



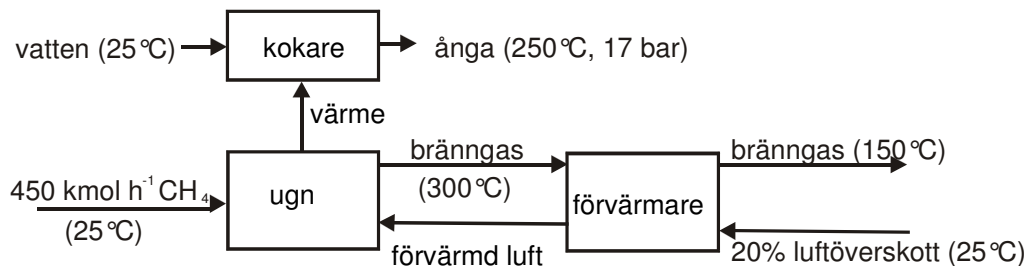
# CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

## Institutionen för kemi- och bioteknik

KURSNAMN	<b>Grundläggande kemiteknik, KAA146</b>	<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	Onsdag 12 januari, kl 08.30-12.30		
LOKAL	M		
HJÄLPMEDEL	Valfri räknedosa/kalkylator med <b>tömt</b> minne. Egna anteckningar och kursmaterial är <b>ej</b> 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 $\beta$ " 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. 11.00	Jonas Sjöblom 772 3012 ca. kl. 11.00
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås 13 januari på studieportalens kurshemsida. Resultat på tentamen anslås tidigast 26 januari efter kl 12.00. Granskning 31 januari respektive 3 februari 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 <b>ej</b> 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

I en ugn till en industriell kokare förbränns metan av 25°C fullständigt med luft i 20% överskott. Inflödes hastigheten av metan är 450 kmol h<sup>-1</sup>. Den värma brännngasen lämnar ugnen vid 300°C och passerar sedan genom en värmeväxlare (luftförvärmaren). Brännngasen kyls till 150°C i förvärmaren och släpps sedan ut i atmosfären, medan luften upphettas från 25°C innan den leds in i ugnen. Det från ugnen överförda värmnet används för att i kokaren konvertera vatten av 25°C till överhettad ånga vid 17 bar och 250°C.



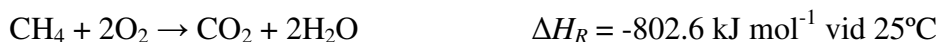
- Beräkna produktionshastigheten av ånga från kokaren.
- Förklara varför förvärmning av luften höjer produktionshastigheten av ånga och varför det kan vara ekonomiskt fördelaktigt att använda brännngas som värmemedium?

DATA:

Använd följande medel molvärmen:

	$C_P$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
CH <sub>4</sub> (g)	43.1
CO <sub>2</sub> (g)	42.3
H <sub>2</sub> O(g)	34.3
O <sub>2</sub> (g)	31.2
N <sub>2</sub> (g)	29.7

Reaktionsentalpi för förbränning av metan med vattenånga som produkt:



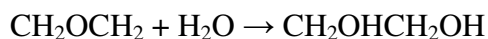
Luftsammansättning: 79 vol% N<sub>2</sub> och 21 vol% O<sub>2</sub>.

Total entalpiändring från vatten (25°C) till ånga (250°C, 17 bar) = 2570 kJ kg<sup>-1</sup>

(8p)

### Uppgift 2

Etylenglykol produceras från etylenoxid via den irreversibla vätskefasreaktionen



I reaktionslösningen är det ett så kraftigt överflöde av vatten att man kan anta att reaktionen är pseudo-första ordning med avseende på koncentrationen av etylenoxiden. Hastighetskonstanten är 0,311 min<sup>-1</sup> vid 200°C. Reaktionen sker i

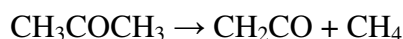
---

en ideal tubreaktor som opererar isotermt vid 200°C och dess volym är 20 m<sup>3</sup>, en del av reaktorutflödet recirkuleras och blandas med inflödet till reaktorn. Det färiska tillflödet, innan blandning med recirkulationsströmmen, innehåller 2 kmol m<sup>-3</sup> med etylenoxid i vatten och flödet är 2,5 m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>. Storleken på den recikulerande strömmen är 5 m<sup>3</sup>min<sup>-1</sup>.

- Om man bortser från att det sker reaktion i recirkuleringsströmmen, vilken omsättning av etylenoxid får man över reaktorn med recirkulering?
- Skulle omsättningen öka eller minska om man tog bort recirkuleringsströmmen? Förklara varför.
- Vilken omsättningsgrad av etylenoxid skulle man få om flödet i recirkuleringsströmmen var MYCKET stor?

(10p)

**Uppgift 3** Ångkrackningen av aceton (A) till keten (B) och metan (C) sker enligt:



$$\Delta H_R = \Delta H_R^0 \text{ vid } T^0 \text{ K}$$

Reaktionen är av första ordningen m a p A och hastighet kan fås ur:

$$r = k C_A$$

Produktionen är planerad att ske kontinuerligt i en ideal tubreaktor. Då reaktionen är endoterm, måste reaktorn värmas externt. Detta sker med hjälp av en värmeväxlare genom vilken en varm gas med temperaturen  $T_a$  passerar (konstant temperatur i värmväxlaren).

- Skriv upp värmebalansen för reaktorn. Använd de beteckningar och symboler som ges i uppgiften.
- Ställ upp värmebalansen för reaktorn om den istället arbetar isotermt.

Symboler:

$F_i$	molflöde av ämne $i$
$C_{pi}$	medelvärmekapaciteten för ämne $i$
$T$	temperatur
$V$	reaktorvolym
$U$	Värmeomgångskoefficienten för värmeväxlaren
$A$	Värmeöverföringsyta för värmeväxlaren

(8p)

---

**Uppgift 4** I en destillationskolonn, utrustad med återkokare och partialkondensor, separeras en blandning mellan cyklohexan och toluen. Ångan som förs in i partialkondensorn håller 80 mol-% cyklohexan. Av tillflödet till partialkondensorn kondenseras 60% och förs tillbaka som återflöde, resten tas ut som toppprodukt.

- Vilken temperatur har den ångformiga toppprodukten och vilken sammansättning har den?

Trycket i partialkondensorn är 760 mmHg.

Givna data:

Antoinnes ekvation:  $\ln P_i^0 (\text{mmHg}) = A_i - \frac{B_i}{C_i + T(\text{K})}$

Antoinekonstanter:

	A	B	C
Cyklohexan	15.7527	2766.63	-50.50
Toluen	16.0137	3096.52	-53.67

Förenkling: Systemet cyklohexan/toluen kan antagas idealt.

(9p)

- Uppgift 5**
- a) Vid dimensionering av destillationskolonner förekommer att man använder McCabe-Thieles metod för att bestämma antalet ideala bottenar. Vilka förenklingar görs för att kunna representera komponentbalanserna som driftlinjer konstruerade i ett jämviktsdiagram?
  - b) Hur definieras q-värdet som används för att definiera tillståndet på tillflödet till en destillationskolonn?
  - c) Vilka värden antar q-värdet då tillflödet; <sup>1)</sup> består av en blandning av ånga och vätska, <sup>2)</sup> mättad ånga samt <sup>3)</sup> underkyld vätska?
  - d) Föreslå en lämplig anordning för kontakt mellan ånga och vätska som ger ett lågt tryckfall och god masstransport över fasgränssytan! Motiver svaret!
  - e) Föreslå en lämplig återkokare för vacuumdestillation! Motivera svaret samt beskriv funktionen hos återkokaren du valt!

(10p)

**Uppgift 6** Hur kan kapaciteten för en tallrikscentrifug påverkas?

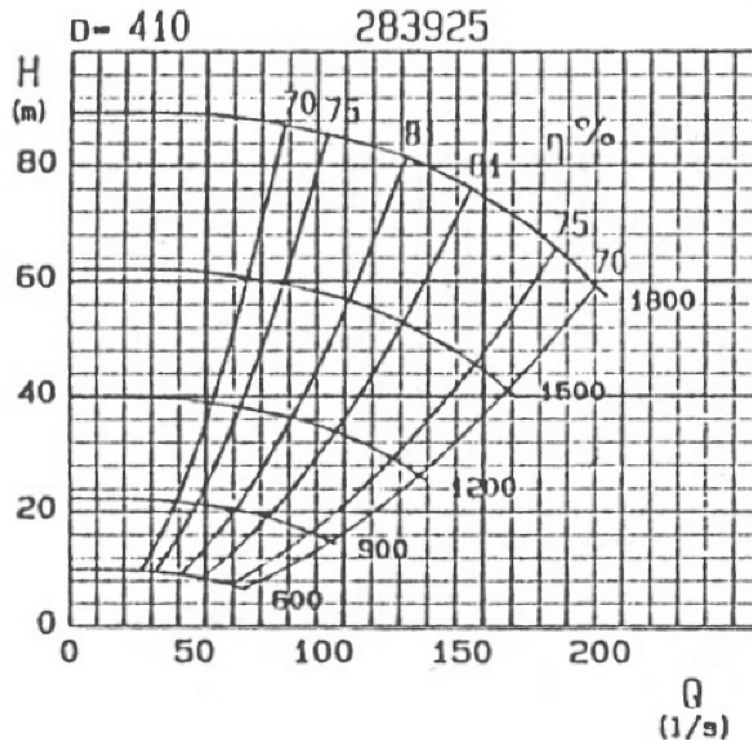
(3p)

**Uppgift 7** En centrifugalpump pumpar vatten (densitet=998kg/m<sup>3</sup>) och arbetar vid 1500 varv/min i ett rörsystem med följande karaktäristika:

- Röret är 50 m långt, diametern är 0.15 m och friktionsfaktorn ( $\lambda$ ) är 0.04.
- Höjdskillnaden mellan utlopp och inlopp är +20m och den statiska

tryckskillnaden mellan utlopp och inlopp är +100kPa

- Engångsförlusterna i rörkrökar m.m. ( $\Delta\zeta$ ) uppgår till 2
- Pumpkurvan är enligt figur nedan.



- a) Beräkna uppföringshöjd och aktuellt flöde.

Samma system används senare för en annan fluid med densiteten  $800 \text{ kg/m}^3$ . Pga ändrade egenskaper hos den nya fluiden, ändras friktionsfaktorn till 0.4 och engångsförlusterna till 20. Varvtalet är fortfarande 1600 varv/min

- b) Beräkna den nya uppföringshöjden och det nya flödet.  
 c) Är pumpen lämplig för det nya systemet? Föreslå en annan pump för det nya systemet. Vilka pumpegenskaper är viktiga i detta sammanhang?

(6p)

**Uppgift 8** En tubvärmeväxlare på  $50 \text{ m}^2$  värmeväxlar 2 strömmar med vatten ( $c_p = 4.18 \text{ kJ/kg/K}$ ,  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ )  
 Den varma strömmen är  $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$  och går in med  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  och går ut med  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
 Den kalla strömmen är  $0.045 \text{ m}^3/\text{s}$  och går in med  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- a) Beräkna temperaturen ut för den kalla strömmen

Sedan ändras det varma flödet till det dubbla ( $0.06 \text{ m}^3/\text{s}$ ) varvid temperaturen ut

---

för den varma strömmen blir  $67^{\circ}\text{C}$ . Även värmegenomgångstalet ( $U$ ) ändras med 30%.

- b) Ökar eller minskar  $U$ ? Förklara kortfattat varför!
- c) Beräkna den överförda effekten för det nya flödet?
- d) Arbetar värmeväxlaren motström eller medström? Motivera med beräkningar!

(6p)

Göteborg 2010-12-20

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**

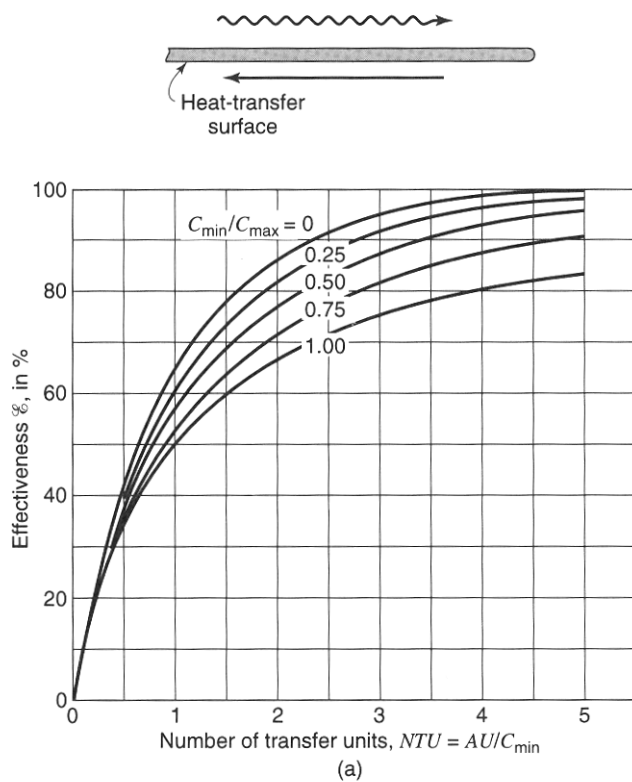
Värmeväxlare:

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

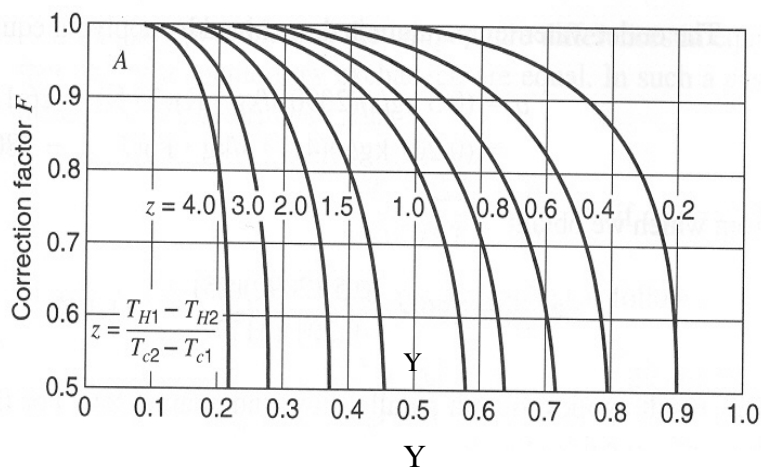
$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]}{1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]} \quad (\text{motström})$$

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

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



Temperaturverkningsgrad för motströmsvämeväxlare



4 stråk  
ass) på  
bsidan

$$= \frac{T_{C2} - T_{C1}}{T_{H1} - T_{C1}}$$

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:

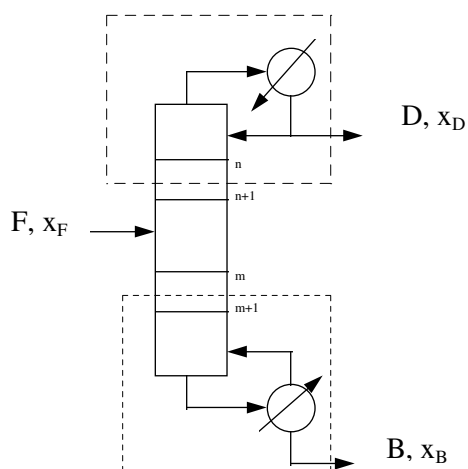
$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12}x_2) + x_2 \left( \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{\Lambda_{21}x_1 + x_2} \right)$$

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

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:

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

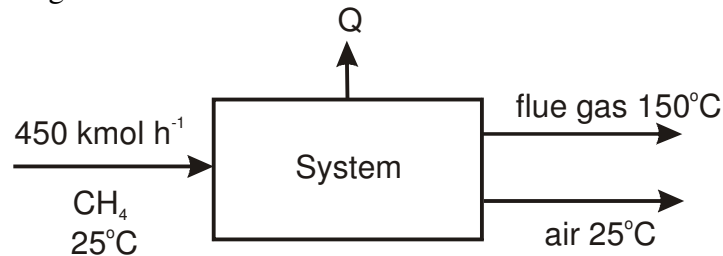
$$\bar{V}_{y_{m+1}} = \bar{L}x_m - Bx_B$$

q-linje:

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

### Uppgift 1

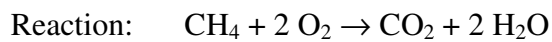
Heat balance around both furnace and pre-heater together. So the system for the heat balance looks like the following:



Let  $T_{ref} = 25^\circ\text{C}$  then air and methane streams need not be included in heat balance.

$$F_m (-\Delta H_R(T_{ref})) = Q + \left( \sum_{\text{Flue gas}} F_i c_{pi} \right) (T_f - T_{ref})$$

But first must calculate the molar flow rates of all components in the flue gas stream:



	IN (kmol h <sup>-1</sup> )	Flue Gas (kmol h <sup>-1</sup> )
CH <sub>4</sub>	450	0
O <sub>2</sub>	(450×2×1.2 ⇒) 1080	(1080 - 2×450 ⇒) 180
N <sub>2</sub>	1080×79/21 ⇒) 4063	4063
CO <sub>2</sub>		450
H <sub>2</sub> O		(2×450 ⇒) 900

Flue gas:  $\sum F_i c_{pi} = 180 \times 31.2 + 4063 \times 29.7 + 450 \times 42.3 + 900 \times 34.3 = 176192 \text{ kJ K}^{-1}$

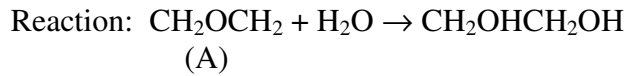
Now back to the heat balance:

$$Q = 450 \times 802.3 \times 10^3 - 176192 \times (150 - 25) = 339.1 \times 10^6 \text{ kJ h}^{-1} = 94198 \text{ kW}$$

$$\text{Steam Production} = \frac{94\,198 \text{ kJ}}{\text{s}} \bigg| \frac{\text{kg}}{2570 \text{ kJ}} = 36.7 \text{ kg s}^{-1}$$

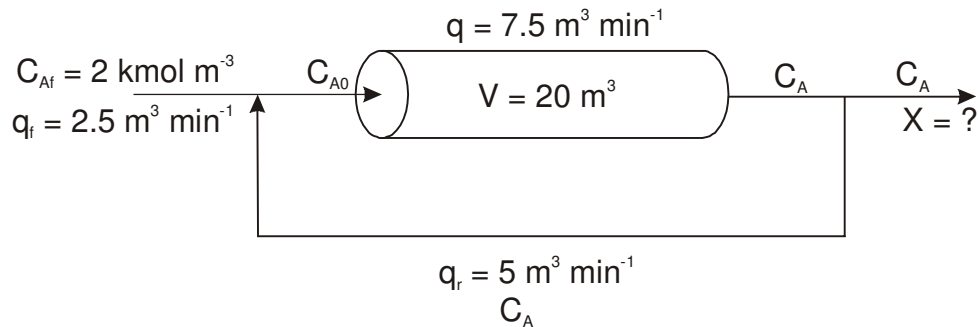
It is also possible to solve this problem by carrying out separate heat balances first around the pre-heater and then the furnace separately to arrive at the heat transfer ( $Q$ ) between furnace and boiler, but then the solution is of course somewhat longer.

## Uppgift 2



$$r_A = -kC_A$$

The reactor system:



Mole balance for ideal tube reactor:

$$F_A - (F_A + dF_A) + r_A dV = 0$$
$$\frac{dF_A}{dV} = -kC_A$$

For liquid phase reaction  $q$  is constant:

$$q \frac{dC_A}{dV} = -kC_A$$
$$\int_0^V dV = -\frac{q}{k} \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A}$$

After solving integral and rearranging:

$$C_A = C_{A0} \exp\left(-\frac{kV}{q}\right) \quad (1)$$

To determine reactor feed concentration,  $C_{A0}$ , must carry out mole balance for mixing point before reactor:

$$qC_{A0} = q_f C_{Af} + q_r C_A$$
$$C_{A0} = \frac{q_f C_{Af} + q_r C_A}{q_f + q_r} \quad (2)$$

After substituting (2) into (1), and solving for  $C_A$ :

$$C_A = \frac{q_r C_{Af} \exp\left(-\frac{kV}{q}\right)}{q - q_r \exp\left(-\frac{kV}{q}\right)} = 0.4102 \text{ kmol m}^{-3}$$

Also for liquid phase reaction:

---

$$X = 1 - \frac{C_A}{C_{A0}} = 0.7949 \quad (\text{a})$$

(b)

The conversion would increase if the reactor were operated without the recycle stream. This is because the feed concentration of A to the reactor would be higher, in fact the average concentration of A would be higher through the reactor. Since the reaction rate is first order with respect to concentration of A then the reaction rate would be faster and this would allow a higher conversion of A to be achieved.

From equation (1) above with  $C_{A0} = 2 \text{ kmol m}^{-3}$  and  $q = 2.5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ , then  $C_A = 0.1662 \text{ kmol m}^{-3}$ , and  $X = 0.9169$ .

(c)

If the recycle stream flow is VERY high, the large backflow would cause the reactor to be nearly perfectly mixed and thus behave as an ideal tank reactor (CSTR). So the conversion with very high recycle flow would approach that for an ideal tank reactor. Ideal tank mole balance:

$$\begin{aligned} F_{A0} - F_A + r_A dV &= 0 \\ XqC_{A0} &= kC_{A0}(1 - X)V \\ X &= \frac{kV}{q + kV} = 0.7133 \end{aligned}$$

---

### Uppgift 3

Reaction:  $A \rightarrow B + C$

$$r = kC_A$$

Given:  $\Delta H_R = \Delta H_R^0$  at  $T_0$

(a)

Heat balance for ideal tube reactor:

$$\frac{dT}{dV} = \frac{r(-\Delta H_R(T)) + Ua(T_a - T)}{\sum F_i c_{Pi}}$$

Where  $a = \frac{A}{V}$ . Must express  $\Delta H_R$  at current temperature  $T$ :

$$\frac{dT}{dV} = \frac{-r \left( \Delta H_R^0 + \int_{T_0}^T \Delta c_P dT \right) + Ua(T_a - T)}{\sum F_i c_{Pi}}$$

Where  $\Delta c_P = c_{PC} + c_{PB} - c_{PA}$

(b)

For isothermal reactor:

$$\frac{dT}{dV} = 0$$

Then heat balance becomes:

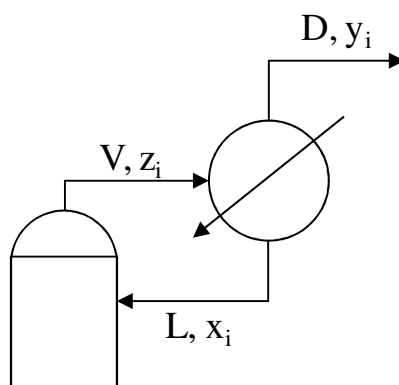
$$r(-\Delta H_R(T)) = Ua(T - T_a)$$

#### Uppgift 4.

Data:  $z_1 = 0.80$   
 $D = 0.4V$   
 $L = 0.6V$   
 $P = 760 \text{ mmHg}$   
Antoinekonstanter för cyklohexan (1) och toluen (2) givet.

Sökt: Temperatur och sammansättning hos den ångformiga toppprodukten.

Lösning:



Produktströmmarna D och L från partialkondensorn kommer att stå i jämvikt med varandra då partialkondensorn är ett jämviktsteg dvs  $y_i = f(x_i)$  vilket ges av jämviktsambandet.

#### Balanser

Totalbalans:  $V = L + D$  (1)

Komponentbalans:  $Vz_i = Lx_i + Dy_i$  (2)

Jämviktsamband:  $Py_i = P_i^0 x_i \quad i=1, 2$  (3)

Molbråkssumma:  $\Sigma x_i = \Sigma y_i = 1.0$  (4)

Antoines ekvation:  $\ln P_i^0 = A_i - \frac{B_i}{T+C_i}$  (5)

Strategi: Koppla ekvationerna (1), (2) och (3). Ansätt en temperatur och beräkna ångtrycken ekvation (5). Beräkna  $x_i$  med de kopplade ekvationerna och beräkna  $y_i$  med ekvation (3). Kontrollera att molbråkssumman blir 1.0 med samband (4).

$$(1) (2) (3) \text{ ger } \Rightarrow Vz_i = 0.6Vx_i + 0.4V \frac{P_i^0 x_i}{P} \Rightarrow x_i = \frac{z_i}{0.6 + 0.4 \frac{P_i^0}{P}} \text{ där } i = 1, 2$$

---

Beräkningarna samlas i tabell enligt nedan

T K	$P_1^{\circ}$ mmHg	$P_2^{\circ}$ mmHg	$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	$\Sigma x$	$\Sigma y$
355	785.95	310.30	0.789	0.262	0.816	0.107	1.051	0.923
365	1049.20	431.64	0.694	0.242	0.959	0.137	0.936	0.732
360.0	910.2	366.96	0.7414	0.2522	0.8879	0.1217	0.993	1.0096

Svar: 360 K samt 88.8 mol-% cyklohexan och 12.2 mol-% toluen.

## Uppgift 7.

Flödet genom en pump som arbetar i ett system ges av skärningen mellan pumpkurvan och systemkurvan. Systemkurvan behöver då beräknas

De statiska tryckförlusterna (höjdförlust och tryckskillnad) är

$$\Delta p_{stat} = (h_{utlopp} - h_{inlopp}) + (p_{utlopp} - p_{inlopp}) / g\rho = 20 + 100e3 / 9.82 / 998 = 30.2m$$

De dynamiska tryckförlusterna (friktionsförluster och engångsförluster) är:

$$\Delta p_{dyn} = \lambda \frac{L}{d} * \frac{c^2}{2g}$$

Där linjärhastigheten ( $c$  [m/s]) är:

$$c = \frac{\dot{V}}{1000 * \Pi d^2 / 4}$$
 där  $\dot{V}$  är volymsflödet i l/s

Totala tryck förlusten blir då:

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{stat} + \Delta p_{dyn} = \lambda \frac{L}{d} * \frac{c^2}{2g} = \Delta p_{stat} + \lambda \frac{L}{d} * \left( \frac{\dot{V}}{1000 * \Pi d^2 / 4} \right)^2 = \dots = 30.2 + 0.0025 * \dot{V}^2$$

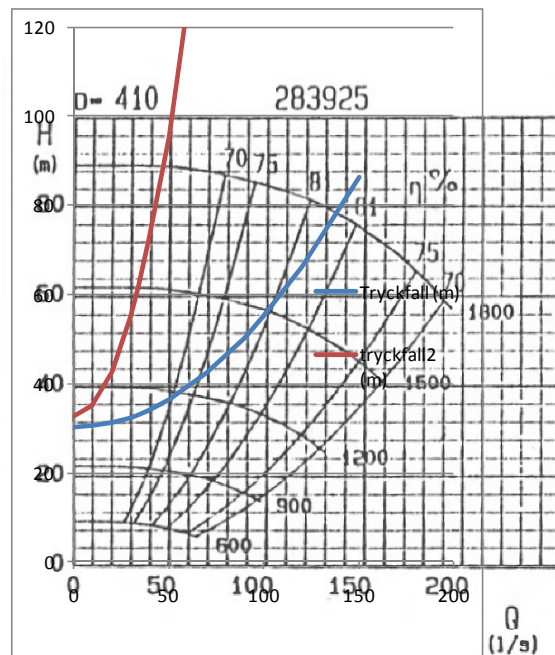
Tryckförlusten plottas sedan för lite olika flöden och skärningen med rpm=1500 avläses till 100 l/s och 55 m uppfordringshöjd.

**Svar del a: Uppfordringshöjden är 55m och flödet är 100l/s**

Del b: här ändras densiteten, friktionsfaktorn samt engångsförlusterna. Allt annat är samma och samma samband som ovan gäller. Den nya systemkurvan blir då:

$$\Delta p_{tot} = \dots = 30.7 + 0.025 * \dot{V}^2$$

Tryckförlusten plottas sedan för lite olika flöden och skärningen med rpm=1500 avläses till 34 l/s och 62 m uppfordringshöjd.



**Svar del b: Den nya uppfordringshöjden är 62m och det nya flödet är 34 l/s**



## Uppgift 8

En tubvärmeväxlare på 50 m<sup>2</sup> värmeväxlar 2 strömmar med vatten ( $c_p=4.18$  kJ/kg/K,  $\rho=1000$  kg/m<sup>3</sup>)

Den varma strömmen är 0.03 m<sup>3</sup>/s och går in med 80 °C och går ut med 60 °C.

Den kalla strömmen är 0.045 m<sup>3</sup>/s och går in med 20 °C.

- a) Beräkna temperaturen ut för den kalla strömmen

Sedan ändras det varma flödet till det dubbla (0.06 m<sup>3</sup>/s) varvid temperaturen ut för den varma strömmen blir 67°C. Även värmegenomgångstalet (U) ändras med ~~30~~ 26%.

- b) Ökar eller minskar U? Förklara kortfattat varför  
c) beräkna den överförda effekten för det nya flödet  
d) Arbetar värmeväxlaren motström eller medström? Motivera med beräkningar!

(6p)

Lösning del a:

En värmebalans ger:

$$q_{avgiven} = \dot{m}_{varm} * c_p (T_{varm\_in} - T_{varm\_ut}) = \dot{V}_{varm} * \rho * c_p (T_{varm\_in} - T_{varm\_ut}) = \\ = 0.03 * 1000 * 4.18 * (80 - 60) = 2508 kW$$

$$q_{avgiven} = q_{upptagen}$$

$$q_{upptagen} = \dot{m}_{kall} * c_p (T_{kall\_ut} - T_{kall\_in})$$

$$T_{kall\_ut} = \dots = 33.3^\circ C$$

Svar b: U ökar (pga ökad linjärhastighet och bättre värmeöverföringskoefficient på den varma sidan)

Lösning del c:

Överförd effekt med nya flödet är

$$q_{avgiven\_efter} = \dot{V}_{varm\_efter} * \rho * c_p (T_{varm\_in} - T_{varm\_ut\_efter}) = \\ = 0.06 * 1000 * 4.18 * (80 - 67) = 3260 kW$$

### Lösning del d:

För att utreda vilket av fallen testas båda och vi ser vilket som stämmer:

Vi kommer att behöva temperaturen ut i det nya fallet:

$$T_{kall\_ut\_efter} = T_{kall\_in} + \frac{q_{efter}}{\dot{V}_{kall} * \rho * c_p} = 20 + \frac{3260}{0.045 * 1000 * 4.18} = 37.3^\circ C$$

Fallet medström	Fallet motström
$\Delta T_1 = (T_{var m\_in} - T_{kall\_in})$ $\Delta T_2 = (T_{var m\_ut} - T_{kall\_ut})$	$\Delta T_1 = (T_{var m\_in} - T_{kall\_ut})$ $\Delta T_2 = (T_{var m\_ut} - T_{kall\_in})$
$\Delta T_{LM} = (\text{båda fallen}) = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$	
$\Delta T_{LM, före} = 41.1^\circ$ $U_{före} = \frac{q_{före}}{A * \Delta T_{LM, före}} = \frac{2508}{50 * 41.1} = 1.22 kW / m^2 K$	$\Delta T_{LM, före} = 43.25^\circ$ $U_{före} = \frac{q_{före}}{A * \Delta T_{LM, före}} = \frac{2508}{50 * 43.25} = 1.16 kW / m^2 K$
$\Delta T_{LM, efter} = 43.1^\circ$ $U_{efter} = \frac{3260}{50 * 43.1} = 1.51 kW / m^2 K$	$\Delta T_{LM, efter} = 44.8^\circ$ $U_{efter} = \frac{3260}{50 * 44.8} = 1.46 kW / m^2 K$
$U_{efter}/U_{före} = 1.238$ dvs inte 26%	$U_{efter}/U_{före} = 1.26$ dvs ökade 26%

**Svar : motström!**