

3

Badanie agregatu absorpcyjnego typu TA 60



Doświadczalne wyznaczenie charakterystyki zmian wydajności chłodniczej agregatu w czasie od włączenia zasilania do ustabilizowania się temperatury w komorze parownika

1. Opis agregatu

Agregat typu TA 60 został zbudowany z przeznaczeniem do chłodziarki absorpcyjnej przez Zakłady Sprzętu Domowego „POLAR” we Wrocławiu.

Czynnikiem roboczym jest wodny roztwór amoniaku (NH_3) z dodatkiem inhibitora korozji, którym jest chromian sodu (Na_2CrO_4).

Agregat stanowi zwarty zespół naczyń połączonych, w którym ruch cieczy i gazów wywołany jest różnicą ciśnień.

Obieg czynnika roboczego jest realizowany dzięki doprowadzaniu do wężownicy ciepła. Źródłem ciepła jest grzałka elektryczna o mocy znamionowej 95 W.

Schemat agregatu TA 60 przedstawiono na rys. 1.

2. Zasada działania agregatu TA 60

Ze zbiornika 1 bogaty roztwór o temperaturze 8 K powyżej temperatury otoczenia i stężeniu około 35 % przepływa przez zewnętrzną rurkę wymiennika ciepła cieczy 2 (WC2) do rurki termosyfonu 3. Poziom czynnika w rurce ustala się na tej samej wysokości co w zbiorniku 1.

Po włączeniu grzałki elektrycznej 14 strumień ciepła \dot{Q}_{wa} przekazywany jest od wrzącego ubogiego roztworu w rurce wężownicy 4 do rurki termosyfonu. Następuje w niej podgrzanie bogatego roztworu do temperatury wrzenia wynoszącej około 393 K. Pary amoniaku i wody wydzielone w wężownicy płyną do deflegmatora 5, w którym wykrapla się woda spływająca z powrotem do wężownicy 4.

Para amoniaku płynie do użebrowanego skraplacza 6, gdzie skrapla się oddając ciepło \dot{Q}_{sk} do otoczenia. Ciekły amoniak o stężeniu około 98 % spływa do parownika 8. Po drodze ciekły amoniak ochładza się wskutek przylegania rurki do przewodu, którym płynie do absorbera zimna mieszanina pary amoniaku i wodoru. Jest to wymiennik ciepła gazów 11 (WC 1).

Ciekły amoniak dopływający do parownika 8 odparowuje pobierając ciepło \dot{Q}_{ch} z komory chłodniczej. Parowanie amoniaku odbywa się w temperaturach ujemnych i w otoczeniu wodoru, który dopływa z absorbera 12 zbudowanego w postaci węzownicy.

W absorberze para amoniaku płynąca ku górze jest pochłaniana przez płynący ku dołowi roztwór ubogi dopływający z wężownicy 4, tak że na całej drodze przepływu odbywa się w przeciwnym kierunku absorpcja pary amoniaku. Roztwór ubogi staje się roztworem bogatym, natomiast wódór po oddzieleniu amoniaku z mieszaniny płynie z powrotem do parownika. Podczas absorbowania amoniaku w absorberze 12 wydziela się ciepło \dot{Q}_{ab} , które odbierane jest przez otoczenie.

W agregacie TA 60 obieg czynnika roboczego odbywa się z regeneracją ciepła w wymienniku ciepła WC2 oraz z dochładzaniem ciekłego amoniaku w wymienniku ciepła WC 1.

Równanie bilansu ciepła obiegu można zapisać w następującej postaci:

$$\dot{Q}_{ch} + \dot{Q}_{Wa} = \dot{Q}_{sk} + \dot{Q}_{ab} + \dot{Q}_{s,ob}$$

gdzie:

\dot{Q}_{ch} – moc chłodnicza urządzenia,

\dot{Q}_{Wa} – moc cieplna doprowadzana do wężownicy,

\dot{Q}_{sk} – moc cieplna odprowadzana w skraplaczu,

\dot{Q}_{ab} – moc cieplna odprowadzana w absorberze,

$\dot{Q}_{s,ob}$ – straty ciepła.

Ciepło pobrane w parowniku określa więc zależność:

$$\dot{Q}_{ch} = \dot{Q}_{sk} + \dot{Q}_{ab} + \dot{Q}_{s,ob} - \dot{Q}_{Wa} = \dot{Q}_{od} - \dot{Q}_{Wa} \quad [\text{W}],$$

w której:

\dot{Q}_{od} – ciepło odprowadzone od czynnika obiegowego w skraplaczu, absorberze i niez izolowanych elementach agregatu do opływającego je powietrza;

$$\dot{Q}_{od} = \dot{Q}_{sk} + \dot{Q}_{ab} + \dot{Q}_{s,ob}.$$

Współczynnik wydajności chłodniczej agregatu wyznaczymy według wzoru:

$$\varepsilon_{ch} = \frac{\dot{Q}_{ch}}{\dot{Q}_{c,Wa}}$$

Metoda badania agregatu

Zwarta budowa agregatu TA 60 wpływa na to, że jego zasadnicze elementy oddziałują na siebie cieplnie. Jest to przyczyną braku praktycznych możliwości oddzielnego badania poszczególnych przemian a następnie oceny obiegu termodynamicznego agregatu. Ze względu na brak możliwości określenia efektywności działania agregatu metodą kalorymetryczną (agregat przeznaczony jest do domowej chłodziarki), wyznaczenie wydajności chłodniczej urządzenia można przeprowadzić pośrednio przez pomiar strumienia ciepła \dot{Q}_p odbieranego przez powietrze chłodzące agregat:

$$\dot{Q}_p \cong \dot{Q}_{sk} + \dot{Q}_{ab} + \dot{Q}_{s,ob.} + \dot{Q}_{sV} - \dot{Q}_{ch,w} = \dot{m}_p \times c_p \times (T_2 - T_1),$$

gdzie:

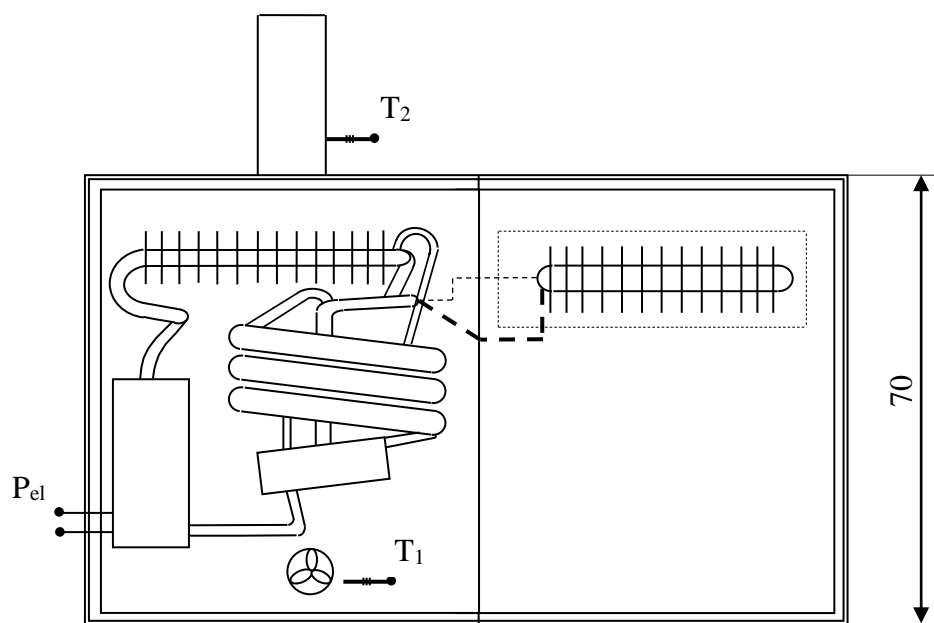
\dot{m}_p – masowe natężenie przepływu powietrza; [kg/s],

c_p – średnie ciepło właściwe powietrza; [J/kg K],

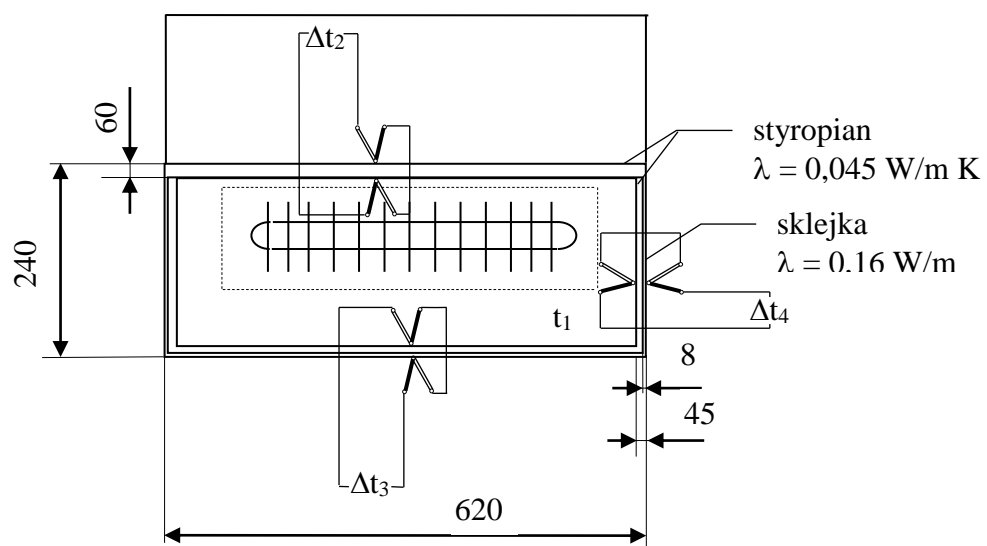
T_1, T_2 – temperatura bezwzględna powietrza odpowiednio na wlocie i wylocie z obudowy agregatu; [K].

Pomiar strumienia ciepła \dot{Q}_{wa} doprowadzanego do warnika jest realizowany za pomocą watomierza podłączonego do przewodów zasilających grzałkę elektryczną.

Powierzchnia obudowy zewnętrznej agregatu jak również znajdujący się wewnątrz obudowy warnik i parownik są izolowane termicznie od otoczenia. Przepływ powietrza jest wymuszony wentylatorem osiowym, umieszczonym pośrodku w dolnej części ściany czołowej obudowy agregatu. Schemat obudowy agregatu przedstawiono na rys. 2, a schemat izolacji komory parownika na rys. 3.



Rys. 2. Schemat obudowy agregatu



Rys. 3. Schemat izolacji komory parownika

Algorytm obliczeń:

a) Wyznaczenie gęstości powietrza ρ_p w przewodzie wylotowym

$$\rho_p = \frac{P_{ot}}{R \times T_2}$$

gdzie:

R – indywidualna stała gazowa;

dla powietrza $R = 287 \text{ J/kg deg}$,

T_2 – temperatura bezwzględna powietrza w przewodzie wylotowym [K].

c) Wyznaczenie objętościowego natężenia przepływu powietrza:

$$\dot{V}_p = A \times v_p$$

gdzie:

A – przekrój przewodu wylotowego powietrza;

$$A = 8,659 \times 10^{-3} \text{ m}^2,$$

v_p – średnia prędkość powietrza [m/s]

(wyznaczona anemometrem skrzydełkowym typu AGO-3 „B”)

d) Wyznaczenie masowego natężenia przepływu powietrza:

$$\dot{m}_p = A \times v_p \times \rho_p \quad [\text{kg/s}]$$

gdzie:

ρ_p – gęstość powietrza w przewodzie wylotowym [kg/m^3] przy temperaturze T_2 i ciśnieniu p_2 .

e) Wyznaczenie strumienia ciepła odbieranego przez powietrze:

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_p \times c_p \times (T_2 - T_1)$$

gdzie:

\dot{m}_p – masowe natężenie przepływu powietrza [kg/s],

c_p – średnie ciepło właściwe powietrza;

$$c_p = 1004 \text{ J/kg K}$$

T_1, T_2 – temperatury bezwzględne powietrza odpowiednio na wlocie i wylocie z obudowy agregatu [K],

(pomiar termometrami rurkowymi, rtęciowymi, kl. 1, zakres $0 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$, działka $1/10 \text{ }^\circ\text{C}$).

f) Moc cieplna wynikająca z energii kinetycznej powietrza przepływającego przez obudowę:

$$\dot{Q}_{ek} = \alpha \times \frac{\rho_p \times v_p^2}{2} \times \dot{V} \quad [W]$$

gdzie:

α - współczynnik poprawkowy Coriolisa;

$$\alpha = 1,058 ,$$

ρ_p – gęstość powietrza w przewodzie wylotowym [kg/m^3],

v_p – średnia prędkość powietrza w przewodzie wylotowym [m/s],

\dot{V}_p – objętościowe natężenie przepływu powietrza [m^3/s].

Uwaga:

Przy wyrażaniu energii całkowitej strumienia powietrza, ciśnienie dynamiczne musi być pomnożone przez współczynnik poprawkowy Coriolisa α . Wynika to stąd, że przy zmiennym rozkładzie prędkości przy przepływie płynu, lepkiego całkowita energia musi być sumą elementarnych energii. Współczynnik poprawkowy α można wyznaczyć z zależności:

$$\alpha = \frac{1}{A} \frac{\int v^3 dA}{v_p^3},$$

Dla ustalenia charakteru przepływu należy obliczyć liczbę Reynoldsa:

$$\text{Re} = \frac{v_p \times d}{\nu},$$

gdzie:

v_p – średnia prędkość strugi powietrza, $v_p = 3,65 \text{ m/s}$

d – średnica wewnętrzna przewodu wylotowego; $d = 0,105 \text{ m}$,

ν - lepkość kinematyczna powietrza określona zależnością:

$$\nu = \frac{17,7 \times 10^{-6} \times T_2^2}{P_2} = 16,3 \times 10^{-6} \quad [m^2 / s],$$

po podstawieniu:

$$\text{Re} = \frac{3,65 \times 0,105}{16,3 \times 10^{-6}} = 23470.$$

Dla $\text{Re} > 2320$ przepływ jest turbulentny.

Przy turbulentnym przepływie rozkład prędkości w przekroju poprzecznym przewodu wylotowego możemy wyrazić za pomocą funkcji potęgowej:

$$v = v_{\max} \left[1 - \frac{r}{R} \right]^{\frac{1}{n}},$$

$$\alpha = \frac{(2n+1)^3(n+1)^3}{4n^4(n+3)(2n+3)}$$

po podstawieniu do zależności na współczynnik α i przekształceniach otrzymamy:

Według [20] dla $\lg Re = 4,4$ i $\beta = 0,8$, wartość $n = 7$, zatem $\alpha = 1,058$.

g) Wyznaczenie zysków ciepła komory chłodniczej:

$$\dot{Q}_{\text{str}} = \sum A_i \times \dot{q}_i \quad [\text{W}]$$

gdzie:

\dot{q}_i – jednostkowy strumień ciepła;

$$\dot{q}_i = \frac{\Delta t_i}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad [\text{W} / \text{m}^2]$$

Δt_i – różnica temperatur na ściankach wewnętrznej i zewnętrznej i-tej przegrody wyznaczona z charakterystyki termometrycznej termoelementów (dla k NiCr-NiAl PN-81/M-53854.06) [deg],

δ_i – grubość warstwy przegrody [m],

λ_i – współczynnik przewodzenia ciepła i-tej warstwy przegrody [W/m×deg],

A_i – powierzchnia przegrody [m].

h) Wyznaczenie wydajności chłodniczej agregatu:

$$\dot{Q}_o = \dot{Q}_p - (\dot{Q}_{\text{wa}} + \dot{Q}_{\text{ek}}) \quad [\text{W}]$$

gdzie:

\dot{Q}_p – strumień ciepła zawarty w przepływającym przez obudowę powietrzu [W],

\dot{Q}_{wa} – moc cieplna dostarczona do wężownicy agregatu [W],

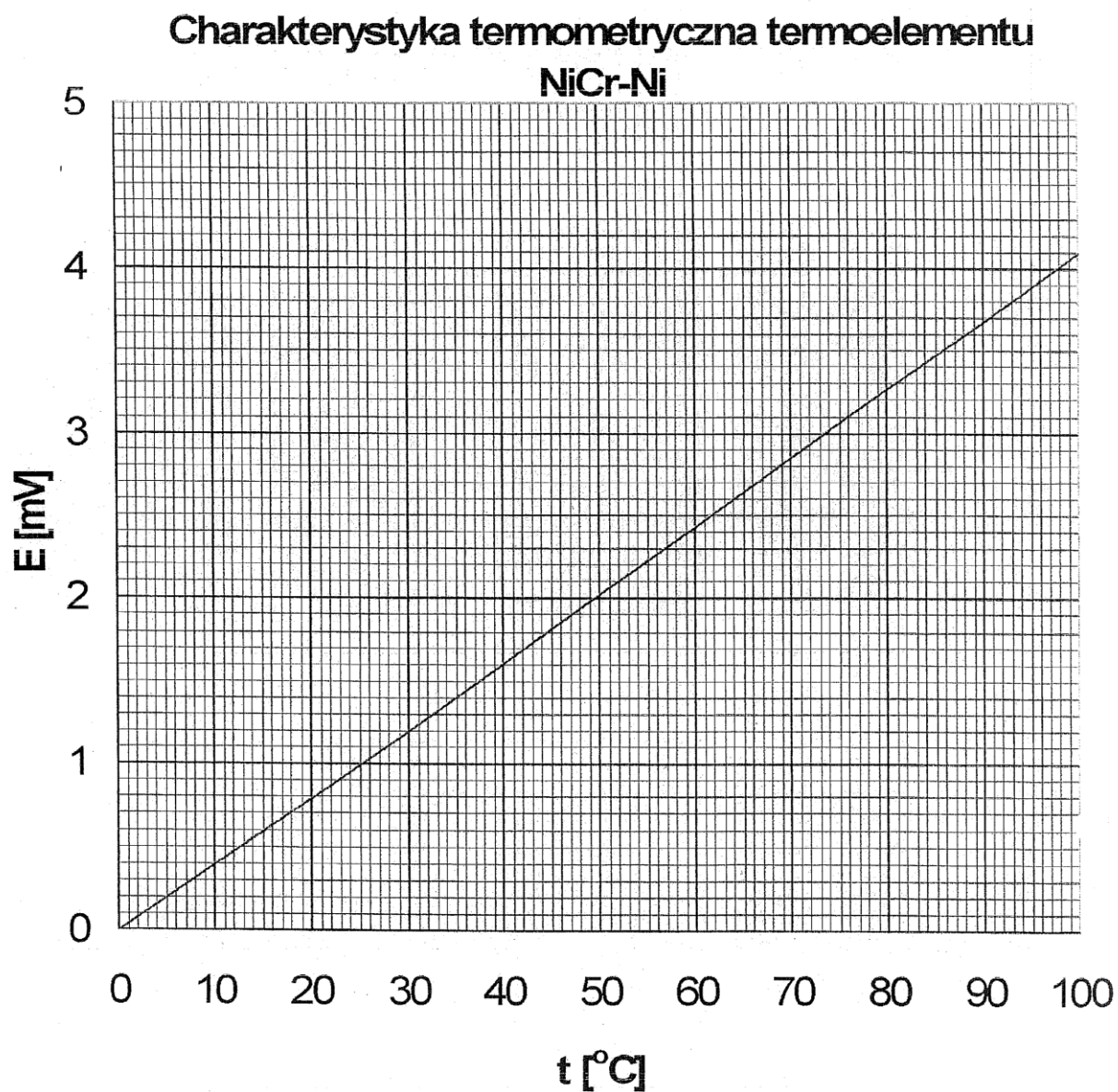
\dot{Q}_{ek} – moc cieplna wynikająca z energii kinetycznej przepływającego powietrza [W].

- i) Wyznaczenie cieplnego współczynnika wydajności chłodniczej określającego efektywność agregatu:

$$\varepsilon_{ch} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{Q}_{Wa} + \dot{Q}_{str}}$$

j)

- k) Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tablicy.



Dokładność pomiaru: $\pm 1\%$

Przebieg ćwiczenia – badanie agregatu absorpcyjnego TA60

1. Umieścić czujnik temperatury t1 przed wentylatorem zasysającym a następnie go włączyć.
2. Umieścić czujnik temperatury t2 w kanale wylotowym powietrza chłodzącego również go włączyć.
3. Włączyć woltomierz służący do odczytu napięcia z termopar i ustawić na odczyt napięcia w mV. Następnie sprawdzić odczytywane wartości z poszczególnych termopar ustawiając pokrętkę rozdzielacza sygnału na kanały nr 1,2,3 i 4.
4. Po sprawdzeniu poprawności działania wymienionych wyżej przyrządów można przystąpić do z czytania pomiarów.

Pomiar strumienia objętości powietrza mierzy się u wylotu kanału wylotowego za pomocą anemometru CHY 361.

