TkF Värmeteknik

Massöverföring & separationsteknik 2006 Tentamen 270906

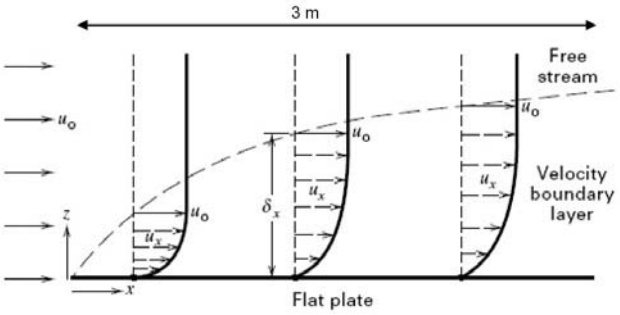
4 frågor, max totalpoäng = 4 + 8 + 8 + 10 = 30

Alla hjälpmedel tillåtna utan telekommunikationsutrustning och personliga hjälpredor.

311. Experimentdata för systemet propan – isopentan (C_3 - iC_5) ger för 75°C, 10.1 bar en jämvikt mellan en vätska med x_{C3} = 0.290 (mol/mol) och en gas med y_{C3} = 0.665 (mol/mol).

a. Beräkna värdet för jämviktkoefficienten $K_i = y_i/x_i$ för C_3 och för iC_5 vid 75°C, 10.1 bar. *(1p.)*
b. Beräkna värdet för jämviktkoefficienten $K_i = y_i/x_i$ för C_3 och för iC_5 om ångtryck för rena komponenten vid 75°C är $p_{C3}°$ = 28.2 bar och $p_{iC5}°$ = 4.0 bar. *(1p.)*
c. Beräkna med hjälp av skillnaderna mellan K_i värdena beräknade under a) och b), aktivitetskoefficienterna γ_i för C_3 och iC_5. *(1p.)*
d. Beräkna molbråken x_i och y_i för C_3 och för iC_5 vid 75°C, 20 bar. *(1p.)*

312. Luft vid 100°C, 1 atm strömmer över en yta, se figuren. Luftens hastighet i den fria strömmen övanför är u_0 =5 m/s. Ytan har storleken 3 m × 1 m. Ytans material är naftalen som börjar avdunsta, dvs sublimera.



Massöverföringskoefficienten kan beskrivas <u>för ett laminärt gränsskikt</u> ($Re_x < 5\cdot10^5$) med längdkoordinaten x (m), med ett genomsnittvärde för Sherwoodtalet Sh (-) över längden x=L: $Sh_{avg} = 0.664\cdot Re_L^{1/2}\cdot Sc^{1/3}$, för $Re_L < 5\cdot10^5$ där $Sh_{avg} = k\cdot L/Đ$, med massöverföringskoefficienten k (m/s) och diffusionskoefficienten Đ (m^2/s). För Sh(x) på plats x, $Sh(x) = 0.332\cdot Re_x^{1/2}\cdot Sc^{1/3}$, för $Re_x < 5\cdot10^5$.

a. Beräkna längden x (m) över vilken gränsskiktet är laminärt *(1p.)*

b. För längden beräknad i a.), beräkna massöverföringen för naftalen in i luften (i mol/s eller g/s). *(4p.)*

c. Vid den punkt där gränsskiktet blir turbulent, beräkna hydrodynamiska gränsskiktets tjocklek δ_x (mm) och gränsskiktets tjocklek för massöverföring, δ_m (i mm). *(2p.)*

d. Vad kan du säga om massöverföringen förbi punkten där gränsskikten blir turbulent? *(1p.)*

<u>Data</u>: ångtryck för naftalen p° = 1316 (Pa); luftens dynamiska viskositet $\eta = 2.15\times10^{-5}$ (Pa.s); luftens densitet = 0.95 (kg m^{-3}), molvikt för luft M_L = 29 (g/mol); molvikt för naftalen M_N = 128 (g/mol); diffusionskoefficienten for naftalen i luft Đ = 0.94×10^{-5} (m^2 s^{-1})

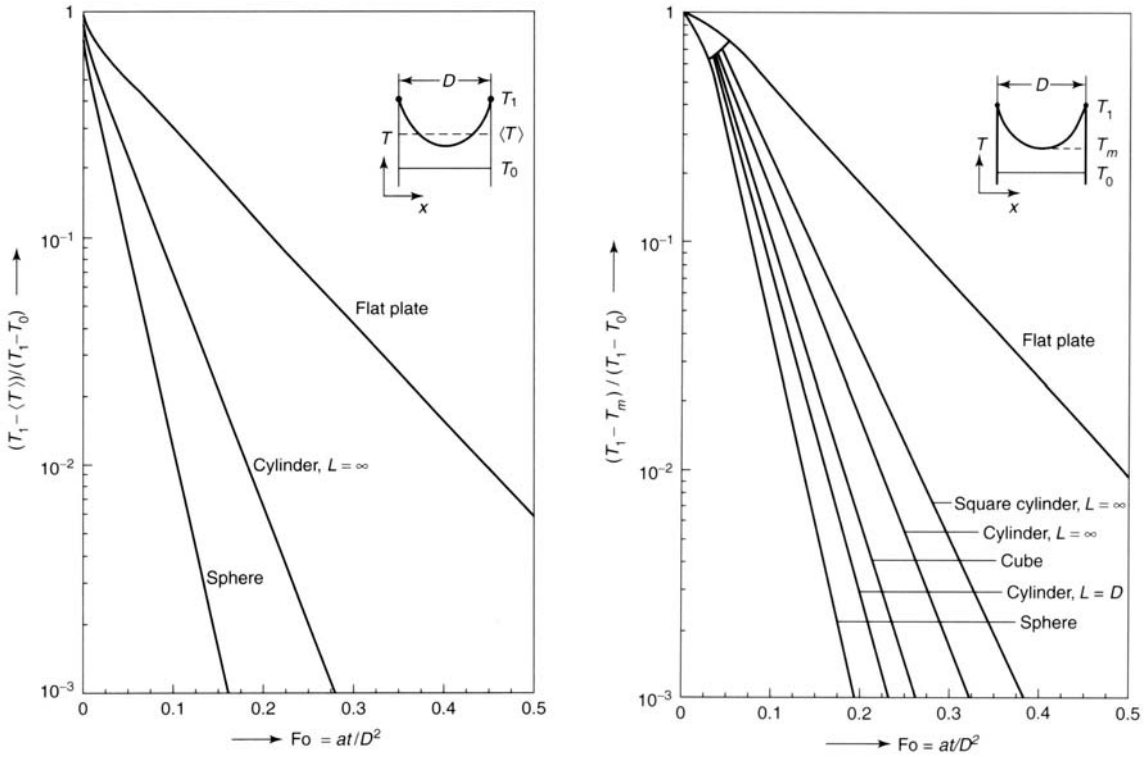
313. En fuktig (av vatten) cylinder (diameter = 5 cm) av ett poröst material placeras i en turbulent luftström som innehåller ammoniak (NH_3) med avsikten att absorbera ammoniaken i vattnet. Information om massöverföringskoefficienten saknas men värmeöverföringsexperiment gav ett värde h = 68 ($Wm^{-2}K^{-1}$) för värmeöverföringskoefficienten h.

a. Beräkna massöverföringskoefficienten k ($m\ s^{-1}$) med denna information. *(4p.)*

<u>Data</u> för luft: densitet ρ = 1.20 ($kg\ m^{-3}$); värmekapacitet c_p = 1.00 ($kJ\ kg^{-1}K^{-1}$); Pr = 0.74 (-); värmeledningskoefficient λ = 0.025 ($Wm^{-1}K^{-1}$); för luft-ammoniak blandningar Sc = 0.61 (-)

Efter en tid är cylindern genomträngd över hela diametern med en koncentration $c = c_{NH3}$ = 6 %-wt, och den flyttas till ett stort rum med ren stillastående luft. Ammoniaken börjar nu avdunsta från cylindern.

b. 1. Hur mycket tid (räknad från t = 0 där cylindern flyttades) tar det för 99 % av ammoniaken att avdunsta (ge svar i sekunder och timmar), och
2. vad är ammoniakkoncentrationen i cylinderns mitt vid den tidpunkten? *(2+2p.)*
För diffusion av ammoniak i den fuktiga cylindern är diffusionskoefficienten Đ = 2×10^{-9} m^2/s. Använd diagrammen härnere för tidsvariant värmeledning och analogin T ↔ c, <T> ↔ <c>, a ↔ Đ, med dimensionslösa Fourier-tal $Fo=at/D^2$ för värmeöverföring och $Fo = Đt/D^2$ for massöverföring med diffusionskoefficient Đ in i objekt med längddimension D.



Temperatur vid tidsvariant värmeledning: medelvärde (vänster) och i mitten

<u>Data</u> för luft: densitet ρ = 1.20 ($kg\ m^{-3}$); värmekapacitet c_p = 1.00 ($kJ\ kg^{-1}K^{-1}$); Pr = 0.74 (-); värmeledningskoefficient λ = 0.025 ($Wm^{-1}K^{-1}$); för luft-ammoniak blandningar Sc = 0.61 (-)

314. En 250 kmol/h tvåkomponentblandning F som innehåller 40 %-mol isopropyleter (komponent A, kokpunkt 69°C vid 1 atm, M_A = 102 g/mol) och isopropanol (komponent B, kokpunkt 82°C vid 1 atm, M_B = 60 g/mol) ska genom kontinuerlig destillation separeras i en bottenkolonn. Destillat D med 75 %-mol isopropyleter och bottenprodukt B med 95% isopropanol ska produceras.

Tillflödeströmmen F är i vätskefas vid kokpunktstemperatur, dvs q = 1. Återflödesförhållandet $R = 1.5 \cdot R_{min}$. Densiteten för vätskefasen är ρ_L = 790 kg/m^3. Se bifogat jämviktsdiagram.

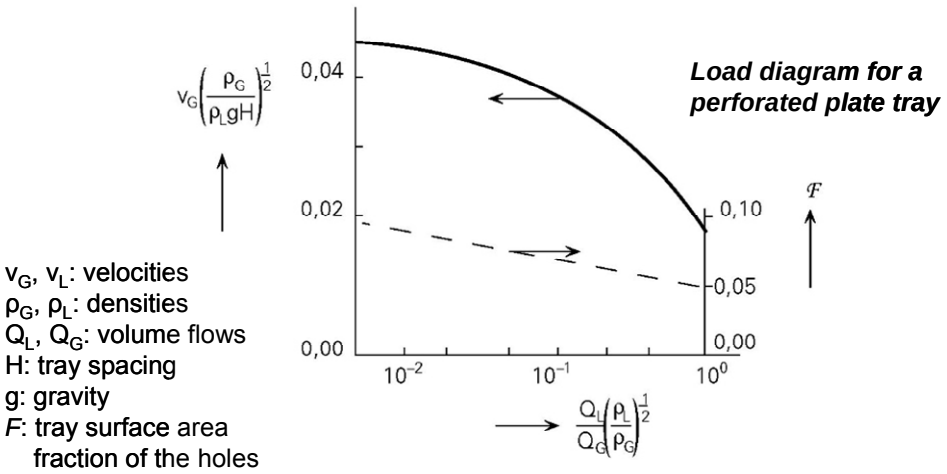
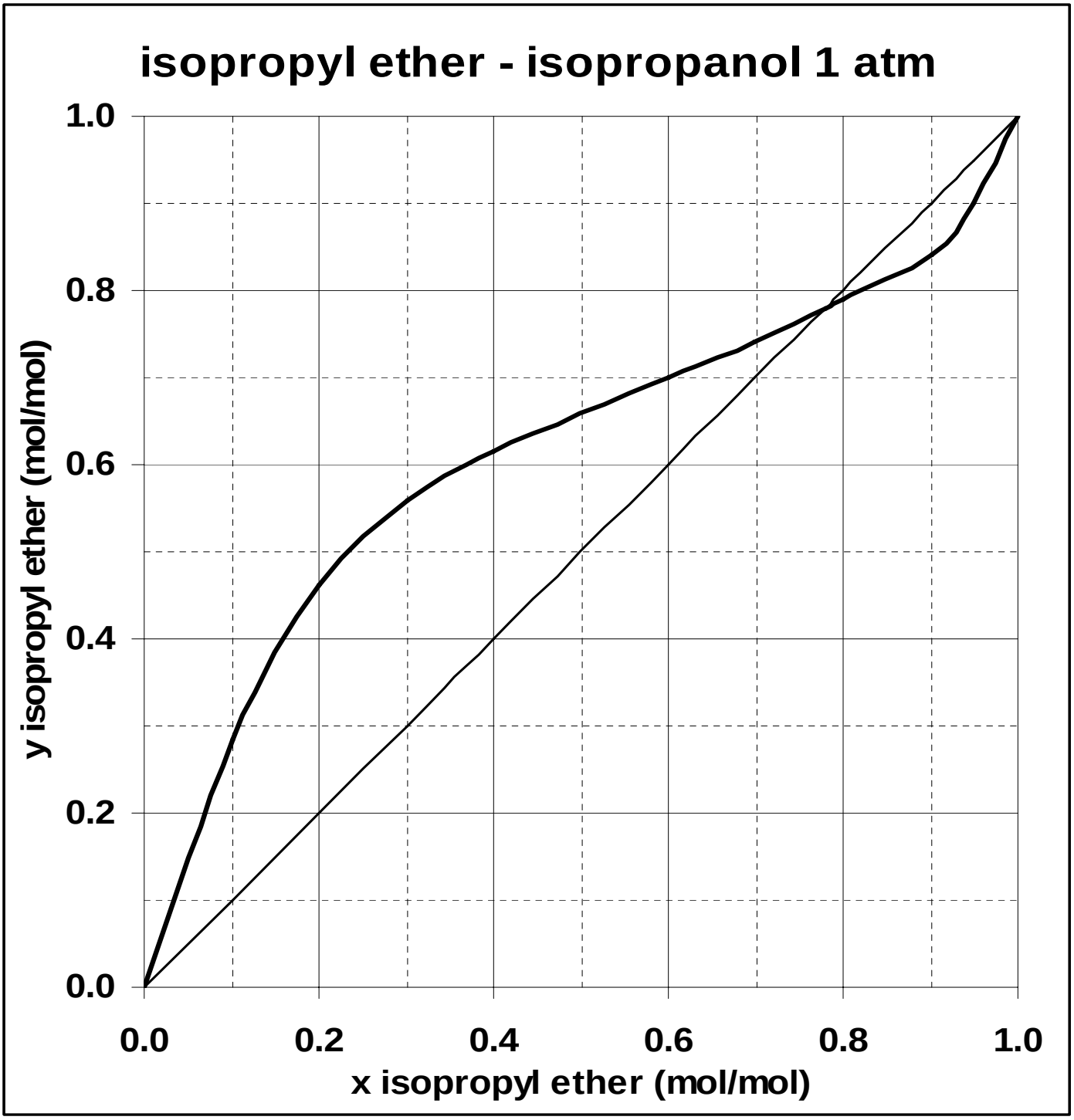
a. Beräkna relativa flyktigheten α vid $x = x_F = 0.4$ *(1p.)*

b. Beräkna ämnesmängdströmmarna destillat D och bottenprodukt B (mol/s), ge resultaten med 1 decimals noggrannhet *(1p.)*

c. Upprita i x,y-diagrammet q-linjen och bestäm (grafiskt, eller med Underwood ekvationen) minimala återflöddesförhållandet R_{min}. Bestäm också (grafiskt eller med Fenske ekvationen) minimiantalet teoretiska bottnar i kolonnen N_{min} *(2p.)*

d. Upprita i x,y-diagrammet driftlinjen för förstärkardelen (”rectifying section”) och för kolonnen (”stripping section”) och bestäm grafiskt antalet teoretiska bottnar i hela kolonnen. Räkna nedåt från punkten (x_D,y_D). <u>Lämna in diagrammet med svaren</u> *(3p.)*

e. Beräkna, med $M_G = M_L = M_A$ g/mol och temperatur T = 75°C, gas- och vätske-volymströmmarna Q_G och Q_L (m^3/s). Beräkna, med hjälp av belastningsdiagrammet (”load diagram”) för bottenkolonner (se härnere) distansen mellan bottnar (”tray spacing”) H (m) för gashastigheten v_G = 1.5 m/s. Beräkna även kolonnens diameter d (m) *(3p.)*



Namn: Matrikelnr: