Øving 6. Løsningsforslag

Oppgave 1 (ideell gass).

Merk: Vi evaluerer her entalpidifferanser direkte (metode 2).

(a) Massebalansen gir at utstrømmen er $m_3 = 6$ kg/s. Energibalansen gir at $H_{\text{ut}} - H_{\text{inn}} = H_3 - H_1 - H_2 = 0$. Vi evaluerer direkte $H_{\text{ut}} - H_{\text{inn}}$ (metode 2) ved å summere følgende delprosesser:

1. Gassen avkjøles fra 100^{o}C til 3^{o}C (trykket har ingenting å si for ideell gass): $\Delta_1 H = m_1 c_{P,1}(T_3 - T_1) = 5kg/s \cdot 2kJ/kg\ K \cdot (-97)K = -970kJ/s$
2. Væsken oppvarmes fra -50^{o}C til 3^{o}C (effekten av trykkendringen neglisjeres for væske): $\Delta_2 H = m_2 c_{P,2}(T_3 - T_2) = 1kg/s \cdot 4.6kJ/kg\ K \cdot 53K = 244kJ/s$
3. Fraksjonen x av væsken m_2 fordampes, $\Delta_3 H = x m_2 \Delta_{\text{vap}} H = x \cdot 1kg/s \cdot 1250kJ/kg = x \cdot 1250kJ/s$.

Vi har da at

$$H_{\text{ut}} - H_{\text{inn}} = \Delta_1 H + \Delta_2 H + \Delta_3 H = 0$$

og vi finner at $x = (970 - 244)/1250 = 0.580$, dvs. mengden væske er $(1-x)m_1 = 0.42$ kg/s væskefraksjonen i strøm 3 er $f = (0.42kg/s)/(6kg/s) = 0.070$, dvs. fasefordelingen er 93.0% gass og 7.0% væske.

(b) Energibalansen her gir at $H_4 - H_3 = Q$. Vi har her at den resterende væsken fordampes, dvs.

$$H_4 - H_3 = f m_3 \Delta_{\text{vap}} H = 0.070 \cdot 6kg/s \cdot 1250kJ/kg = 525kJ/s$$

dvs. det må tilføres 525 kW.

(c) Trykkavspenning fra 5 bar til 1 bar. Her gjelder at $H_5 = H_4$ og siden entalpien for ideell gass er uavhengig av trykket følger at $T_5 = T_4 = 3^o$C. (d) (i) Energibalansen på varm side (vannsiden) gir at $Q = mc_P \Delta_h T = m \cdot 4.2kJ/kg\ K \cdot 30K = 525kJ/s$ og vi finner at vannmengden er $m = 4.17$ kg/s. (ii) Merk at temperurprofilet ikke er en rett linje slik man kanskje skulle tro (temperaturen faller nemlig raskest der vannet kommer inn siden varmeoverføringen her er best). (iii). Det er ikke noen forskjell mellom med- og motstrøm her siden temperaturen på den ene siden er konstant. (iv) Logaritmisk midlere temperaturforskjell er $\Delta T_{lm} = (47 - 17)\ \ln(47/17) = 29.5$ K, og vi får at $A = Q/A\Delta_{lm}T = 525 \cdot 10^3/(500 \cdot 29.5) = 35.6m^2$.

Oppgave 2 (reeell gass: ammoniakk)

Vi bruker her absolutte entalpier (metode 1) ved entalpiberegningene med referanse mettet ammoniakk ved 0^{o}C der $H = 100$ kJ/kg (se $p-H$-diagrammet for ammoniakk). Notasjon: H angir entalpi [J] og h angir spesifikk entalpi [J/kg].

(a) Energibalansen gir at $H_3 = H_2 + H_1$. Av diagrammet avleser vi $h_1 = 1582$ kJ/kg (gass ved 100^{o}C og 10 bar) og $h_2 = -120$kJ/kg (væske ved -50^{o}C). Videre er $h_3 = f h_3(l) + (1-f)h_3(g)$ der $h_3(g) = 1365$ kJ/kg (gass ved 3^{o}C og 5 bar) og $h_3(l) = 120$ kJ/kg (væske ved 3^{o}C). Energibalansen $m_3 h_3 = m_2 h_2 + m_1 h_1$ gir da at væskefraksjonen er $f = 0.054$, dvs. fasefordelingen er 94.6% gass og 5.4% væske. (Vi kunne også benyttet metode 1 med $\Delta_1 H = 5kg/s \cdot (1365 - 1582)kJ/kg = -1085kJ/s$, $\Delta_2 H = 1kg/s \cdot 240kJ/kg = 240kJ/s$ og $\Delta_{\text{vap}} H = H_3(g) - H_3(l) = 1365 - 120 = 1245$ kJ/kg, som gir $x = (1085 - 240)/1245 = 0.679$ og $f = (1 - 0.679)/6 = 0.054$).

(b) Fordampning av resterende væske. Vi får $Q = H_4 - H_3 = (1-f)m_3 \Delta_{\text{vap}} H = 0.0054 \cdot 6kg/s \cdot 1245kJ/kg = 400kJ/s$, dvs. det må tilføres 400 kW. (*Kontroll*: Vi kan også finne dette fra den “totale” energibalansen (merk her at $h_4 = h_3(g)$): $Q = H_4 - H_1 - H_2 = 6kg/s \cdot 1365kJ/kg - 5kg/s \cdot 1582kJ/kg - 1kg/s \cdot (-120)kJ/kg = 400$ kJ/s.

(c) Trykkavspenning. Vi følger linje nedover for konstant entalpi og avleser at temperaturen etter avspenningen fra 5 bar til 1 bar har falt fra 3 ^{o}C (T_4) til ca. -11^{o}C (T_5).