



- 1 a) En skjematisk fremstilling av prosessen er gitt i figur 1.



**Figur 1:** Skjematisk fremstilling av luftfukter.

Masse er alltid konserverert og massebalansen er derfor alltid gyldig (unntatt ved kjernefysiske reaksjoner). Molbalansen er gyldig fordi det ikke foregår noen reaksjon med støkiometrisk endring over reaksjonen. Setter opp massebalanse for luftfukteren på masse- og molbasis.

$$\hat{m}_1 + \hat{m}_2 = \hat{m}_3 \quad (1a)$$

$$\hat{n}_1 + \hat{n}_2 = \hat{n}_3 \quad (1b)$$

På komponentform blir molbalansen følgende (alle fraksjoner er for vann):

$$\hat{n}_1 x_1 + \hat{n}_2 x_2 = \hat{n}_3 x_3 \quad (2a)$$

$$\hat{n}_2 = x_3 \hat{n}_3 \quad (2b)$$

- b) Det antas ideell gass. Molfraksjonen av vann i strøm 3 vil avhenge av partialtrykket av vann i strøm 3. Legg merke til at disse beregningene kun kan gjøres fordi strøm 3 er en gass-strøm.

$$\begin{aligned} x_{\text{H}_2\text{O}}^{\hat{n}_3} &= \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{tot}}} \\ &= \frac{p_{\text{H}_2\text{O}} \cdot V/RT}{p_{\text{tot}} \cdot V/RT} \\ &= \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{tot}}} \end{aligned} \quad (3)$$

Kombinerer Ligning (2) og Ligning (3) for å bestemme et uttrykk for  $\hat{n}_3$ :

$$\begin{aligned}\hat{n}_3 &= \frac{\hat{n}_1}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}}^{\hat{n}_3}} \\ &= \underline{103,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}}\end{aligned}\quad (4)$$

- c) Fra molbalansen, ligning (1b), kan en volumbalanse utledes fordi vi kan anta ideell gass og uniform temperatur i gass-strømmene over luftfukteren. Derfor er

$$\hat{n}_2 = \hat{n}_3 - \hat{n}_1 \quad (5a)$$

$$\hat{V}_2 = \hat{V}_3 - \hat{V}_1 \quad (5b)$$

$$\hat{V}_2 = (103.3 - 100) = 3,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \quad (5c)$$

Benytter ideell gasslov for å beregne mengde damp avgitt til den tørre luften:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{H}_2\text{O}} \cdot n_{\text{H}_2\text{O}} \quad (6a)$$

$$= M_{\text{H}_2\text{O}} \frac{p_{\text{H}_2\text{O}} V_{\text{H}_2\text{O}}}{RT} \quad (6b)$$

$$= 18 \text{ g mol}^{-1} \cdot \frac{10^5 \text{ Pa} \cdot 3,3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}}{8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 298 \text{ K}} \quad (6c)$$

$$= 2400 \text{ g h}^{-1} = \underline{2,4 \text{ kg h}^{-1}} \quad (6d)$$

- d) Fra et kvalitativt synspunkt vil vannopptaket i  $\text{mol h}^{-1}$  være omtrent uendret. Vannmengden inn på luftfukteren er gitt ved ligning (2),  $x_{\text{H}_2\text{O}}^{\hat{n}_3}$  synker med en faktor på 2, mens  $\hat{n}_3$  øker omtrent med en faktor på 2. Det passerer på massebasis dobbelt så mye luft gjennom luftfukteren. Det vil si at strøm 3 er dobbelt så stor, mens molfraksjonen av vann er ca. halvparten av tidligere pga. trykkøkningen. Masseopptaket av vann vil derfor være omtrent konstant. Fra et kvantitativt synspunkt kan den virkelige forskjellen beregnes. Stjernen betegner verdier *etter* trykkøkningen.

$$\hat{n}_1^* = 2\hat{n}_1 \quad (7)$$

Fra massebalansen,  $\hat{n}_1 + \hat{n}_2 = \hat{n}_3$ , og komponentbalansen for vann,  $\hat{n}_2 = x_{\text{H}_2\text{O}}^{\hat{n}_3} \hat{n}_3$ , kan utstrømmen uttrykkes:

$$\hat{n}_3^* = \frac{\hat{n}_1^*}{1 - x_{\text{H}_2\text{O}}^*} = \frac{\hat{n}_1^*}{1 - \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}^*}{p_{\text{tot}}^*}} \quad (8)$$

hvor  $x_{\text{H}_2\text{O}}^*$  er molfraksjon av vann i strøm 3. Forholdet mellom gammel og ny utstrøm blir (legg merke til forskjellen mellom ligning (9b) og ligning (9c)):

$$\delta \hat{n}_3 = \frac{\hat{n}_3^*}{\hat{n}_3} = \frac{\frac{1}{1 - \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{2 \cdot p_{\text{tot}}}}}{\frac{1}{1 - \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{tot}}}}} \cdot \frac{\hat{n}_1^*}{\hat{n}_1} \quad (9a)$$

$$= \frac{\frac{1}{1 - \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{2 \cdot p_{\text{tot}}}}}{\frac{1}{1 - \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{tot}}}}} \cdot \frac{2 \cdot \hat{n}_1}{\hat{n}_1} \quad (9b)$$

$$= 2 \cdot \frac{1 - \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{p_{\text{tot}}}}{1 - \frac{p_{\text{H}_2\text{O}}}{2 \cdot p_{\text{tot}}}} \quad (9c)$$

$$= \underline{1.9678} \quad (9d)$$

Forskjellen i økning i vannopptak og økning i luftstrøm blir derfor:

$$\frac{\delta \hat{n}_1}{\delta \hat{n}_3} = \frac{2}{1.9678} = 1.0164 = \underline{1.64\%} \quad (10)$$

Økningen i vannopptaket er 1,64 % lavere enn økningen i luftstrømmen.

- 2 a) Massebalanse over hele kolonna og komponentbalanser for olje (*o*), benzen (*b*) og luft (*l*) er gitt i ligning (11)

$$\hat{m}_1 + \hat{m}_2 = \hat{m}_3 + \hat{m}_4 \quad (11a)$$

$$\hat{m}_1 \omega_1^o = \hat{m}_3 \omega_3^o \quad (11b)$$

$$\hat{m}_2 \omega_2^b = \hat{m}_3 \omega_3^b + \hat{m}_4 \omega_4^b \quad (11c)$$

$$\hat{m}_2 \omega_2^l = \hat{m}_3 \omega_3^l \quad (11d)$$

$$(11e)$$

b) Løser deretter massebalansene ved tilbakesubstitusjon.

Luft:

$$\begin{aligned}\hat{m}_4 &= \frac{\omega_2^l}{\omega_4^l} \hat{m}_2 = \frac{0,96}{0,9999} \cdot 0,35 \text{ kg s}^{-1} \\ &= \underline{0,3360 \text{ kg s}^{-1}}\end{aligned}$$

Benzen:

$$\begin{aligned}\hat{m}_3 &= \frac{\omega_2^b \hat{m}_2 - \omega_4^b \hat{m}_4}{\omega_3^b} = \frac{(0,04 \cdot 0,35 - 10^{-4} \cdot 0,336) \text{ kg s}^{-1}}{0,01} \\ &= \underline{1,397 \text{ kg s}^{-1}}\end{aligned}$$

Olje:

$$\begin{aligned}\hat{m}_1 &= \frac{\omega_3^o \hat{m}_3}{\omega_1^o} = \frac{0,99 \cdot 1,397 \text{ kg s}^{-1}}{1} \\ &= \underline{1,383 \text{ kg s}^{-1}}\end{aligned}$$

Sjekker med total massebalanse for å se at tallene stemmer:

$$\left. \begin{aligned}\hat{m}_1 + \hat{m}_2 &= (1,383 + 0,35) \text{ kg s}^{-1} = 1,733 \text{ kg s}^{-1} \\ \hat{m}_3 + \hat{m}_4 &= (1,397 + 0,3360) \text{ kg s}^{-1} = 1,733 \text{ kg s}^{-1}\end{aligned} \right\} \rightarrow \text{OK!}$$

- 3** a) 1000 kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.  $M_{\text{C}_2\text{H}_4} = 28,1 \text{ g mol}^{-1}$ . Vi antar at forbindelsen kan beskrives ved ideell gasslov.

$$n_{\text{C}_2\text{H}_4} = \frac{10^6 \text{ g}}{28,1 \text{ g mol}^{-1}} = 3,559 \cdot 10^4 \text{ mol} \quad (12)$$

$$n_{\text{O}_2} = 3n_{\text{C}_2\text{H}_4} = 1,068 \cdot 10^5 \text{ mol} \quad (13)$$

Antall mol luft brukt ( $x_{\text{O}_2} = 0,21$ )

$$n_{\text{luft}} = \frac{1,068 \cdot 10^5}{0,21} = 5,084 \cdot 10^5 \text{ mol} \quad (14a)$$

$$\rightarrow V_{\text{luft}} = \underline{12\,400 \text{ m}^3} \quad (14b)$$

Dette tilsvarer ca volumet av en av kjemiblokkene.

b) 1 mol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> gir 4 mol avgass (2 CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O).

$$n_{\text{avgass}} = 4 \cdot 3,559 \cdot 10^4 \text{ mol} = 1,423 \cdot 10^5 \text{ mol} \quad (15)$$

Antall mol N<sub>2</sub> inn:

$$n_{\text{luft}} x_{\text{N}_2} = 5,084 \cdot 10^5 \cdot 0,79 \text{ mol} = 4,016 \cdot 10^5 \text{ mol} \quad (16)$$

Totalt antall mol eksos blir da:

$$n_{\text{avgass totalt}} = 5,439 \cdot 10^5 \text{ mol} \quad (17)$$

Ved bruk av ideell gasslov og en ut-temperatur på 1173 K finner en at

$$V_{\text{avgass totalt}} = 58\,200 \text{ m}^3 \quad (18)$$