

<b>MASZYNY I URZĄDZENIA CHŁODNICZE</b>	<b>NORMA BRANŻOWA</b>	<b>BN-76</b>
	<b>Przemysłowe urządzenia chłodnicze</b> <b>Dwustopniowe sprężarki</b> <b>wyporowe</b> <b>Metody pomiarów</b>	<b>2550-05</b>
		Grupa katalogowa IV 89

## SPIS TREŚCI

**1. WSTĘP**

- 1.1. Przedmiot normy
- 1.2. Rodzaje metod pomiarów
  - 1.2.1. Metody pomiaru wydajności
  - 1.2.2. Metody pomiaru mocy napędowej
  - 1.2.3. Metody pomiaru masy strumienia czynnika zasilającego ziębnicę międzystopniową
- 1.3. Zakres stosowania normy
- 1.4. Określenia
  - 1.4.1. Wydajność masowa  $q_{mz1}$  I stopnia dwustopniowej sprężarki chłodniczej
  - 1.4.2. Wydajność masowa  $q_{mz2}$  II stopnia dwustopniowej sprężarki chłodniczej
  - 1.4.3. Wydajność chłodnicza  $\Phi_o$  przypisana dwustopniowej sprężarce chłodniczej
  - 1.4.4. Wydajność chłodnicza normalna  $\Phi_{on}$  dwustopniowej sprężarki chłodniczej
  - 1.4.5. Stopień dostarczenia I stopnia sprężarki  $\lambda_1$
  - 1.4.6. Stopień dostarczenia II stopnia sprężarki  $\lambda_2$
  - 1.4.7. Masa strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego ziębnicę międzystopniową  $q_{mc}$
  - 1.4.8. Temperatura nasycenia czynnika na ssaniu I stopnia sprężarki  $t_o$
  - 1.4.9. Temperatura nasycenia czynnika na ssaniu II stopnia sprężarki  $t_{om}$
  - 1.4.10. Temperatura nasycenia czynnika na tłoczeniu II stopnia sprężarki  $t_k$
  - 1.4.11. Porównawcze warunki termiczne obiegu odniesienia
  - 1.4.12. Sprężarka grupy A
  - 1.4.13. Sprężarka grupy B
  - 1.4.14. Pozostałe określenia
- 1.5. Symbole i jednostki wielkości stosowanych w normie

**2. WYTYCZNE OGÓLNE**

- 2.1. Zestawianie metod pomiarowych
- 2.2. Przygotowanie do pomiarów
- 2.3. Ustalenie warunków

**3. WARUNKI POMIARÓW**

- 3.1. Postanowienia ogólne
- 3.2. Pomiary ciśnienia i temperatury

**4. STANOWISKO BADAWCZE I PRZYRZĄDY POMIAROWE**

- 4.1. Stanowisko badawcze
- 4.2. Przyrządy pomiarowe

**5. SPOSÓB POMIARU****6. METODY POMIARÓW**

- 6.1. Metody pomiaru wydajności chłodniczej
- 6.2. Metody pomiaru mocy napędowej
- 6.3. Metody pomiaru masy strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego ziębnicę międzystopniową

**7. OBLICZANIE WIELKOŚCI CHARAKTERYSTYCZNYCH**

- 7.1. Wydajność chłodnicza sprężarki
- 7.2. Sprawność termiczna sprężarki
- 7.3. Stopień dostarczenia I i II stopnia sprężarki

**8. OCENA BŁĘDÓW POMIARU I ROZBIEŻNOŚĆ MIĘDZY WYNIKAMI UZYSKANYMI Z DWU NIEZALEŻNYCH POMIARÓW**

- 8.1. Błąd pomiaru
- 8.2. Dopuszczalny błąd pomiaru wydajności chłodniczej sprężarki
- 8.3. Rozbieżność między wynikami uzyskanymi z dwu niezależnych pomiarów

**9. SPRAWOZDANIE Z POMIARÓW****ZAŁĄCZNIKI**

1. Przykłady układów pomiarowych stosowanych przy badaniu dwustopniowych sprężarek chłodniczych (schematy i wykresy obiegu)
2. Ziębnica międzystopniowa stosowana do badań dwustopniowych sprężarek chłodniczych grupy B. Wymagania

**INFORMACJE DODATKOWE**

1. Instytucja opracowująca normę
2. Normy związane
3. Autor projektu normy

Zgłoszona przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych CEBEA  
 Ustanowiona przez Naczelnego Dyrektora Zjednoczenia Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych  
 dnia 20 grudnia 1976 r. jako norma obowiązująca w zakresie czynności określonych normą od dnia 1 października 1977 r.  
 (Dz. Norm. i Miar nr 3/1977 poz. 8)

## 1. WSTĘP

**1.1. Przedmiot normy.** Przedmiotem normy są metody pomiarów stosowane przy określaniu wielkości charakterystycznych dwustopniowych sprężarek wyporowych na czynniki chlorowcopochodne i amoniak.

Podane metody mogą być wykorzystywane również przy badaniu sprężarek innych rodzajów.

### 1.2. Rodzaje metod pomiarów

#### 1.2.1. Metody pomiaru wydajności

a) metody kolorymetryczne — A, B, C, G, K,  
b) metoda polegająca na pomiarze przepływu czynnika parowego — D,

c) metody polegające na pomiarze przepływu całkowitej ilości ciekłego czynnika krążącego w obiegu pomiarowym — E, F,

d) metody polegające na pomiarze całkowitej masy strumienia pary czynnika z bilansu procesu oziębiania podstawowego strumienia pary czynnika po stronie ssawnej sprężarki przez odparowanie zmierzonej ilości skropionej części strumienia czynnika — H, J.

#### 1.2.2. Metody pomiaru mocy napędowej

a) bezpośrednia — pomiar momentu skracającego na wale napędowym sprężarki,

b) pośrednia — zastosowanie wyworcowanego elektrycznego silnika napędowego.

**1.2.3. Metody pomiaru masy strumienia czynnika zasilającego zbiębnicę międzystopniową** — pomiar bezpośredni — jednym (lub kilkoma równocześnie) przyrządem stosowanym przy metodzie E lub F.

**1.3. Zakres stosowania normy.** Norma obejmuje metody pomiarów stosowane przy określaniu następujących wielkości:

- wydajności masowej I stopnia sprężarki,
- wydajności masowej II stopnia sprężarki,
- wydajności chłodniczej sprężarki,
- sprawności termicznej sprężarki,
- mocy napędowej sprężarki,
- stopnia dostarczenia I stopnia sprężarki,
- stopnia dostarczenia II stopnia sprężarki,
- masy strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego zbiębnicę międzystopniową.

Podane metody oraz sposoby ich stosowania zapewniają dokładność pomiarów wymaganą przy sporządzaniu charakterystyk dwustopniowych sprężarek chłodniczych oraz oceny poprawności działania w obszarze zadanych warunków termicznych. W odniesieniu do pewnych rodzajów sprężarek mogą wystąpić ograniczenia w stosowaniu normy wynikające z wymagań 3.1.

### 1.4. Określenia

**1.4.1. Wydajność masowa  $q_{mz1}$  I stopnia dwustopniowej sprężarki chłodniczej** — wyznaczona przez pomiar rzeczywista masa strumienia w jednostce czasu (masowe natężenie przepływu) czynnika przetłaczanego przez

I stopień sprężarki w warunkach termicznych określonych ciśnieniem wrzenia i temperaturą ssania występujących w przekroju pomiarowym na dopływie do sprężarki, temperaturą ssania na II stopniu sprężarki, temperaturą czynnika ciekłego zasilającego zbiębnicę międzystopniową oraz ciśnieniem tłoczenia na odpływie ze sprężarki.

**1.4.2. Wydajność masowa  $q_{mz2}$  II stopnia dwustopniowej sprężarki chłodniczej** — wyznaczona przez pomiar rzeczywista masa strumienia w jednostce czasu (masowe natężenie przepływu) czynnika przetłaczanego przez II stopień sprężarki w tych samych warunkach termicznych jak w 1.4.1.

**1.4.3. Wydajność chłodnicza  $\Phi_o$  przypisana dwustopniowej sprężarce chłodniczej** — iloczyn wydajności masowej  $q_{mz1}$  i umownej różnicy entalpii właściwej czynnika obiegowego.

Za umowną przyjmuje się różnicę entalpii właściwej czynnika parowego określonej ciśnieniem wrzenia i dowolną temperaturą leżącą między temperaturą nasycenia a temperaturą ssania na dopływie do sprężarki oraz entalpii właściwej czynnika ciekłego określonej ciśnieniem tłoczenia i dowolną temperaturą leżącą między temperaturą nasycenia a temperaturą przechłodzenia na dopływie do zaworu dławiącego (obieg z jednostopniowym rozprężaniem)

$$\Phi_o = q_{mz1}(h_p - h_c) \quad (1)$$

**1.4.4. Wydajność chłodnicza normalna  $\Phi_{on}$  dwustopniowej sprężarki chłodniczej** — iloczyn wydajności masowej  $q_{mz1}$  i umownej różnicy entalpii właściwej czynnika parowego  $G$  parametrach termicznych występujących w przekroju pomiarowym na dopływie do sprężarki i entalpii właściwej czynnika ciekłego o temperaturze nasycenia odpowiadającej ciśnieniu tłoczenia występującemu podczas badań w przekroju pomiarowym na odpływie ze sprężarki

$$\Phi_{on} = q_{mz1}(h_{p1} - h_{c1}) \quad (2)$$

**1.4.5. Stopień dostarczenia I stopnia sprężarki  $\lambda_1$**  — stosunek wyznaczonej rzeczywistej wydajności masowej I stopnia  $q_{mz1}$  sprężarki do wydajności masowej teoretycznej I stopnia  $q_{m1} = V_{s1} \cdot \rho_{ss} (V_{s1} - \text{dla obrotów rzeczywistych, zmierzonych})$  przy takich samych warunkach termicznych na dopływie

$$\lambda_1 = \frac{q_{mz1}}{q_{m1}} \quad (3)$$

**1.4.6. Stopień dostarczenia II stopnia sprężarki  $\lambda_2$**  — stosunek wyznaczonej rzeczywistej wydajności masowej II stopnia  $q_{mz2}$  sprężarki do wydajności masowej teoretycznej II stopnia  $q_{m2} = V_{s2} \cdot \rho_{ssm} (V_{s2} - \text{dla obrotów rzeczywistych, zmierzonych})$  przy takich samych warunkach termicznych na dopływie

$$\lambda_2 = \frac{q_{mz2}}{q_{m2}} \quad (4)$$

**1.4.7. Masa strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego ziębnicę międzystopniową**  $q_{mc}$  – masowe natężenie przepływu ciekłego czynnika, który został doprowadzony z obiegu chłodniczego do sprężarki w celu oziębienia pary czynnika wytłaczanego przez I stopień, a następnie zassany przez II stopień sprężarki.

Określenie obejmuje również masy strumienia czynnika, zasilających inne urządzenia sprężarki, chłodzone czynnikiem doprowadzonym z zewnątrz w taki sposób, że powstała w wyniku procesu wymiany ciepła i masy para zostaje zassana przez II stopień sprężarki.

**1.4.8. Temperatura nasycenia czynnika na ssaniu I stopnia sprężarki**  $t_o$  – temperatura wrzenia odpowiadająca ciśnieniu  $p_o$  w przekroju pomiarowym na dopływie do sprężarki.

**1.4.9. Temperatura nasycenia czynnika na ssaniu II stopnia sprężarki**  $t_{om}$  – temperatura wrzenia odpowiadająca ciśnieniu  $p_{om}$  w przekroju pomiarowym na dopływie do komory ssawnej lub kolektora ssawnego cylindrów II stopnia.

**1.4.10. Temperatura nasycenia czynnika na tłoczeniu II stopnia sprężarki**  $t_k$  – temperatura skraplania odpowiadająca ciśnieniu tłoczenia  $p_t$  w przekroju pomiarowym na odpływie ze sprężarki.

**1.4.11. Porównawcze warunki termiczne obiegu odniesienia** – warunki, w których porównuje się normalne wydajności chłodnicze sprężarek. Warunki te ujęto w tabl. 1.

Tablica 1

Parametry termiczne obiegu odniesienia	Czynnik chłodniczy
	R12, R22, R502, amoniak (NH <sub>3</sub> )
Temperatura wrzenia $t_o$ , °C	-40
Temperatura ssania $t_{ss}$ , °C	-25
Temperatura ssania na II stopniu $t_{ssm}$ , °C	$t_{om} + 10$
Temperatura skraplania $t_k$ , °C	35
Temperatura czynnika ciekłego przed ziębnicą międzystopniową $t_o$ , °C <sup>1)</sup>	30

<sup>1)</sup> Dla sprężarek z ziębnicą międzystopniową.

**1.4.12. Sprężarka grupy A** – sprężarka z chłodnicą (ziębnicą) międzystopniową spełniająca następujące wymagania:

- stanowi część sprężarki i w związku z tym jest badana i użytkowana z tą sprężarką,
- nie ma urządzeń dodatkowych, których obciążenie cieplne zależne jest od obciążenia aparatów współpracujących ze sprężarką w obiegu chłodniczym.

**1.4.13. Sprężarka grupy B** – sprężarka bez chłodnicy (ziębnicy) międzystopniowej lub sprężarka, w której chłodnica (ziębnicą) międzystopniowa lub urządzenie stosowane

do oziębiania czynnika wytłaczanego przez I stopień sprężarki nie spełniają wymagań kwalifikujących je do grupy A.

**1.4.14. Pozostałe określenia** – wg PN-69/M-04606.

**1.5. Symbole i jednostki wielkości stosowanych w normie** – wg tabl. 2.

Tablica 2

Symbol	Jednostka miary	Nazwa wielkości
1	2	3
$h_c$	J/kg	Entalpia właściwa czynnika ciekłego określona ciśnieniem tłoczenia i dowolną temperaturą leżącą między temperaturą nasycenia, a temperaturą przechłodzenia
$h_{c1}$	J/kg	Entalpia właściwa czynnika ciekłego o temperaturze nasycenia odpowiadającej ciśnieniu tłoczenia na odpływie ze sprężarki
$h_p$	J/kg	Entalpia właściwa czynnika parowego określona ciśnieniem wrzenia i dowolną temperaturą leżącą między temperaturą nasycenia, a temperaturą ssania na dopływie do sprężarki
$h_{p1}$	J/kg	Entalpia właściwa czynnika parowego określona ciśnieniem wrzenia i normalną temperaturą ssania
$q_{mc}$	kg/s	Masa strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego ziębnicę międzystopniową
$q_{m1}$	kg/s	Wydajność masowa teoretyczna I stopnia sprężarki
$q_{m2}$	kg/s	Wydajność masowa teoretyczna II stopnia sprężarki
$q_{mz}$	kg/s	Masa strumienia czynnika w jednostce czasu wyznaczona przez pomiar (wydajność masowa sprężarki), ogólnie
$q_{mz1}$	kg/s	Masa strumienia czynnika w jednostce czasu przetwarzanego przez I stopień sprężarki, wyznaczona przez pomiar metodą główną
$q'_{mz1}$	kg/s	Masa strumienia czynnika w jednostce czasu przetwarzanego przez I stopień sprężarki, wyznaczona przez pomiar metodą potwierdzającą
$q_{mz2}$	kg/s	Masa strumienia czynnika w jednostce czasu przetwarzanego przez II stopień sprężarki, wyznaczona przez pomiar
$p_c$	MPa	Ciśnienie czynnika ciekłego przed ziębnicą międzystopniową
$p_{om}$	MPa	Ciśnienie międzystopniowe
$p_{ss}$	MPa	Ciśnienie ssania, ogólnie
$p_t$	MPa	Ciśnienie tłoczenia, ogólnie
$p_{zw}$	MPa	Ciśnienie przed zwężką
$\Delta p_{zw}$	MPa	Ciśnienie różnicowe na zwężce
$\Phi_o$	W	Wydajność chłodnicza sprężarki

cd. tabl. 2

Symbol	Jednostka miary	Nazwa wielkości
1	2	3
$\Phi_{on}$	W	Wydajność chłodnicza normalna
$t_c$	°C	Temperatura czynnika ciekłego przed ziębnicą międzystopniową
$t_d$	°C	Temperatura przechłodzenia czynnika ciekłego
$t_k$	°C	Temperatura skraplania (temperatura nasycenia czynnika odpowiadająca ciśnieniu tłoczenia $p_t$ )
$t_{om}$	°C	Temperatura nasycenia czynnika na ssaniu II stopnia (temperatura wrzenia odpowiadająca ciśnieniu $p_{om}$ )
$t_o$	°C	Temperatura nasycenia czynnika na ssaniu I stopnia (temperatura wrzenia odpowiadająca ciśnieniu $p_o$ )
$t_{ss}$	°C	Temperatura ssania na I stopniu sprężarki oraz ogólnie
$t_{ssm}$	°C	Temperatura ssania na II stopniu sprężarki
$t_t$	°C	Temperatura tłoczenia sprężarki (na II stopniu)
$t_{zw}$	°C	Temperatura za zwężką
$t_1$	°C	Temperatura cieczy grzejnej na dopływie do aparatu
$t_2$	°C	Temperatura cieczy grzejnej na odpływie z aparatu
$q_v$	m <sup>3</sup> /s	Natężenie przepływu strumienia ciekłego roztworu czynnika i oleju
$V_{s1}$	m <sup>3</sup> /s	Wydajność objętościowa skokowa I stopnia
$V_{s2}$	m <sup>3</sup> /s	Wydajność objętościowa skokowa II stopnia
$v_{ss}$	m <sup>3</sup> /kg	Rzeczywista objętość właściwa czynnika parowego na dopływie do sprężarki
$v_{ssm}$	m <sup>3</sup> /kg	Rzeczywista objętość właściwa czynnika parowego na dopływie do II stopnia
$v_{ssn}$	m <sup>3</sup> /kg	Objętość właściwa czynnika parowego w warunkach ssania odpowiadająca zadanyemu parametrem termicznym obiegu odniesienia
$v_{ssmn}$	m <sup>3</sup> /kg	Objętość właściwa czynnika parowego odpowiadająca warunkom zadanyemu na dopływie do II stopnia
$v_{o1}$	m <sup>3</sup> /kg	Objętość właściwa oleju
$\lambda_1$	—	Stopień dostarczenia I stopnia
$\lambda_2$	—	Stopień dostarczenia II stopnia
$\omega$	kg/kg	Udział masowy oleju w roztworze czynnika i oleju
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Gęstość masy czynnika ciekłego odpowiadająca temperaturze, przy której mierzone jest natężenie przepływu
$\rho_{ss}$	kg/m <sup>3</sup>	Gęstość masy czynnika parowego na dopływie do sprężarki
$\rho_{ssm}$	kg/m <sup>3</sup>	Gęstość masy czynnika parowego na dopływie do II stopnia

## 2. WYTYCZNE OGÓLNE

### 2.1. Zestawianie metod pomiarowych — wg tabl. 3.

Tablica 3

I stopień sprężarki	II stopień sprężarki
metoda A	metoda E, F, G lub K
metoda B	metoda E, F, G lub K
metoda C	metoda E, F, G lub K
metoda D	metoda G, H, J lub K

Metody pomiaru — wg PN-69/M-04606.

#### Pomiary:

— wydajności masowej I stopnia sprężarki,  
 — wydajności masowej II stopnia sprężarki,  
 — mocy napędowej sprężarki,  
 — masy strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego ziębnicę międzystopniową powinny być prowadzone równocześnie.

Metody użyte do pomiarów wydajności powinny być tak dobrane, aby uzyskane wyniki były od siebie niezależne, a wyznaczony błąd pomiaru był najmniejszy przy pomiarze wydajności metodą główną.

Metody zastosowane do pomiaru wydajności I stopnia sprężarki należy traktować jako metody główne, metody zastosowane do pomiaru wydajności II stopnia sprężarki jako potwierdzające.

Dla sprężarek z ziębnicą międzystopniową wartość potwierdzającą wynik uzyskany metodą główną otrzymuje się przez odjęcie od wydajności masowej II stopnia, wyznaczonej przez pomiar masy strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego ziębnicę międzystopniową

$$q'_{mz1} = q_{mz2} - q_{mc} \quad (5)$$

Dla sprężarek, w których stosowane jest chłodzenie międzystopniowe bez użycia czynnika chłodniczego i gdzie  $q_{mz1} = q_{mz2}$ , można pomiar wydajności masowej II stopnia metodami K, G i D stosować jako metodę główną. Pomiar wydajności I stopnia należy przeprowadzić wówczas jedną z pozostałych metod wg tabl. 3.

W szczególnych warunkach, jeśli można mieć pewność, że uzyskane wyniki będą od siebie niezależne, dopuszcza się dla obu grup sprężarek równoczesne stosowanie metody D do pomiaru wydajności I i II stopnia.

Schematy instalacji układów pomiarowych, które ilustrują sposoby wykorzystywania i łączenia metod pomiaru wydajności przy badaniu dwustopniowych sprężarek chłodniczych wg załącznika 1.

**2.2. Przygotowanie do pomiarów.** Układ pomiarowy (stanowisko badawcze — sprężarka) powinien być szczelny zewnętrznie oraz mieć sprawdzoną szczelność wewnętrzną zamknięć na tych połączeniach w obrębie instalacji, które umożliwiają przepływ czynnika obiegowego poza przyrządem lub urządzeniem pomiarowym.

Układ powinien być napełniony odpowiednią ilością czynnika i oleju smarowego. Czynnik i olej powinny mieć czystość zapewniającą normalne działanie sprężarki w ruchu ciągłym i utrzymanie niedokładności pomiarów w ustalonych granicach.

Zawartość oleju w ciekłym czynnikiem zapewniającym skraplacza i zbiorniki cieczy nie powinna przekraczać 1 do 2% (zawartość oleju w roztworze olej – czynnik może być wyznaczona zgodnie z PN-69/M-04606 załącznik 7).

Przed rozpoczęciem pomiarów układ należy sprawdzić na nieobecność gazów nieskrapających się. Obecność lub nieobecność gazów nieskrapających się można stwierdzić m. in. mierząc ciśnienie i temperaturę czynnika w przestrzeni parowej skraplacza lub zbiornika cieczy i porównując zmierzona temperaturę z temperaturą nasycenia czynnika odpowiadającą zmierzonemu ciśnieniu.

**2.3. Ustalenie warunków.** Podane metody pomiarów mają zastosowanie wyłącznie do sprężarek chłodniczych działających w sposób ciągły w ustalonych warunkach ruchu.

Warunki można uznać za ustalone, jeśli zmiany wartości wielkości mierzonych podstawowych dla badań będą się mieścić w następujących granicach:

a) ciśnienia absolutne lub odpowiadające im temperatury nasycenia  $p_{ss}(t_o)$ ,  $p_{om}(t_{om})$  i  $p_i(t_k)$  w przekrojach pomiarowych na ssaniu I i II stopnia oraz tłoczeniu II stopnia nie powinny zmieniać się więcej niż o  $\pm 1\%$ ,

b) temperatury ssania  $t_{ss}$  i  $t_{ssm}$  w przekrojach pomiarowych na ssaniu I i II stopnia nie powinny zmieniać się więcej niż o  $\pm 1^\circ\text{C}$ ,

c) temperatura otoczenia w pomieszczeniu, w którym znajduje się sprężarka i bilansowane aparaty, nie powinna zmieniać się więcej niż o  $\pm 1^\circ\text{C}$ ,

d) prędkość obrotowa sprężarki nie powinna zmieniać się więcej niż o  $\pm 1\%$ .

Granice zmienności pozostałych wielkości mierzonych, podstawowych dla zastosowanych metod pomiarowych podane są w opisach tych metod.

Odchylenia zmierzonych wartości parametrów termicznych pracy sprężarki od wartości podanych w tabl. 1 i 4 lub zadanych w programie badań powinny w zasadzie mieścić się w granicach zmienności wielkości mierzonych.

Dla temperatur i ciśnień w przekrojach pomiarowych na ssaniu I i II stopnia sprężarki dopuszcza się takie odchylenia od wartości zadanych, przy których objętości właściwe czynnika parowego  $v_{ss}$  i  $v_{ssm}$  nie różnią się więcej niż o  $\pm 2\%$  od wartości  $v_{ssn}$  i  $v_{ssmn}$  odpowiadających warunkom zadany.

### 3. WARUNKI POMIARÓW

**3.1. Postanowienia ogólne.** Podczas badań sprężarka powinna mieć kompletne wyposażenie niezbędne do poprawnego działania i przewidziane dla niej w warunkach eksploatacji.

Sprężarki grupy B mogą być badane zgodnie z niniejszą normą, jeśli:

a) zostaną wyposażone do badań w ziębnicę międzystopniową spełniającą wymagania podane w załączniku 2,

b) parametry pracy tych sprężarek, w układzie z taką ziębnicą międzystopniową, są zbliżone do parametrów przewidywanych w eksploatacji, przy zadanych parametrach termicznych ruchu.

Przy wyznaczaniu wydajności chłodniczych normalnych w warunkach termicznych obiegu odniesienia różnych od warunków porównawczych, zaleca się ustalać poszczególne parametry termiczne wg tabl. 4.

Tablica 4

Parametry termiczne obiegu odniesienia	Czynnik chłodniczy	
	R12, R22 i R502	amoniak (NH <sub>3</sub> )
$t_o$ i $t_k$	dowolne w zakresie dopuszczalnym dla danej sprężarki	
$t_{ss}$ , °C	$t_o + 15$	$t_o + 10$
$t_{ssm}$ , °C	$t_{om} + 10$	$t_{om} + 10$
$t_k - t_d$ , °C	0	0
$t_c^1$ , °C	$t_k - 5$	$t_k - 5$

<sup>1)</sup> Dla sprężarek z ziębnicą międzystopniową.

**3.2. Pomiary ciśnienia i temperatury.** Ciśnienie  $p_o$  i temperaturę ssania  $t_{ss}$  sprężarki należy mierzyć w tym samym przekroju pomiarowym na prostoliniowym przewodzie o jednakowym przekroju, w odległości 300 mm lub odległości równej 8 średnicom przewodu, jeśli jest to wartość większa, od dopływu do sprężarki lub od zaworu odcinającego, jeśli stanowi on wyposażenie sprężarki.

Ciśnienie  $p_{om}$  i temperaturę ssania  $t_{ssm}$  na II stopniu sprężarki należy mierzyć w tym samym przekroju pomiarowym na prostoliniowej części przewodu dopływowego, w odległości równej 3 średnicom przewodu od komory ssawnej II stopnia (zaworu odcinającego) lub jeśli cylindry II stopnia nie mają wspólnej komory ssawnej, od pierwszego odgałęzienia (zaworu odcinającego) na kolektorze ssawnym.

Jeżeli z powodu braku miejsca lub znacznego zakrzywienia przewodu nie można mierzyć ciśnienia w tym samym przekroju co temperaturę, dopuszcza się przenieść punkt pomiaru ciśnienia do komory ssawnej II stopnia w miejsce, w którym ciśnienie, ocenione szacunkowo, nie będzie się różniło od ciśnienia w przekroju pomiarowym temperatury więcej niż wynosi wartość błędu przyrządu pomiarowego.

Pomiar temperatury na nieprostoliniowej części przewodu jest dopuszczalny.

Ciśnienie  $p_t$  i temperaturę tłoczenia  $t_t$  sprężarki należy mierzyć w tym samym przekroju pomiarowym na prostoliniowym przewodzie o jednakowym przekroju, w odległości wynoszącej nie mniej niż 300 mm lub równej 8 średnicom przewodu, jeśli jest to wartość większa, od odpływu ze sprężarki lub od zaworu odcinającego, jeśli stanowi on wyposażenie sprężarki.

Ciśnienie i temperaturę czynnika na dopływie do bilansowanego aparatu i odpływie z niego należy mierzyć w tym

samym przekroju pomiarowym w odległości od aparatu (zaworu odcinającego) równej 3 średnicom przewodu. Dotyczy to również pomiaru ciśnienia i temperatury ciekłego czynnika na dopływie do zbiornicy międzystopniowej.

Przy pomiarze temperatury czynnika chłodniczego, szczególnie tam, gdzie według tej temperatury określa się entalpię czynnika, należy przestrzegać następujących zasad:

- przy pomiarze temperatury pary przegrzanej, minimalne przegrzanie powinno wynosić 8 do 15°C dla czynników chlorowcopochodnych i 5 do 10°C dla amoniaku ( $\text{NH}_3$ ),

- przy pomiarze temperatury cieczy, minimalne przechłodzenie cieczy powinno wynosić 3 do 5°C.

Tulejkę termometryczną należy instalować *pod prąd* w taki sposób, aby nie wpływała w sposób istotny na prędkość przepływu czynnika. Głębokość zanurzenia tulejki termometrycznej nie powinna być mniejsza niż 100 mm lub 10 średnic tulejki, jeśli wartość ta jest większa. Odcinek przewodu od tulejki termometrycznej do sprężarki (aparatu) powinien być izolowany.

Jeżeli z powodu zbyt małej średnicy rurociągu trzeba dla zainstalowania tulejki termometrycznej zwiększyć średnicę rurociągu lub załamać go i przez to nie można mierzyć temperatury w tym samym przekroju co ciśnienie, to punkt pomiaru temperatury należy oddalić od sprężarki tak, aby odcinek prostego rurociągu między punktem pomiaru ciśnienia i punktem pomiaru temperatury wynosił 3÷5 średnic przewodu. Odcinek przewodu między przekrojami pomiarowymi należy zaizolować.

Otwór impulsowy ciśnienia o średnicy 1÷2 mm powinien być prostopadły do wewnętrznej powierzchni ścianki przewodu i przepływającego strumienia czynnika, przy czym krawędź otworu powinna być gładka, bez zadziorów, nie wystająca poza ściankę przewodu.

Przewód impulsowy ciśnienia o średnicy 5÷8 mm należy przylutować lub przyspawać od zewnętrznej powierzchni rurociągu w osi otworu impulsowego. Jeżeli rurociąg jest poziomy lub pochyły, to otwór impulsowy należy umieścić w górnej części rurociągu, aby uniknąć dostawiania się oleju lub ciekłego czynnika do przewodu impulsowego.

Przy pomiarze ciśnienia pulsującego, jeśli amplituda wahań wskazań manometru nie przekracza 3% wartości mierzonej, to za wynik można przyjąć wartość średniego wskazania.

W przypadku większych wahań ciśnienia należy zastosować odpowiednio dobrany tłumik komorowy.

Nie dopuszcza się stosowania zaworów dławiących do tłumienia pulsacji ciśnienia.

#### 4. STANOWISKO BADAWCZE I PRYZRZĄDY POMIAROWE

**4.1. Stanowisko badawcze** powinno spełniać następujące wymagania:

- a) umożliwiać realizację obiegu chłodniczego przy zadanych parametrach termicznych na ssaniu i tłoczeniu

- sprężarki oraz trwale osiągnięcie stanu równowagi cieplnej;

- b) zapewniać sprężarce warunki pracy zbliżone do eksploatacyjnych przy zadanych parametrach termicznych ruchu;

- c) mieć urządzenia (aparaty) pozwalające wyznaczyć równocześnie i niezależnymi metodami

- wydajność masową I stopnia,

- wydajność masową II stopnia,

- masę strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego zbiornicę międzystopniową (dla sprężarek z zbiornicą międzystopniową),

- moc napędową;

- d) mieć prawidłowo usytuowane przekroje pomiarowe oraz prawidłowo zainstalowane przyrządy pomiarowe;

- e) mieć urządzenia zapewniające prawidłowy obieg oleju w układzie stanowisko — sprężarka oraz nie pozwalające na wzrost zawartości oleju w ciekłym czynniku powyżej wartości dopuszczalnych (2.2);

- f) spełniać warunki bezpieczeństwa stawiane instalacjom chłodniczym wg PN-72/M-04601.

**4.2. Przyrządy pomiarowe** — wg PN-69/M-04606 p. 2.3.

#### 5. SPOSÓB POMIARU

Po osiągnięciu ustalonych warunków ruchu należy wykonać w czasie okresu pomiarowego trwającego co najmniej jedną godzinę odczyty potrzebnych wielkości mierzonych. Odczyty należy wykonywać stale w tej samej kolejności w równych odstępach czasu nie przekraczających 20 min, przy czym średnią arytmetyczną należy tworzyć z co najmniej 4 kolejnych odczytów.

Zaleca się użycie rejestrujących przyrządów pomiarowych o klasie dokładności odpowiadającej niedokładności metody pomiaru, przy czym mogą one również dublować właściwe przyrządy pomiarowe. Za wartość pomiarową każdej wielkości w danym okresie pomiarowym przyjmuje się średnią arytmetyczną 4 odczytów tej wielkości.

Pomiary masy lub objętości czynnika (licznikiem) należy wykonywać na początku i na końcu każdego odstępu czasu między odczytami w celu sprawdzenia, czy warunki są ustalone. Za wartość pomiarową w danym okresie pomiarowym przyjmuje się różnicę między pierwszym a ostatnim odczytem całego okresu pomiarowego.

W celu wyznaczenia masy lub objętości strumienia czynnika wartość tej różnicy odnosi się do czasu trwania pomiaru.

W okresie pomiarowym, po ustaleniu się warunków ruchu, nie wolno dodawać czynnika do obiegu, ani oleju smarowego do zamkniętych skrzyń korbowych sprężarki mających połączenie z obiegiem czynnika. Poziom ciekłego czynnika we wszystkich zbiornikach układu pomiarowego powinien być taki sam na początku i na końcu okresu pomiarowego w warunkach ruchu ustalonego.

## 6. METODY POMIARÓW

**6.1. Metody pomiaru wydajności chłodniczej** — wg PN-69/M-04606 p. 4.2÷4.11, traktując poszczególne stopnie sprężarki dwustopniowej jak sprężarki jednostopniowe.

**6.2. Metody pomiaru mocy napędowej** — wg PN-69/M-04606 p. 4.12.

**6.3. Metody pomiaru masy strumienia ciekłego czynnika chłodniczego zasilającego ziębnicę międzystopniową.** Masę strumienia należy mierzyć jednym (lub kilkoma równocześnie) z przyrządów stosowanych przy metodach E i F — wg PN-69/M-04606 p. 4. 6 i 4.7.

## 7. OBLICZANIE WIELKOŚCI CHARAKTERYSTYCZNYCH

**7.1. Wydajność chłodniczą sprężarki** oblicza się wg wzoru 1 lub 2, po:

a) wyznaczeniu wydajności masowej I stopnia sprężarki mierzonej obiema zastosowanymi metodami (2.1) za pomocą aparatów lub przyrządów zainstalowanych w obiegu pomiarowym między odpływem ze sprężarki i dopływem do niej,

b) określeniu umownej różnicy entalpii właściwej w warunkach podanych w 1.4.3 lub 1.4.4.

Do wzoru należy wstawiać wartość wydajności masowej  $q_{mz1}$  wyznaczonej metodą główną.

Jeżeli rzeczywiste wartości ciśnienia i temperatury zmierzone w przekroju pomiarowym na ssaniu I stopnia sprężarki różnią się od wartości zadanych (2.2), należy uzyskaną z pomiaru wartość masy strumienia czynnika na I stopniu sprężarki sprowadzić do warunków zadanych mnożąc ją przez współczynnik poprawkowy  $v_{ss}/v_{ssn}$ .

Entalpię właściwą czynnika ciekłego i entalpię właściwą czynnika parowego dla ciśnienia i temperatury ssania sprężarki należy określić na podstawie uznanych tablic.

Wynik uzyskany z pomiaru głównego można uznać jako poprawny, gdy wynik pomiaru potwierdzającego nie różni się więcej niż o  $\pm 4\%$ .

**7.2. Sprawność termiczna sprężarki.** Sprawność termiczną sprężarki oblicza się po wykonaniu pomiarów wydajności i mocy napędowej wg PN-69/M-04606 p. 1.3.5.

**7.3. Stopień dostarczenia I i II stopnia sprężarki** oblicza się po wykonaniu pomiarów wydajności i mocy napędowej wg wzoru (3) i (4).

## 8. OCENA BŁĘDÓW POMIARU I ROZBIEŻNOŚĆ MIĘDZY WYNIKAMI UZYSKANymi Z DWU NIEZALEŻNYCH POMIARÓW

**8.1. Błąd pomiaru,** z jakim wyznacza się masę strumienia czynnika lub wydajność chłodniczą, jest sumą błędów przypadkowego i błędów systematycznego.

W celu określenia błędów przypadkowych należy obliczyć średni błąd kwadratowy odchyłek przypadkowych wszystkich wartości pomiarowych użytych do obliczenia mierzonej wielkości.

Błąd systematyczny zależy przede wszystkim od stanu przegrzania zasysanej pary i od obecności oleju w czynniku i można go wyeliminować przestrzegając wymagania wg 2.2 i 3.2.

W przeciwnym przypadku, a w szczególności, jeżeli udział masowy oleju w czynniku przekracza 1%, należy wyznaczyć błąd systematyczny i uwzględnić go przy wyznaczaniu błędów wyniku złożonego.

Wartość błędów dla wydajności masowej wyznaczonej przez pomiar główny powinna być mniejsza od wartości błędów wyniku uzyskanego przez pomiar wybraną metodą potwierdzającą.

**8.2. Dopuszczalny błąd pomiaru wydajności chłodniczej sprężarki** nie powinien przekraczać  $\pm 5\%$ .

**8.3. Rozbieżność między wynikami uzyskanymi z dwu niezależnych pomiarów.** Ważność pomiaru głównego ustala się na podstawie rozbieżności między wynikami uzyskanymi z dwu niezależnych pomiarów wg wzoru

$$X = \frac{q_{mz1} - q'_{mz1}}{q_{mz1}} \quad (6)$$

Przy stosowaniu metody E oraz metody F wydajność masową  $q_{mz}$ , zredukowaną do zadanych warunków na ssaniu I stopnia sprężarki, należy obliczyć w kg/s wg wzoru

$$q_{mz} = \frac{q_v \cdot \rho}{1 + \frac{\xi}{1 - \xi} v_{ol} \cdot \rho} \cdot \frac{v_{ss}}{v_{ssn}} \quad (7)$$

## 9. SPRAWOZDANIE Z POMIARÓW

Wyniki pomiarów należy ująć w sprawozdaniu z przebiegu badań, które powinno zawierać:

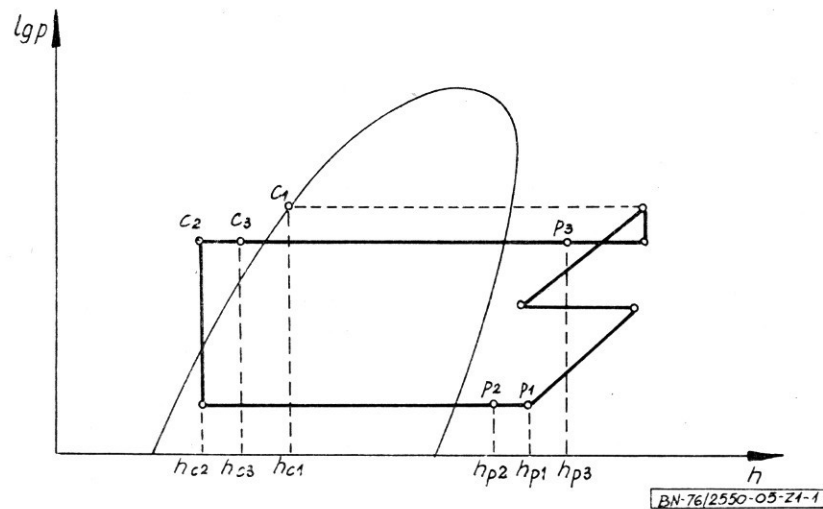
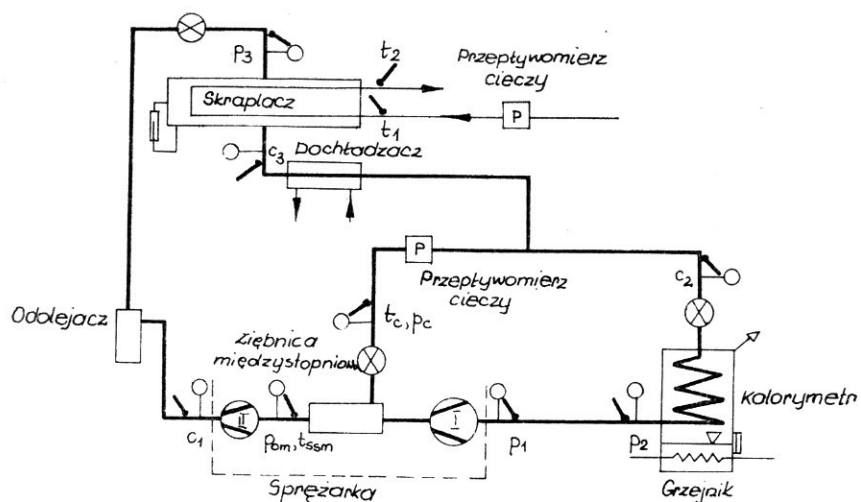
- a) dane ogólne
  - data, miejsce i wykonujący badania,
  - czas rozpoczęcia, czas zakończenia i czas trwania badania,
  - numery jednostkowe (wyrobu) i serii sprężarki oraz nazwa wytwórcy,
  - rodzaj sprężarki (tłokowa, rotacyjna),
  - typ sprężarki (pojedynczo lub podwójnie działająca, liczba i układ cylindrów itp.),
  - średnice cylindra i skok (dotyczy sprężarek tłokowych),
  - wydajności objętościowe skokowe poszczególnych stopni (przy obrotach znamionowych),
  - prędkość obrotowa sprężarki (znamionowa),
  - rodzaj czynnika chłodniczego,
  - sposób chłodzenia międzystopniowego,
  - rodzaj napędu sprężarki,
  - wykaz normalnego wyposażenia sprężarki,

- b) warunki badań
- ciśnienie absolutne na ssaniu sprężarki (temperatura nasycenia),
    - temperatura na ssaniu sprężarki,
    - ciśnienie absolutne na ssaniu II stopnia (temperatura nasycenia),
    - temperatura na ssaniu II stopnia,
    - ciśnienie absolutne na tłoczeniu sprężarki (temperatura nasycenia),
    - prędkość obrotowa sprężarki i parametry zasilania elektrycznego,
  - c) zastosowane metody pomiarów
    - pomiar główny wydajności,
    - pomiar potwierdzający wydajności,
    - pomiar ilości czynnika zasilającego ziębnicę międzystopniową,
    - pomiar mocy napędowej,
  - d) średnie wartości odczytów pomiarowych
    - prędkość obrotowa sprężarki lub częstotliwość obrotów,
    - temperatura otoczenia,
    - ciśnienie barometryczne,
    - ciśnienie czynnika na ssaniu sprężarki,
    - temperatura czynnika na ssaniu sprężarki,
    - temperatura czynnika na tłoczeniu I stopnia,
    - ciśnienie międzystopniowe,
    - ciśnienie w skrzyni korbowej sprężarki,
    - temperatura czynnika na ssaniu II stopnia,
    - ciśnienie czynnika na tłoczeniu sprężarki,
    - temperatura czynnika na tłoczeniu sprężarki,
    - temperatura wody chłodzącej sprężarkę na dopływie,
    - temperatura wody chłodzącej na odpływie,
    - masa strumienia (masowe natężenie przepływu) wody chłodzącej,
    - warunki chłodzenia przy powietrznym chłodzeniu sprężarki,
    - temperatura i ciśnienie oleju smarowego w sprężarce (w miarę możliwości),
    - masa strumienia ciekłego czynnika zasilającego ziębnicę międzystopniową lub (w przypadkach gdy stosowane jest chłodzenie międzystopniowe bez użycia czynnika chłodniczego) rodzaj chłodziwa oraz parametry niezbędne do wyznaczenia strumienia odbieranego ciepła,
    - napięcie i częstotliwość elektrycznej sieci zasilającej,
    - moc pobierana przez silnik.
- W zależności od zastosowanej metody pomiarów wymagane jest podanie odczytów dalszych wielkości pomiarowych wyszczególnionych w opisach metod oraz może być wymagane podanie innych informacji dodatkowych.
- e) wyniki obliczeń
- współczynnik strat cieplnych kalorymtrów,
  - wydajności masowe,
  - wydajność chłodnicza sprężarki,
  - stopnie dostarczenia  $\lambda_1$  i  $\lambda_2$ ,
  - sprawność termiczna sprężarki,
  - oszacowany błąd wyniku pomiarów,
  - strumień ciepła pobrany przez wodę w koszulkach chłodzących sprężarki, jeśli takie występują,
  - strumień ciepła odbierany przy chłodzeniu międzystopniowym,
- f) użyte tablice i wykresy,
- g) imię i nazwisko wykonującego pomiary i obliczenia.
- Wyniki należy, jeśli jest to możliwe, przedstawić również wykreślnie.

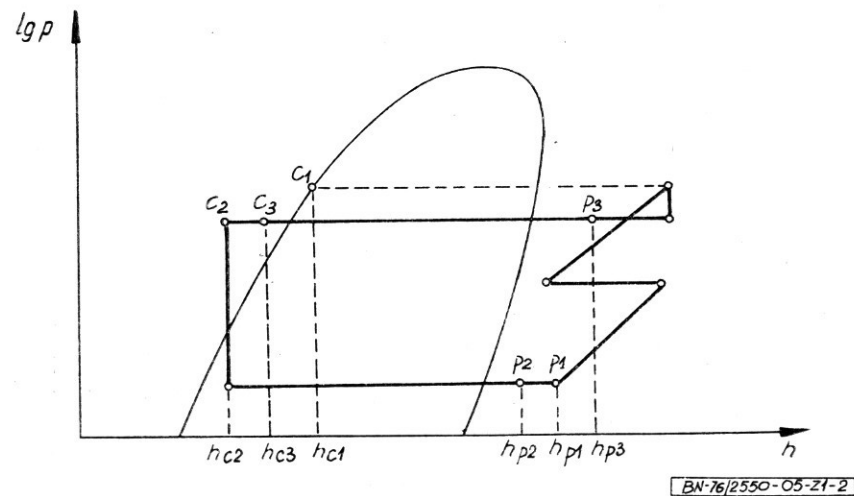
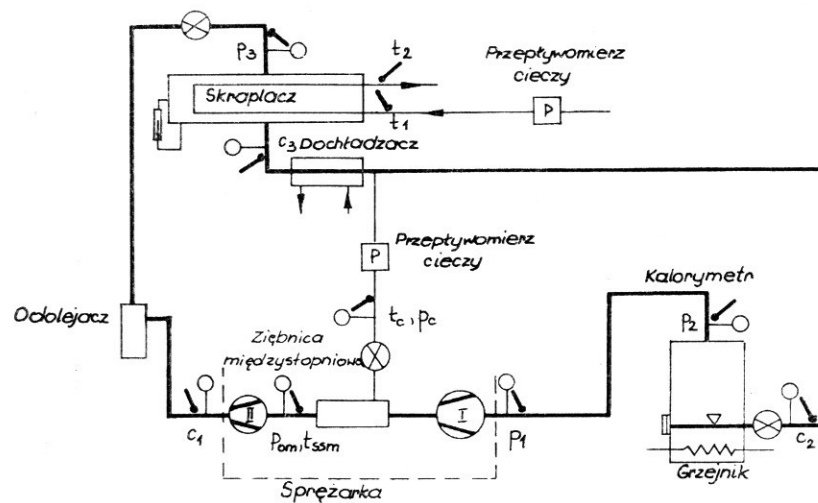
K O N I E C



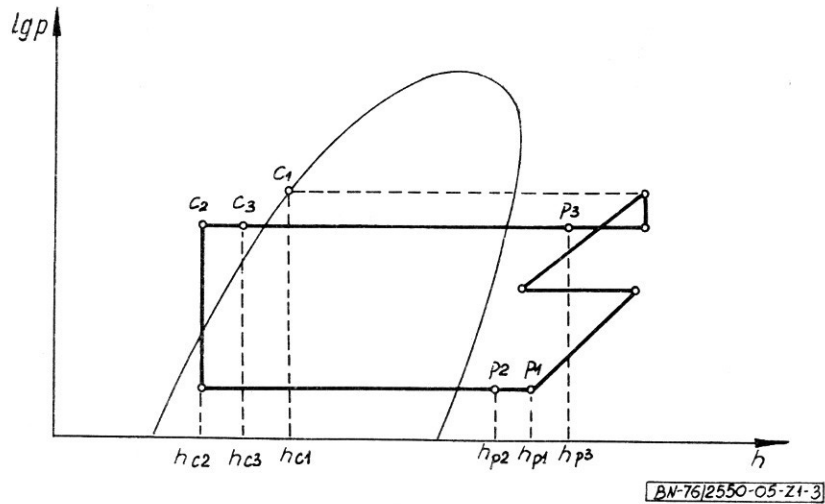
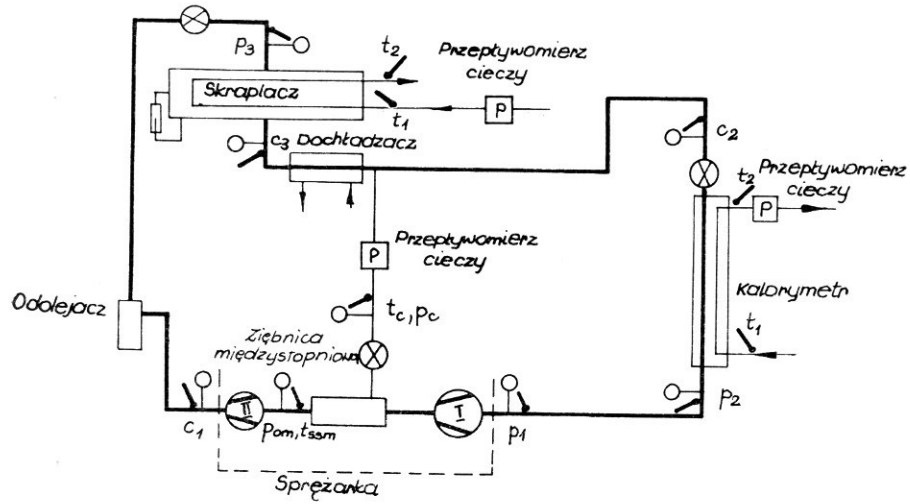
**PRZYKŁADY UKŁADÓW POMIAROWYCH STOSOWANYCH PRZY BADANIU DWUSTOPNIOWYCH SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH (SCHEMATY I WYKRESY OBIEGU) – wg rys. Z1-1 do rys. Z1-9**



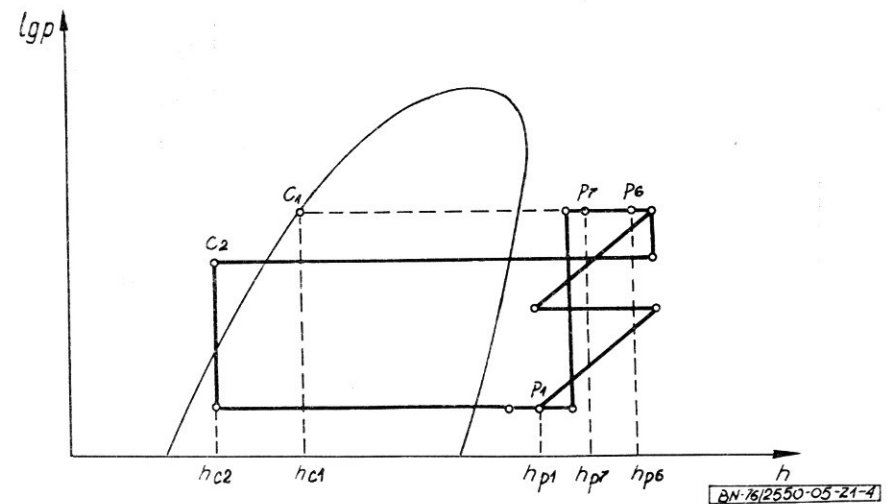
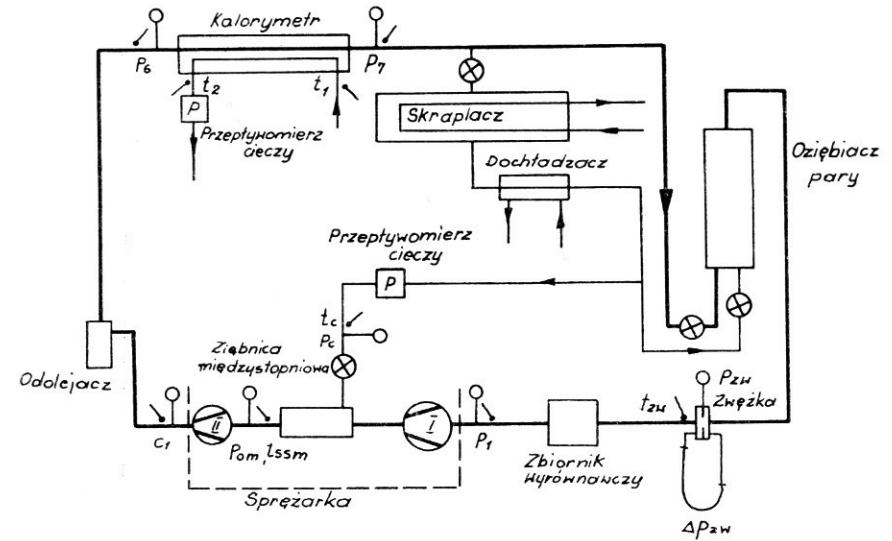
Rys. Z1-1. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody A i G



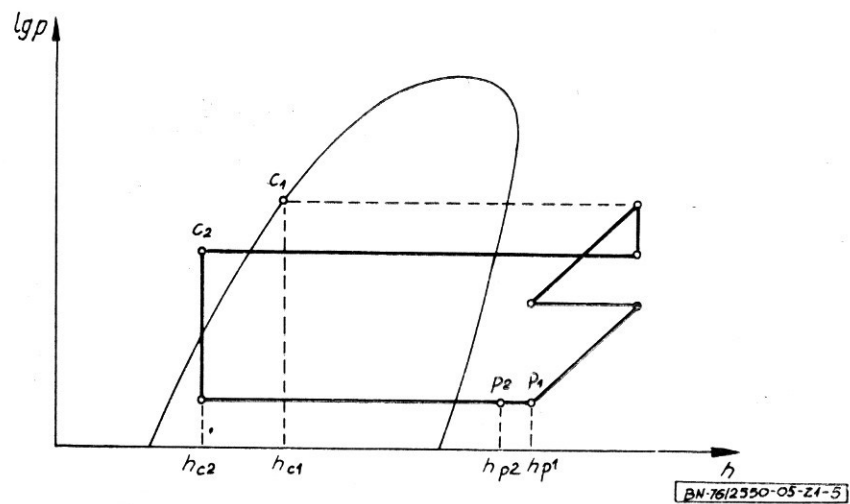
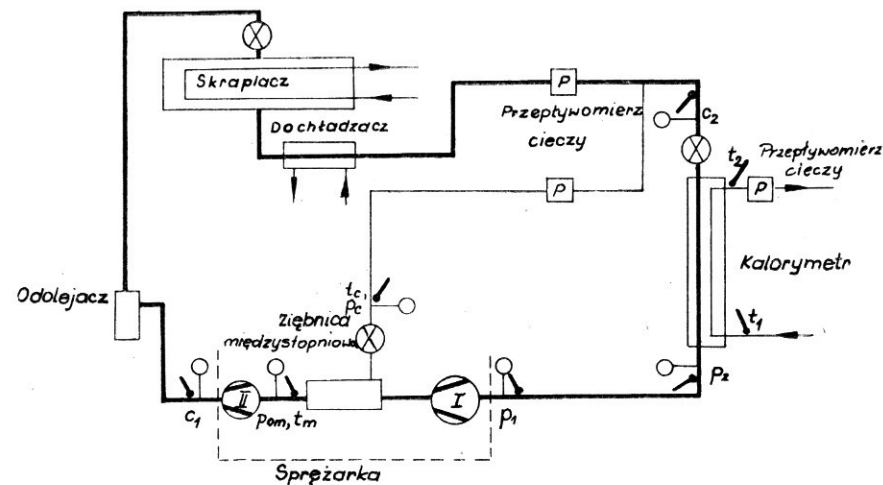
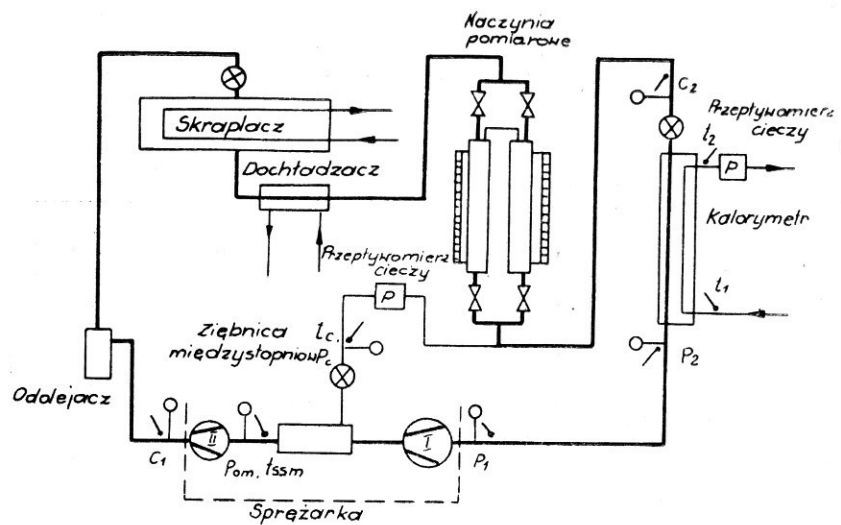
Rys. Z1-2. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody B i G



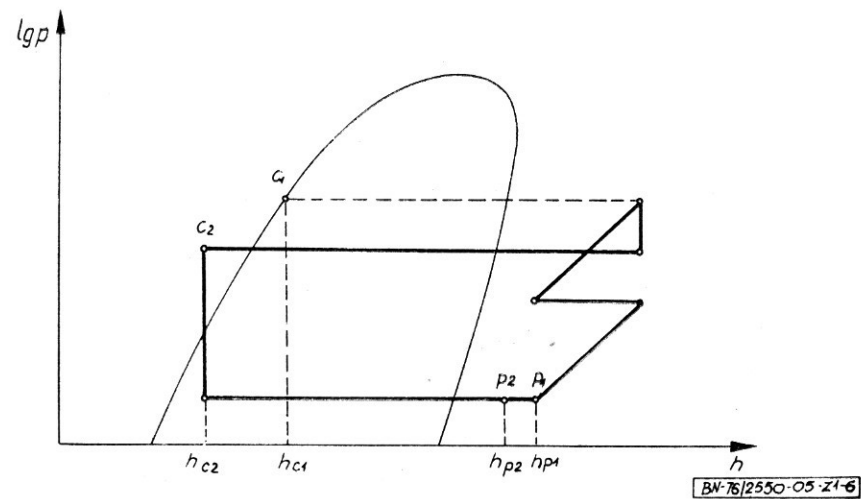
Rys. Z1-3. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody C i G



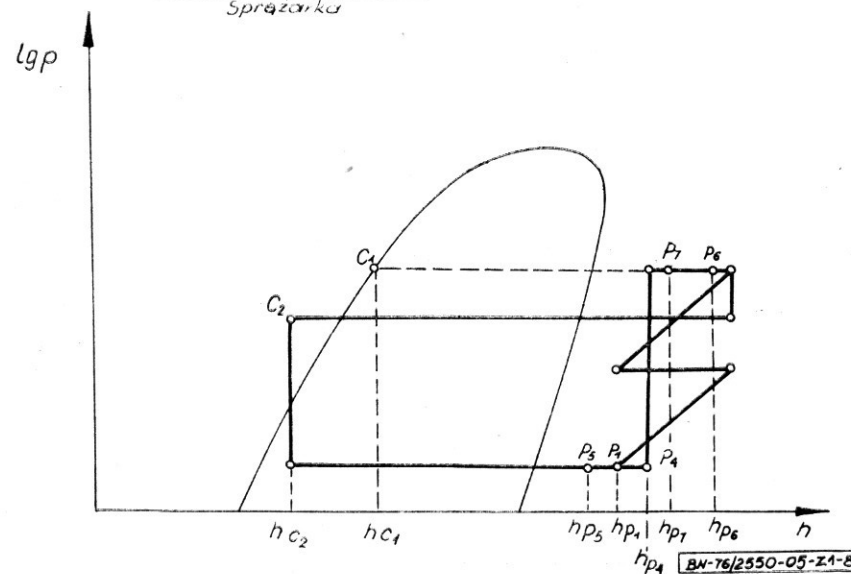
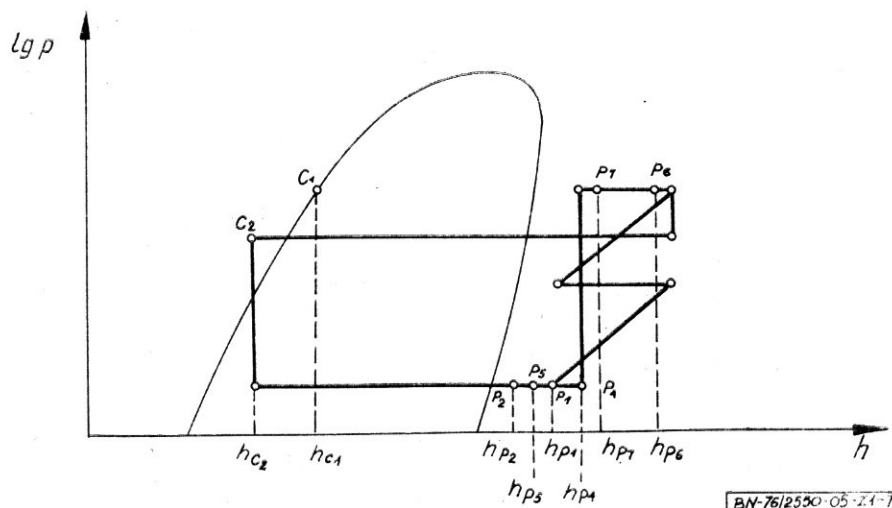
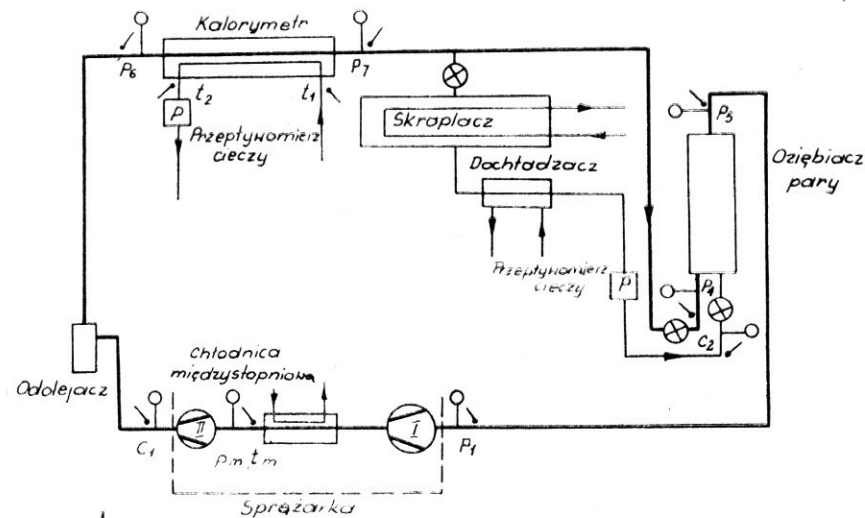
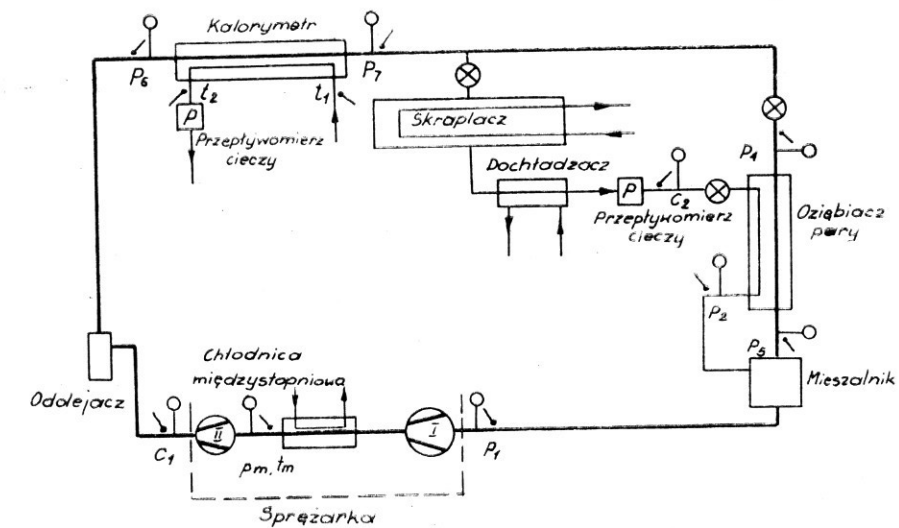
Rys. Z1-4. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody D i K



Rys. Z1-5. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody C i E

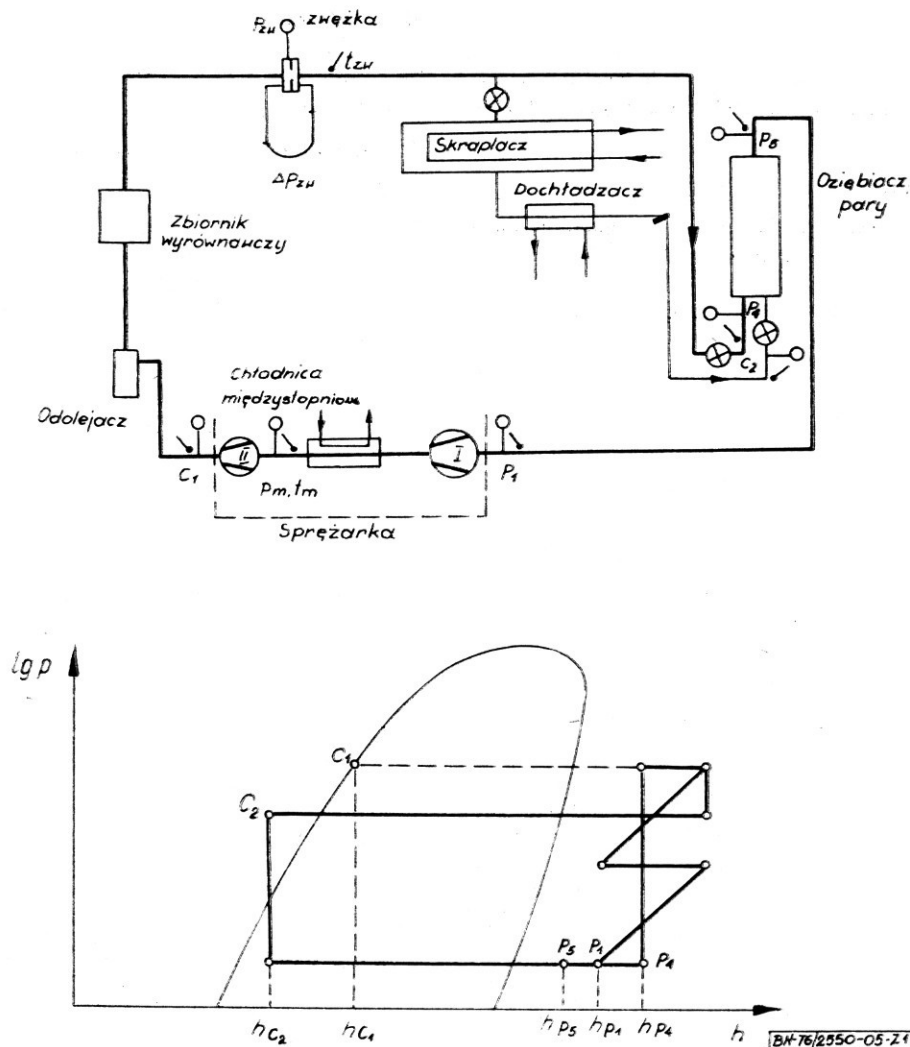


Rys. Z1-6. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody C i F



Rys. Z1-7. Schemat układu pomiarowego, stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody H i K (dla sprężarek, w których stosowane jest chłodzenie międzystopniowe bez użycia czynnika chłodniczego i gdzie  $q_{mz1} = q_{mz2}$ )

Rys. Z1-8. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody J i K (dla sprężarek, w których stosowane jest chłodzenie międzystopniowe bez użycia czynnika chłodniczego i gdzie  $q_{mz1} = q_{mz2}$ )



Rys. Z1-9. Schemat układu pomiarowego stanowiska badawczego, w którym stosowane są równocześnie metody D i J (dla sprężarek, w których stosowane jest chłodzenie międzystopniowe bez użycia czynnika chłodniczego i gdzie  $q_{mz1} = q_{mz2}$ )

## ZALĄCZNIK 2

### ZIĘBNICA MIĘDZYSTOPNIOWA STOSOWANA DO BADAŃ DWUSTOPNIOWYCH SPRĘŻAREK CHŁODNICZYCH GRUPY B. WYMAGANIA

Ziębnicę stanowi bezprzeponowy lub przeponowy wymiennik ciepła, w którym obniżenie temperatury strumienia czynnika wytłoczonego przez I stopień sprężarki następuje przez odparowanie ciekłego czynnika, doprowadzonego z obiegu stanowiska badawczego i wtrysniętego do ziębnicy.

Konstrukcja i usytuowanie ziębnicy na sprężarce (lub stanowisku badawczym) powinny być takie, aby nie następowało w niej akumulowanie ciekłego, nieodparowanego czynnika oraz oleju wyrzucanego przez I stopień sprężarki. Warunki wymiany ciepła i masy lub pole powierzchni przekazywania ciepła powinny być tak dobrane, aby można było uzyskać wymagane oziębienie czynnika wytłoczonego przez I stopień w całym zakresie parametrów termicznych pracy sprężarki podczas badań. Oba strumienie czynnika, oziębiany i odparowany, powinny ulec całkowitemu zmie-

szaniu się przed osiągnięciem przekroju pomiarowego na ssaniu II stopnia i osiągnąć wymaganą temperaturę ssania.

Ponadto rozwiązanie konstrukcyjne ziębnicy powinno zapewniać całkowite odparowanie wtrysniętego czynnika i nie dopuszczać obecności kropelek czynnika w przekroju pomiarowym na ssaniu II stopnia.

Spadek ciśnienia czynnika przy przepływie przez ziębnicę nie powinien przekraczać 0,02 MPa przy maksymalnej wydajności masowej badanej sprężarki.

Ziębnica powinna być wyposażona w zawór dławiący ręczny lub automatyczny.

W przypadku zastosowania zaworu automatycznego, element pomiarowy powinien być tak usytuowany, aby można było utrzymać w czasie pomiaru zadaną temperaturę, w przekroju pomiarowym na ssaniu II stopnia.

**INFORMACJE DODATKOWE**

**1. Instytucja opracowująca normę.** Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Budowy Urządzeń Chemicznych CEBFA—Kraków.

**2. Normy związane**

PN-69/M-04606 Urządzenia chłodnicze. Jednostopniowe sprężarki wyporowe. Metody pomiarów

PN-72/M-04601 Warunki bezpieczeństwa w instalacjach chłodniczych

**3. Autor projektu normy** — mgr inż. Eugeniusz Kunachowicz.