

Primer 1: Z diferencialno destilacijo destiliramo zmes etanol - voda. 500 kg zmesi s sestavo 5 ut.% destiliramo toliko časa, da destilacijski ostanek vsebuje še 0.5 ut.% etanola. Kakšna sta masa in sestava destilata? Ravnotežni podatki so priloženi v tabeli:

x (ut.)	y (ut.)	Tvr (°C)
1	6.5	98
3	21.5	96
5	37	92

Rayleighova enačba : $\ln \frac{m}{m_0} = \int_{x_0}^x \frac{dx}{(y-x)}$

(predpostavimo idealno zmes $x \rightarrow 0, y = c \cdot x$)

Rešitev:

$$m_0 = 500 \text{ kg}$$

$$x_0 = 0.05$$

$$y = c \cdot x$$

$$y = 7 \cdot x$$

$$6.5 = c \cdot 1 \rightarrow c = 6.5$$

$$21.5 = c \cdot 3 \rightarrow c = 7.1$$

$$37 = c \cdot 5 \rightarrow c = 7.4$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} c=7$$

$$\ln \frac{m}{m_0} = \int_{x_0}^x \frac{dx}{(7x-x)} = \int_{x_0}^x \frac{dx}{6x} = \frac{1}{6} \cdot (\ln x - \ln x_0)$$

$$\ln \frac{m}{m_0} = \frac{1}{6} \cdot \ln \frac{0.5}{5} = -0.384$$

$$\frac{m}{m_0} = e^{-0.384}$$

$$m = m_0 \cdot e^{-0.384} = 340.6 \text{ kg}$$

Masna bilanca:

$$m_0 = m + m_D \rightarrow m_D = 500 - 340.6 = 159.4 \text{ kg}$$

$$m_0 x_{ut0} = m x_{ut} + m_D X_{utD}$$

$$x_D = 0.145$$

$$x_D = \frac{m_0 \cdot x_0 - m \cdot x}{m_D} = \frac{500 \cdot 0.05 - 340.6 \cdot 0.005}{159.4}$$

Primer 2: Z diferencialno destilacijo smo ločevali vodno raztopino etanola, ki je vsebovala **20 mol %** hlapnejše komponente. Začetna masa raztopine je bila **1.5 kg**. Vodna raztopina je ob koncu destilacije vsebovala še **5 mol %** hlapnejše komponente. V koncentracijskem območju destilacije (molski deleži) je vrednost Rayleighovega integrala znašala **0.44**. Izračunajte maso in sestavo destilata ob koncu destilacije.

$$M_{\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}} = 46 \text{ g/mol in } M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}$$

Rešitev:

ploščina Rayleigh-ovega integrala, kadar sestave izrazimo v molskih deležih predstavlja logaritemsko razmerje množin

Izračunamo začetno množino:

$$n_0 = \frac{m_0}{M_0} = \frac{1500\text{g}}{23.6\frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 63.65 \text{ mol}$$

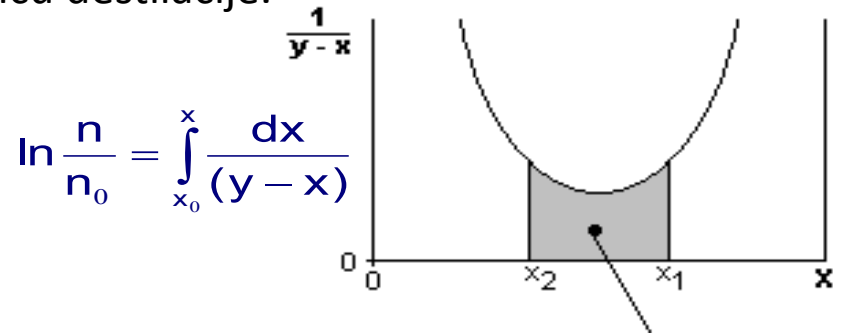
Povprečna molska masa:

$$M_0 = 0.2 \cdot 46 + 0.8 \cdot 18 = 23.6 \text{ g/mol}$$

$$M = 0.05 \cdot 46 + 0.95 \cdot 18 = 19.4 \text{ g/mol}$$

$$m = n \cdot M = 40.93 \cdot 19.4 = 794 \text{ g}$$

$$m_D = m_0 - m = 1500 - 794 = 706\text{g}$$



površina = $\ln(n/n_0) = -0.44$ ko sta x in y molska deleža

$$\ln \frac{n}{n_0} = -0.44$$

$$n = n_0 \cdot e^{-0.44}$$

$$n = 63.56 \cdot e^{-0.44} = 40.93 \text{ mol}$$

$$n_D = n_0 - n = 63.56 - 40.93 = 22.62$$

$$x_D = \frac{n_0 \cdot x_0 - n \cdot x}{n_D} = \frac{63.56 \cdot 0.2 - 40.93 \cdot 0.05}{22.62} = 0.47$$

Primer 3: Vodno raztopino etanola šaržno destiliramo toliko časa, da v kotlu ostane 1/3 začetne mase. Začetna masa raztopine, ki je vsebovala 20 mol% etanola je bila 1.5 kg. Kakšni sta bili masa in sestava destilata, če lahko v koncentracijskem območju destilacije utežno sestavo hlapov izrazimo z linearno zvezo: $y = 2.5x$. Kakšna bi bila sestava destilata, če bi isto raztopino etanola destilirali toliko časa, da bi v kotlu ostala polovica začetne mase, pri tem pa bi utežno sestavo hlapov izrazili z isto linearno zvezo? ($M_{\text{etanola}} = 46\text{g/mol}$, $M_{\text{vode}} = 18\text{g/mol}$)

Rešitev: (a) masa in sestava destilata:

Poiskati je treba koncentracijo etanola v kotlu ob koncu destilacije: uporabimo Rayleighov integral

$$\ln \frac{m}{m_0} = \int_{x_0}^x \frac{dx}{(y-x)} = \int_{x_0}^x \frac{dx}{(2.5x-x)} = \frac{1}{1.5} \int_{x_0}^x \frac{dx}{x}$$

$$\ln \frac{m}{m_0} = \frac{1}{1.5} \cdot \ln \frac{x}{x_0}$$

Masna bilanca: $m = (1/3) \cdot m_0 = 1.5/3 = 0.5 \text{ kg}$ $m_D = m_0 - m = 1 \text{ kg}$

$$1.5 \cdot \ln \frac{0.5}{1.5} = \ln \frac{x}{x_0} = -1.65$$

Koncentracija je izražena v utežnih deležih: molske deleže je treba spremeniti v utežne

$$x_{\text{ut.}} = \frac{X_i \cdot M_i}{\sum X_i \cdot M_i} = \frac{46 \cdot 0.2}{(46 \cdot 0.2 + 18 \cdot 0.8)} = 0.39 \quad \ln \frac{x}{0.39} = -1.65 \Rightarrow x = 0.39 \cdot e^{-1.65} = 0.075$$

Primer 3

Sestava destilata: dobimo iz masne bilance:

$$x_D = \frac{m_0 \cdot x_0 - m \cdot x}{m_D} = \frac{1.5 \cdot 0.39 - 0.5 \cdot 0.075}{(1.5 - 0.5)} = 0.55$$

(b): če v kotlu ostane polovica začetne mase in upoštevamo enako zvezo med x in x velja:

$$m = 1/m_0 = 0.75 \text{ kg} = m_D$$

$$\ln \frac{m}{m_0} = \frac{1}{1.5} \cdot \ln \frac{x}{x_0}$$

$$1.5 \cdot \ln \frac{0.75}{1.5} = \ln \frac{x}{0.39} = -1.039$$

$$x/x_0 = 0.35 \text{ in } x = 0.138$$

$$x_D = \frac{m_0 \cdot x_0 - m \cdot x}{m_D} = \frac{1.5 \cdot 0.39 - 0.75 \cdot 0.138}{0.75} = 0.642$$

Primer 1: V adiabatnem sušilniku osušimo material iz začetne vlažnosti $X_1 = 0.19$ na vlažnost $X_2 = 0.06$. Začetna vlažnost materiala je bila manjša od kritične vlažnosti, ki znaša 20 kg vlage na 100 kg sušine. Ravnotežna vlažnost materiala znaša 4 kg vlage na 100 kg sušine. Koliko časa je bilo potrebno sušiti, če sušilna hitrost pri istih pogojih v periodi konstantne sušilne hitrosti znaša $2 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$?

Perioda konstantne sušilne hitrosti:

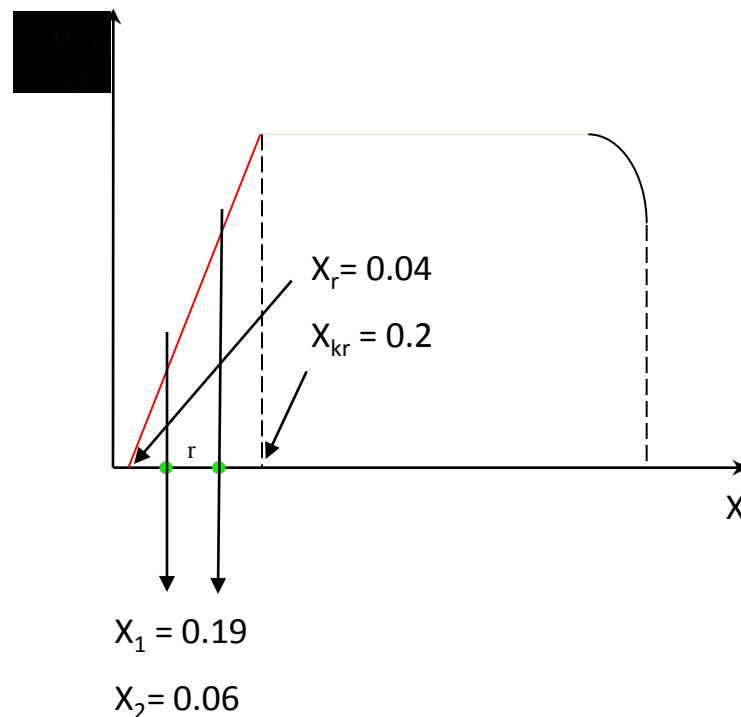
$$-\frac{dX}{dt} = -\frac{\Delta X}{\Delta t} = \text{Konst.} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

Perioda padajoče sušilne hitrosti:

$$-\frac{dX}{dt} = K(X - X_r)$$

$$K = \frac{-\left(\frac{dX}{dt}\right)_{\text{konst.}}}{X_{\text{kr}} - X_r} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ min}^{-1}}{0.2 - 0.04} = 0.0125 \text{ min}^{-1}$$

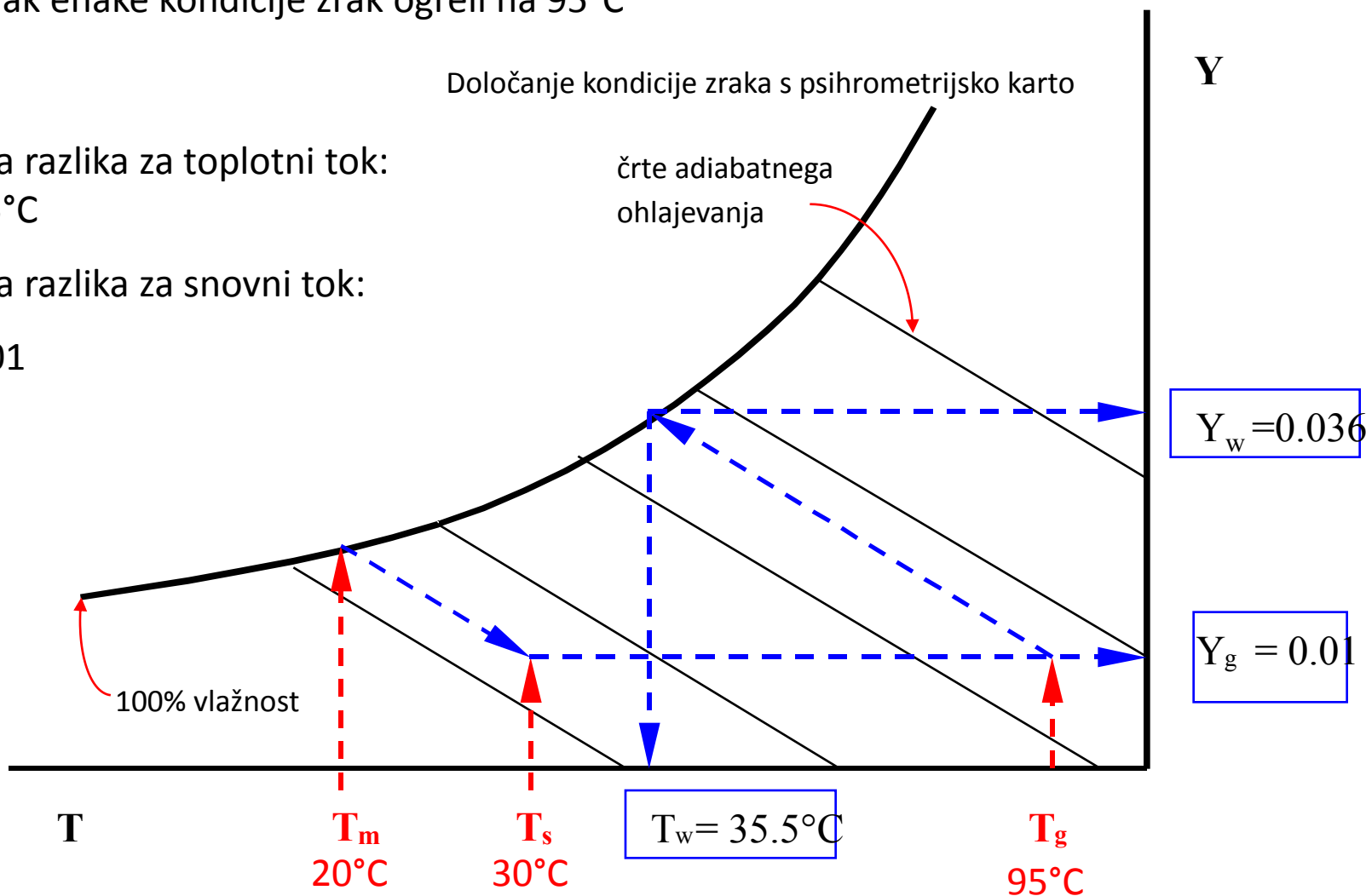
$$t = \frac{1}{K} \cdot \ln \frac{X_1 - X_r}{X_2 - X_r} = \frac{1}{0.0125} \cdot \ln \frac{0.19 - 0.04}{0.06 - 0.04} = 161.2 \text{ min} = 2.7 \text{ h}$$



Primer 2: S psihrometrom smo izmerili temperaturi mokrega in suhega termometra: $T_m = 20^\circ\text{C}$ in $T_s = 30^\circ\text{C}$. S pomočjo priložene psihrometrične karte določite vlažnost zraka in potencialni razliki za snovni in toplotni tok, če bi pri sušenju materiala v komornem sušilniku zrak enake kondicije zrak ogreli na 95°C

Potencialna razlika za toplotni tok:
 $95^\circ\text{C} - 35.5^\circ\text{C}$

Potencialna razlika za snovni tok:
 $0.036 - 0.01$



Primer 3: Na kako veliko površino moramo razprostreti **100 kg vlažne snovi** z začetno vlažnostjo $X_0 = 0.2$, če jo želimo v 5 urah osušiti na 15 % začetne vlažnosti pri **80°C**. V tem območju vlažnosti snovi sušenje poteka v periodi konstante sušilne. Kondicijo zraka smo določili s psihrometrom: $T_m = 17.5 \text{ °C}$, $T_s = 25 \text{ °C}$. Koliko znaša pri teh pogojih koeficient snovnega prestopa ($\text{kg/m}^2\text{s}$), če je koeficient toplotnega prestopa **25 W/m²K**. Izparilna entalpija vode pri temperaturi mokrega termometra v sušilniku je **2425 kJ/kg**.

Rešitev:

$$X_0 = 0.2 \Rightarrow X = 0.02 \cdot 0.15 = 0.03$$

(a) psihrometer, podatki iz karte:

$$T_m = 17.5 \text{ °C}; T_s = 25 \text{ °C}$$

$$Y_g = 0.008; Y_w = 0.028$$

(b) Snovni tok:

$$w = \left[\frac{\Delta X}{\Delta t} \right]_{\text{konst}} \cdot m_{ss} = \left[\frac{0.2 - 0.03}{5\text{h}} \right]_{\text{konst}} \cdot 83.3\text{kg} = 2.83 \text{ kg/h}$$

masa suhe snovi:

$$m_{vs} = m_{ss} + m_v$$

$$X = \frac{m_v}{m_{ss}}$$

$$m_{vs} = m_{ss} + X \cdot m_{ss} = m_{ss} \cdot (1 + X)$$

$$m_{ss} = \frac{m_{vs}}{1 + X} = \frac{100 \text{ kg}}{1 + 0.2} = 83.33 \text{ kg}$$

(c) toplotni tok: $q = h \cdot A(T_g - T_w) = w \cdot \Delta H_{\text{izp}}$

$$q = (2.83/3600) \text{ kg/s} \cdot 2425 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$$

$$q = 1908 \text{ J/s oz. W}$$

Primer 3: Na kako veliko površino moramo razprostreti 100 kg vlažne snovi

$$q = h \cdot A \cdot (T_g - T_w)$$

$$A = \frac{q}{h \cdot (T_g - T_w)}$$

$$A = \frac{1909 \text{ W}}{25 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot (80 - 31.5) \text{ K}} = 1.57 \text{ m}^2$$

Koliko znaša pri teh pogojih koeficient snovnega prestopa (kg/m²s),

$$w = k_y \cdot A \cdot (Y_w - Y_g)$$

$$k_y = \frac{w}{A \cdot (Y_w - Y_g)}$$

$$k_y = \frac{7.87 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}}{1.57 \text{ m}^2 \cdot (0.028 - 0.008)} = 25 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

Primer 4: Material se je v 5 urah osušil od 25 na 10 kg vlage / 200 kg sušine. Začetna vlažnost materiala je bila manjša od kritične vlažnosti (sušimo v periodi padajoče sušilne hitrosti). Ravnotežna vlažnost materiala znaša $X_r = 0.03$. Koliko časa je potrebno sušiti, da se material pri istih pogojih osuši na 16 kg vlage / 200 kg sušine?

$$X_1 = 25 \text{ kg vl./200kg suš.} = 0.125$$

$$X_2 = 10 \text{ kg vl./200kg suš.} = 0.05$$

$$X_r = 0.03$$

$$X_3 = 16 \text{ kg vl./200kg suš.} = 0.08$$

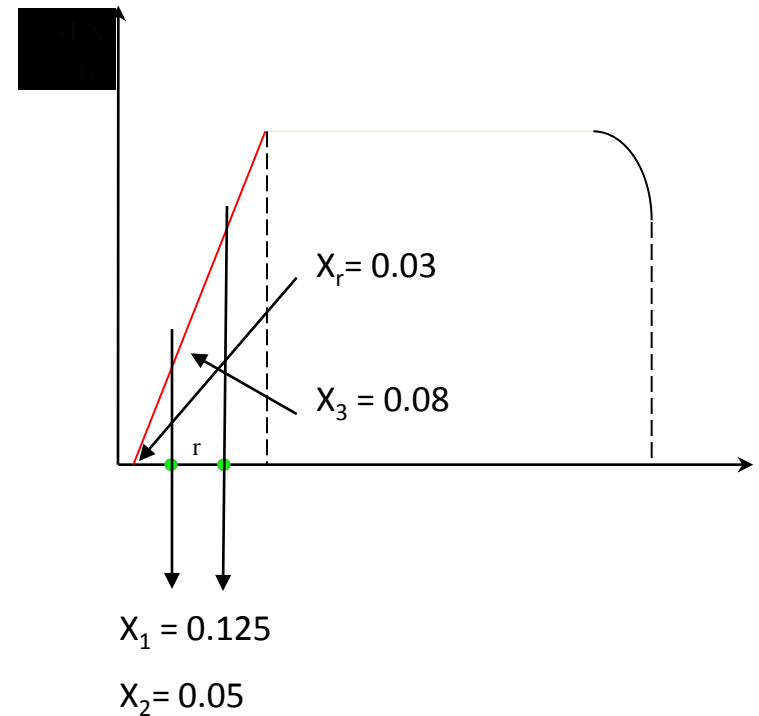
Perioda padajoče sušilne hitrosti:

$$-\frac{dX}{dt} = K(X - X_r)$$

$$\int_0^t dt = \frac{1}{K} \cdot \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{(x - x_r)}$$

$$K = \frac{1}{t} \cdot \ln \frac{x_1 - x_r}{x_2 - x_r} = \frac{1}{5} \cdot \ln \frac{0.125 - 0.03}{0.05 - 0.03} = 0.3116 \text{ h}^{-1}$$

$$t = \frac{1}{K} \cdot \ln \frac{x_1 - x_r}{x_2 - x_r} = \frac{1}{0.3116 \text{ h}^{-1}} \cdot \ln \frac{0.125 - 0.03}{0.08 - 0.03} = 2.06 \text{ h} = 123.6 \text{ min}$$



Primer 5: V tunelskem sušilniku površine 1m^2 sušimo 100 kg vlažnega materiala pri pogojih adiabatnega sušenja. Material se v 4 urah osuši iz začetne vlažnosti $X_0 = 0.25$ na vlažnost $X = 0.05$, pri čemer se sušenje odvija v periodi konstantne sušilne hitrosti. Na katero temperaturo moramo ogreti 100% vlažen zrak pri 25°C , če je ocenjena snovna prestopnost skozi film pri uporabljenem pretoku zraka $k_y = 37\text{g}/\text{m}^2\text{s}$?

(pomagajte si s psihromerijsko karto)

Snovni tok:

$$w = \left[\frac{\Delta X}{\Delta t} \right]_{\text{konst}} \cdot m_{\text{ss}} \quad m_{\text{ss}} = \frac{m_{\text{vs}}}{1 + X} \quad m_{\text{ss}} = \frac{100\text{ kg}}{1 + 0.25} = 80\text{ kg}$$

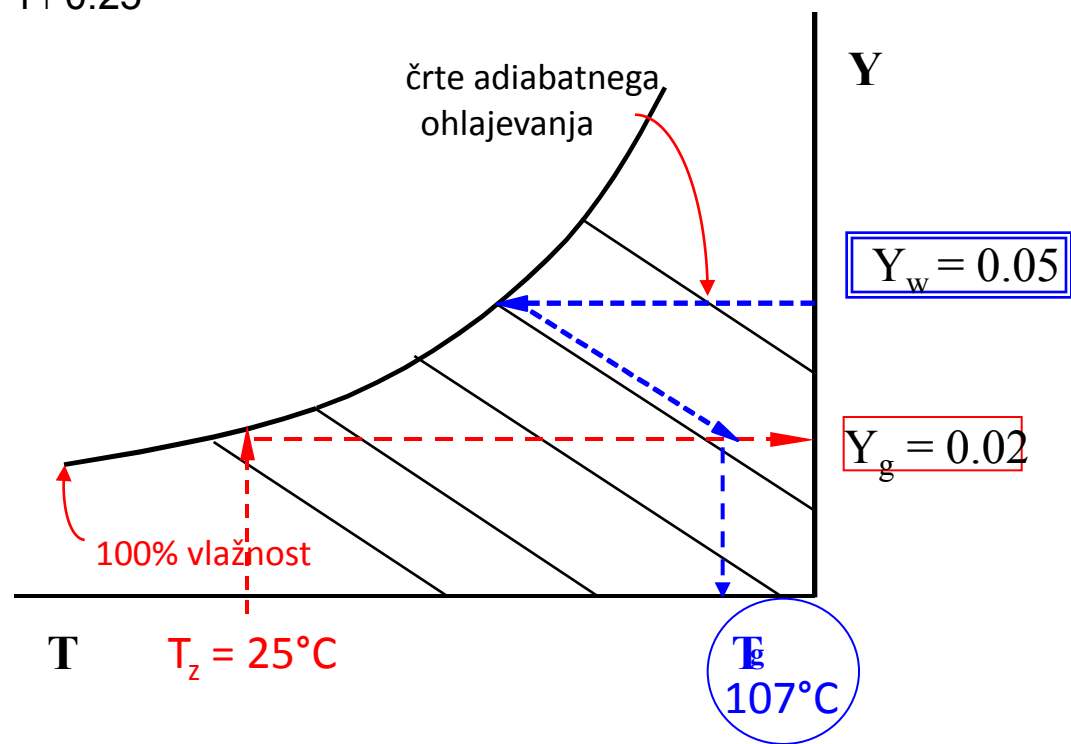
$$w = \left[\frac{0.25 - 0.05}{4\text{h}} \right]_{\text{konst}} \cdot 80\text{ kg} = 4\text{ kg/h}$$

$$w = k_y \cdot A \cdot (Y_w - Y_g)$$

$$(Y_w - Y_g) = \frac{w}{k_y \cdot A} = \frac{4000\text{ g} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}}{3600\text{s} \cdot 37\text{g} \cdot 1\text{m}^2} = 0.03$$

$$Y_w = \Delta Y + Y_g = 0.03 + Y_g$$

$$Y_w = 0.05$$



Primer 6: V adiabatnem komornem sušilniku s površino $(1.5 \times 1.5) \text{ m}^2$ želimo v periodi konstantne sušilne hitrosti v 6 urah osušiti 200 kg vlažne snovi iz začetne vlažnosti 0.25 do vlažnosti 0.03. Na kolikšno temperaturo moramo segreti zrak s 70% relativno vlažnostjo pri temperaturi 30°C , če je povprečna linearna hitrost zraka v sušilniku 3.8 m/s , njegova gostota 1 kg/m^3 , za izračun koeficienta snovnega prenosa pa upoštevamo naslednjo zvezo:

$$k_y = 0.01 (v \cdot \rho)^{0.8} \quad [\text{kg/m}^2\text{s}]$$

linearno hitrost zraka vstavimo v $[\text{m/s}]$, gostoto $[\text{kg/m}^3]$

$$m_{ss} = \frac{200 \text{ kg}}{1 + 0.25} = 160 \text{ kg}$$

$$k_y = 0.01 \cdot ((3.8 \text{ m/s}) \cdot (1 \text{ kg/m}^3))^{0.8} = 0.029 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$w = \left[\frac{\Delta X}{\Delta t} \right]_{\text{konst}} \cdot m_{ss}$$

$$w = \left[\frac{0.25 - 0.03}{6 \text{ h}} \right]_{\text{konst}} \cdot 160 \text{ kg} = 5.87 \text{ kg/h} = 1.63 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$$

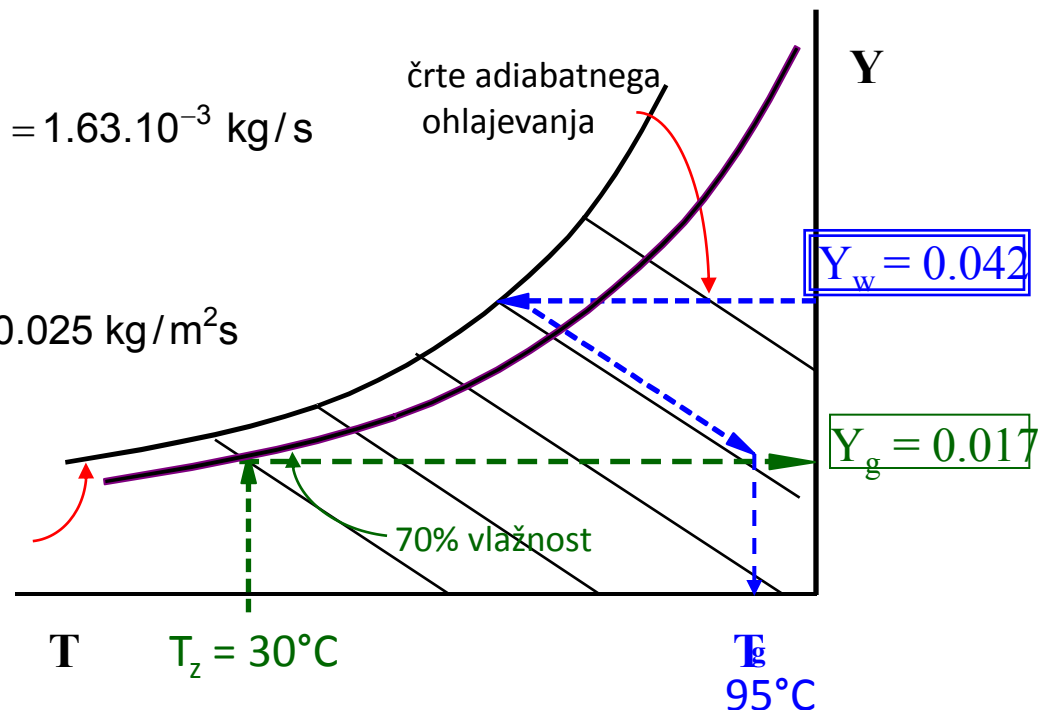
$$w = k_y \cdot A \cdot (Y_w - Y_g)$$

$$(Y_w - Y_g) = \frac{w}{k_y \cdot A} = \frac{1.63 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}}{\text{s} \cdot 0.029 \text{ kg} \cdot 1.5^2 \text{ m}^2} = 0.025 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$Y_w = \Delta Y + Y_g = 0.025 + 0.017$$

$$Y_w = 0.042$$

100% vlažnost



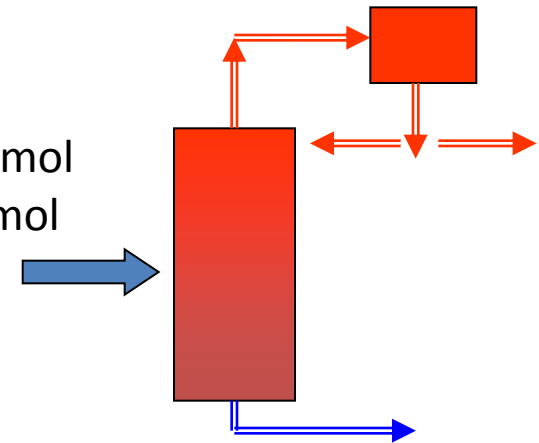
Primer 4 : Na rektifikacijski koloni s polnilom destiliramo vodno raztopino metanola in vode, ki vsebuje **30 mol % metanola**. Napajalni tok ($F=10 \text{ mol/s}$), vodimo v kolono pri temperaturi **65.8 °C**. Kolona obratuje pri refluksnem razmerju $R = 2$. Destilat, ki odteka s pretokom **2.9 mol/s vsebuje 91 mol % metanola**, destilacijski ostanek pa vsebuje še **5 mol % metanola**. Koliko znaša pretok destilacijskega ostanka. Kakšno je število teoretičnih prekatov in višinski ekvivalent reoretičnega prekata (HETP), če je višina kolone **1.5 m**? Ravnotežni diagram metanol - voda je priložen (na drugem listu).

Snovne lastnosti napajalnega toka:

Temperatura vrelišča napajalne raztopine je **78 °C**

c_p metanol: **94.4 J/mol K** r_i metanol: **34128 J/mol**

c_p voda: **75.4 J/mol K** r_i : voda : **42138 J/mol**



Rešitev:

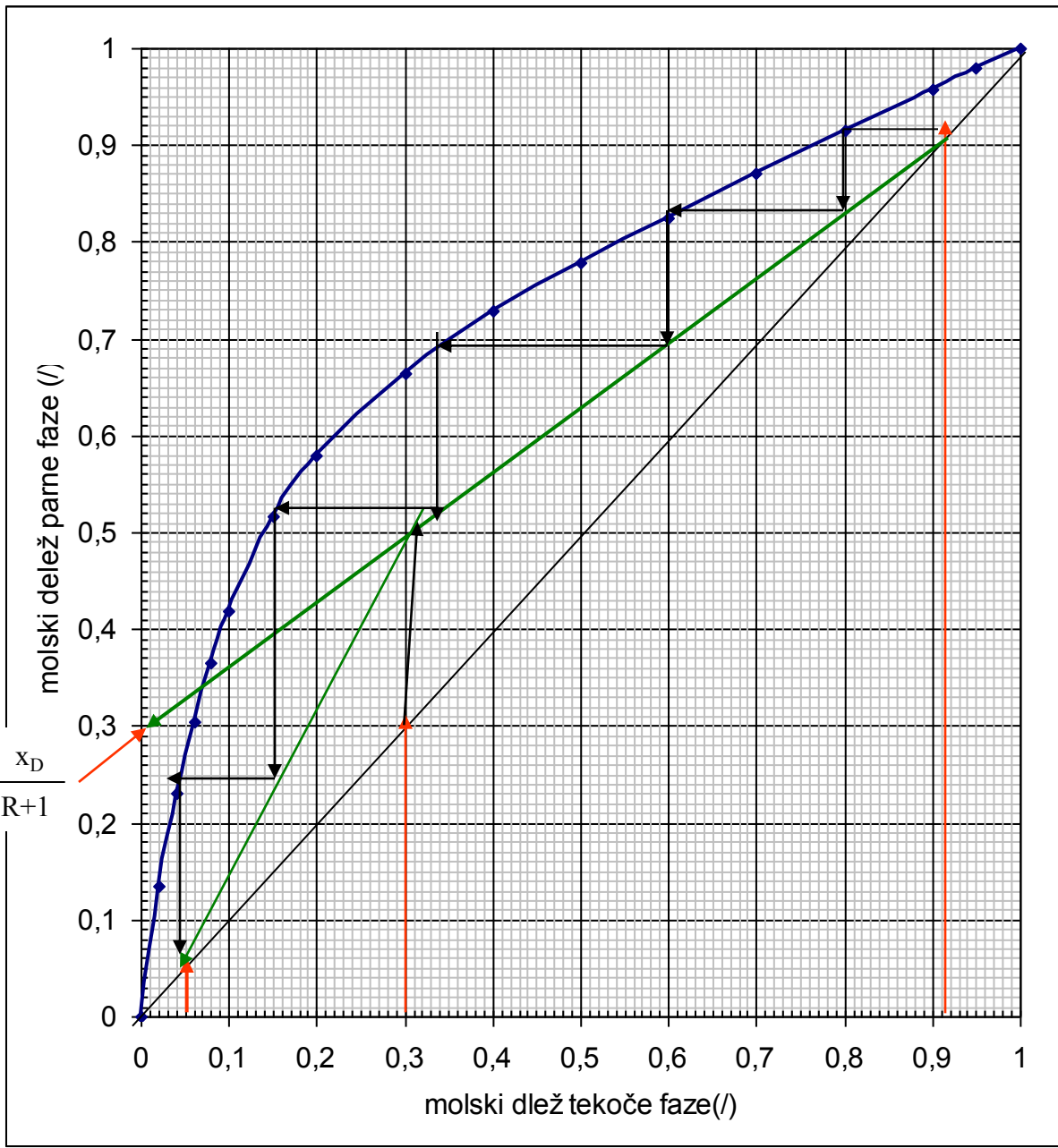
Masna bilanca: $F = W+D \rightarrow W = F - D = 10 - 2.9 = 7.1 \text{ mol/s}$

Število teoretičnih prekatov določimo grafično, po metodi Mc Cabe-Thiele:

Zgornja obratovna črta: $y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_D}{R+1}$

Naklon zgornje obratovne črte: $x = 0 \rightarrow y = x_D/(R+1) = 0.91/(2+1) = 0.3$

e-črta: $y = \frac{e}{e-1} x - \frac{x_F}{e-1}$ izračunati je treba vrednost e



$$e = \frac{H_{fs} - h_f}{H_{fs} - h_{fs}} = 1 + \frac{(T_{vF} - T_F)(\sum c_{pi} x_i)}{\sum r_i x_i}$$

$$\sum c_{pi} \cdot x_i = 94.4 \cdot 0.3 + 75.4 \cdot 0.7$$

$$\sum c_{pi} \cdot x_i = 81.1 \text{ J/molK}$$

$$\sum r_i \cdot x_i = 34128 \cdot 0.3 + 42138 \cdot 0.7$$

$$\sum r_i \cdot x_i = 39735 \text{ J/mol}$$

$$e = 1 + \frac{(78 - 65.8(K))(81.1 \text{ J/molK})}{39735 \text{ J/mol}} = 1.025$$

$$y = \frac{e}{e-1} x - \frac{x_F}{e-1}$$

$$\frac{e}{e-1} = 41.1$$

HETP = višina teoretičnega prekata

HETP = višina kolone / število teoretičnih prekatov (McCabe Thiele)

$$\text{HETP} = 1.5\text{m}/5 = 0.3 \text{ m}$$

Primer 5: V rektifikacijski koloni s polnilom, ki obratuje pri atmosferskem tlaku in refluxnem razmerju $R = 3.8$ želimo ločevati zmes CS_2 in CCl_4 . Hlapnejša komponenta je CS_2 . Napajalna zmes vstopa v kolono pri temperaturi vrelišča s sestavo: 30 mol% CS_2 in 70 mol% CCl_4 . Destilacija poteka tako, da destilat vsebuje 96 mol% CS_2 , destilacijski ostanek pa 96 mol% CCl_4 . Določi potrebno število teoretičnih prekatov in kateri prekat je napajalni. Kolikšen mora biti dotok napajalnega toka F (kg/h), da bo tok destilata D , 50 kg/h? Ravnotežni diagram sestave parne in tekoče faze za hlapnejšo komponento (zmes CS_2 in CCl_4) v mol % je priložen.

Rešitev: Kakšen mora biti dotok napajalnega toka?

Uporabimo masne bilance:

$$F = W + D \rightarrow W = F - D$$

$$F \cdot x_F = W \cdot x_w + D \cdot x_D$$

$$F \cdot x_F = (F-D) \cdot x_w + D \cdot x_D \rightarrow F \cdot x_F - F \cdot x_w = D \cdot x_D - D \cdot x_w$$

$$F = \frac{D \cdot (x_D - x_w)}{(x_F - x_w)} = \text{Tok destikata: } D = 50 \text{ kg/h}$$

Spremenimo v molski tok, ker imamo podane molske deleže

komponent v posameznih tokovih, izračunamo povprečno molsko

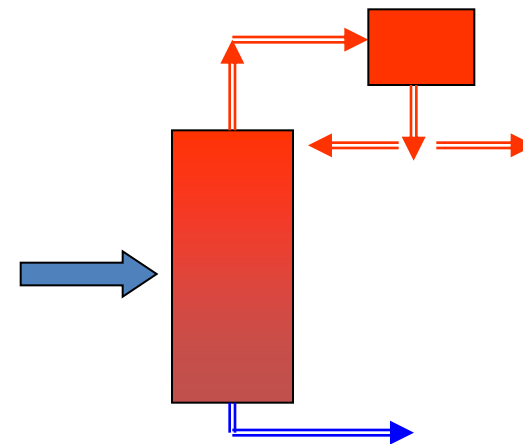
$$M_D = 0.96 \cdot 76 + 0.04 \cdot 154 = 79.12 \text{ g/mol}$$

$$n = m/M; \rightarrow D_{\text{molski}} = 50 \text{ kg/h} / 79.12 \text{ kg/kmol}$$

$$D_{\text{molski}} = 0.632 \text{ kmol/h}$$

$$F = \frac{0.632 \cdot (0.96 - 0.04)}{(0.3 - 0.04)} = 2.236 \text{ kmol/h}$$

$$W = F - D = 2.236 - 0.632 = 1.604 \text{ kmol/h}$$



Primer 5

$$F = \frac{0.632 \cdot (0.96 - 0.04)}{(0.3 - 0.04)} = 2.236 \text{ kmol/h.}$$

Za izračun napajalnega toka v kg/h rabimo povprečno molsko maso napajalnega toka

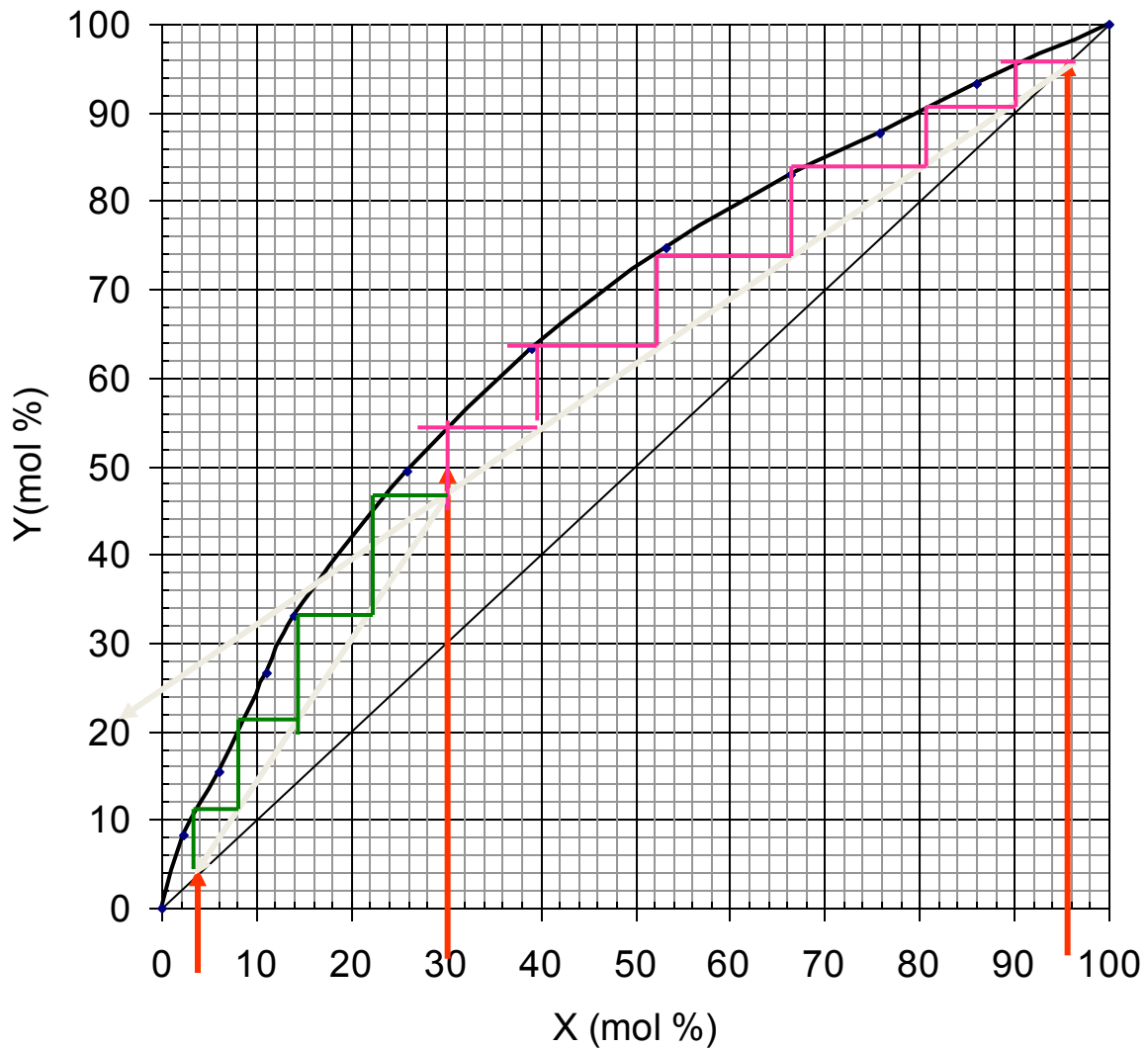
$$M_F = 0.3 \cdot 76 + 0.7 \cdot 154 = 130.6 \text{ g/mol}$$

$$R = 3.8$$

$$x_D / (R + 1) = 0.96 / 4.8$$

$$x_D / (R + 1) = 0.24$$

ravnotežni diagram $\text{CS}_2 - \text{CCl}_4$



Primer 6: V rektifikacijsko kolono vodimo vodno raztopino metanola, ki vsebuje 20 mol % hlapnejše komponente, s pretokom 100 mol/h. Pri konstantni obremenitvi grelca in refluxnem razmerju $R = 3$, je sestava destilacijskega ostanka 3 mol % hlapnejše komponente, pretok destilacijskega ostanka pa znaša 82 mol/h. Kolikšen je pretok in sestava destilata? V kondenzator vstopa hladilna voda s temperaturo 15°C , ki v celoti odvede kondenzacijsko entalpijo hlapov ($\Delta H_{\text{kond hlapov}} = 35.7 \text{ kJ/mol}$). Izračunajte izstopno temperaturo vode iz hladilne kače kondenzatorja, če je pretok hladilne vode 25 L/h

(voda: $c_p = 4180 \text{ J/kgK}$, $\rho = 997 \text{ kg/m}^3$)

Rešitev:

Masna bilanca: $D = F - W$; $D = 100 - 82 = 18 \text{ mol/h}$

$$x_D = \frac{F \cdot x_F - W \cdot x_w}{D} = \frac{100 \cdot 0.2 - 82 \cdot 0.03}{18} = 0.974$$

Toplotna bilanca: $q_c = V \cdot \Delta H_{\text{izp}} = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{v1} - T_{v2})$

$$V = L + D \quad \text{in} \quad R = L/D$$

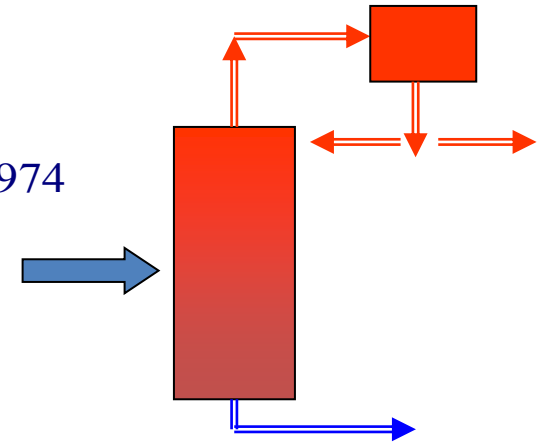
$$V = R \cdot D + D = D \cdot (R+1) = 18 \cdot (1+3) = 72 \text{ mol/h}$$

$$q_c = (72 \text{ mol}/3600 \text{ s}) \cdot 35.7 \cdot 10^3 \text{ J/mol} = 714 \text{ J/s} = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{v1} - T_{v2})$$

$$T_{v1} - T_{v2} = q_c / \Phi_m \cdot C_p = 714 \text{ J/s} / (0.00692 \text{ kg/s} \cdot 4180 \text{ J/kgK}) = 24.67 \text{ K}$$

$$\Phi_m = \Phi_v \cdot \rho = (0.025 \text{ m}^3 \cdot 997 \text{ kg/m}^3) / 3600 \text{ s}$$

$$T = 15 + 24.7 = 39.7 \text{ }^\circ\text{C}$$



Primer 7: V rektifikacijsko kolono vodimo 22 mol% vodno raztopino metanola s pretokom 6.5 kg/h. Pri konstantni obremenitvi grelca refluksnem razmerju $R = 2.5$, je pretok hlapov 7 kg/h, njihova sestava pa 95 mol % hlapnejše komponente. Pretok hladilne vode, ki v celoti odvede entalpijo hlapov znaša 36 kg/h, voda v hladilni kači se pri tem ogreje za 15 K. Kolikšen je pretok in sestava destilacijskega ostanka? Kakšne so toplotne izgube pri procesu rektifikacije, če je povprečna moč grelca 1200 W, temperature izstopnih tokov in pripadajoče specifične toplote vode in metanola so podane v tabeli:

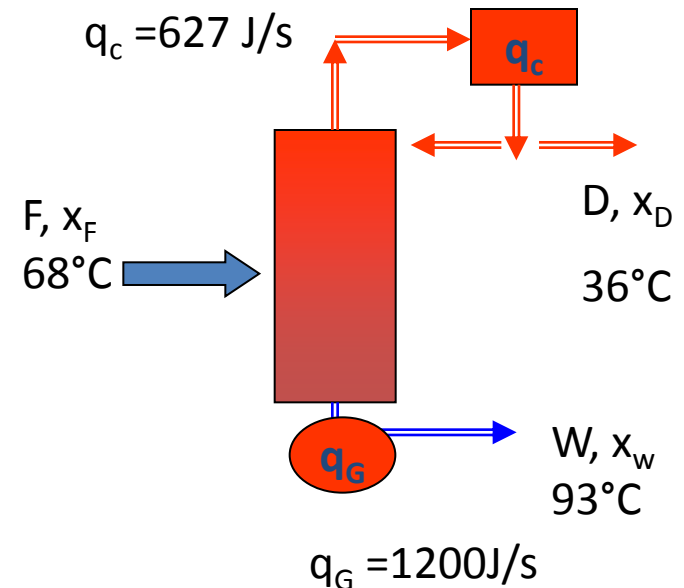
$M_{\text{CH}_3\text{OH}} = 32 \text{ g/mol}$ in $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g/mol}$

	T / °C	c_p (voda) / kJ/kg K	c_p (metanol) / kJ/kg K
F	68	4.19	2.84
D	36	4.18	2.58
W	93	4.2	3.08

$$q_c = \Phi_m \cdot c_p \cdot (T_{v1} - T_{v2})$$

$$q_c = (36 \text{ kg} / 3600 \text{ s}) \cdot 4180 \text{ J/kgK} \cdot 15 \text{ K}$$

$$q_c = 627 \text{ J/s}$$



Rešitev: toplotna bilanca

$$q_r + F \cdot h_F = W \cdot h_W + D \cdot h_D + q_c + q_{\text{IZG}}$$

$$q_{\text{IZG}} = q_r + F \cdot h_F - W \cdot h_W - D \cdot h_D - q_c$$

✓ ✓ ✗ ✗ ✓

Primer 7: za izračun toka destilata in destilacijskega ostanka in njunih sestav uporabimo masne bilance:

$$V = L + D \text{ in } R = L/D$$

$$V = R \cdot D + D = D (L + 1)$$

$$D = V / (R + 1) = 7/3.5 = 2 \text{ kg/h}$$

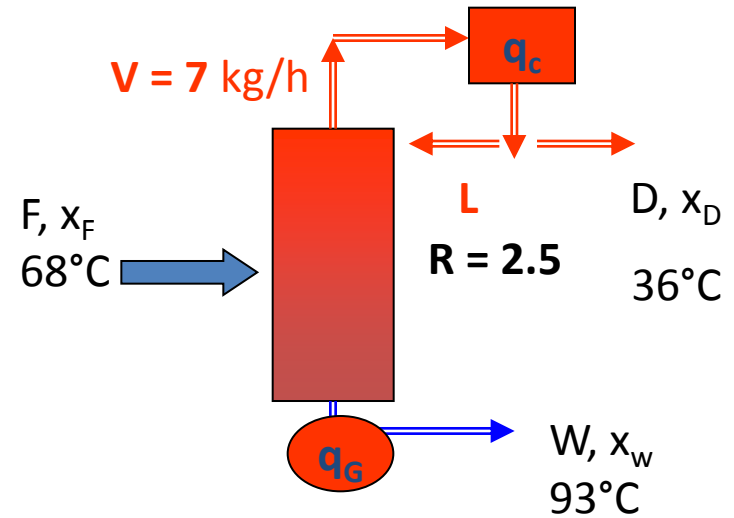
$$W = F - D = 6.5 - 2 = 4.5 \text{ kg/h}$$

Za izračun sestav moramo molske deleže pretvoriti v utežne:

$$x_{Fut.} = \frac{X_i \cdot M_i}{\sum X_i \cdot M_i} = \frac{32 \cdot 0.22}{(32 \cdot 0.22 + 18 \cdot 0.78)} = 0.334$$

$$x_{Dut.} = \frac{32 \cdot 0.95}{(32 \cdot 0.95 + 18 \cdot 0.05)} = 0.971$$

$$x_{Wut.} = \frac{F \cdot x_F - D \cdot x_D}{W} = \frac{6.55 \cdot 0.334 - 2 \cdot 0.971}{4.5} = 0.05$$



Entalpije posameznih tokov: $h = \sum c_{pi} \cdot x_i T$ (°C)

$$h_F = (0.334 \cdot 2.84 + 0.666 \cdot 4.19) \cdot 68 = 254.25 \text{ KJ/kg}$$

$$h_D = (0.971 \cdot 2.58 + 0.027 \cdot 4.18) \cdot 36 = 94.55 \text{ KJ/kg}$$

$$h_W = (0.05 \cdot 3.08 + 0.95 \cdot 4.2) \cdot 93 = 385.39 \text{ KJ/kg}$$