning inte ingår i analysen). Naturlig konvektiv värmetransporten drivs av temperaturskillnaden mellan det kalla röret och den varma luften. Naturlig konvektiv masstransport (approximativt molekylär diffusion) drivs av koncentrationsskillnaden mellan luften (hög) och koncentrationen precis vid vattenfilmen som är låg eftersom vatten kondenserar ut. Kondensationsvärmes transporteras med ledning genom vattenfilm och rörvägg och konvektion till vattenflödet vid rörets insida. Eftersom den konvektiva masstransporten beror av temperaturen i gasfilmen samt att värmetransporten beror av kondensationshastigheten är värme- och masstransport kopplade.

(4 p)

B1 Fysikalisk situation: Kropp som faller genom fluid under inverkan av gravitation.

Sökt: Fluidens viskositet.

Strategi: Kraftbalans ger samband mellan fallhastighet och friktionskoefficient. Under antagandet att "Stokes drag" gäller relateras friktionskoefficienten till Reynolds tal varur viskositet kan beräknas.

Beräkning: Kraftbalansen för pärlan kan skrivas:

$$F_g = F_L + F_M \quad (1)$$

där gravitations-, lyft- och motståndskraft indexeras med g , L respektive M . Krafterna kan uttryckas som:

$$V_p \rho_p g = V_p \rho_f g + C_D A_p \frac{\rho_f v_\infty^2}{2} \quad (2)$$

där volymen för en sfärisk partikel är $V_p = \pi d_p^3/6$ och projicerade arean $A_p = \pi d_p^2/4$. Vidare antas Stokes drag gälla så att $C_D = 24/\text{Re}$. Antag att terminalhastigheten, v_∞ , är uppnådd och lika med L/t [m/s] där L är given fallsträcka och t given falltid. Insättning i ekv. (2) och omskrivning ger Re som:

$$\text{Re} = \frac{18 \rho_f (L/t)^2}{(\rho_p - \rho_f) g d_p} \quad (3)$$

Materialdata hämtas ur Appendix H för pärlans densitet $\rho_p = 2240 \text{ kg/m}^3$. Med givna värden fås:

$$\text{Re} = \frac{18 \cdot 850 \cdot (0.5/76)^2}{(2240 - 850) \cdot 9.81 \cdot 2e - 4} = 0.24 \quad (4)$$

Reynolds tal definieras som:

$$\text{Re} = \frac{v_\infty \rho_p d_p}{\mu_f} = \frac{(L/t) \rho_p d_p}{\mu_f} \quad (5)$$

och vi kan beräkna μ_f som:

$$\mu_f = \frac{(L/t) \rho_p d_p}{\text{Re}} = \frac{(0.5/76) \cdot 850 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{0.24} = \underline{0.00461 \text{ Pa}\cdot\text{s}} \quad (6)$$

Kontroll: Re-talet är tillräckligt lågt för att Stokes drag skall gälla enligt figur 12.4 (WRF7).

B2 Fysikalisk situation: Stationär värmetransport i en dimension med kombinerad konvektion (till/från) och ledning (genom) kompositvägg bestående av berylliumoxid (komponent A) och stål (komponent B) med ett internt kontaktmotstånd ($R_{kontakt}$). Väggens tvärsnittsarea är konstant.

Sökt: a) värmefflux samt b) temperaturprofil genom kompositväggen.

Beräkning:

a) Värmeffluxet kan tecknas som:

$$q/A = (T_{\infty,1} - T_{\infty,3}) \left(\frac{1}{h_g} + \frac{L_A}{k_A} + R_{kontakt} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{1}{h_l} \right)^{-1} \quad (1)$$

Insättning av kända värden i ekv. 1 ger:

$$q/A = (2600 - 100) \left(\frac{1}{50} + \frac{0.01}{21.5} + 0.05 + \frac{0.02}{25.4} + \frac{1}{1000} \right)^{-1} = 34601 \approx \underline{34.6 \text{ kW/m}^2}$$

b) Temperaturerna på båda sidor om komponent A och B kan fås genom att betrakta värmetransporten genom varje komponent samt mellan komponenterna utgående från det i a) beräknade fluxet och arean är konstanta.

För gassidan gäller:

$$q/A = h_g(T_{\infty,1} - T_{yta,1}) \Rightarrow T_{yta,1} = T_{\infty,1} - \frac{q/A}{h_g} = 2600 - \frac{34600}{50} = \underline{1908 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

För komponent A gäller:

$$q/A = \frac{k_A}{L_A}(T_{A,1} - T_{A,2}) \Rightarrow T_{A,2} = T_{A,1} - \frac{L_A q/A}{k_A} = 1908 - \frac{0.01 \cdot 34600}{21.5} = \underline{1892 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

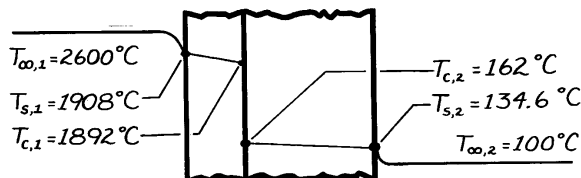
För transport mellan A och B gäller:

$$q/A = \frac{T_{A,2} - T_{B,2}}{R_{kontakt}} \Rightarrow T_{A,2} = T_{B,1} - R_{kontakt} q/A = 1892 - 0.05 \cdot 34600 = \underline{162 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

För transport genom komponent B gäller:

$$q/A = \frac{k_B}{L_B}(T_{B,2} - T_{B,3}) \Rightarrow T_{B,3} = T_{B,2} - \frac{L_B q/A}{k_B} = 162 - \frac{0.02 \cdot 34600}{25.4} = \underline{134.6 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

c) Temperaturprofilen kan skisseras som:



B3 Fysikalisk situation: Stationär masstransport genom två faser (gas-till-vätska).

Sökt: a) andel masstransportmotstånd i gasfas, b) flux av aceton och c) procentuell ökning av acetonflux om k_G ökas med 30%.

Strategi: Använd tvåfilmsteorin.

Beräkning:

a) transportmotståndet genom gasfilmen ges av $1/k_G$ och det totala transportmotståndet ges m/K_L där m är jämviktskonstanten. Andelen transportmotstånd som ligger i gasfasen är:

$$\frac{1/k_G}{m/K_L} = \frac{K_L}{mk_G} = \frac{4.9 \cdot 10^{-6}}{3.16 \cdot 10^{-5} \cdot 0.21} = 0.7384 \approx \underline{74\%}$$

b) Fluxet ges av:

$$N_A = K_L(c_A^* - c_A^L) \quad (1)$$

där c_A^* är jämviktskoncentrationen av A i vätskan motsvarande partialtrycket av A i gasfasen, p_A . Koncentrationerna kan beräknas som:

$$c_A^* = \frac{p_A}{m} = \frac{y_A \cdot P_{tot}}{m} = \frac{0.01 \cdot 1}{3.16 \cdot 10^{-5}} = 316.5 \text{ mol/m}^3 \quad (2)$$

$$c_A^L = x_A \cdot c = x_A \frac{\rho_{vatten}}{M_{vatten}} = 0.002 \frac{998.2}{18 \cdot 10^{-3}} = 110.9 \text{ mol/m}^3 \quad (3)$$

Eftersom kolvätekonzentrationen är mycket låg i vätskefasen antas densitet (Appendix I) för rent vatten vid 20 °C gälla i ekv. (3). Insättning i ekv. (1) ger fluxet som:

$$N_A = 5 \cdot 10^{-6} \cdot (316.5 - 110.9) = \underline{1.01 \cdot 10^{-3} \text{ mol/(m}^2 \text{ s atm)}} \quad (4)$$

c) För att bestämma ökningen av fluxet måste det nya totala transportmotståndet beräknas. Antag samma koncentrationer i gas och vätskefas som i deluppgift b).

$$k_{G+30\%} = 1.3 \cdot 0.21 = 0.26 \text{ mol/(m}^2 \text{ s atm)} \quad (5)$$

Från sambandet $1/K_L = 1/(mk_G) + 1/k_L$ fås att:

$$k_L = \left(\frac{1}{K_L} - \frac{1}{mk_G} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{4.9 \cdot 10^{-6}} - \frac{1}{3.16 \cdot 10^{-5} \cdot 0.2} \right)^{-1} = 1.87 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} K_{L+30\%} &= \left(\frac{1}{mk_{G+30\%}} + \frac{1}{k_L} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{3.16 \cdot 10^{-5} \cdot 0.26} + \frac{1}{1.87 \cdot 10^{-5}} \right)^{-1} \\ &= 5.84 \cdot 10^{-6} \text{ mol/(m}^2 \text{ s)} \end{aligned}$$

Slutligen blir fluxet:

$$N_{A+30\%} = K_{L+30\%}(c_A^* - c_A^L) = 5.91 \cdot 10^{-6} \cdot (316.5 - 110.9) = 1.21 \cdot 10^{-3} \text{ mol/(m}^2 \text{ s)}$$

och den procentuella ökningen:

$$(1.21 \cdot 10^{-3} - 1.01 \cdot 10^{-3}) / 1.01 \cdot 10^{-3} \cdot 100\% = \underline{21\%}$$

B4 Fysikalisk situation: Påtvingad konvektion av värme från metalltråd till omgivande turbulent luftström.

Sökt: a) värmeöverföringskoefficienten h och b) strömmande luftens hastighet v_∞ .

Strategi: a) beräkna h med Newtons kylningslag och b) nyttja lämplig korrelation för att beräkna v_∞ från beräknad h .

Beräkning:

a) Det konvektiva värmeflödet ges av:

$$q = Ah(T_s - T_b) \quad (1)$$

där A är trådens mantelyta, T_s är trådens temperatur och T_b är luftens bulktemperatur. Med $A = \pi dL$ fås h som:

$$h = \frac{q}{\pi dL(T_s - T_b)} = \frac{2}{\pi \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} \cdot (225 - 125)} = \underline{637 \text{ W/(m}^2\text{K)}} \quad (2)$$

b) Hastigheten (v_∞) kan fås genom att nyttja korrelation 20-35 (WRF7) som gäller för turbulent flöde tvärs cylinder:

$$\text{Nu}_D = B \text{Re}^n \text{Pr}^{1/3} \quad (3)$$

som kan skrivas om som:

$$v_\infty = \left(\frac{\text{Nu}_D}{B \text{Pr}^{1/3}} \right)^{1/n} \cdot \frac{\nu}{d} \quad (4)$$

där B och n fås ur tabell (WRF 20.3). Båda dessa parametrar beror på v_∞ genom Re-talet enligt Tabell 20.3 (WRF7). Detta kan lösas genom att: i) gissa v_∞ ii) beräkna Re, iii) välj B och n och beräkna v_∞ med ekv. (4) samt iv) kontrollera val av B och n genom att beräkna Re talet baserat på beräknad v_∞ och jämför med Tabell 20.3.

Använd materialdata för filmtemperaturen:

$$T_{film} = (T_s + T_b)/2 = (225 + 125)/2 = 175 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (5)$$

Appendix I ger att $\nu_{luft} = 3.1453 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $k = 3.6963 \cdot 10^{-2} \text{ W/(mK)}$ och $\text{Pr}=0.6834$. Nusselts tal blir:

$$\text{Nu}_D = \frac{hd}{k} = \frac{637 \cdot 10^{-3}}{3.6963 \cdot 10^{-2}} = 17.22 \quad (6)$$

Gissa $v_\infty=20 \text{ m/s}$. Det ger $\text{Re}=20 \cdot 10^{-3}/3.1453 \cdot 10^{-5} = 636$ och därmed $B = 0.683$ och $n = 0.466$. Hastigheten beräknas som:

$$v_\infty = \left(\frac{17.22}{0.698 \cdot 0.6834^{1/3}} \right)^{1/0.466} \cdot \frac{3.1453 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 10^{-3}} = \underline{42.1 \text{ m/s}} \quad (7)$$

Kontroll: $\text{Re}=42.1 \cdot 10^{-3}/3.1453 \cdot 10^{-5} = 1340$ vilket ligger i intervallet 40-4000 och därmed gäller valda B och n .

Tentamen - Transportprocesser



CHALMERS

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

Kurskod: KBT340

Examinator: Per-Anders Carlsson (Mobil: 0708-720287)

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 tentamen meddelas via anslag i Canvas.

14 Januari 2025

Tid: 8:30-13:30

Sal: –

LÄS DETTA FÖRST!

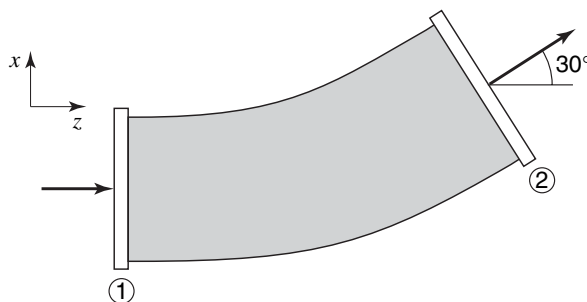
Hjälpmedel: valfri minnestömd miniräknare; formelsamlingar (TEFYMA, BETA, Physics Handbook, Nya Formelsamlingen och liknande); kursboken "Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer" av J. R. Welty, G. L. Rorrer and D. G. Foster.

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

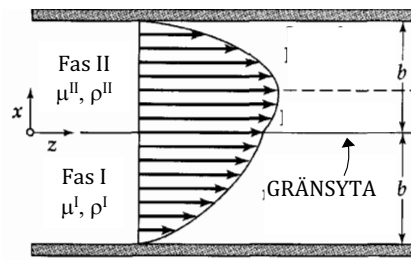
- A1 (a) Vad är en kontrollvolym och varför är konceptet så centralt inom transportprocesser? (1 p)
- (b) Vad menas med en fix respektive en rigid kontrollvolym? (1 p)
- (c) Visa med enkla och tydliga skisser på två olika sätt att definiera kontrollvolymen för analys av kraftsituationen för rörböjen i figuren. (2 p)



A2 Navier-Stokes ekvationer är differentialformen för Newtons andra rörelselag.

- (a) Kan man stryka tröghetstermerna för högviskösa flöden vid låga hastigheter? Motivera! (2 p)
- (b) Kan man stryka viskositetstermerna för lågviskösa flöden vid hög hastighet? Motivera! (2 p)

A3 Figuren visar två oblandbara inkompressibla vätskor som strömmar laminärt mellan två parallella plattor där $\mu^I > \mu^{II}$ och $\rho^I > \rho^{II}$.



För båda faserna gäller att rörelsemängdsfluxet kan beskrivas med ekvationen:

$$\frac{d\tau_{xz}}{dx} = \frac{p_0 - p_L}{L}$$

där τ är skjuvspänning, L längden på plattorna i z -led och p_0 och p_L trycken vid in- ($z = 0$) och utlopp ($z = L$). Härled uttryck för hastighetsprofilerna i de två faserna. (4 p)

A4 För värmetransport vid laminär strömning över en plan platta gäller:

$$\text{Nu} = 0.664\text{Re}^{1/2}\text{Pr}^{1/3}$$

där den karakteristiska längden är plattans längd (L) och den karakteristiska hastigheten den fria strömmen (v_∞).

- (a) Ge fysikalisk tolkning av Nu och Re talen samt definiera talen i detta fall. (2 p)
- (b) Hur ändras värmeffluxet om v_∞ fördubblas? (1 p)
- (c) Vad är det analoga uttrycket för masstransport? (1 p)

A5 Den instationära värmeledningsekvationen för en sfär skrivs:

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right)$$

- (a) Hur ändras utbredningshastigheten av temperaturprofilen vid en temperaturförändring på ytan om materialet ändras så att ρc_p ökar? Motivera! (1 p)
- (b) Hur ändras utbredningshastigheten av temperaturprofilen vid en temperaturförändring på ytan om materialet ändras så att k ökar? Motivera! (1 p)
- (c) När Emilia bakar potatis i en varmluftsugn med fläkt inser hon hur mycket snabbare potatisen blir klar när fläkten är på jämfört med när den är av. Detta trots att ugnen är inställd på samma temperatur och uppvärmd innan hon ställer in potatisarna. Förklara varför och gör en enkel skiss på temperaturprofilen, i luften och i potatisen, för de två fallen (fläkt av/på) för någon tidpunkt innan potatisen är klar (alltså under uppvärmningsförloppet av potatisen). (2 p)

A6 En bägare är delvis fylld med ren vätska A som avdunstar.

- (a) Ange lämpligt uttrycket för massfluxet av komponent A och ge fysikalisk tolkning av ingående termer. Vilka antaganden ligger till grund för uttrycket? (2 p)

-
- (b) Vilken mekanism dominerar masstransporten av A om vätskan är kall? Motivera! (1 p)
- (c) Vilken mekanism dominerar masstransporten av A om vätskan är nära kokpunkten? Motivera! (1 p)

A7 En varm och fuktig sommardag finner du att badrumsmattan är blöt och du misstänker en vattenläcka. Lyckligtvis inser du snart att vattnet bara droppat från utsidan av ett kallvattenrör och runnit ut till mattan. Beskriv med ord och en enkel skiss den fysikaliska situationen. Vilka transportfenomen är involverade, varför uppstår de och hur är de kopplade?

Tips: Antag att stationära betingelser råder, att omgivande luft är nästan stilla och att själva droppbildningen kan försummas. (4 p)

DEL B

- B1 Det tar 76 s för en sfärisk glaspärla (Pyrex) med diametern 0.2 mm att sjunka 50 cm i en fluid som har densiteten 850 kg/m^3 . Bestäm fluidens viskositet! (8 p)
- B2 En kompositvägg används för att särskilja heta förbränningsgaser ($2600 \text{ }^\circ\text{C}$) från vätskeformig kylmedia ($100 \text{ }^\circ\text{C}$). Väggen består av ett 10 mm tjockt skikt av berylliumoxid ($k = 21.5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) på gassidan och ett 20 mm tjockt skikt av rostfritt stål ($k = 25.4 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) på vätskesidan. Värmeöverföringstalet på gassidan är $50 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ och på vätskesidan $1000 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Värmeöverföringen mellan berylliumoxiden och stålet är förknippad med vad som kan beskrivas som en "engångsförlust" eller ett "kontaktmotstånd" (R_{kontakt}) som är $0.05 \text{ m}^2\text{K W}^{-1}$.
- (a) Hur stort är värmefluxet genom kompositväggen? Strålning kan försummas. (3 p)
- (b) Beräkna temperaturerna på båda sidor av dels berylliumoxiden och dels stålet under samma förutsättningar som i a). (4 p)
- (c) Gör en enkel skiss som visar temperaturprofilen från gasbulk till vätskebulk. (1 p)
- B3 Luft innehållande 1 mol-% aceton skall renas genom att aceton absorberas i vatten vid $20 \text{ }^\circ\text{C}$ och atmosfärstryck. Genom experiment vet man att den individuella massöverföringskoefficienten för gasfilmen är $0.21 \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s atm})$ och den totala massöverföringskoefficienten för vätskan är $4.9 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$. Vid rådande betingelser gäller att $p_{\text{aceton}} = 3.16 \cdot 10^{-5} c_{\text{aceton}}$.
- (a) Hur stor andel av masstransportmotståndet ligger i gasfasen? (2 p)
- (b) Hur stort är fluxet av aceton i det fall vätskefasen innehåller 0.2 mol-% aceton? (4 p)
- (c) Vad blir den procentuella ökningen av acetonfluxet jämfört med deluppgift b) om luftflödes hastigheten ökas så att k_G ökar med 30%. (2 p)

B4 För att mäta vindhastighet för turbulent strömmande luft används en så kallad varmtrådsanemometer. Den består av en tunn metalltråd som placeras vinkelrätt mot den hastighetskomponent som skall mätas. Med en elektrisk ström värms tråden till en temperatur som är högre än luftens temperatur. Vindhastigheten bestäms sedan från den effekt som krävs för att hålla trådens temperatur konstant.

I ett fall tillfördes 2 W till en tråd med längden 1 cm och diametern 1 mm för att hålla dess temperatur konstant vid 225 °C. Luftens temperatur var 125 °C.

(a) Beräkna värmeöverföringskoefficienten. **(3 p)**

(b) Beräkna vindhastigheten. **(5 p)**

Tips: Ändeffekter och värmestrålning kan försummas.