

Roztwory doskonałe.

Prawo Raulta.

$$p_i = p_i^0 \cdot x_i$$

Prawo Daltona.

$$p_c = \sum_{i=1}^n p_i$$

Lotność bezwzględna.

$$\beta_i = \frac{p_i}{x_i}$$

Lotność względna.

$$\alpha_{AB} = \frac{\beta_A}{\beta_B}$$

Roztwory rzeczywiste.

Dodatnie i ujemne odchylenia od prawa Raulta.

Układy wykazujące maksimum i minimum obniżenia i podwyższenia prężności pary (azeotropy).

Roztwory o ograniczonej mieszalności składników.

Mieszanki cieczy nie mieszających się w ogóle.

Destylacja.

Destylacja różniczkowa (kotłowa).

Różniczkowy bilans masowy dla składnika bardziej lotnego.

$$d(L \cdot x) = dL \cdot y^*$$

(wyprowadź z tego równanie Rayleigha)

Roztwory doskonałe spełniają warunek:

$$y^* = \frac{\alpha \cdot x}{1 + x \cdot (\alpha - 1)}$$

(można też przybliżyć liniowo)

Stężenie destylatu z bilansu masowego.

$$L_0 = L_K + D$$

$$L_0 \cdot x_0 = L_K \cdot x_K + D \cdot y_{\text{sr}}$$

$$y_{\text{sr}} = \dots$$

Bilans układu dla różniczkowej powierzchni chłodzącej.

$$G_0 > G > G_K$$

$$d(G \cdot y) = dG \cdot x^*$$

(przekształć, scałkuj, wyznacz G_K)

W stanie równowagi spełnione jest równanie:

$$y = \frac{\alpha \cdot x^*}{1 + x^* \cdot (\alpha - 1)}$$

(wyznacz x^* i podstaw do całki, można też przybliżyć liniowo i też wyznaczyć x^*)

Bilans ogólny i dla składnika bardziej lotnego.

$$G_0 = G_K + L$$

$$G_0 \cdot y_0 = G_K \cdot y_K + L \cdot x_{sr}$$

$$x_{sr} = \dots$$

Destylacja z parą wodną.

Temperatura destylacji z parą wodną.

Metoda graficzna Grabowskiego.

Wydajność destylacji z parą wodną.

$$\frac{p_L}{p_W} = \frac{n_L}{n_W}$$

$$Y = \frac{m_L}{m_W} = \frac{p_L}{p - p_L} \cdot \frac{M_L}{18}$$

$$I_L = (c_L \cdot t + r_L) \cdot Y$$

$$i_L'' = c_L \cdot t + r_L$$

I_L - entalpia pary destylowanej cieczy odpływającej z 1[kg] pary wodnej

r_L - ciepło parowania destylowanej cieczy w temperaturze t

c_L - ciepło właściwe pary

i_L - entalpia właściwa [J/kg]

Stopień nasycenia pary wodnej parą destylowanej cieczy.

$$E = \left(\frac{p_L}{P_L} \right)_t$$

p_L - ciśnienie pary podczas procesu

P_L - ciśnienie pary nasyconej

Stopień nasycenia wpływa na wydajność procesu:

$$Y = \frac{E \cdot P_L}{P - E \cdot P_L} \cdot \frac{M_L}{18}$$

Stopień nasycenia zależy od czasu przebywania pęcherzyka w cieczy:

$$E = 1 - \exp\left[-K \cdot \frac{H}{D}\right]$$

K - współczynnik przenikania masy

H - wysokość cieczy

D - średnica pęcherzyka

Rektyfikacja.

Bilans masowy ogólny i dla składnika bardziej lotnego rektyfikacji ciągłej.

$$F = D + W$$

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

$$D = \dots$$

Bilans cieplny.

$$F \cdot i_F + Q_K = Q_S + D \cdot i_D + W \cdot i_W + Q_T$$

$$Q_K = \dots$$

i - entalpia molowa

Q_S - ciepło odbierane przez czynnik chłodzący

Q_K - ciepło dostarczane do roztworu

Q_T - ciepło tracone

Bilans masowy ogólny i dla składnika bardziej lotnego półki teoretycznej w górnej części kolumny.

$$G_{n+1} + L_{n-1} = G_n + L_n$$

$$G_{n+1} \cdot y_{n+1} + L_{n-1} \cdot x_{n-1} = G_n \cdot y_n + L_n \cdot x_n$$

Bilans cieplny dla półki teoretycznej w górnej części kolumny.

$$G_{n+1} \cdot i''_{n+1} + L_{n-1} \cdot i'_{n-1} = G_n \cdot i''_n + L_n \cdot i'_n$$

$$i'' = i' + r$$

$$i'_{n-1} = i'_n = i'$$

$$r_{n+1} = r_n = r$$

$$G_{n+1} = G_n = G$$

$$L_{n+1} = L_n = L$$

$$G \cdot y_{n+1} + L \cdot x_{n-1} = G \cdot y_n + L \cdot x_n$$

i'' - entalpia pary nasyconej

i' - entalpia cieczy wrzącej

r - ciepło parowania

x_n, y_n - stężenia równowagowe

$$\frac{L}{G} = \dots$$

Trójkąt dla pierwszej półki od góry.

$$\frac{L}{G} = \frac{y_1 - x_2}{x_0 - x_1}$$

$$y_1 = x_D = x_0$$

$$\frac{L}{G} = \frac{x_D - y_2}{x_D - x_1}$$

Równanie górnej prostej operacyjnej i jej przebieg.

$$G = L + D$$

$$G \cdot y_{n+1} = L \cdot x_n + D \cdot x_D$$

$$y = \dots$$

Równanie i przebieg dolnej prostej operacyjnej.

$$L' = G' + W$$

$$L' \cdot x_m = G' \cdot y_{m+1} + W \cdot x_W$$

$$y = \dots$$

Bilans półki zasilanej.

$$F + L + G' = G + L'$$

$$e = \frac{i_Z'' - i_F}{r}$$

$$i_Z'' = r + i_Z'$$

e - określa stan cieplny surówki

i_Z'' - entalpia pary nasyconej suchej

i_Z' - entalpia cieczy wrzącej

i_F - entalpia surówki

r - molowe ciepło parowania

Równanie linii e.

$$\begin{cases} y = \frac{L}{G} \cdot x + \frac{D}{G} \cdot x_D \\ y = \frac{L'}{G'} \cdot x + \frac{D}{G'} \cdot x_W \\ L' = L + e \cdot F \\ G' = G + (e-1) \cdot F \\ F = D + W \\ F \cdot x_F = D \cdot x_D + W \cdot x_W \end{cases}$$

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

Powrót.

$$R = \frac{L}{D}$$

$$G = L + D$$

$$b_{\max} = \frac{x_D}{R_{\min} + 1}$$

$$b_{\max} = x_D \cdot \frac{y_D^* - y_F}{x_D - x_F}$$

Wyznaczenie liczby pólek teoretycznych.

Optymalna wartość liczby powrotu.

Rektyfikacja periodyczna.

1) $x_D = \text{const.}$

$$F_0 - F = D$$

$$F_0 \cdot x_0 - F \cdot x_F = D \cdot x_D$$

$$D = \dots$$

2) $R = \text{const.}$

Sprawność umowna półki rektyfikacyjnej zdefiniowana od strony cieczy lub pary.

$$E_G = \frac{y_n - y_{n+1}}{y_n^* - y_{n+1}}$$

$$E_G = 1 - e^{-\mu_G}$$

$$E_L = \frac{x_{n-1} - x_n}{y_{n-1} - x_n^*}$$

Sprawność ogólna kolumny.

$$\eta = \frac{n_t}{n_{rz}}$$

Kolumna rektyfikacyjna z wypełnieniem.

Wysokość kolumny rektyfikacyjnej z wypełnieniem.

$$h = (\text{WRPT}) \cdot n_T$$

Wysokość kolumny rektyfikacyjnej z wypełnieniem obliczona na podstawie teorii przenikania masy.

$$dA = S \cdot dh \cdot a$$

$$G \cdot dy = K_\gamma \cdot (y^* - y) \cdot dA$$

$$h_g = \dots$$

$$h_d = \dots$$

$$H_{\text{OG}} = \frac{G}{K_\gamma \cdot a \cdot S}$$

$$N_{\text{OG}} = \int_{y_F}^{y_D} \frac{dy}{y^* - y}$$

Destylacja ropy naftowej.

Absorpcja.

Równowaga absorpcyjna.

$$p_A = H \cdot x_A$$

$$Y_A = f(X_A)$$

$$[Y] = \frac{[\text{kmol}] A}{[\text{kmol}] \text{nie } A \text{ (czyli inertu)}}$$

$$[X] = \frac{[\text{kmol}] A}{[\text{kmol}] \text{czystego rozpuszczalnika (nie } A \text{ w fazie ciekłej)}}$$

$$Y = m \cdot X$$

$$m = \frac{H \cdot M_L}{P \cdot M_B}$$

M_L - masa molowa rozpuszczalnika

M_B - masa molowa gazu inertnego

Bilans masowy absorpcji, prosta operacyjna.

$$G \cdot Y_1 + L \cdot X_2 = G \cdot Y_2 + L \cdot X_1$$

$$\frac{L}{G} = \dots$$

$$\left(\frac{L}{G}\right)_{\min} = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1^* - X_2}$$

Absorpcja z recyrkulacją.

Bilans 1):

$$G \cdot Y_1 + L \cdot X_2 = G \cdot Y_2 + L \cdot X_1$$

Bilans 2)

$$G \cdot Y_1 + L \cdot X_2' = G \cdot Y_2 + L \cdot X_1$$

Wielokrotność recyrkulacji.

$$a = \frac{L'}{L}$$

$$a = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_2'}$$

$$a_{\max} = \frac{X_1 - X_2}{X_1 - X_2^*}$$

Półka teoretyczna kolumny absorpcyjnej.

Sprawność półki absorpcyjnej od strony gazu i od strony cieczy.

$$E_G = \frac{Y_{n+1} - Y_n}{Y_{n+1} - Y_n^*}$$

$$E_L = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n^* - X_{n-1}}$$

Wysokość wypełnienia kolumny absorpcyjnej.

$$v = S \cdot u$$

$$h = a_t \cdot (\text{WRPT})$$

$$G \cdot dY = K_\gamma \cdot (y^* - Y) \cdot dA$$

$$dA = \dots$$

$$dh = \dots$$

$$H_{OG} = \dots$$

$$N_{OG} = \dots$$

Przykład zastosowania absorpcji.

Suszenie.

Usuwanie wilgoci można przeprowadzać: mechanicznie, chemicznie, ciepłnie oraz elektrycznie. Do metod mechanicznych zaliczamy np.: prasowanie, wyżymanie, filtrowanie, wirowanie. Metody te stosujemy zwykle jako wstępne gdy suszony surowiec zawiera bardzo dużo wilgoci. Wilgotność końcowa materiału jest dość duża. Jest to zabieg na ogół tani.

Metody chemiczne polegają na używaniu substancji higroskopijnych np.: chlorek potasu, chlorek wapnia, stężony kwas siarkowy, pięciotlenek fosforu, żel krzemionkowy. Jest to metoda dość droga, dlatego jest stosowana do suszenia niewielkich ilości materiału np. w badaniach laboratoryjnych.

Metody ciepłne polegają na usuwaniu wilgoci przez odparowanie cieczy kosztem dostarczonej, do suszonego materiału, energii ciepłnej. W tym celu wykorzystuje się: strumień gazu, podgrzewanie próbek w suszarni, promienniki podczerwieni. Metody ciepłne odgrywają główną rolę, są stosowane najczęściej.

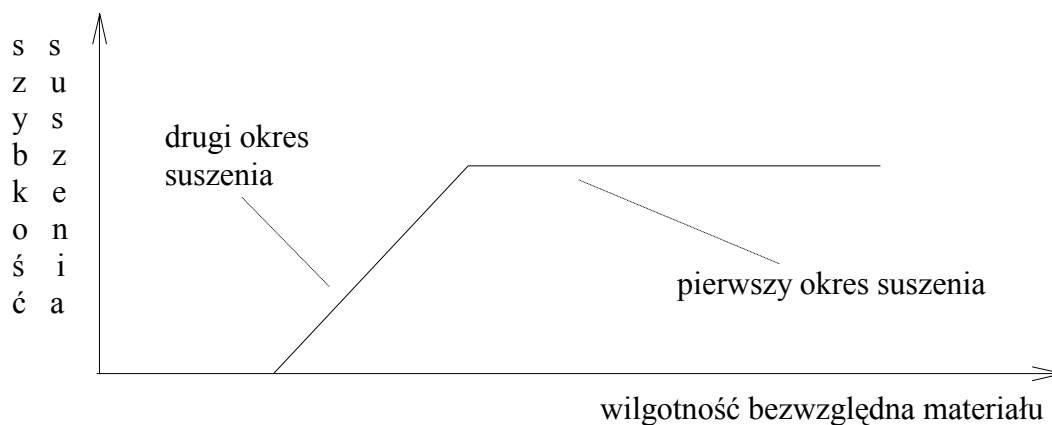
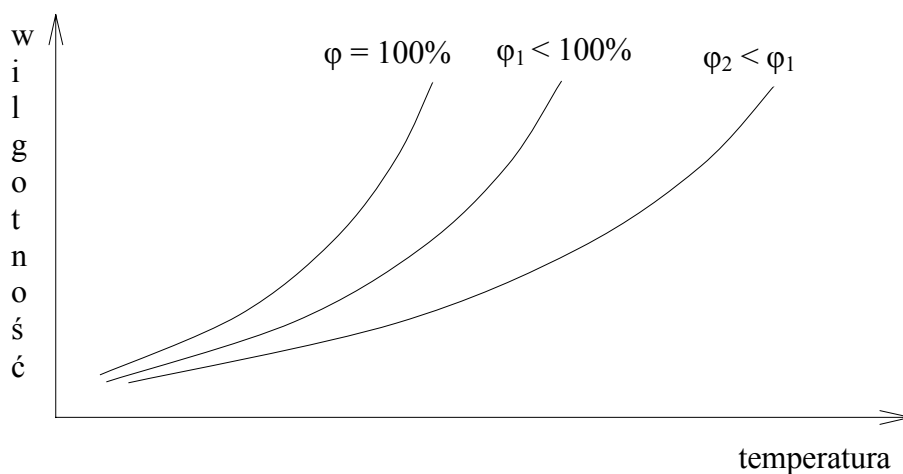
Suszenie prądem wysokiej częstotliwości stosuje się w przypadku dielektryków. Materiał suszony nagrzewa się w szybkozmiennym polu elektrycznym.

Wilgotność bezwzględna jest to masa wilgoci w kilogramach przypadająca na jeden kilogram materiału suchego.

Wilgotność materiału wyraża się również jako zawartość procentowa masy wilgoci w sumie mas: wilgoci i materiału suchego.

Wilgotność względną powietrza to stosunek prężności cząstkowej pary wodnej w powietrzu do prężności pary wodnej nasyconej, w tej samej temperaturze.

Wilgotność masowa bezwzględna powietrza to stosunek masy pary wodnej wyrażonej w kilogramach do masy suchego powietrza, również wyrażonej w kilogramach.



Pompy

ciepła.

Ciepło samorzutnie przepływa z ośrodka o wyższej temperaturze do ośrodka o temperaturze niższej (druga zasada termodynamiki). Przepływ ciepła w odwrotnym kierunku wymaga wykonania pracy. Do tego celu służą pompy ciepła. Najbardziej rozpowszechnione są sprężarkowe pompy ciepła. Pompa przenosi ciepło po przez czynnik termodynamiczny, który poddawany jest następującym przemianom:

- 1) w warunkach izobarycznych czynnik pobiera ciepło z ośrodka o niższej temperaturze, w wyniku pobrania tego ciepła odparowuje
 - 2) w warunkach adiabatycznych para czynnika jest sprężana, wymaga to nakładu pracy, w wyniku sprężania temperatura czynnika rośnie, uzyskana na końcu procesu temperatura musi być wyższa od temperatury ośrodka którego temperatura ma być podwyższona
 - 3) czynnik skrapla się oddając ciepło do ogrzewanego ośrodka
 - 4) w procesie stałentalpowym czynnik jest dławiony, ciśnienie i temperatura czynnika obniżają się przy czym temperatura musi spaść poniżej temperatury ośrodka z którego pobierane jest ciepło
 - 5) czynnik pobiera ciepło ze źródła (źródło oddaje ciepło) w wyniku czego zamienia się w parę
- Wydajność tego procesu jest charakteryzowana przez ilość przekazywanego ciepła przypadającego na jednostkę włożonej w to pracy. Wielkość ta zwana współczynnikiem wydajności maleje wraz ze wzrostem różnicy temperatur między ośrodkami. Praca potrzebna do tego procesu pochodzi ze źródeł energii wysokopotencjałowej. Obliczając wydajność przekazywane ciepło często odnosi się nie do wykonanej pracy lecz bezpośrednio do energii zużytej na wykonanie tej pracy. W obliczaniu wydajności procesu należy uwzględnić sprawność urządzenia wykonującego potrzebną pracę. Sprawność ta jest równa wartości stosunku wykonanej pracy do energii włożonej w wykonanie tej pracy. Stosując pompy ciepła możemy wykorzystywać ciepło odpadowe procesów przemysłowych. Przykładem tego jest proces rektyfikacji. Para grzejna po wyjściu z kolumny rektyfikacyjnej musi być skroplona. Oddaje ona ciepło czynnikowi chłodzącemu skraplacza. Aby czynnik mógł być użyty ponownie musi być schłodzony, musi oddać ciepło. Ciepło to może być przekazane parze grzejnej. Ponieważ temperatura pary jest wyższa od temperatury czynnika chłodzącego przekazanie ciepła może się odbyć jedynie przy pomocy pompy ciepła.