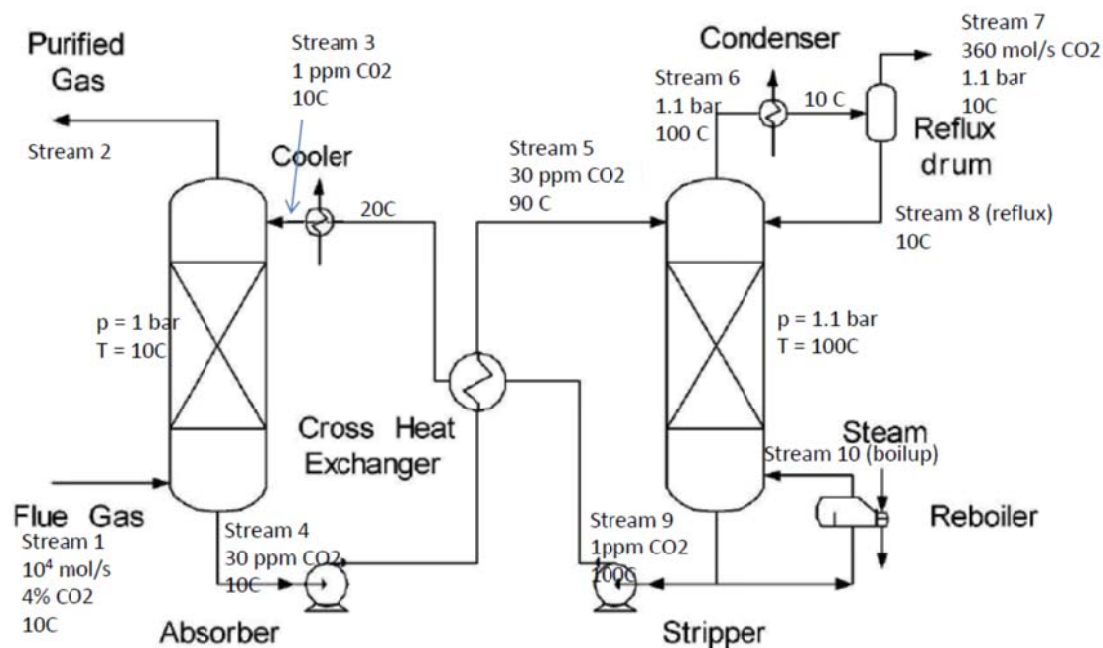


## Oppgave 2/Oppgave 2: ABSORPSJON OG STRIPPING 32% vekt



Vi ser på CO<sub>2</sub>-fangst fra et 170 MW gasskraftverk der forbrenningsgassen (10 kmol/s) inneholder 4 mol% CO<sub>2</sub> (resten er ikke-kondenserbare komponenter som N<sub>2</sub> og O<sub>2</sub>). Det er et krav om å fjerne 90% av innkommende CO<sub>2</sub>. Vi skal se på en prosess som bruker rent vann som absorbent, dvs. uten amintilsats. Vi vet at dette ikke er en realistisk prosess, og vi ønsker å forstå hvorfor. I denne oppgaven skal vi se på absorberen og den partielle kondensatoren i stripperen.

Data er gitt under og på figur (alle fraksjoner er på molbasis). Angi ytterligere antagelser du gjør for å løse oppgaven.

(a) Absorpsjonskolonne.

- (i) Finn mengde forbrenningsgass (strøm 1) i m<sup>3</sup>/s. Hva er nødvendig kolonnediameter hvis gasshastigheten for tomt tårn er 1 m/s?
- (ii) Finn vannmengden L (i strøm 3 og 4). Gi svaret for L i mol/s, kg/s og m<sup>3</sup>/s. Hva er varmeeffekten (Q in MW) for kryss-varmeveksleren (cross heat exchanger)? Kommenter på om svaret er rimelig med tanke på å bygge et slikt anlegg.
- (iii) Bruk en grafisk metode (McCabe-Thiele) til å bestemme det nødvendige antall teoretiske trinn i absorpsjonskolonnen.
- (iv) Vi vurderer å bruke en fylt kolonne. Hva er nødvendig pakningshøyde når det er gitt at  $K_{ya} = 0.066 \text{ kmol/s, m}^3$  ?
- (v) Hva er minimum vannmengde ( $L_{\min}$ ) med uendelig antall trinn (eller uendelig pakningshøyde)?

- (b) Flash i refluksstanken. Finn mengde og sammensetning av strømmene 6, 7 og 8. Hva er kjøleeffekten i kondensatoren (i MW)? Du kan anta at partialtrykket av vann i strøm 6 er 1 bar.

*Some data (you may not need all of this):*

Henry's law for CO<sub>2</sub>.  $p_{CO_2} = H x_{CO_2}$  where  $H = 1000$  bar at 10C and  $H = 5000$  bar at 100C.

Vapor pressure for water:  $p^{sat} = 0.012$  bar at 10C and  $p^{sat} = 1$  bar at 100C.

Heat of vaporization for water at 100C: 40.7 kJ/mol

Heat capacity for water: 4.18 kJ/kg,K (liquid) and 1.87 kJ/kg,K (gas).

Heat capacity for CO<sub>2</sub>: 37 J/K,mol (gas)

Molecular weights [g/mol]: 44 for CO<sub>2</sub> and 18 for water

Density water: 1000 kg/m<sup>3</sup>

$R = 8.31$  J/K,mol

Assuming straight equilibrium and operating lines:

$n_A$  [mol/s] =  $K_y a S z (y - y^*)_{LM}$ , where  $(y - y^*)_{LM} = [(y - y^*)_1 - (y - y^*)_2] / \ln[(y - y^*)_1 / (y - y^*)_2]$

## **Problem 2: ABSORPTION AND STRIPPING. 32% weight**

We consider CO<sub>2</sub> removal from a 170 MW gas fired power plant where the flue gas (10 kmol/s) contains 4 mol% CO<sub>2</sub> (the rest is non-condensable components, like N<sub>2</sub> and O<sub>2</sub>). It is required to remove 90% of the incoming CO<sub>2</sub>. We consider a process using pure water as the absorbent, that is, without amine addition. We know that this process is not very realistic, and we want to understand why. In this problem you shall consider the absorber and the partial condenser for the stripper column.

*Data are given above and in the figure (all fractions are on mole basis).*

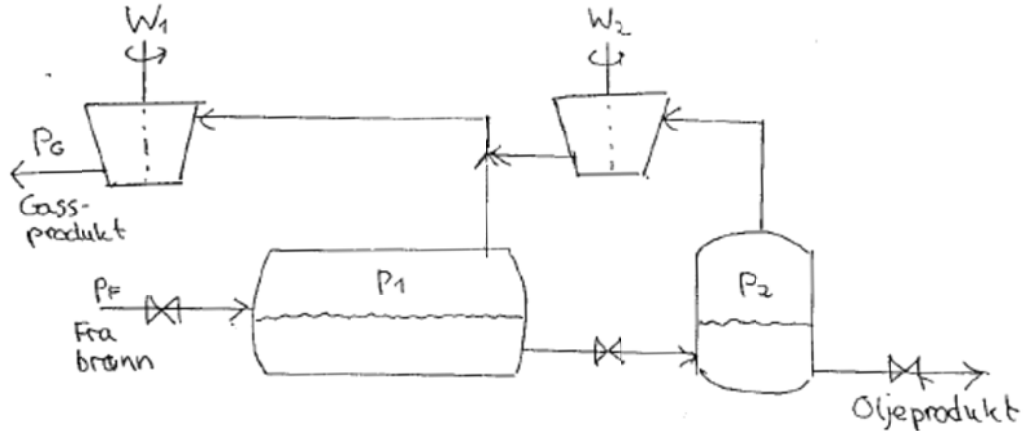
*Specify any other assumptions you make when solving the problem.*

(a) Absorption column.

- (i) Find the amount of flue gas (stream 1) in m<sup>3</sup>/s. What is the required tower diameter if the gas velocity (empty tower) should be 1 m/s?
- (ii) Find the required water flow  $L$  (in stream 3 and 4). You can neglect evaporation of water in the absorber. Give your answer for  $L$  in mol/s, kg/s and m<sup>3</sup>/s. What is heat duty ( $Q$  in MW) for the cross heat exchanger? Comment on whether you find the result reasonable for actual implementation.
- (iii) Use a graphical solution (McCabe-Thiele) to find the required number of theoretical stages in the absorber.
- (iv) We consider using a packed column. What is the required packing height given that  $K_y a = 0.066$  kmol/s,m<sup>3</sup> ?
- (v) What is minimum amount of water ( $L_{min}$ ) with an infinite number of stages (or infinite packing height)?

(b) Reflux flash drum. Find the flows and compositions of streams 6, 7 and 8. What is the cooling duty of the condenser (in MW)? You can assume that the partial pressure of water in stream 6 is 1 bar.

### Oppgave 3/ Oppgave 3. PROSESSREGULERING (18%)



Typical data:  $p_F = 50$  bar,  $p_1 = 30$  bar,  $p_2 = 3$  bar,  $p_G = 100$  bar

I en prosess for å separere olje og gass fra en produksjonsbrønn (se figur) er det ønskelig å regulere nivå og trykk i de to separatorene samt trykket av gassproduktet.

- Klassifiser variablene
- Foreslå et reguleringsopplegg (vis på en figur)
- Vanligvis brukes PI regulatorer. Forklar hensikten med integralvirkningen. Integraltiden velges ofte lik prosessens tidskonstant  $\tau$ . Forklar hvordan man kan finne  $\tau$  eksperimentelt.

### Problem 3. PROCESS CONTROL (18%)

Consider a process for separating oil and gas from a production well (see Figure). We want to control level and pressure in the two separators, plus pressure of the gas product.

- Classify the variables
- Suggest a control structure (show on a figure)
- We normally use PI controllers. Explain the purpose of the integral action. The integral time is often selected equal to the process time constant  $\tau$ . Explain how one can find  $\tau$  experimentally.