

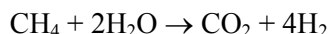


CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

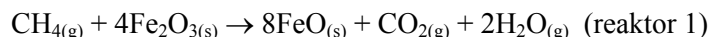
Institutionen för kemi- och bioteknik

KURSNAMN	Grundläggande kemiteknik, KAA 146	<i>Med förslag till lösningar av beräkningsuppgifter</i>	
PROGRAM: namn åk / läsperiod	Civilingenjörsprogram kemiteknik Civilingenjörsprogram kemiteknik med fysik årskurs 2 läsperiod 3 & 4		
EXAMINATOR	Krister Ström		
TID FÖR TENTAMEN	Måndag 23 augusti 2010, kl 08.30-12.30		
LOKAL	M		
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med tömt minne. Egna anteckningar och kursmaterial är ej godkänt hjälpmedel. "Data och Diagram" av Sven-Erik Mörtstedt/Gunnar Hellsten "Tabeller och Diagram" av Gunnar Hellsten "Physics Handbook" av Carl Nordling/Jonny Österman "BETA β " av Lennart Råde/Bertil Westergren Formelblad (vilket bifogats tentamenstesen)		
ANSV LÄRARE: namn telnr besöker tentamen	Derek Creaser 772 3023 ca. kl. 09.30	Krister Ström 772 5708 ca. kl. 10.30	Jonas Sjöblom 772 3012 ca. kl. 10.30
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås 24 augusti på studieportalens kurshemsida. Resultat på tentamen anslås tidigast 13 september efter kl 12.00. Granskning 14 respektive 15 september kl. 12.30-13.00 i seminarierummet forskarhus II plan 2.		
ÖVRIG INFORM.	Tentamen består av teoriproblem till ca 40 % och resten beräkningsuppgifter. Åtta uppgifter totalt på tentamen. Poäng på respektive uppgift finns noterat i tentamenstesen. För godkänd tentamen fordras 50% av tentamens totalpoäng. Till genomförd tentamens totalpoäng adderas bonuspoäng som erhållits inom ramen för kursens miniprojekt. Dessa tillgodoräknas endast vid de tentamenstillfällena under det år studenten är förstagångsregistrerad på kursen. Samtliga diagram och bilagor skall bifogas lösningen av tentamensuppgiften. Diagram och bilagor kan ej kompletteras med vid senare tillfälle. Det är Ditt ansvar att Du besitter nödvändiga kunskaper och färdigheter. Det material som Du lämnar in för rättning skall vara väl läsligt och förståeligt. Material som inte uppfyller detta kommer att utelämnas vid bedömningen. Betyg 3 30-39p, betyg 4 40-49p, betyg 5 50-60p.		

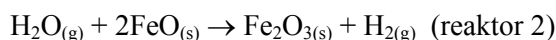
Uppgift 1 Ångreforming av metan är en vanlig reaktionsväg för att tillverka vätgas:



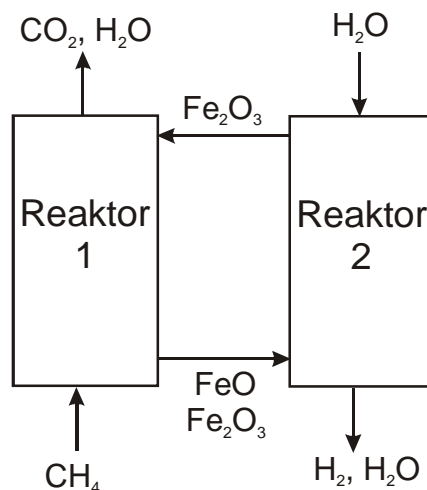
Ett alternativ till den direkta reaktionsvägen är att använda sig av så kallad "chemical looping steam reforming" (CLSR) med fördelen att vätgasen direkt blir separerad från koldioxiden. I CLSR processen används metalloxider så som FeO/Fe₂O₃ som syrebärare. I reaktor 1 (se bilden) sker den fullständiga oxidationen av metanet enligt:



och i reaktor 2 bildas vätgas genom oxidation av FeO med vatten enligt:



Syrebäraren FeO/Fe₂O₃ cirkuleras mellan reaktorerna.



I en specifik CLSR anläggning uppnås fullständigt utbyte av metan över reaktor 1. Reaktor 1 tillförs även ren Fe₂O₃ av vilket 65% reagerar och bildar FeO. I reaktor 2 omsätts 80% av det tillförda vattnet medans all FeO oxideras till Fe₂O₃. Anläggningen producerar 25 kmol vätgas per timme.

- Hur mycket metan måste tillföras till reaktor 1?
- Hur mycket Fe₂O₃ går vidare från reaktor 2 in i reaktor 1 (i kg h⁻¹)?
- Båda reaktorerna körs vid 850°C. Processen är starkt endoterm. Tillflödena till processen är metan i gas fas och vatten som vätska, båda strömmarna håller 20°C.
Diskutera kortfattat hur processen bör designas för att minimera vatten förbrukningen och göra processen mer energieffektiv.

Fe₂O₃ molekylvikt = 159.7 kg kmol⁻¹

(11p)

Uppgift 2 Vätskefas reaktionen:



har följande hastighetsuttryck:

$$r = \frac{k_1(C_A)^{0.5}}{(1 + k_2C_A)}$$

En reaktor tillförs 100 mol h⁻¹ av rent A (inget B eller C) vid en koncentration av 0.25 mol dm⁻³ av A. Omsättningsgraden av A över reaktorn är 70%. Reaktorn är en ideal och kontinuerlig reaktor som körs isotermt och vid steady state.

- Vilken reaktor volym krävs om en tankreaktor används i processen?
- Vilken reaktor volym krävs om en tubreaktor används i processen?
- Vilken ideal kontinuerlig reaktor kräver den minsta volymen? Förklara varför det är så för den här reaktionen. (Ledtråd: Frågan kan besvaras utan att ha beräknat volymerna i (a) och (b), man måste då tänka på hur reaktionshastigheten varierar med omsättningsgraden över intervallet 0-70%)

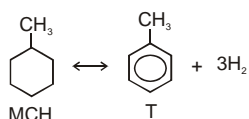
DATA:

$$k_1 = 10 (\text{mol dm}^{-3})^{0.5} \text{ h}^{-1}$$

$$k_2 = 16 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

(10p)

Uppgift 3 Metylcyklohexan (MCH) dehydrogeneras och bildar toluen (T) i en katalytisk reaktor som innehåller 50 kg katalysatormaterial.



$$\Delta H_R = + 204.8 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ vid } 25^\circ\text{C}$$

Reaktorn tillförs en 2:1 (mol) blandning av H₂:MCH vid 500°C och atmosfärs tryck. Reaktionen är en första ordningens reaktion med avseende på MCH. Reaktorn antas vara en ideal adiabatisk tubreaktor. Omsättningsgraden av MCH över reaktorn är 20%.

- Vad blir temperaturen ut ur reaktorn?
- Om reaktorn istället var en ideal tankreaktor, skulle då den erforderliga mängden katalysatormaterial öka eller minska? Förklara varför. (Inga beräkningar behövs)

DATA:

Medelvärden av värmekapaciteter:

	\tilde{c}_p (J mol ⁻¹ K ⁻¹)
MCH	323
T	230
H ₂	29.6

(6p)

Uppgift 4 En kokvarm blandning av 30 mol-% etanol och 70 mol-% propanol ska destilleras i en bottenkolonn. Bottenuttaget ska hålla endast 10 mol-% etanol. Kolonnen är försedd med återkokare och totalkondensator och separationen ska ske vid 101.3 kPa. Till återkokaren tillföres så mycket effekt att mängden uppkokad ånga är 1.46 gånger mängden tillflöde till kolonnen. Det yttre återflödesförhållandet ska sättas till 3.16.

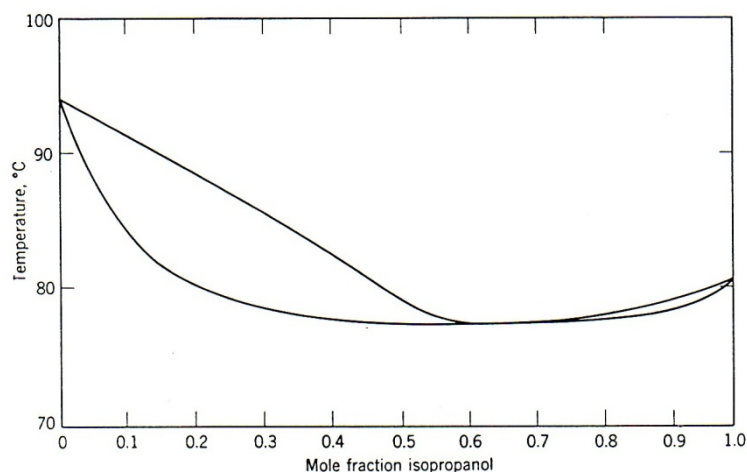
Beräkna;

- hur många ideala steg som fordras för separationen!
- hur många ideala steg som fordras för separationen om tillflödet i stället utgörs av mättad ånga och återkokareffekten minskas i motsvarande mån, dvs att mängden uppkokad ånga är 0.46 gånger mängden tillflöde till kolonnen! Övriga givna data förutsätts oförändrade.

Jämviktsdiagram för systemet etanol-propanol bifogas.

(12p)

Uppgift 5 Redogör, med hjälp av figuren nedan, för vad som händer då en blandning av isopropanol och propylenklorid, som håller molbråket 0.3 med avseende på isopropanol, kyls från 90°C till 80°C vid ett konstant tryck av 101.3 kPa.



Dag- och bubblpunktsdiagram för systemet isopropanol/propylenklorid vid 101.3 kPa.

I bilaga 1 finns diagrammet med utrymme för svar som du ska bifoga dina tentamenslösningar för bedömning!

(5p)

Uppgift 6 Ge en förklaring till varför det existerar ett optimalt återflödesförhållande vid destillation och vilka aspekter man tar hänsyn till vid valet av detta!

(4p)

Uppgift 7 En plattvärmväxlare med arean 205m^2 arbetar som en motströmsvärmväxlare. Den varma strömmen är varmt vatten av 60°C , 180kg/s som kyls till 40°C och den kalla strömmen är kallt vatten av 10°C , 90kg/s . För att kunna kyla den varma strömmen ytterligare, vill man dubbla den kalla strömmen varvid U ökar med 19%.

- Hur ändras mycket effekten av denna ändring?
- Kylvattnet som tas från en älv har tack vare mycket regnande blivit både smutsigt och innehåller fibrer från bottenlam. Om man helt fritt kunde välja värmväxlartyp, vilken typ skulle du rekommendera? Varför? Motivera ditt svar.

(6p)

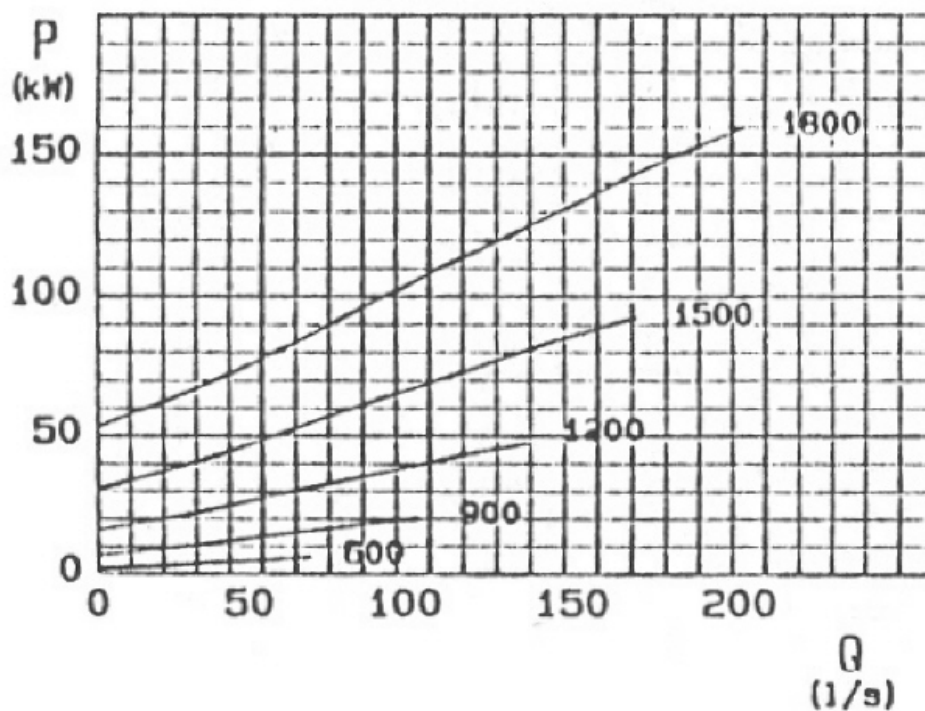
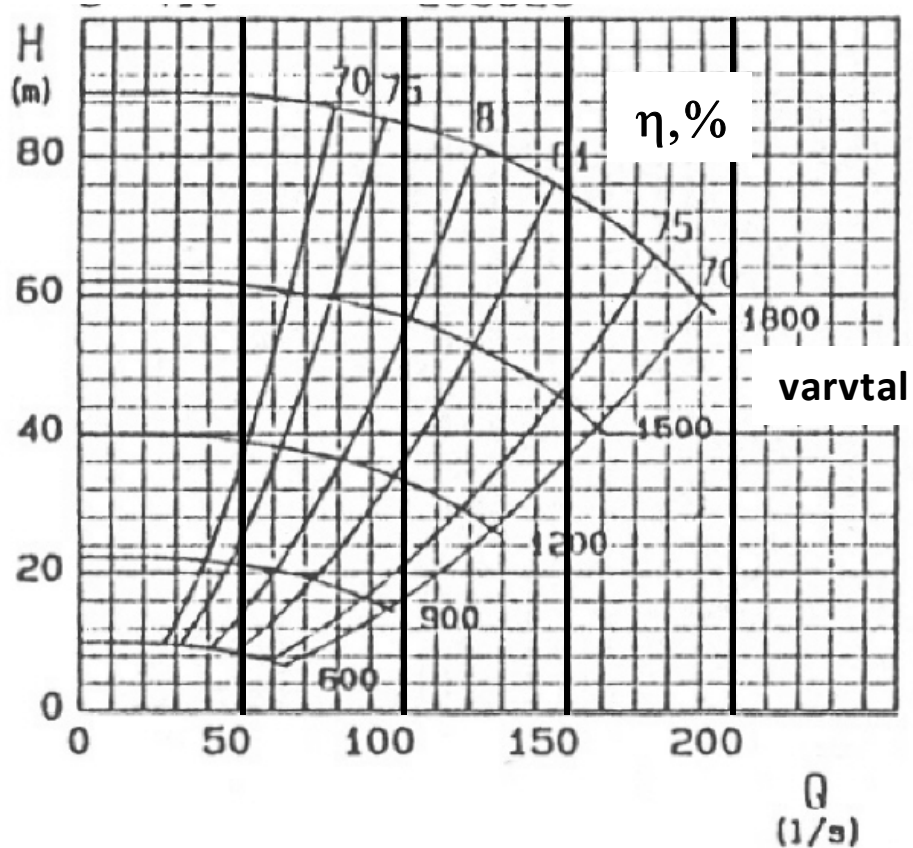
Uppgift 8 För att pumpa 90 l/s kylvatten används en radial pump med nedanstående karaktäristika, se nästa sida. Den statiska uppföringshöjden är 22m och den dynamiska uppföringshöjden ges av

$$h_f = 0.0033 * \dot{V}^{1,8} \quad [\text{m}]$$

Där \dot{V} är volymsflödet i l/s .

- Beräkna pumpeffekten för detta driftfall
- Om man skulle dubbla flödet med samma pump genom att öka varvtalet, vad blir pumpeffekten i detta fall?
- Vid stora flödesökningar så är oftast inte radialpumpar det bästa valet. Vilken annan typ av turbopump är oftast bättre? Beskriv kort dess funktion
- I nuläget befinner sig pumpen vid älven och man skulle vilja flytta den till direkt anslutning till kylanläggningen. Motivera om detta skulle vara möjligt eller inte.

(6p)



Göteborg 2010-08-11

Krister Ström
Derek Creaser
Jonas Sjöblom

Formelblad – Grundläggande kemiteknik

Reaktionsteknik

Omsättningsgraden:

$$X_A = \frac{N_{A_0} - N_A}{N_{A_0}} \quad (\text{satsreaktor})$$

$$X_A = \frac{F_{A_0} - F_A}{F_{A_0}} \quad (\text{kontinuerlig reaktor})$$

Arrhenius ekvation:

$$k = A \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \quad \text{och} \quad k(T) = k_1(T_1) \exp\left[\frac{E_A}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T}\right)\right]$$

Energiteknik

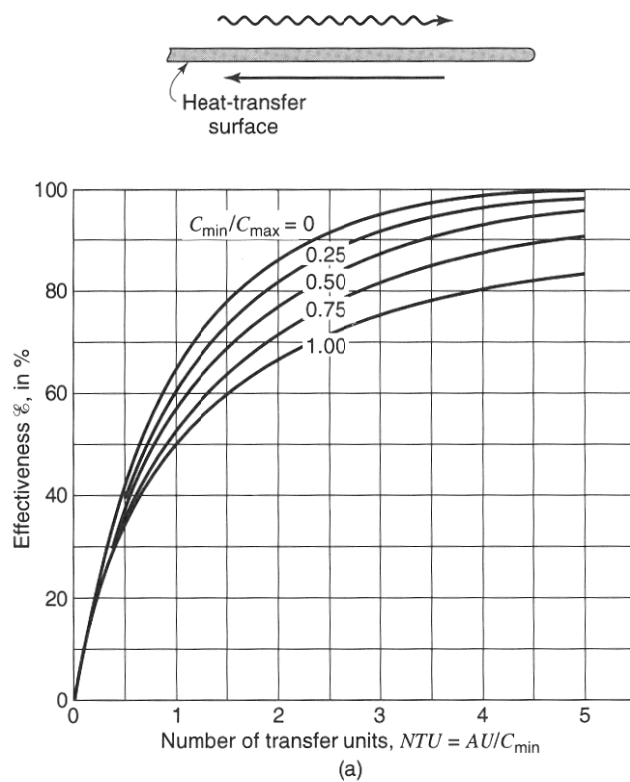
Värmeväxlare:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}}$$

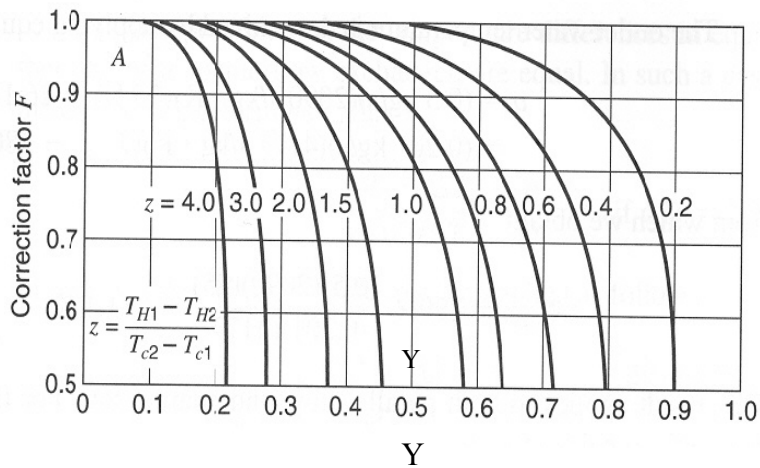
$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]}{1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]} \quad (\text{motström})$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU \left(1 + \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]}{1 + \frac{C_{\min}}{C_{\max}}} \quad (\text{medström})$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}}$$



Temperaturverkningsgrad för motströmsvämeväxlare



Tryckförlust i rörledningar:

$$\Delta p_f = \lambda \frac{l}{d} \frac{c^2 \rho}{2}$$

$$\Delta p_f = \zeta \frac{c^2 \rho}{2}$$

Separationsteknik

Antoinies ekvation:

$$\log(P_i^o) = A_i - \frac{B_i}{t + C_i}$$

Wilsonuttrycket för beräkning av aktivitetsfaktor för binärt system:

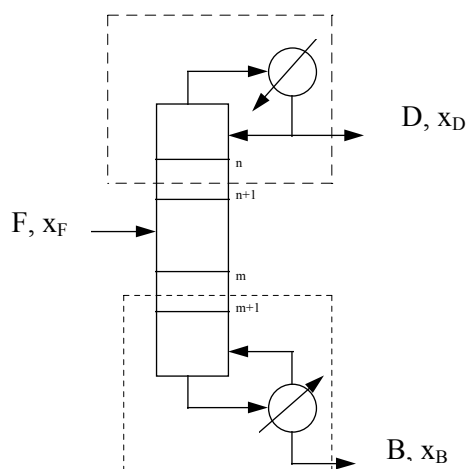
$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12}x_2) + x_2 \left(\frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{\Lambda_{21}x_1 + x_2} \right)$$

$$\ln \gamma_2 = -\ln(x_2 + \Lambda_{21}x_1) - x_1 \left(\frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{\Lambda_{21}x_1 + x_2} \right)$$

Relativ flyktighet:
$$\alpha_{1,2} = \frac{\frac{y_1}{x_1}}{\frac{y_2}{x_2}}$$

där x anger vätskefassammansättning
 y anger ångfassammansättning
 1 anger lättflyktig komponent
 2 anger tung komponent

Binär destillation:



Materialbalanser:

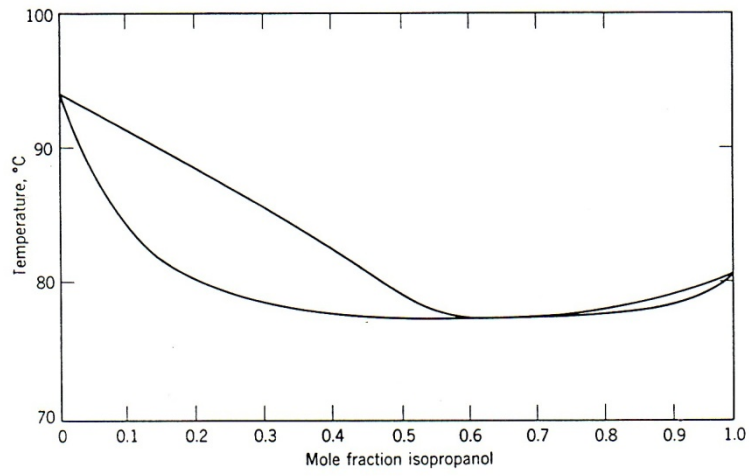
$$V_{y_{n+1}} = Lx_n + Dx_D$$

$$\bar{V}_{y_{m+1}} = \bar{L}x_m - Bx_B$$

q-linje:
$$y = -\frac{q}{1-q}x + \frac{x_F}{1-q}$$

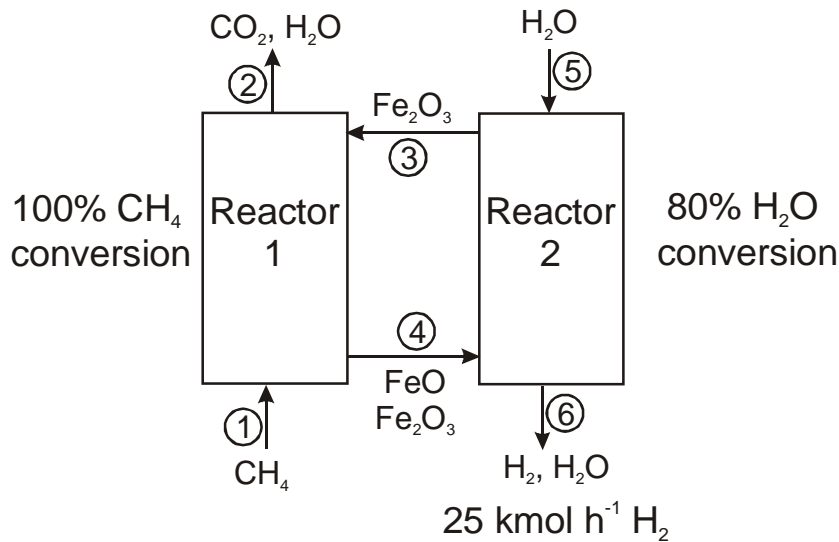
Svarsbilaga till uppgift 5.

Anonymkod:



Uppgift 1

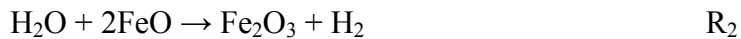
Process with labelled streams:



Reactor 1:



Reactor 2:



Basis: $25 \text{ kmol h}^{-1} \text{ H}_2$ in stream 6.

Balances around reactor 2:

$$\text{For H}_2: \quad F_{\text{H}_2}^6 = X_{\text{H}_2\text{O}} F_{\text{H}_2\text{O}}^5 = R_2 = 25 \text{ kmol h}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{For FeO:} \quad F_{\text{FeO}}^3 &= F_{\text{FeO}}^4 - 2R_2 = 0 \\ F_{\text{FeO}}^4 &= 2R_2 = 50 \text{ kmol h}^{-1} \end{aligned}$$

Balances around reactor 1:

$$\begin{aligned} \text{For FeO:} \quad F_{\text{FeO}}^4 &= 8R_1 = 50 \\ R_1 &= 50/8 = 6.25 \text{ kmol h}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{For CH}_4: \quad F_{\text{CH}_4}^2 &= F_{\text{CH}_4}^1 - R_1 = 0 \\ F_{\text{CH}_4}^1 &= R_1 = 6.25 \text{ kmol h}^{-1} \end{aligned}$$

$$\text{For Fe}_2\text{O}_3: \quad F_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^4 = F_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^3 - 4R_1$$

also, $F_{Fe_2O_3}^4 = (1 - X_{Fe_2O_3})F_{Fe_2O_3}^3 = 0.35F_{Fe_2O_3}^3$

combining, $0.35F_{Fe_2O_3}^3 = F_{Fe_2O_3}^3 - 4R_1$

then, $F_{Fe_2O_3}^3 = 38.46 \text{ kmol h}^{-1}$

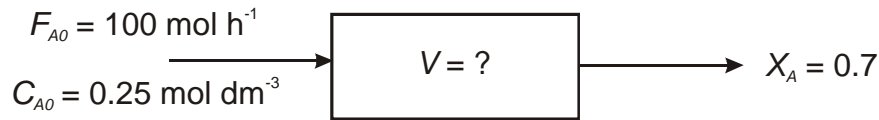
$$m_{Fe_2O_3}^3 = 38.46 \times 159.7 = 6142 \text{ kg h}^{-1}$$

(a) 6.25 kmol h^{-1}

(b) 6142 kg h^{-1}

Uppgift 2

Reaction: $A \rightarrow B + C$ (liquid phase)



Reaction rate of A:
$$r_A = -\frac{k_1 C_A^{0.5}}{(1 + k_2 C_A)}$$

For liquid phase reaction (q const.):
$$C_A = \frac{F_{A0}(1 - X_A)}{q} = C_{A0}(1 - X_A)$$

Reaction rate as function of X_A :
$$r_A = -\frac{k_1 C_{A0}^{0.5} (1 - X_A)^{0.5}}{(1 + k_2 C_{A0} (1 - X_A))}$$

Ideal tank mole balance:

$$F_{A0} - F_A + r_A V = 0$$

$$X_A F_{A0} - \frac{k_1 C_{A0}^{0.5} (1 - X_A)^{0.5}}{(1 + k_2 C_{A0} (1 - X_A))} V = 0$$

Solving, $V = 56.2 \text{ dm}^3$ (a)

Ideal tube mole balance:

$$\frac{dF_A}{dV} = r_A$$

$$F_{A0} \frac{dX_A}{dV} = -r_A$$

$$V = F_{A0} \int_0^{0.7} \frac{dX_A}{-r_A} = \frac{F_{A0}}{k_1 C_{A0}^{0.5}} \int_0^{0.7} \frac{1 + k_2 C_{A0} (1 - X_A)}{(1 - X_A)^{0.5}} dX_A$$

Integral can be solved numerically, $V = 62.7 \text{ dm}^3$ (b)

(c) From rate equation above as function of X_A , one can calculate:

At $X_A = 0$, $r_{A0} = -1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ h}^{-1}$

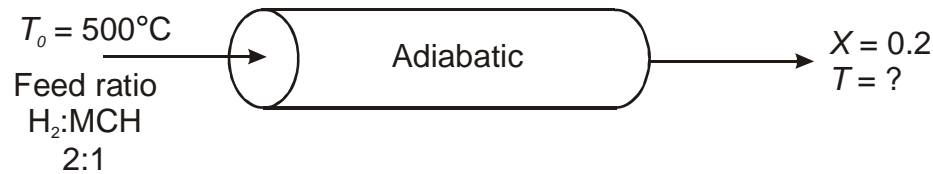
At $X_A = 0.7$, $r_A = -1.2 \text{ mol dm}^{-3} \text{ h}^{-1}$

So the reaction rate of A increases over the actual range of conversion in the reactor.

Throughout a tank reactor, due to perfect mixing, the reaction occurs entirely at the outlet conditions, which in this case is higher than the reaction rate at inlet conditions. The tube reactor operates at all reaction rates from 0 to 70% conversion, which gives an overall lower average reaction rate. This means that the required volume of the tank reactor for this reaction and outlet conversion will be less than that for a tube reactor.

Uppgift 3

Reaction: $\text{MCH} \rightarrow \text{T} + 3\text{H}_2$ $\Delta H_R = +204.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ at 25°C



Adiabatic heat balance with $T_r = 25^\circ\text{C}$ (reference temperature)

$$\sum F_i^0 \int_{T_r}^{T_0} c_{P_i} dT - \sum F_i \int_{T_r}^T c_{P_i} dT + X F_{\text{MCH}}^0 (-\Delta H_R(T_r)) = 0$$
$$(F_{\text{MCH}}^0 c_{P_{\text{MCH}}} + F_{\text{H}_2}^0 c_{P_{\text{H}_2}})(T_0 - T_r) - (F_{\text{MCH}} c_{P_{\text{MCH}}} + F_{\text{T}} c_{P_{\text{T}}} + F_{\text{H}_2} c_{P_{\text{H}_2}})(T - T_r) + X F_{\text{MCH}}^0 (-\Delta H_R(T_r)) = 0$$

Express the molar flow rate of all components in terms of the F_{MCH}^0 and X :

$$F_{\text{H}_2}^0 = 2F_{\text{MCH}}^0 \text{ (due to specified molar feed ratio)}$$

$$F_{\text{T}} = X F_{\text{MCH}}^0 = 0.2 F_{\text{MCH}}^0$$

$$F_{\text{MCH}} = F_{\text{MCH}}^0 - X F_{\text{MCH}}^0 = 0.8 F_{\text{MCH}}^0$$

$$F_{\text{H}_2} = F_{\text{H}_2}^0 + 3X F_{\text{MCH}}^0 = 2F_{\text{MCH}}^0 + 3(0.2)F_{\text{MCH}}^0 = 2.6 F_{\text{MCH}}^0$$

Sub molar flow rate expressions into heat balance and cancel out F_{MCH}^0 :

$$(c_{P_{\text{MCH}}} + 2c_{P_{\text{H}_2}})(T_0 - T_r) - (0.8c_{P_{\text{MCH}}} + 0.2c_{P_{\text{T}}} + 2.6c_{P_{\text{H}_2}})(T - T_r) + X(-\Delta H_R(T_r)) = 0$$

$$T = \frac{(c_{P_{\text{MCH}}} + 2c_{P_{\text{H}_2}})(T_0 - T_r) + X(-\Delta H_R(T_r))}{(0.8c_{P_{\text{MCH}}} + 0.2c_{P_{\text{T}}} + 2.6c_{P_{\text{H}_2}})} + T_r$$

$$T = 394^\circ\text{C} \text{ (a)}$$

(b)

The required volume for a tank reactor would be larger, for two reasons. First since the reaction is first order the reaction rate will decrease with conversion. A tank reactor because it is well-mixed will operate entirely at outlet conditions and at least with respect to concentration this will be the lowest reaction rate. In a tube reactor the concentration and reaction rate would gradually decrease through the reactor length. In addition, because the reaction is endothermic ($\Delta H_R > 0$) and the reactor is adiabatic, the temperature will decrease with conversion. The tank reactor will operate with the lowest outlet temperature throughout the reactor and again with the lowest reaction rate with respect to temperature. In the tube however the temperature and reaction rate will gradually decrease through the reactor length.

Uppgift 4.

Data: $x_F = 0.30$
 $x_B = 0.10$
 $P = 101.3 \text{ kPa}$
 $\bar{V} = 1.46F \text{ kmol/h}$
 $R = 3.16$

Sökt: a) Antal steg
b) Antal steg vid ångformigt tillflöde och $\bar{V} = 0.46F \text{ kmol/h}$

Lösning:

a) Sök x_D och driftlinjer!

Materialbalanser över kolonnen

$$\text{Total: } F = D + B$$

$$\text{Komponent: } Fx_F = Dx_D + Bx_B$$

Totalbalans runt kondensorn

$$V = L + D$$

$$R = L/D$$

$$\bar{V} = V \text{ ty kokvarmt tillflöde}$$

$$\bar{V} = D(R+1) \Rightarrow 1.46F = D(R+1)$$
$$D = \frac{1.46F}{R+1}$$

$$B = F - D \Rightarrow B = F - \frac{1.46F}{R+1}$$

$$\text{Komponentbalansen ger } \Rightarrow x_D = \frac{Fx_F - Bx_B}{D}$$
$$x_D = 0.67$$

Övre driftlinjen, $y_{n+1} = \frac{R}{R+1}x_n + \frac{x_D}{R+1}$, konstrueras från $(x_D, x_D); (0.67, 0.67)$ på jämviktskurvas diagonal till punkten $(0, \frac{x_D}{R+1}); (0, 16)$ på y-axeln. q-linjen är lodrät pga av kokvarmt mättat tillflöde. Nedre driftlinjen skapas från q-linjens skärning med övre driftlinjen och punkten $(x_B, x_B); (0.10, 0.10)$.
”Stegning” ger att det fordras 5 ideala bottnar samt återkokare.

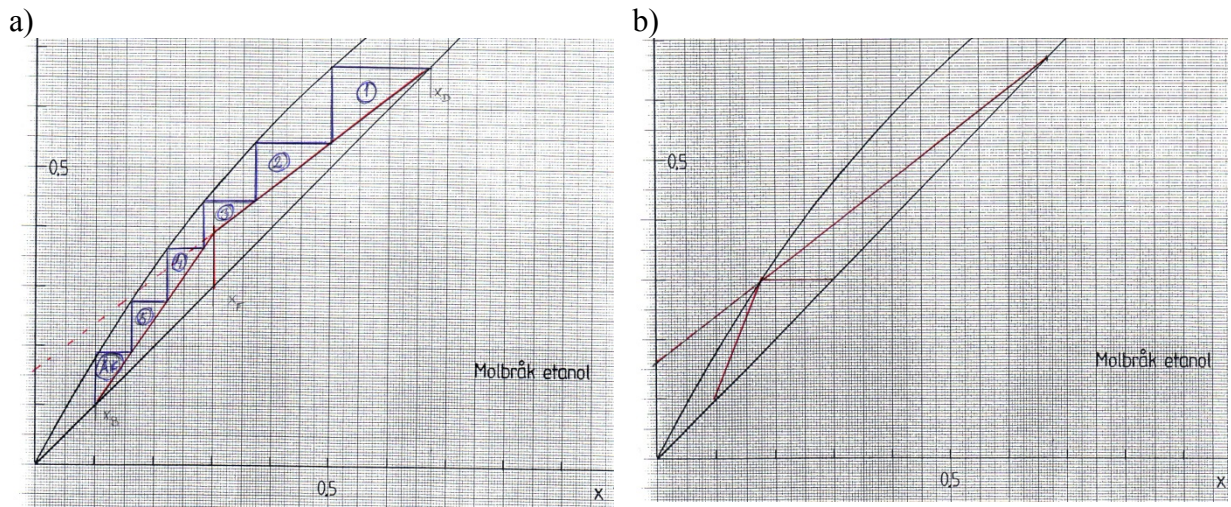
b) $\bar{V} = 0.46F$ och F är mättad ånga \Rightarrow Antal ideala steg?

$$V = \bar{V} + F \Rightarrow V = 0.46F + F \Rightarrow V = 1.46F$$

q-linjen kommer att vara vågrät då tillflödet består av mättad ånga. q-linje och driftlinjerna konstrueras enligt samma som i tidigare deluppgift.

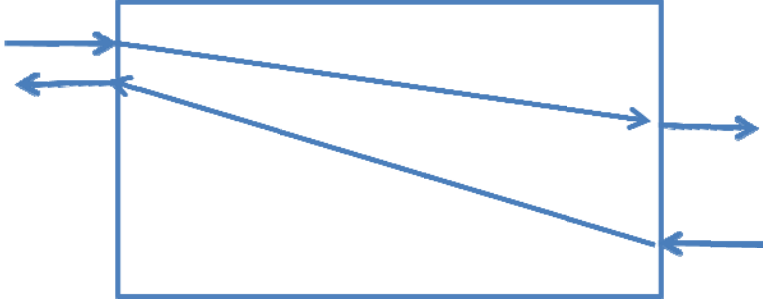
Av den grafiska konstruktionen framgår att det fordras ett ∞ antal steg för att genomföra separationen.

Svar: a) Fem ideala bottnar samt återkokare. b) Det fordras ett ∞ antal steg.



Uppgift 6

Lösning:



- 1) Beräkna avgiven värme från den varma strömmen (q_{varm})

$$q_{\text{varm}} = \dot{m}_{\text{varm}} c_p (T_{\text{varm},\text{in}} - T_{\text{varm},\text{ut}}) = 180 * 4,18 * (60 - 40) = 15048 \text{ kW}$$

- 2) Beräkna $T_{\text{kall},\text{ut}}$ genom att $q_{\text{varm}} = q_{\text{kall}}$

$$T_{\text{kall},\text{ut}} = T_{\text{kall},\text{in}} + \frac{q_{\text{varm}}}{\dot{m}_{\text{kall}} c_p} = 10 + \frac{15048}{90 * 4,18} = 50^\circ\text{C}$$

- 3) Detäkna den logaritmiska medeltemperaturdifferensen (ΔT_{LM})

$$\Delta T_{\text{LM}} = \frac{(T_{\text{varm},\text{in}} - T_{\text{kall},\text{ut}}) - (T_{\text{varm},\text{ut}} - T_{\text{kall},\text{in}})}{\ln\left(\frac{T_{\text{varm},\text{in}} - T_{\text{kall},\text{ut}}}{T_{\text{varm},\text{ut}} - T_{\text{kall},\text{in}}}\right)} = \frac{(60 - 50) - (40 - 10)}{\ln\left(\frac{60 - 50}{40 - 10}\right)} = 18,2^\circ\text{C}$$

- 4) Beräkna värmegenomgångstalet U före genom att $q_{\text{varm}} = q_{\text{kall}} = q_{\text{överförd}}$:

$$U_{\text{före}} = \frac{q_{\text{överförd}}}{A * \Delta T_{\text{LM}}} = \frac{15048}{205 * 18,2} = 4,03 \text{ kW} / \text{m}^2 \text{ K}$$

- 5) U ändras nu med 19% då kalla flödet ökar med det dubbla

$$U_{\text{efter}} = U_{\text{före}} * 1,19 = 4,80 \text{ kW} / \text{m}^2 \text{ K}$$

- 6) Använd NTU-metoden för att bestämma effektivitetsfaktorn, där $C_{\text{min}}/C_{\text{max}}=1$

$$NTU = \frac{UA}{C_{\text{min}}} = \frac{4,80 * 205}{180 * 4,18} = 1,5$$

och ε avläses (eller beräknas) till 0,57 och den nya effekten kan då beräknas:

$$q_{\text{ny}} = \varepsilon * C_{\text{min}} * (T_{\text{varm},\text{in}} - T_{\text{kall},\text{in}}) = 0,57 * 180 * 4,18 * (60 - 10) = 21,44 \text{ kW}$$

Svar: Effektökningen är $(21,44 - 15,05) / 15,05 = 42\%$

Uppgift 8

Lösning:

- a) Givet var att flödet skulle vara 90 l/s. Detta ger att systemet har en uppforderingshöjd på

$$h_{syst} = h_{stat} + h_f = 22 + 0,0033 * 90^{1,8} = 32,9m$$

Vid en driftpunkt är systemets och pumpens uppforderingshöjd lika. I pumpkurvan avläses (vid 90l/s och 33m) att varvtalet blir ca 1150 rpm. I effektdiagrammet avläses sedan vid samma flöde och varvtal (90l/s, 1150rpm) att effekten blir ca 35kW.

Svar: Pumpeffekten för det först fallet blir 35kW.

- b) Om man dubblar flödet så ökar det dynamiska trycket, men den statiska blir förstås konstant.

$$h_{syst,ny} = h_{stat} + h_{f,ny} = 22 + 0,0033 * 180^{1,8} = 59,8m$$

På samma sätt avläses att varvtalet blir ca 1750rpm och avläsning i effektdiagrammet (180l/s, 1750rpm) ger att den nya effekten blir ca 150 kW. (effekten ökar med 230% för en flödesökning på 100%. Se även på effektiviteten i pumpkurvan som visar hur effektiviteten går från 81% till 72%)

Svar: Pumpeffekten för det andra fallet blir 150kW.

