

## Tentamen i Kemisk reaktionsteknik för Kf3, K3 (KKR 100)

Lördagen den 18 december 2010 kl 8:30-13:30 i Väg och Vatten salarna

**Examinator:** Docent Louise Olsson

Louise Olsson (031-772 4390) kommer att besöka tentamenslokalen på förmiddagen.

### Tillåtna hjälpmedel

Valfri räknare  
Formelsamlingar utgiven av institutionen  
TEFYMA  
Standard Mathematics Handbook  
beta Mathematics Handbook  
Physics Handbook  
Handbook of Chemistry and Physics

### Ej tillåtna hjälpmedel

Kursbok, "Elements of Chemical Reaction Engineering"  
Kompendium I KRT  
KRT övningsbok  
Lösta exempel

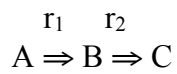
### Betygskala:

Poäng	Betyg
15-19.5	3
20-24.5	4
25-30	5



Uppgift 1 (6 poäng)

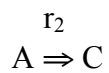
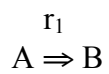
För seriereaktionen

Gäller  $r_1 = k_1 c_A$  och  $r_2 = k_2 c_B^2$ 

B är den önskade produkten.

- a) Hur påverkas selektiviteten av B av yttre masstransport? Noggrann motivering krävs!  
b) Hur påverkas selektiviteten av B av inre masstransport? Noggrann motivering krävs!

För seriereaktionen

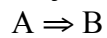
Gäller  $r_1 = k_1 c_A$  och  $r_2 = k_2 c_A^2$ 

B är den önskade produkten.

- c) Hur påverkas selektiviteten av B av yttre masstransport? Noggrann motivering krävs!

## Uppgift 2 (6 poäng)

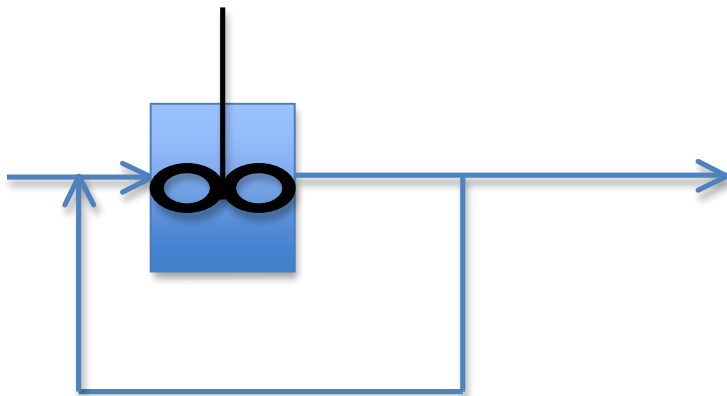
Följande reaktion sker i vätskefas:



Reaktionen är första ordningen map A. Reaktionen sker i en omrörd tankreaktor med recirkulation. Det inre masstransportmotståndet är viktigt, medans det yttre masstransportmotståndet kan försummas. Vad är omsättningsgraden ut från hela anläggningen nedan?

Data:

Effektiva diffusiviteten	$2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$
Partikel diametern	1.2 mm
Hastighetskonstanten	$0.8 \text{ s}^{-1}$
Flöde in till hela systemet	$0.3 \text{ m}^3/\text{s}$
Koncentration av A i inflödet	$400 \text{ mol}/\text{m}^3$
Andel av flödet ut från reaktorn som recirkuleras	30%
Tankvolym	$0.7 \text{ m}^3$



Uppgift 3 (6 poäng)

En tankreaktor fylls till volymen  $V_0$  med inert ämne. Vid tiden  $t=0$  börjar ämne A och B hällas i reaktorn tillsammans med mer inert ämne och när reaktorn är full (volymen  $V_{tot}$ ) börjar utflöde ske. Reaktionen mellan A och B är första ordningen m.p.A. Alla ämnen är i vätskefas. Sätt upp ekvationer och beskriv i detalj hur du beräknar koncentrationen av A som funktion av tiden, från tiden  $t=0$  tills tiden  $t$  som är större än tiden det tar för fyllning. Förklara alla införda beteckningar och **ange enheterna på dem**. Inga ekvationer behöver lösas.

Uppgift 4 (6 poäng)

Anna är civilingenjör och skall beräkna omsättningsgraden ut från en reaktor. Reaktorn är en oideal tubreaktor. Tyvärr har Anna inte möjlighet att göra ett spårämnesförsök, men hon vet att den axiella dispersionskoefficienten är  $3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ . Vad är omsättningsgraden ut från reaktorn?

$A \Rightarrow B$

Reaktionen är av **andra ordningen** **map A**, dvs  $r_A = kc_A^2$  och sker i vätskefas.

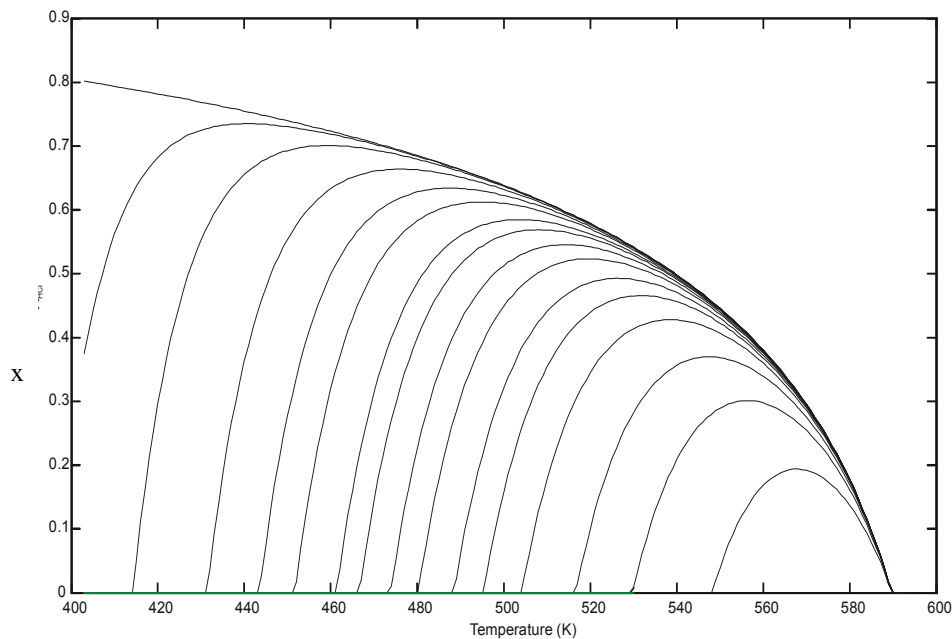
Data:

Flödes hastigheten	0.0003 m/s
Tubens längd	0.5 m
Hastighetskonstanten	$0.007 \text{ m}^3/(\text{mol s})$
Koncentrationen av A i inflödet	$800 \text{ mol/m}^3$
Diameter	0.1 m

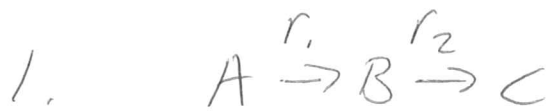
Uppgift 5 (6 poäng)

Lägg med denna sidan till dina lösningar och markera den med sidnummer och tentamenskod.

- I nedanstående X-T diagram markera var den totala reaktionshastigheten är 0.
- I nedanstående X-T diagram markera locus of maximum rates.
- Two tank reactors with intermediate cooling are used for an equilibrium reaction ( $A \rightleftharpoons B$ ). Derive the equations and describe how you calculate the conversion from the whole plant. All introduced symbols shall be explained with words. The diagram below may be used in the motivation.
- If one uses another reaction that is stronger exothermic (more heat is developed) for the case described in c). How is the conversion affected? Motivate!



# Tenta 101218 KKR100



$$r_1 = k_1 C_{A,S} \quad r_2 = k_2 C_{B,S}^2$$

a) Yttre masstransport



Konc. vid ytan av A lägre  
 $\Rightarrow r_1$  minskar

Konc. av B högre vid ytan, för svårt  
för B att ta sig ut  $\Rightarrow C_{B,S}$  högre  $\Rightarrow$   
 $r_2$  ökar

$\Rightarrow$  Selektiviteten för B minskar.

b) Inre masstransport.

Samma som ovan selektiviteten  
av B minskar.



Utan filmmotstånd, selektiviteten:  $S_{bulk} =$   
 $= \frac{k_1 C_{A,b}}{k_2 C_{A,b}^2} = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{1}{C_{A,b}}$

Med filmmotstånd:  $S_S = \frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{1}{C_{A,S}}$

1 forts.

$$\frac{S_s}{S_b} = \frac{\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{I}{C_{AS}}}{\frac{k_1}{k_2} \cdot \frac{I}{C_{AB}}} = \frac{C_{AB}}{C_{AS}}$$

Filmmotstånd  $C_{AS} < C_{AB}$

$$S_s = S_b \cdot \left( \frac{C_{AB}}{C_{AS}} \right) \Rightarrow \text{Selektiviteten ökar.}$$

Bestämning:

Filmmotstånd  $C_{AS} < C_{AS}$

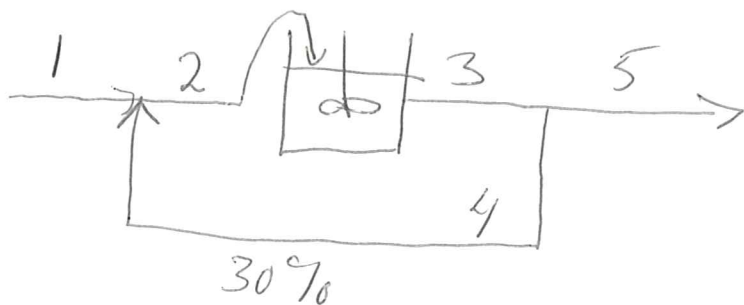
Reaktionen av 2:a ordn. påverkas mer  
av sänkning av  $C_{AS}$ .  $\Rightarrow$  1/2 minskar mer  
 $\Rightarrow$  selektiviteten ökar.

---



Inre mass-transport.

Sökt:  $X$



$$\eta = \frac{3}{\theta} \left( \frac{1}{\tanh \theta} - \frac{1}{\theta} \right) = 0,592$$

$$\theta = r_p \sqrt{\frac{k}{D_{eff}}} = 3,7 \text{ m} \cdot \sqrt{\frac{1}{\frac{5 \cdot \text{m}^2}{\text{s}}}} = \text{m} \sqrt{\frac{1}{\text{m}^2}} = \text{m} \cdot \frac{1}{\text{m}} = 1 \text{ ok}$$

$$q_5 = q_1 = q$$

$$q_2 = q_3$$

$$0,3 \cdot q_3 = q_4$$

$$q_2 = q + q_4 = q + 0,3 \cdot q_2$$

$$0,7 q_2 = q$$

$$q_2 = \frac{q}{0,7}$$

MB över reaktorn

$$q_2 \cdot C_{A2} - q_2 \cdot C_{A3} - \eta \cdot k \cdot C_{A3} \cdot V = 0$$

$$\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} = \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$\frac{1}{5} \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \cdot \text{m}^3 = \frac{\text{mol}}{5}$$

$$C_{A4} = C_{A3}$$

MB över blandn. punkten.

$$q \cdot C_{Af} + q_4 \cdot C_{A4} = q_2 \cdot C_{A2}$$

$$q \cdot C_{Af} + \frac{0,3}{0,7} \cdot q \cdot C_{A3} = \frac{q}{0,7} \cdot C_{A2}$$

$$C_{A2} = \frac{0,7}{q} \left( q \cdot C_{Af} + \frac{0,3}{0,7} q \cdot C_{A3} \right)$$

$$q_4 = 0,3 \cdot q_3 =$$

$$= 0,3 \cdot q_2 =$$

$$= 0,3 \cdot \frac{q}{0,7}$$

$$\frac{q}{0,7} \cdot \frac{0,7}{q} (q C_{Af} + \frac{0,3}{0,7} q \cdot C_{A3}) - \frac{q}{\frac{q}{0,7}} C_{A3} - \eta k C_{A3} \cdot V = 0$$

$$q C_{Af} + \frac{0,3}{0,7} q C_{A3} - \frac{q}{0,7} C_{A3} - \eta k C_{A3} \cdot V = 0$$

$$C_{A3} \left( \frac{0,3}{0,7} \cdot q - \frac{q}{0,7} - \eta \cdot k \cdot V \right) = -q C_{Af}$$

$$C_{A3} = 190$$

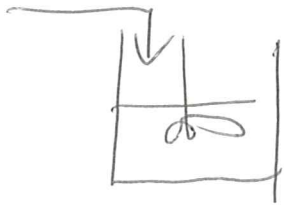
$$C_{A_{out}} = C_{A3} = C_{Af} (1-x)$$

$$1-x = \frac{C_{A3}}{C_{Af}} \quad 1-x = \frac{C_{A3}}{C_{Af}}$$

$$x = 1 - \frac{C_{A3}}{C_{Af}} = \underline{\underline{0,525}}$$


---

3. Fran tiden  $t=0$  till  $t_{\text{fall}}$



$$q: \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$C_A: \frac{\text{mol}}{\text{m}^3}$$

$$V: \text{m}^3$$

$$k: \text{s}^{-1}$$

$$n_A: \text{mol}$$

$$t: \text{s}$$

$$q \cdot C_{Af} - k \cdot C_A \cdot V = \frac{dn_A}{dt}$$

$$n_A = C_A \cdot V$$

$$\frac{dn_A}{dt} = C_A \frac{dV}{dt} + V \cdot \frac{dC_A}{dt} = C_A \cdot q + V \frac{dC_A}{dt}$$

$$V = V_0 + q t$$

$$V_{\text{tot}} = V_0 + q \cdot t_{\text{fall}}$$

$$t_{\text{fall}} = \frac{V_{\text{tot}} - V_0}{q}$$

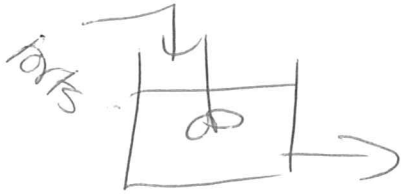
$$q C_{Af} - k C_A \cdot V = C_A \cdot q + V \frac{dC_A}{dt}$$

~~lösning från t=0 till t=t<sub>fall</sub>~~

$$q C_{Af} - k C_A (V_0 + q t) = C_A \cdot q + (V_0 + q t) \frac{dC_A}{dt} \quad (1)$$

lösning från  $\begin{cases} t=0 \\ C_{Ai}=0 \end{cases}$  till  $\begin{cases} t=t_{\text{fall}} \\ C_A \end{cases}$

$$\underline{t > t_{full}}$$



$V$  konst.

$$q_{CAF} - q \cdot C_A - k C_A \cdot V = \frac{dN_A}{dt} = V \frac{dC_A}{dt}$$

Lös från  ~~$t > t_{full}$~~   $\begin{cases} t_{full} & t \\ C_{A,full} & C_A \end{cases}$

$C_{A,full}$  fås genom att sätta in  $t_{full}$  i  
elw. 7.

---

4. Oideal tubreaktor



$$Pe = \frac{UL}{D_a} = 5,0$$

$$\frac{\sigma^2}{\tau^2} = \frac{2}{Pe} - \frac{2}{Pe^2} (1 - \exp(-Pe)) = 0,321$$

$$n = \frac{\tau^2}{\sigma^2} = \underline{\underline{3}}$$

Tankserie med 3 tankar



$$q C_{AF} - q C_{A1} - k C_{A1}^2 \cdot V_{\text{tank}} = 0$$

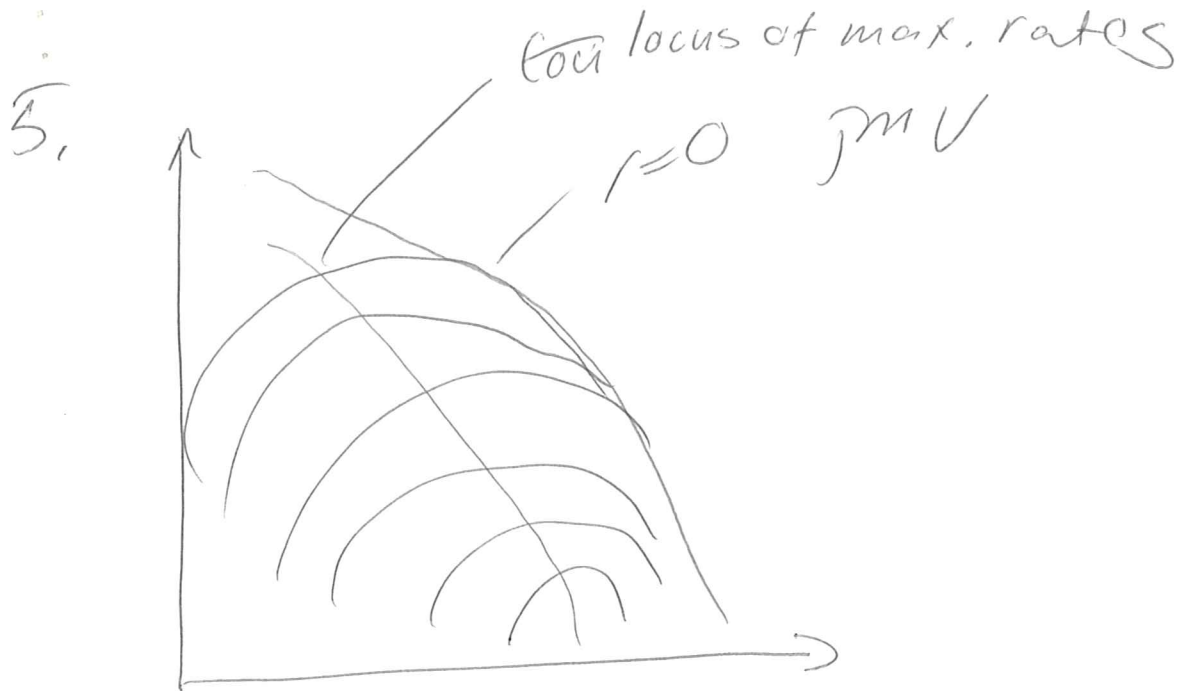
$$C_{A1} = -\frac{q}{2kV} \left( -1 \right) \sqrt{\left( \frac{q}{2kV} \right)^2 + \frac{q C_{AF}}{kV}}$$

$$C_{A1}^2 + \frac{q}{kV} \cdot C_{A1} - \frac{q C_{AF}}{kV} = 0$$

$$C_{A1} = 1,46 \text{ mol/m}^3$$

$Pe$  samma sätt  $\Rightarrow C_{A2} = \underline{\underline{55 \text{ mol/m}^3}} C_{A3} = \underline{\underline{29 \text{ mol/m}^3}}$

$$X = 1 - \frac{C_{A3}}{C_{AF}} = \underline{\underline{0,96}}$$



c) Värmebalans

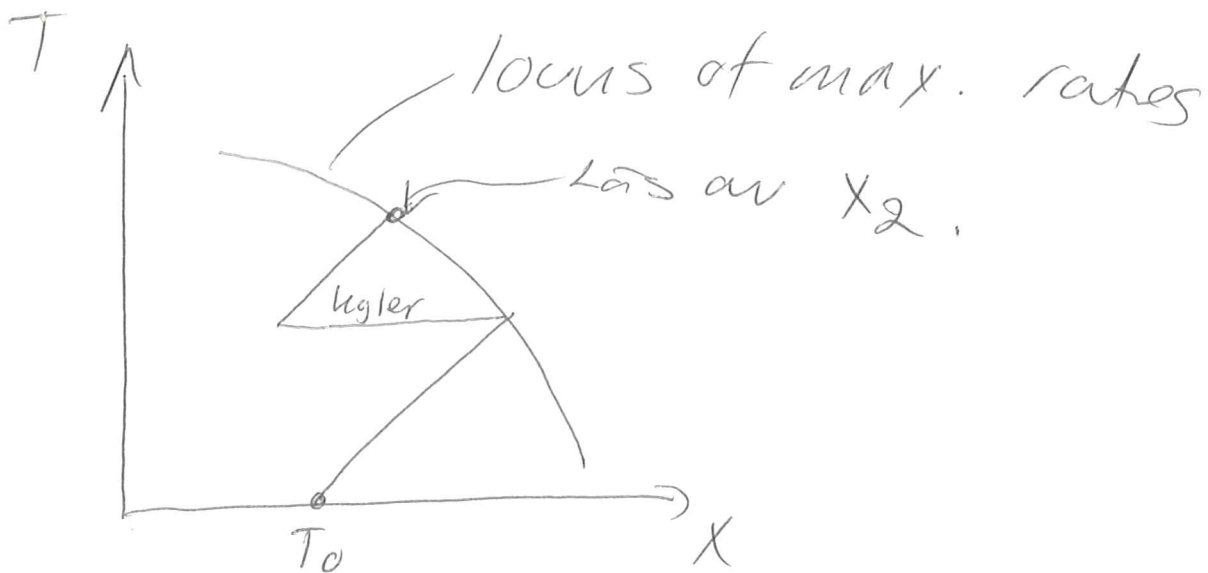
$$\sum F_{if} \int_{T_{ref}}^{T_m} c_{pi} dT - \sum F_c \int_{T_{ref}}^{T_{ut}} c_{pc} dT +$$

$$+ F_{Af} \cdot X_A (-\Delta H) = 0$$

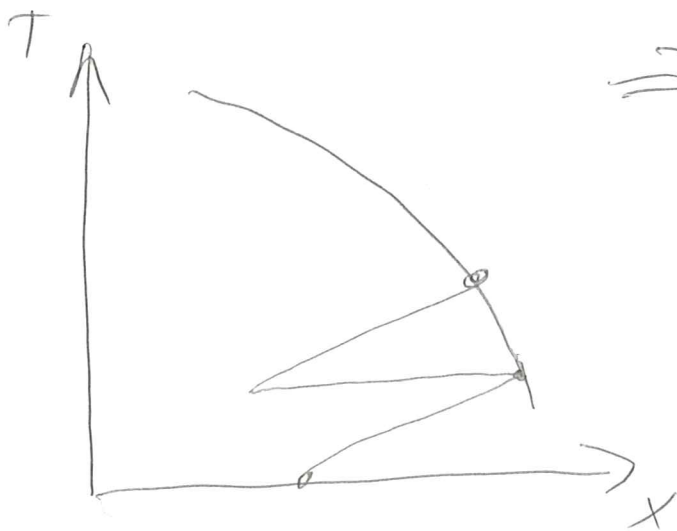
$$T_{ref} = T_{ut}$$

$$\sum F_{if} c_{pi} (T_m - T_{ut}) + F_{Af} \cdot X_A (-\Delta H) = 0$$

$$X_A = \frac{\sum F_{if} c_{pi} (T_{ut} - T_m)}{F_{Af} \cdot (-\Delta H)}$$



d) Starkare exoterm  $\Rightarrow (-DM)$   
 blir större  $\Rightarrow \frac{1}{(-DM)}$  blir mindre  
 $\Rightarrow$  lutn. på driftlinjen blir mindre



$\Rightarrow$   $x_2$  blir mindre.