

ZADANIA Z PODSTAW TERMODYNAMIKI

LISTA NR 7 – Gazy wilgotne

PODSTAWOWE PRAWA I WZORY

- 1) Wilgotność względna gazu wilgotnego

$$\varphi = \left(\frac{p_p}{p_s} \right)_T \quad (1)$$

gdzie

p_p ciśnienie pary, Pa

p_s ciśnienie nasycenia pary, Pa

- 2) Stopień zawilżenia gazu wilgotnego

$$X = \frac{m_p}{m_g} = \frac{M_p}{M_g} \frac{\varphi p_s}{p - \varphi p_s} \quad (2)$$

gdzie

m_p masa pary, kg

m_g masa gazu suchego, kg

Dla powietrza wilgotnego $\frac{M_p}{M_g} = \frac{18,016}{28,96} \approx 0,622$ i wzór (2) zapisujemy jako

$$X = 0,622 \frac{\varphi p_s}{p - \varphi p_s} \quad (3)$$

- 3) Masa gazu wilgotnego

$$m = m_p + m_g = m_g (1 + X) \quad (4)$$

- 4) Zastępcza indywidualna stała gazowa gazu wilgotnego

$$R = \frac{R_g + XR_p}{1 + X} \quad (5)$$

Dla powietrza wilgotnego $R_g = 287 \text{ J/(kg K)}$, $R_p = 461,5 \text{ J/(kg K)}$ i (5) zapisujemy jako

$$R = \frac{0,622 + X}{1 + X} R_p \quad (6)$$

- 5) Entalpia właściwa gazu wilgotnego niezamglonego

$$i_{1+X} = c_{pg}t + X (r_0 + c_{pp}t) \quad (7)$$

gdzie

c_{pg} ciepło właściwe gazu suchego, J/(kg K); dla powietrza $c_{pg} = 1005 \text{ J/(kg K)}$

c_{pp} ciepło właściwe pary, J/(kg K); dla pary wodnej $c_{pp} = 1870 \text{ J/(kg K)}$

r_0 ciepło parowania, kJ/kg; dla wody $r_0 = 2501 \text{ kJ/kg}$

t temperatura, °C

6) Entalpia właściwa gazu wilgotnego zamglonego

$$i_{1+X} = c_{pg}t + X''(r_0 + c_{pp}t) + (X - X'')c_{pw}t \quad (8)$$

gdzie

X'' stopień zawilżenia gazu zawierającego suchą parę nasyconą (dla $\varphi = 100\%$)

c_{pw} ciepło właściwe kropel mgły, J/(kg K); dla wody $c_{pw} = 4190$ J/(kg K)

7) Entalpia gazu wilgotnego

$$I = m_g i_{1+X} \quad (9)$$

8) Energia wewnętrzna właściwa gazu wilgotnego

$$u_{1+X} = i_{1+X} - pv(1+X) \quad (10)$$

gdzie

v objętość właściwa gazu wilgotnego, m³/kg

Zad. 1. Znaleźć masę pary wodnej zawartej w pokoju o wymiarach 4m x 4m x 6m, jeżeli parametry powietrza atmosferycznego w wymienionym pomieszczeniu wynoszą $T_1 = 293$ K, $\varphi = 60\%$. **Odp: $m_p = 0,996$ kg.**

Zad. 2. W parny, upalny, letni dzień parametry powietrza atmosferycznego wynoszą $T_1 = 308$ K, $\varphi_1 = 100\%$. Obliczyć masę m_w wody, jaka wydzieli się z objętości $V = 0,001$ km³ powietrza przy nagłym jego ochłodzeniu do temperatury $T_2 = 293$ K. **Odp: $m_w = 22,3$ t.**

Zad. 3. Do urządzenia klimatyzacyjnego zasysane jest powietrze nasycone wodą o parametrach $p_1 = 0,1$ MPa, $T_1 = 278$ K, a następnie podgrzewane izobarycznie. Wiedząc, że na każdy kg powietrza suchego dostarczane jest 30 kJ ciepła określić temperaturę T_2 i wilgotność φ_2 powietrza po podgrzaniu. **Odp: $T_2 = 307,5$ K, $\varphi_2 = 16\%$.**

Zad. 4. Zamglone powietrze o parametrach $p_1 = 103$ kPa, $T_1 = 293$ K i $X_1 = 20$ g/kg p.s. przepływa przez nagrzewnicę, w której nagrzewa się izobarycznie przy $X = \text{idem}$ do $T_2 = 323$ K. Określić temperaturę, w której odparują wszystkie krople cieczy, wilgotność względną powietrza na wylocie z nagrzewnicy oraz ilość ciepła potrzebną do ogrzania 100 kg powietrza wilgotnego. **Odp: $T_R = 298$ K, $\varphi = 0,26$, $Q = 4362,7$ kJ.**

Zad. 5. 5 kg powietrza wilgotnego o temperaturze $T_1 = 293$ K i ciśnieniu $p_1 = 0,3$ MPa podgrzano izobarycznie do temperatury $T_2 = 323$ K. Wyznaczyć ciepło i pracę absolutną tej przemiany oraz wilgotność względną φ_2 powietrza w stanie końcowym. **Odp: $Q_{1-2} = 150,6$ kJ, $L_{1-2} = 43,1$ kJ, $\varphi_2 = 18,9\%$.**

Zad. 6. Podczas przyrządzania posiłków w kuchni o objętości $V = 800$ m³ powstaje w ciągu godziny 150 kg pary wodnej, która jest usuwana poprzez wielokrotną wymianę powietrza w całym pomieszczeniu. Powietrze świeże pobierane jest z otoczenia o parametrach $p_0 = 0,1$ MPa, $T_0 = 278$ K i $\varphi_0 = 0,6$ i wstępnie podgrzewane do temperatury $T_2 = 293$ K, a następnie kierowane do kuchni. Zakładając, że parametry powietrza opuszczającego kuchnię wynoszą $p_k = p_0$, $T_k = T_2$, $\varphi_k = 1,0$ określić minimalną krotność wymiany powietrza. **Odp: $n_{\min} = 14$ razy.**

Zad. 7. Urządzenie klimatyzacyjne pobiera powietrze wilgotne o ciśnieniu $p_0 = 0,1$ MPa, temperaturze $T_1 = 303$ K i wilgotności względnej $\varphi_1 = 0,9$, po czym ochładza je izobarycznie z równoczesnym usunięciem 7,8 g/kg p.s. wilgoci. Obliczyć parametry końcowe

powietrza (i_2 , X_2) oraz przy pomocy tablic określić końcową temperaturę powietrza T_2 ($\phi_2 = 1,0$). **Odp: $i_2 = 65,1$ kJ/kg p.s., $X_2 = 16,9$ g/kg p.s., $T_2 = 295$ K.**

Zad. 8. Powietrze wilgotne o entalpii $i_1 = 40$ kJ/kg p.s., temperaturze $T_1 = 293$ K i ciśnieniu $p_1 = 0,1$ MPa ochłodzono izobarycznie do temperatury punktu rosy. Oblicz ilość odprowadzonego ciepła, wyznacz temperaturę punktu rosy (przy pomocy tablic parowych) oraz entalpię i_2 powietrza w stanie końcowym. **Odp: $q_{1-2} = -9,69$ kJ/kg p.s., $T_R = 283,3$ K. $i_2 = 30,3$ kJ/kg p.s.**

Zad. 9. W suszarni należy odprowadzić $m_w = 2$ t/h wody od materiału suszonego. W tym celu pobiera się powietrze z otoczenia o parametrach $p_1 = 102$ kPa, $T_1 = 283$ K i $\phi_1 = 0,3$ i przed skierowaniem do suszarni podgrzewa się je w nagrzewnicy do temperatury T_2 . Na wylocie z suszarni parametry powietrza wynoszą: $p_3 = p_1$, $T_3 = 318$ K, $\phi_3 = 0,95$. Zakładając, że temperatura materiału suszonego nie ulega zmianie podczas procesu suszenia, a straty ciepła z suszarni do otoczenia można pominąć, obliczyć: strumień masy m_1 powietrza pobieranego z otoczenia i jego objętość V_1 , temperaturę T_2 podgrzanego powietrza, strumień ciepła Q_{1-2} doprowadzonego w nagrzewnicy, jednostkowe zużycie ciepła do suszenia q na 1 kg odparowanej wilgoci. **Odp: $m_1 = 9,49$ kg/s, $V_1 = 7,57$ m³/s, $T_2 = 468,4$ K, $Q_{1-2} = 1778,49$ kJ/s, $q = 3188$ kJ/(kg wilgoci).**

Zad. 10. 2 kg powietrza wilgotnego o temperaturze $T_1 = 303$ K i wilgotności względnej $\phi_1 = 0,45$ zmieszano izobarycznie przy ciśnieniu 0,1 MPa z taką samą ilością powietrza o temperaturze $T_2 = 293$ K i wilgotności względnej $\phi_2 = 0,3$. Obliczyć parametry mieszaniny: T_m , X_m , ϕ_m , i_m , R_m oraz ciśnienia cząstkowe pary wodnej p_p i powietrza suchego p_g ($R_p = 461,5$ J/kgK, $R_g = 287$ J/kgK). **Odp: $T_m = 298$ K, $X_m = 8,25$ g/kg p.s., $\phi_m = 0,41$, $i_m = 46,2$ kJ/kg p.s., $R_m = 288,5$ kJ/kg p.s., $p_p = 1,31$ kPa, $p_g = 98,69$ kPa.**

Zad. 11. Powietrze wilgotne o temperaturze $T_1 = 291$ K i wilgotności względnej $\phi_1 = 20\%$ nawilżono parą wodną o entalpii właściwej $i_p = 2680$ kJ/kg, w ilości $m_p = 4$ g/kg p.s. Ciśnienie powietrza $p_0 = 0,1$ MPa = idem. Obliczyć parametry końcowe powietrza: T_2 , X_2 , i_2 , ϕ_2 . **Odp: $T_2 = 291,6$ K, $X_2 = 6,6$ g/kg p.s., $i_2 = 35,34$ kJ/kg p.s., $\phi_2 = 49,1$ %.**

Zad. 12. Powietrze wilgotne o parametrach $p_1 = 0,1$ MPa, $T_1 = 285$ K i wilgotności względnej $\phi_1 = 30$ % zmieszano izobarycznie z parą przegrzaną o parametrach $p_2 = 0,1$ MPa, $T_2 = 673$ K, wskutek czego otrzymano powietrze wilgotne o parametrach $p_3 = 0,1$ MPa, $T_3 = 291$ K. Wykorzystując podziałkę kierunkową wykresu i - X wyznaczyć: wilgotność względną otrzymanego powietrza ϕ_3 , stosunek ilości substancji pary przegrzanej do ilości powietrza suchego. **Odp: $\phi_3 = 90\%$, $m_p/m_g = 0,0108$ kg pary przegrzanej/kg p.s.**

Zad. 13. Do chłodni kominowej dopływa ze skraplacza turbiny strumień wody $m_w = 11$ t/s o temperaturze $T_{w1} = 305$ K oraz wilgotne powietrze atmosferyczne o parametrach: $p_1 = 102$ kPa, $T_1 = 283$ K, $\phi_1 = 30$ %. Parametry wody i powietrza wilgotnego na wypływie z chłodni wynoszą odpowiednio: $T_{w2} = 294$ K, $T_2 = 290$ K, $p_2 = p_1$, $\phi_2 = 95$ %. Obliczyć: zapotrzebowanie suchego powietrza n_g i strumień wody odparowanej w chłodni m_w . **Odp: $n_g = 56,3$ kmol p.s./s, $\Delta m_w = 149$ kg/s, zatem względny ubytek masy wody chłodzącej skraplacz w chłodni kominowej wynosi $\Delta m_w / m_w = 0,0135 = 1,35\%$.**