

1. Relativní vlhkost vzduchu

Suchý teploměr ukazuje 23 °C, vlhký 18.7 °C. Jaká je relativní vlhkost vzduchu?

%LL

$$t_0 \text{ kPa} = -1.5$$

$$p_{s18} = 0.0020647 \text{ [MPa]} = 2.065 \text{ kPa}$$

$$p_{s19} = 0.0021983 \text{ [MPa]} = 2.198 \text{ kPa}$$

$$p_{s23} = 0.0028111 \text{ [MPa]} = 2.811 \text{ kPa}$$

$$p_{sx} = 0.3 * p_{s18} + 0.7 * p_{s19} = 2.158 \text{ kPa} \quad \text{pákové pravidlo}$$

$$p_{sx} = p_{s18} + 0.7 / (19 - 18) * (p_{s19} - p_{s18}) = 2.158 \text{ kPa} \quad \text{lineární interpolace}$$

$$\eta = p_{sx} / p_{s23} = 0.7677$$

2. *Vysoušení vzduchu

Vlhký dusík (50% vlhkost za teploty 50 °C) prochází směsí vody a ledu. Vypočtěte, kolik % vodní páry zkondenzuje. Tlak je 1 bar.

%T6

$$p_{s50} = 0.012352 \text{ [MPa]} = 12.35 \text{ kPa}$$

$$p_{50} = p_{s50} / 2 = 6.176 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 50 \text{ °C} = 323.1 \text{ K}$$

$$p = 1 \text{ [bar]} = 100 \text{ kPa}$$

$$p_{\text{dusik}} = p - p_{50} = 93.82 \text{ kPa}$$

$$V = 1 \text{ [L]} = 0.001 \text{ m}^3 \quad \text{libovolný objem}$$

$$n_{\text{voda2}} = p_{50} * V / R / T_2 = 0.002299 \text{ mol}$$

$$n_{\text{dusik2}} = (p - p_{50}) * V / R / T_2 = 0.03492 \text{ mol}$$

$$T_1 = 0 \text{ °C} = 273.1 \text{ K}$$

$$p_0 = 0.000611 \text{ [MPa]} = 0.611 \text{ kPa} \quad \text{přibližně}$$

$$n_{\text{dusik1}} = n_{\text{dusik2}} = 0.03492 \text{ mol}$$

$$\text{počítáme vodu, která zbyde v páře: } n_{\text{voda1}} : n_{\text{dusik1}} = p_{\text{voda1}} : p_{\text{dusik1}}$$

$$n_{\text{voda1}} = n_{\text{dusik2}} * p_0 / (p - p_0) = 0.0002147 \text{ mol} \quad p_{\text{dusik1}} = p - p_0$$

$$(n_{\text{voda2}} - n_{\text{voda1}}) / n_{\text{voda2}} * 100 = 90.66 \quad \% \text{ zkondenzuje}$$

Tlak par nad ideálním roztokem – Raoultův zákon:

$$p_i = p y_i = x_i p_i^s \quad \Rightarrow \quad p = \sum_i x_i p_i^s$$

molární zlomek složky i v kapalně fázi = x_i , v plynné fázi = y_i **3. Výpočet tlaku a složení parní fáze**

Na základě dále uvedených teplotních závislostí tlaků nasycených par benzenu (1) a toluenu (2) a za předpokladu platnosti Raoultova zákona vypočtěte tlak par a složení parní fáze nad roztokem obsahujícím 60 mol.% benzenu, který vře při teplotě 90 °C.

Data [kPa, °C]:

$$\ln p_1^s = 13.88581 - 2788.5 / (t + 220.8),$$

$$\ln p_2^s = 13.99562 - 3094.5 / (t + 219.4).$$

$$p_1^s = 136.16 \text{ kPa}, p_2^s = 54.27 \text{ kPa}, p = 103.44 \text{ kPa}, y_1 = 0.790$$

$$\text{def } p_{1s} = \exp(13.88581 - 2788.5 / (T - TC + 220.8)) * 1 \text{ [kPa]} = (\text{defined})$$

$$\text{def } p_{2s} = \exp(13.99562 - 3094.5 / (T - TC + 219.4)) * 1 \text{ [kPa]} = (\text{defined})$$

$$T = 90 \text{ °C} = 363.1 \text{ K}$$

$$x_1 = 0.6 = 0.6$$

$$x_2 = 1 - x_1 = 0.4$$

$p_{1s} = 136.2 \text{ kPa}$
 $p_{2s} = 54.27 \text{ kPa}$
 $p = x_1 \cdot p_{1s} + x_2 \cdot p_{2s} = 103.4 \text{ kPa}$
 $y_1 = x_1 \cdot p_{1s} / p = 0.7901$
 $y_2 = x_2 \cdot p_{2s} / p = 0.2099$

4. Výpočet tlaku a složení kapalné fáze

Na základě dat z příkladu 3 vypočtete rosný tlak a složení rovnovážné kapalné fáze u směsi, která začne kondenzovat při teplotě 90 °C, je-li složení plynné fáze 60 % benzenu (1) a 40 % toluenu (2).

$$d = 84.91 \text{ kPa}, x_1 = 0.3742$$

$y_1 = 0.6 = 0.6$
 $y_2 = 1 - y_1 = 0.4$
 $p = 1 / (y_1 / p_{1s} + y_2 / p_{2s}) = 84.91 \text{ kPa}$
 $x_1 = y_1 \cdot p / p_{1s} = 0.3742$

5. Výpočet složení obou fází

Na základě dat z příkladu 3 vypočtete složení kapalné a parní fáze, které jsou v rovnováze při teplotě 90 °C a tlaku 100 kPa.

$$x_1 = 0.5584, y_1 = 0.7604$$

rovnice $x_1 \cdot p_{1s} + (1 - x_1) \cdot p_{2s} = p$
 $p = 100 \text{ [kPa]} = 100 \text{ kPa}$
 $x_1 = (p - p_{2s}) / (p_{1s} - p_{2s}) = 0.5584$
 $y_1 = x_1 \cdot p_{1s} / p = 0.7604$

6. *Výpočet teploty a složení parní fáze

Na základě dat z příkladu 3 vypočtete teplotu a složení parní fáze odpovídající varu kapalné směsi, která obsahuje 60 mol. % benzenu (1) a 40 mol. % toluenu (2) za tlaku 100 kPa.

$$T = 162.0 \text{ } ^\circ\text{C}, x_1 = 0.688$$

rovnice $x_1 \cdot p_{1s} + (1 - x_1) \cdot p_{2s} = p$, kde p_{1s} a p_{2s} jsou funkcemi t resp. T
 $x_1 = 0.6 = 0.6$
 $x_2 = 1 - x_1 = 0.4$
 $\text{solve } T = 400 \text{ [K]} \quad x_1 \cdot p_{1s} + (1 - x_1) \cdot p_{2s} - p = 362 \text{ K}$
 $T - T_C = 88.87 \text{ K } ^\circ\text{C}$
 $\text{undef } p_{1s} = (\text{undefined})$
 $\text{undef } p_{2s} = (\text{undefined})$

Tlak par nad směsí nemísitelných kapalin

$$p_i = p_i^s \quad \Rightarrow \quad p = \sum_i p_i^s$$

7. Přehánění s vodní parou – výpočet složení destilátu

Nemísitelné kapaliny voda (1) a chlorbenzen (2) destilovaly za teploty 90.3 °C. Při této teplotě jsou tlaky nasycených par čisté vody 70 kPa a čistého chlorbenzenu 28 kPa. Určete molární a hmotnostní zlomek chlorbenzenu v páře a atmosférický tlak v době, kdy probíhal experiment. $M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) = 112.5 \text{ g mol}^{-1}$.

$$p = 98 \text{ kPa}, \quad y_2 = 0.286, \quad w_2 = 0.714$$

$$p_1 = 70 \text{ [kPa]} = 70 \text{ kPa}$$

$$p_2 = 28 \text{ [kPa]} = 28 \text{ kPa}$$

$$p = p_1 + p_2 = 98 \text{ kPa}$$

$$y_2 = p_2 / p = 0.2857$$

$$y_1 = 1 - y_2 = 0.7143$$

$$w_2 = y_2 \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}) / (y_1 \cdot M(\text{H}_2\text{O}) + y_2 \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl})) = 0.7142$$

$$w_1 = 1 - w_2 = 0.2858$$

8. Diagram VLE

Analyzujte fázový diagram směsi methanolu a cyklohexanu. Použijte model NRTL.

- Jaká je teplota varu cyklohexanu?
- Kolik fází je za teploty 30 °C ve směsi vzniklé smícháním 1 mol methanolu a 3 mol cyklohexanu?
- Jaké je složení fáze/fází?
- Směs budeme pomalu ohřívat. Při jaké teplotě se změní počet fází?
- Směs budeme dále ohřívat, až se začne vařit. Při jaké teplotě?
- Jaké bude složení parní fáze?
- Jaký je rosný bod plyné směsi obsahující 87 % methanolu a 13 % cyklohexanu?
- Jaké je složení kondenzátu?

a) 81 °C; b) 2; c) 15.5% MeOH, 80% MeOH; d) 40 °C; e) 55.5 °C; f) 61% MeOH; g) 62.5 °C; h) 98% MeOH

