



# CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

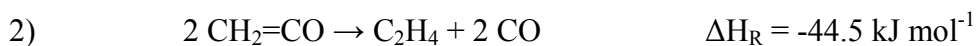
## Institutionen för kemi- och bioteknik

KURSNAMN	Grundläggande kemiteknik, KAA 146	<i>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  LOKAL	Onsdag 16 januari 2013, kl 14.00-18.00  V		
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. 15.00	Per Abrahamsson 772 2936 ca. kl. 15.30	Lennart Vamling 772 3021 ca. kl. 16.00
DATUM FÖR ANSLAG av resultat samt av tid och plats för granskning	Svar till beräkningsuppgifter anslås torsdag 17 januari på studieportalens kurshemsida. Resultat på tentamen anslås tidigast 4 februari efter kl 12.00. Granskning 5 respektive 11 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** Keten ( $\text{CH}_2=\text{CO}$ ) framställs genom katalytisk krackning av aceton ( $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ ):



Samtidigt sker följande bireaktioner:



Det bildade kolet (C) i reaktion 3 fälls ut på katalysatorns yta. Inflödet till en katalytisk reaktor består av ren aceton vid  $600^\circ\text{C}$  och en partiell analys av utgående gas ger följande sammansättning:

	mol%
$\text{CH}_3\text{COCH}_3$	22.3
$\text{CH}_2=\text{CO}$	18.6
$\text{CH}_4$	30.9
CO	14.7

Eten och väte påvisas också, men i alltför små koncentrationer för att mätas noggrant. Keten ( $\text{CH}_2=\text{CO}$ ) och eten ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) skall återvinnas från denna process och säljas med en renhet överstigande 95%, medan metan ( $\text{CH}_4$ ), väte och kolmonoxid skall användas antingen i processen eller säljas som bränsle.

- Beräkna temperaturen på gasen i utflödet om reaktorn kan anses vara adiabatisk.
- Föreslå en lämplig processdesign, baserad på information om reaktionerna och nedan givna fysikaliska data för komponenterna, och presentera den i form av ett processflödesschema. Ange approximativa driftsvillkor för varje enhetsoperation.

Data:

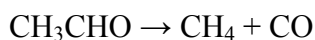
	Kokpunkt ( $^\circ\text{C}$ ) vid 1 atm	Smältpunkt ( $^\circ\text{C}$ ) vid 1 atm	$C_p$ ( $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )
$\text{CH}_3\text{COCH}_3$	56	-95	122
$\text{CH}_2=\text{CO}$	-41	-134	71
$\text{CH}_4$	-164		53
$\text{C}_2\text{H}_4$	-104	-169	71
$\text{H}_2$	-253	-259	29
CO	-191	-205	30

Observera att molvärmen ( $C_p$ ) och reaktionsentalpier ( $\Delta H_R$ ) som ges ovan kan anses konstanta vid de processbetingelser som används.

(12p)

---

**Uppgift 2** Acetaldehyd ( $\text{CH}_3\text{CHO}$ ) sönderfaller till metan ( $\text{CH}_4$ ) och kolmonoxid ( $\text{CO}$ ) enligt formeln



Reaktionen skall genomföras i en flödesreaktor med pluggflöde.

Inflödes hastigheten till reaktorn är  $0.1 \text{ kg s}^{-1}$  acetaldehyd och  $0.04 \text{ kg s}^{-1}$  kväve ( $\text{N}_2$ ) som är inert. Reaktionen utföres isotermt vid  $520^\circ\text{C}$  och isobart vid  $10^5 \text{ Pa}$ . Vid dessa betingelser är reaktionen ett andra ordningens förlopp med avseende på koncentrationen av acetaldehyd. Hastighetskonstanten vid dessa betingelser är  $k = 0.43 \text{ m}^3 \text{ kmol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Vad blir koncentrationen av metan i utflödet om man skall nå en omsättningsgrad av 35%?

Molmassor:  $M(\text{CH}_3\text{CHO}) = 44 \text{ kg kmol}^{-1}$      $M(\text{N}_2) = 28 \text{ kg kmol}^{-1}$

(6p)

**Uppgift 3** En ny processanläggning har konstruerats av Worldchem AB och är nu i drift. Tyvärr finner man att reaktorn är kraftigt underdimensionerad på grund av dåliga designbeslut. En ung ambitiös processingenjör vid fabriken har beslutat att en del av reaktorproduktströmmen helt enkelt skulle återföras och blandas med färsk inflödet till reaktorn för att ge reaktanterna en 'extra chans' att reagera. Denna enkla processmodifiering skulle öka omsättningen över reaktorn och förbättra processens lönsamhet.

- Diskutera framtida karriärutsikter för ingenjören vid Worldchem, om flödet i den ursprungliga reaktorn är mycket nära idealt pluggflöde.
- Är de bättre eller sämre om nästan fullständig omblandning föreligger i den ursprungliga reaktorn?

Din diskussion under del (a) och (b) skall vara väl grundad i reaktionsteknisk teori.

(8p)

**Uppgift 4** En destillationskolonn, utrustad med återkokare och totalcondensor, ska separera en blandning av bensen och toluen vid atmosfärstryck. Blandningen håller 40 mol-% bensen och 60 mol-% toluen. Tillflödet till kolonnen ska vara  $100 \text{ kmol/h}$ . Man önskar erhålla två produkter, en hållande 90 mol-% toluen och en hållande 95 mol-% bensen.

Beräkna;

- produktflödena från kolonnen!
- med Sorels metod antalet ideala steg som fordras för separationen när det yttre återflödesförhållandet är 3.7 och tillflödet är kokvarmt!
- tillflödets  $q$ -värde då tillflödets temperatur är  $20^\circ\text{C}$ !

Vänd ↩!

Givna data:

Systemet bensen-toluen antas uppträda idealt!

Antoines ekvation:  $\log P_i^0(\text{mmHg}) = A_i - \frac{B_i}{C_i + T(^{\circ}\text{C})}$

Antoinekonstanter:

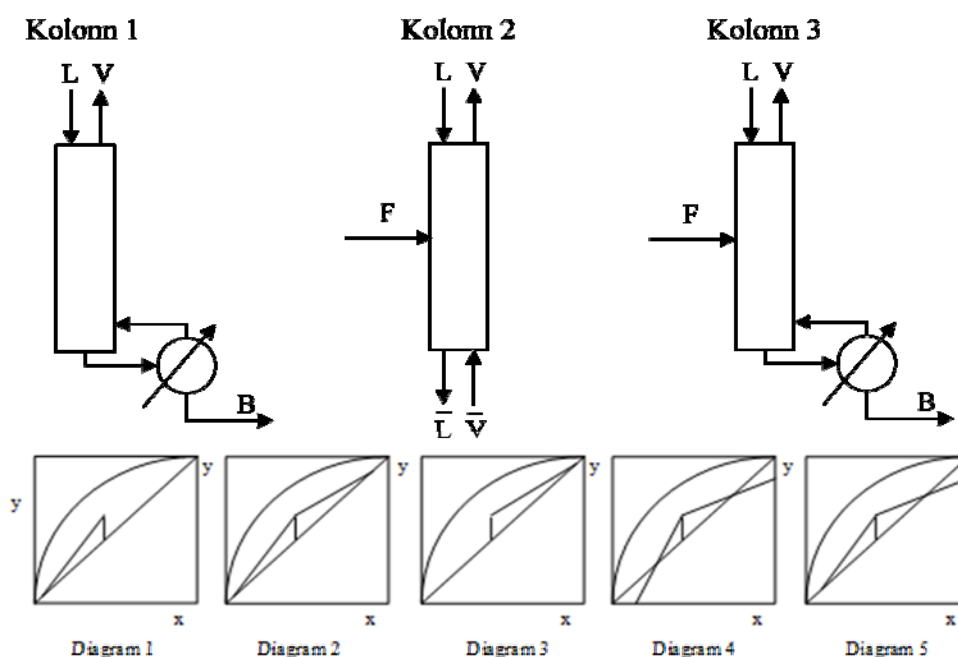
Komponent i	$A_i$	$B_i$	$C_i$
Bensen	6.90565	1211.033	220.790
Toluen	6.95464	1344.800	219.482

Övriga data:

Ångbildningsvärmets för blandningen	31714 kJ/kmol
Värme kapacitet för ångformig blandning	5.98 cal/mol·K
Värme kapacitet för vätskeformig blandning	189.45 kJ/kmol·K
Kokpunkten för bensen	80.17 °C
Kokpunkten för toluen	110.65 °C
Molmassa för bensen	78.114 kg/kmol
Molmassa för toluen	92.141 kg/kmol

(12p)

**Uppgift 5** Para ihop rätt kolonnfiguration med jämviktsdiagram där driftlinje/driftlinjer samt q-linje är inritade! Tillflödet, F, i samtliga fall är mättad vätska!



(3p)

- Uppgift 6**
- Visa schematiskt i ett diagram temperaturen som funktion av bottennummer för en destillationskolonn, i vilken ett binärt system separeras! Ange i diagrammet vilken botten som är längst ned respektive högst upp i kolonnen!
  - Visa schematiskt i ett diagram sammansättningsprofilen (molbråk) i vätske- och ångfas för den lättflyktiga komponenten som funktion av botten-nummer! Ange i diagrammet vilken botten som är längst ned respektive högst upp i kolonnen!
  - Vad är det som gör att det ibland går att skilja två ämnen i en homogen vätske-blandning med hjälp av destillation?
  - Vilka är förutsättningarna för antagandet om konstanta molära flöden vid destillation ska vara gällande?

(7p)

- Uppgift 7** I samband med dimensionering av värmeväxlare mha NTU-metoden kan följande uttryck vara användbart:

$$\frac{d\varepsilon}{d\left(\frac{U \cdot A}{C_{\min}}\right)} = \frac{K_A}{U \cdot (T_{H2} - T_{C1}) \cdot t_{drift} \cdot \beta}$$

- Vad står  $K_A$ ,  $t_{drift}$  och  $\beta$  för? Ange även någon lämplig enhet för var och en av dem.
- Förklara bakgrunden till ekvationen och vad den innebär. Vad för grundantagande bygger ekvationen på? Det räcker att beskriva i ord, formell härledning krävs ej. Illustrera med hjälp av diagram hur olika i grundantagandet ingående delstorheter varierar som funktion av  $UA/C_{\min}$ .

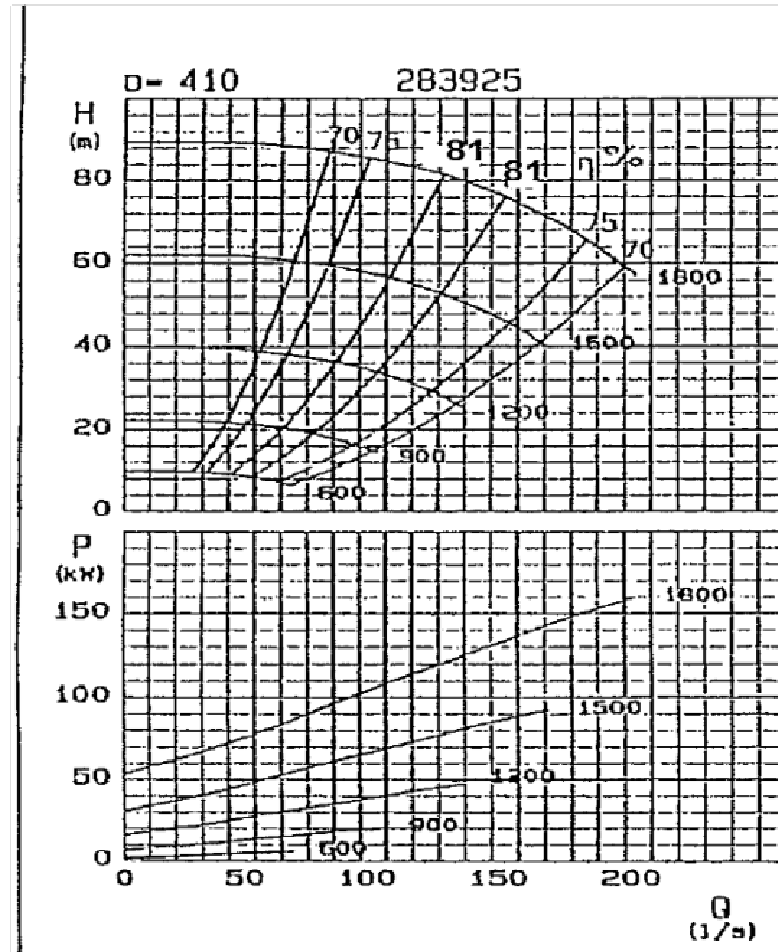
(4p)

- Uppgift 8** En pump skall normalt användas för att transportera  $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$  vatten från en öppen tank med skarpkantat inlopp (dvs  $\zeta=0,5$ ) till en högre belägen öppen tank. Pumpen är inkopplad i en rörledning med diametern  $0,15 \text{ m}$  och längden  $50 \text{ m}$ . Friktionsfaktorn  $\lambda$  är  $0,030$ . Inverkan av eventuella rörkrökar försummas. Höjdskillnaden mellan vattenytorna är  $30 \text{ m}$ . Ett pumpdiagram från en troligtvis lämplig pump ges nedan.

- Vilket varvtal behöver normalt användas för att klara uppgiften och vad blir pumpeffekten?

Vänd ☞!

- b) Pumpen drivs av en motor som kan varvtalsstyras  $\pm 20\%$ . Om varvtalet höjs med  $20\%$ , hur många procent ökar då flödet resp. pumpeffekten? Noggrannhetsmässigt räcker det att hitta ett intervall på  $10\text{ l/s}$  inom vilket resulterande flöde ligger.



(8p)

Göteborg 2013-01-10

Krister Ström  
Derek Creaser  
Lennart Vamling

---

## 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**

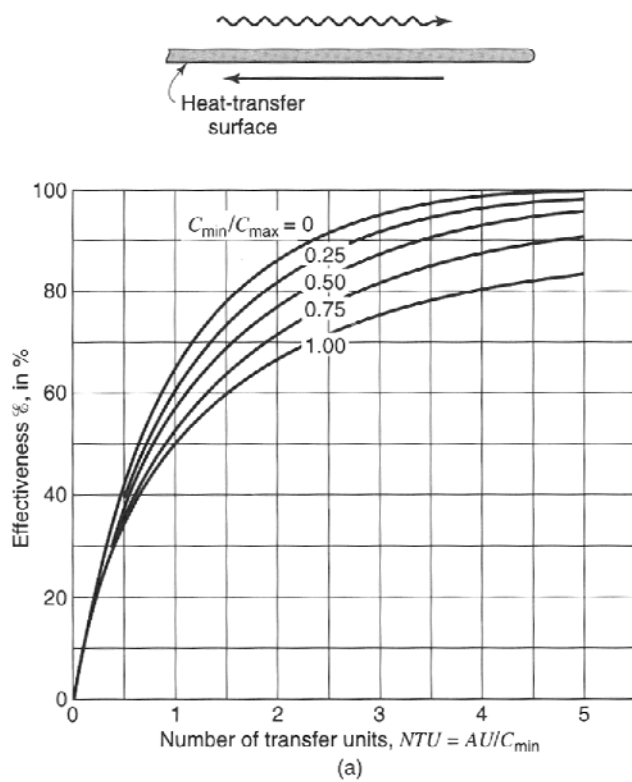
Värmeväxlare:

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

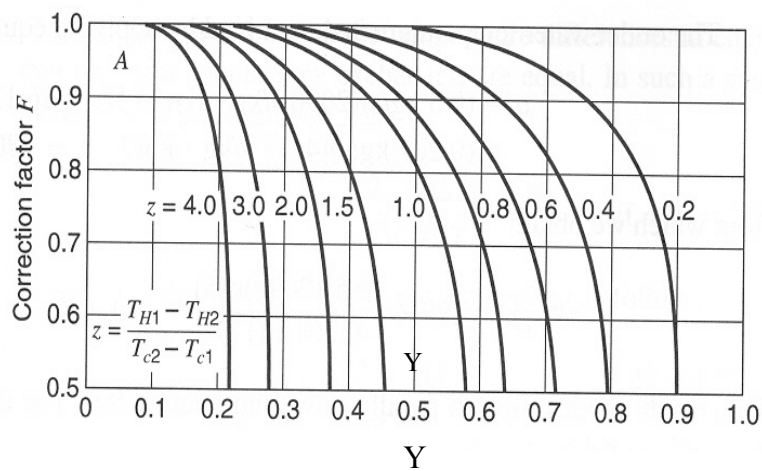
$$\varepsilon = \frac{1 - \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]}{1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \exp\left[-NTU \left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right]} \quad (\text{motström})$$

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

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



Temperaturverkningsgrad för motströmsvämeväxlare



2,4 stråk  
(pass) på  
tubsidan

$$Y = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{H1} - T_{c1}}$$

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

Antoinnes ekvation:

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

Wilsonuttrycket för beräkning av aktivitetsfaktor för binärt system:

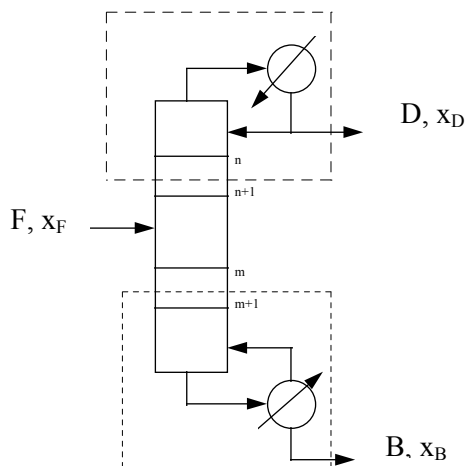
$$\ln \gamma_1 = -\ln(x_1 + \Lambda_{12}x_2) + x_2 \left( \frac{\Lambda_{12}}{x_1 + \Lambda_{12}x_2} - \frac{\Lambda_{21}}{\Lambda_{21}x_1 + x_2} \right)$$

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

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:



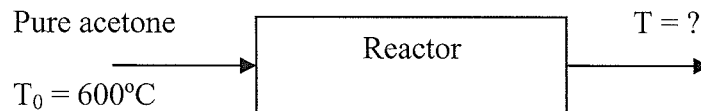
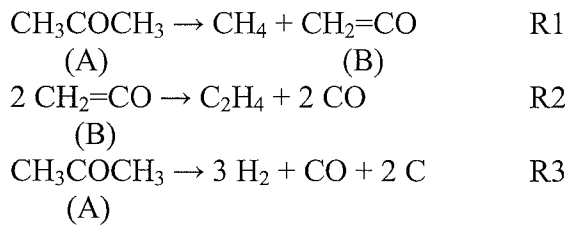
Materialbalanser:

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

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

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

### Uppgift 1



Basis: Total flow rate of product stream is 100 mol/s, consisting of 22.3 mol/s A, 18.6 mol/s B, 30.9 mol/s CH<sub>4</sub>, 14.7 mol/s CO and remainder being C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>.

A	$F_A = F_{A0} - R1 - R3 = 22.3 \text{ mol/s}$
B	$F_B = R1 - 2 R2 = 18.6 \text{ mol/s}$
CH <sub>4</sub>	$F_{\text{CH}_4} = R1 = 30.9 \text{ mol/s}$
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$F_{\text{C}_2\text{H}_4} = R2$
H <sub>2</sub>	$F_{\text{H}_2} = 3 R3$
CO	$F_{\text{CO}} = 2 R2 + R3 = 14.7 \text{ mol/s}$

Now since R1 = 30.9 mol/s, can solve for other unknowns...

$$R2 = \frac{R1 - 18.6}{2} = 6.15 \text{ mol/s}$$

$$R3 = 14.7 - 2 R2 = 2.4 \text{ mol/s}$$

$$F_{A0} = 22.3 + R1 + R3 = 55.6 \text{ mol/s}$$

Heat Balance:

$$\sum F_{i0} \int_{T_{ref}}^{T_0} c_{Pi} dT - \sum F_i \int_{T_{ref}}^T c_{Pi} dT + \sum R_j (-\Delta H_{Rj}) = 0$$

Set  $T_{ref} = T$  (outlet temperature), then heat balance becomes

$$\sum F_{i0} \int_T^{T_0} c_{Pi} dT + \sum R_j (-\Delta H_{Rj}) = 0$$

$$T = T_0 - \frac{\sum R_j \Delta H_{Rj}}{F_{A0} c_{PA}}$$

$$T = 600 - \frac{(30.9 \cdot 80.5 - 6.15 \cdot 44.5 + 106.5 \cdot 2.4) \cdot 1000}{55.6 \cdot 122} = 236^\circ\text{C} \quad (\text{a})$$

Alternatively...

The molar flow rate of products:

	mol/s
A	22.3
B	18.6
CH <sub>4</sub>	30.9
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	6.15
H <sub>2</sub>	7.2
CO	14.7

Set  $T_{ref} = T_0$  (inlet temperature), then heat balance becomes

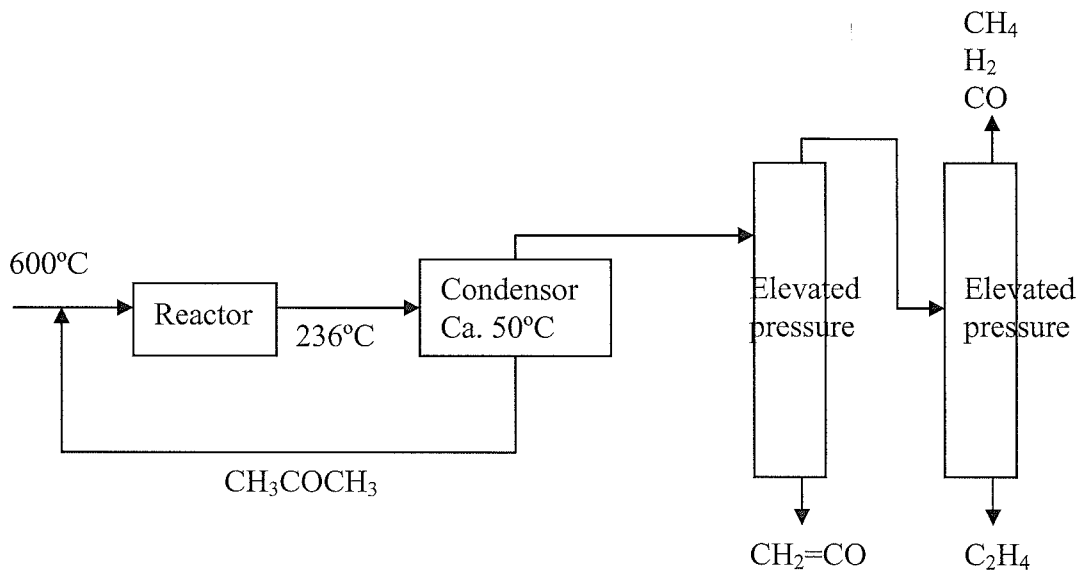
$$\sum F_i \int_T^{T_0} c_{Pi} dT + \sum R_j (-\Delta H_{Rj}) = 0$$

$$T = T_0 - \frac{\sum R_j \Delta H_{Rj}}{\sum F_i c_{Pi}}$$

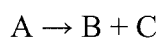
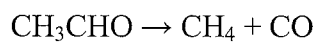
$$T = 600 - \frac{(30.9 \cdot 80.5 - 6.15 \cdot 44.5 + 106.5 \cdot 2.4) \cdot 1000}{(22.3 \cdot 122 + 18.6 \cdot 71 + 30.9 \cdot 53 + 6.15 \cdot 71 + 7.2 \cdot 29 + 14.7 \cdot 30)} = 235 \text{ }^\circ\text{C (a)}$$

The slight differences in the results using heat balances with different reference temperature is due variations in the enthalpies of reactions are neglected.

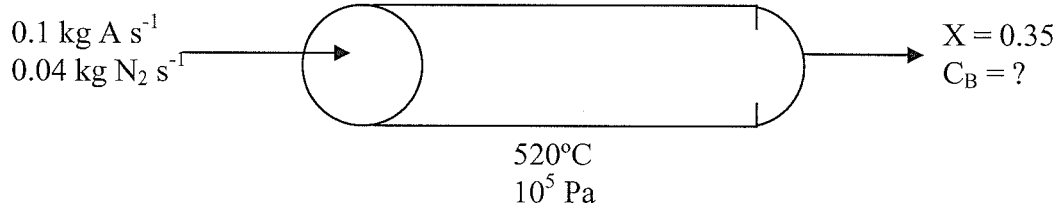
In the process the reactor outlet stream could be cooled in a condenser to ca. 50°C to recover acetone first and recycle it to the reactor feed. This could be followed by two more separation stages (perhaps distillation columns to achieve the desired high purity) that would have to operate at elevated pressures due to the very low boiling points of the remaining components. The first separation stage would recover ketene and the second ethylene. The process flowsheet is:



**Uppgift 2:**



$-r_A = kC_A^2$



$F_{A0} = 0.1/44 = 0.0023 \text{ kmol s}^{-1}$

$F_{N2} = 0.04/28 = 0.0014 \text{ kmol s}^{-1}$

$F_A$	$F_{A0} - X F_{A0}$
$F_B$	$X F_{A0}$
$F_C$	$X F_{A0}$
$F_{N2}$	$F_{N2}$
$F_{tot}$	$F_{A0} + F_{N2} + X F_{A0}$

$$C_B = \frac{F_B}{F_{tot}} \frac{P}{RT} = \frac{X F_{A0}}{F_{A0} + F_{N2} + X F_{A0}} \frac{P}{RT}$$

$C_B = 2.71 \text{ mol m}^{-3}$

### Uppgift 3:

(a)

Generally the career possibilities for the process engineer are not so promising, since there is a high probability that the recirculation will in fact reduce the conversion over the reactor if originally the reactor operated with nearly ideal plug flow. If the reaction is positive order with respect to the reactants (reaction rate proportional to reactant concentration), which is often the case, then the recirculation will lower the concentration of reactants and thus the reaction rate throughout the reactor. However, if the reaction rate is inversely proportional to the reactant concentration or if the reaction is autocatalytic, it is possible that the conversion may increase as a result of the recirculation. Information is not given about the heat effects of the reaction, however if it is exothermic there is a chance that recirculation would increase the conversion, since the overall operating temperature would increase, however this would only be the case if the increased temperature has a greater effect on the reaction rate than the reduced reactant concentration. If the reaction is endothermic then recirculation would reduce the temperature in most of the reactor and also the conversion.

(b)

If the reactor operates with nearly perfect mixing then the recirculation would simply increase the back-mixing which would have little effect on the operation of the reactor, except the recirculation stream can now be considered as part of the reactor volume. However, if the recirculation stream volume is negligible compared to the reactor the conversion over the reactor would be unaffected.

### Uppgift 4.

Data:  $P = 760 \text{ mmHg}$

$$x_F = 0.40$$

$$F = 100 \text{ kmol/h}$$

$$x_D = 0.95$$

$$x_B = 0.10$$

Sökt: a) D och B

b) n då  $R = 3.7$

c) q-värdet då  $T_F = 20^\circ\text{C}$

### Lösning:

$$\begin{array}{ll} \text{a) Totalbalans:} & F = D + B \\ \text{Komponentbalans:} & Fx_F = Dx_D + Bx_B \end{array}$$

$$\text{Balanserna ger } \underline{D = 35.3 \text{ kmol/h}; B = 64.7 \text{ kmol/h}}$$

b) För att bestämma antalet steg fordras komponentbalanser för kolonnens avdrivar- och förstärkardel samt jämviktssamband. Beräkningarna genomförs enligt Sorels metod. Avbrottskriterier är  $x_F$  och  $x_D$ .

$$\underline{\text{Nedre driftlinjen:}} \quad \bar{L}x_{n+1} = \bar{V}y_n + Bx_B \quad x_{n+1} = \frac{\bar{L}}{\bar{V}}y_n + \frac{B}{\bar{L}}x_B$$

Övre driftlinjen:  $Lx_{m+1} + Fx_F = Vy_m + Bx_B$        $x_{m+1} = \frac{L}{V}y_m + \frac{1}{L}(Bx_B - Fx_F)$

Bestäm de inre ång- och vätskeflödena!

Totalbalans över kondensator:  $V = D + L$        $V = D(R+1)$   
 $R = L/D$        $L = RD$

$V = 165.9 \text{ kmol/h}$  ;  $L = 130.6 \text{ kmol/h}$

$\bar{V} = 165.9 \text{ kmol/h}$  ;  $\bar{L} = 230.6 \text{ kmol/h}$

Jämviktssamband:  $y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x}$  ;  $\alpha = \frac{P_{\text{Bensen}}^0}{P_{\text{Toluen}}^0}$

	T °C	P° mmHg	T °C	P° mmHg	$\alpha_{\text{medel}}$
Bensen	80.17	761.64	110.65	1785.65	
Toluen	80.17	292.93	110.65	760.53	
$\alpha$		2.60		2.35	2.475

Sammansättning samlas i tabell enligt nedan!

Steg	$x_{n,m}$	$y_{n,m}$
0	0.10 (= $x_B$ )	0.216
1	0.183	0.357
2	0.285	0.414
3	0.326	0.545
4	0.436	0.655
5	0.578	0.771
6	0.723	0.866
7	0.843	0.930
8	0.925	0.968

Det fordras 8 bottenar (Beroende vilken relativ flyktighet man beräknat kan resultatet skilja sig åt.)

c) Tillflödet underkylt varför q-värdet beräknas enligt:  $q = \frac{\Delta H_{\text{VAP}} + c_p^L \Delta T}{\Delta H_{\text{VAP}}}$

$\Delta H_{\text{VAP}} = 31714 \text{ kJ/kmol}$

$c_p^L = 189.45 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$

$\Delta T = T_B - T_F$  där  $T_F = 20^\circ\text{C}$

Tillflödets bubblpunktstemperaturen  $T_B$  måste bestämmas!

$y = \frac{\alpha x_F}{1 + (\alpha - 1)x_F}$  där  $x_F = 0.40 \Rightarrow y = 0.62$

$yP = x_F P^0 \Rightarrow P^0 = 1178 \text{ mmHg}$ . Antoines ekvation ger  $T_B = 95.84^\circ\text{C}$

$q = 1.45$

## Uppgift 8

a) Sökt är vilket varvtal som behövs för att klara en given pumpuppgift.

Givet:

$$Q := 120 \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ s}} = 0.12 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad L := 50 \text{ m} \quad d := 0.15 \text{ m} \quad \lambda := 0.02$$

$$\Delta h := 30 \text{ m} \quad \zeta := 0.5 \quad \Delta P := 0 \text{ MPa}$$

$$\text{Antag} \quad \rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad g = 9.807 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Flödeshastigheten (som vi antar vara konstant) kan ur de givna uppgifterna beräknas till

$$c := \frac{4Q}{\pi \cdot d^2} = 6.791 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vi har då allt för att kunna sätta upp ett uttryck för systemkurvan

$$H_{\text{system}}(c) := \Delta h + \frac{\Delta P}{\rho \cdot g} + \frac{\lambda \cdot L}{d \cdot 2 \cdot g} \cdot c^2 + \frac{\zeta}{2 \cdot g} \cdot c^2 \quad H_{\text{system}}(c) = 54.686 \text{ m}$$

Med uppgifterna  $Q=120$  l/s och  $H = 55$  m, så kan vi i diagram avläsa att erforderligt varvtal blir ca 1500 varv/min.

b) Sökt är nu förändringen i flöde och i effekt, om varvtalet ökas med 20%

$$n_{\text{ny}} := 1.2 \cdot 1500 = 1.8 \times 10^3$$

Ursprunglig effekt,  $P_0$  avläses i diagram  $P_0 := 72 \text{ kW}$

Vi vet inte vilket flöde som blir efter varvtalsökningen, så vi får gissa, läsa av i pump-kurvan och jämföra med systemkurvan, sedan gissa ett bättre värde osv...

Första gissning  $Q_{\text{ny}}=140$

$$H_{\text{pump140}} := 80 \text{ m} \quad H_{\text{system}}\left(\frac{140}{120} \cdot c\right) = 63.601 \text{ m}$$

Pumpen klarar mer än systemet behöver, så vi gissar på ett högre flöde,  $Q_{\text{ny}}=170$

$$H_{\text{pump170}} := 72 \text{ m} \quad H_{\text{system}}\left(\frac{170}{120} \cdot c\right) = 79.544 \text{ m}$$

Nu räckte pumpen inte till riktigt, ny gissning  $Q_{\text{ny}}=160$

$$H_{\text{pump160}} := 75 \text{ m} \quad H_{\text{system}}\left(\frac{160}{120} \cdot c\right) = 73.887 \text{ m}$$

Nu är vi lite för lågt, men vi vet att flödet ligger mellan 160 och 170, vilket är tillräckligt noggrant enligt uppgiftstexten. Vi kan dock förfina mha interpolation. Låt  $F$  vara hur mycket system och pumpkurva diffar

$$F_{160} := H_{\text{pump160}} - H_{\text{system}}\left(\frac{160}{120} \cdot c\right) \quad F_{170} := H_{\text{pump170}} - H_{\text{system}}\left(\frac{170}{120} \cdot c\right)$$

$$\alpha := \frac{-F160}{F170 - F160} = 0.129$$

$$Q_{ny} := 160 + \alpha \cdot (170 - 160) = 161.286$$

$$\frac{Q_{ny} \cdot \frac{m^3}{1000 \cdot s}}{Q} = 1.344$$

Ur diagram avläser vi att

$$P_{ny} := 137 \text{ kW}$$

$$P_{kvot} := \frac{P_{ny}}{P_0} = 1.903$$

**Svar: a) Varvtalet blir ca 1500 varv/min**

**b) Flödesökningen blir ca 34 % och effektökningen ca 90 %**