

ENGINEERING
TOMORROW



Podręcznik aplikacji

Chłodnictwo przemysłowe **Aplikacje z użyciem amoniaku i CO₂**



www.danfoss.com/ir

Spis treści

	stronie
Przedmowa	3
1. Wprowadzenie	4
2. Regulacja pracy sprężarki	6
2.1 Regulacja wydajności sprężarki	6
2.2 Regulacja temperatury tłoczenia przez wtrysk cieczy	10
2.3 Regulacja ciśnienia w skrzyni korbowej	13
2.4 Zapobieganie przepływowi wstęcznemu	14
2.5 Podsumowanie	15
2.6 Dokumenty źródłowe	16
3. Regulacja pracy skraplacza	17
3.1 Skraplacze chłodzone powietrzem	17
3.2 Skraplacze natryskowo-wyparne	22
3.3 Skraplacze chłodzone wodą	25
3.4 Podsumowanie	27
3.5 Dokumenty źródłowe	27
4. Regulacja poziomu cieczy	28
4.1 Układ regulacji poziomu cieczy po stronie wysokiego ciśnienia	28
4.2 Regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia	32
4.3 Podsumowanie	36
4.4 Dokumenty źródłowe	36
5. Regulacja pracy parownika	37
5.1 Zasilanie ciśnieniowe	37
5.2 Zasilanie pompowe	42
5.3 Odszranianie gorącymi parami przy ciśnieniowym zasilaniu parownika	45
5.4 Odszranianie gorącymi parami chłodnic powietrza zasilanych pompowo	51
5.5 Parowniki ze zmienną temperaturą wrzenia	54
5.6 Regulacja temperatury medium chłodzonego	55
5.7 Podsumowanie	57
5.8 Dokumenty źródłowe	58
6. Obieg oleju	59
6.1 Chłodzenie oleju	59
6.2 Regulacja ciśnienia oleju	63
6.3 Układ powrotu oleju	66
6.4 Podsumowanie	68
6.5 Dokumenty źródłowe	69
7. Układy zabezpieczające	70
7.1 Zawory bezpieczeństwa	70
7.2 Wyłączniki ciśnieniowe i temperaturowe	74
7.3 Wyłączniki zależne od poziomu cieczy	75
7.4 Detektory gazu	76
7.5 Podsumowanie	78
7.6 Dokumenty źródłowe	78
8. Regulacja pracy pomp czynnika chłodniczego	79
8.1 Zabezpieczenie pompy z wykorzystaniem presostatu różnicowego	79
8.2 Upustowa regulacja wydajności pompy	81
8.3 Regulacja różnicy ciśnienia przed i za pompą	82
8.4 Podsumowanie	83
8.5 Dokumenty źródłowe	83
9. Inne	84
9.1 Filtry odwadniacze w układach z czynnikami fluorowcopochodnymi	84
9.2 Usuwanie wilgoci z układów amoniakalnych	86
9.3 Układy odpowietrzania	88
9.4 Układ odzysku ciepła	90
9.5 Dokumenty źródłowe	92
10. Wykorzystanie CO ₂ w układach chłodniczych	93
10.1 CO ₂ jako czynnik chłodniczy	94
10.1 CO ₂ jako czynnik chłodniczy (ciąg dalszy)	95
10.2 CO ₂ jako czynnik chłodniczy w układach przemysłowych	95
10.3 Ciśnienie obliczeniowe	97
10.4 Bezpieczeństwo	99
10.5 Sprawność	100
10.6 Olej w układach CO ₂	100
10.7 Porównanie różnych cech elementów stosowanych w obiegach chłodniczych CO ₂ , amoniaku i R134a	102
10.8 Woda w układach CO ₂	104
10.9 Usuwanie wody	107
10.10 Jak woda wnika do układu CO ₂ ?	111
10.11 Różne zagadnienia, które należy wziąć pod uwagę w układach chłodniczych z CO ₂	112
11. Pośrednie układy pompowe oparte na CO ₂ jako czynnika chłodniczym	115
12. Metody regulacji układów CO ₂	125
13. Projektowanie instalacji podkrytycznej z CO ₂	126
13.1 Elektroniczna regulacja poziomu cieczy	126
13.2 Odszranianie gorącymi parami chłodnic powietrza zasilanych pompowo	127
14. Produkty Danfoss do układów podkrytycznych z CO ₂	129
15. Pełna oferta produktów ze stali nierdzewnej	131
16. Dodatek	133
16.1 Typowe układy chłodnicze	133
17. Regulatory dwustanowe i o ciągłym sygnale wyjściowym	138
17.1 Regulacja dwustanowa (ON/OFF)	139
17.2 Regulacja ciągła	140
Spis materiałów źródłowych w porządku alfabetycznym	146

Przedmowa

Niniejszy przewodnik po aplikacjach został opracowany jako dokument informacyjny. Materiał ten ma na celu dostarczenie odpowiedzi na różnorodne pytania dotyczące regulacji w przemysłowych instalacjach chłodniczych. W odpowiedzi na te pytania przedstawiono zasadę działania poszczególnych układów regulacji, załączając odpowiednie przykłady z wykorzystaniem produktów firmy Danfoss, projektowanych z myślą o chłodnictwie przemysłowym. W przykładach tych nie uwzględniono wydajności i sprawności, a parametry robocze każdej zastosowania powinny być odpowiednio dobrane przed zastosowaniem określonego sposobu regulacji. Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów, a rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

W celu wykonania kompletnego projektu instalacji niezbędne jest skorzystanie również z innych narzędzi, takich jak katalogi producenta, czy programy doborowe (np. katalog chłodnictwa przemysłowego firmy Danfoss i oprogramowanie DIRcalc).

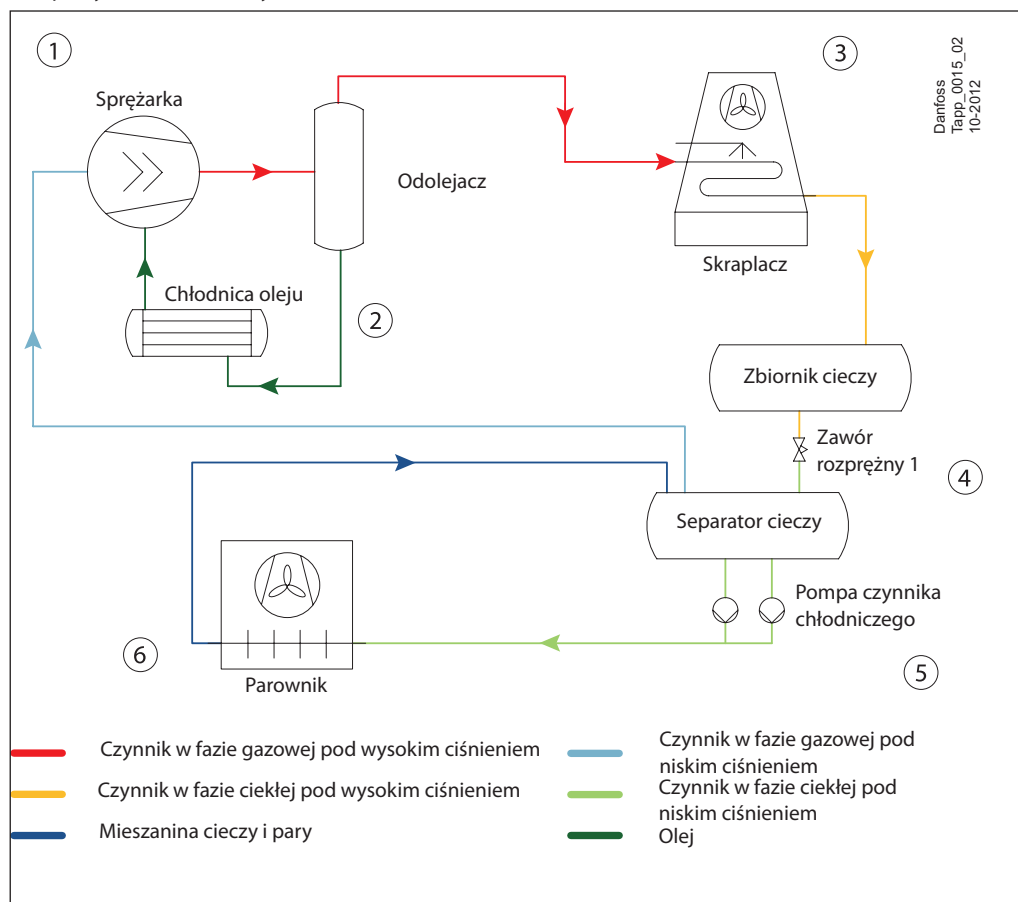
DIRcalc, to program do doboru zaworów i armatury firmy Danfoss, dedykowanych dla chłodnictwa przemysłowego. DIRcalc jest udostępniany nieodpłatnie.

W celu jego pozyskania należy skorzystać ze strony www.danfoss.pl lub skontaktować z lokalnym przedstawicielem firmy Danfoss.

Prosimy o kontakt z firmą Danfoss, jeśli tylko pojawią się pytania na temat metod regulacji, zastosowania i regulatorów opisanych w niniejszym przewodniku.

1. Wprowadzenie

Pompowy układ chłodniczy



① Regulacja pracy sprężarki

W jakim celu?

- Po pierwsze: regulacja ciśnienia ssania;
- Po drugie: zapewnienie niezawodnego działania sprężarki (start/stop itp.)

W jaki sposób?

- Regulacja wydajności sprężarki w zależności od obciążenia cieplnego poprzez: upust gorącego gazu ze strony wysokiego ciśnienia na stronę niskiego ciśnienia, regulację obciążenia ON/OFF lub zmianę prędkości obrotowej wału sprężarki;
- Zainstalowanie zaworu zwrotnego na przewodzie tłocznym w celu zabezpieczenia przed wstecznym przepływem czynnika w kierunku sprężarki;
- Utrzymywanie ciśnienia i temperatury po stronie ssawnej i tłocznej w dozwolonym zakresie parametrów roboczych.

② Regulacja temperatury oleju

W jakim celu?

- Utrzymywanie optymalnej temperatury i ciśnienia oleju, w celu zapewnienia bezawaryjnej pracy sprężarki.

W jaki sposób?

- Ciśnienie: utrzymywanie i regulacja różnicy ciśnień niezbędnej do cyrkulacji środka smarnego w sprężarce, utrzymywanie ciśnienia w skrzyni korbowej (tylko w przypadku sprężarek tłokowych);
- Temperatura: rozdział przepływu oleju przez i poza chłodnicę oleju, regulacja natężenia przepływu powietrza lub wody przez chłodnicę oleju;
- Poziom oleju: powrót oleju w układach amoniakalnych i w niskotemperaturowych instalacjach z czynnikami syntetycznymi.

1. Wprowadzenie (ciąg dalszy)

③ Regulacja pracy skraplacza

W jakim celu?

- Utrzymywanie ciśnienia skraplania powyżej minimalnego poziomu, gwarantującego odpowiedni przepływ czynnika chłodniczego przez urządzenia rozprężające;
- Zapewnienie prawidłowego rozprowadzenia czynnika w układzie.

W jaki sposób?

- Przerwywana praca lub regulacja prędkości obrotowej wentylatorów skraplacza, regulacja przepływu wody chłodzącej, zalewanie skraplacza ciekłym czynnikiem chłodniczym.

⑥ Regulacja pracy parownika

W jakim celu?

- Po pierwsze: utrzymywanie stałej temperatury medium;
- Po drugie: optymalizacja pracy parownika;
- W przypadku zasilania ciśnieniowego: zabezpieczenie przed przedostaniem się ciekłego czynnika chłodniczego z parownika do przewodu ssawnego sprężarki.

W jaki sposób?

- Zmiana natężenia przepływu czynnika przez parownik, w zależności od zapotrzebowania mocy chłodniczej;
- Odszranianie parowników.

④ Regulacja poziomu cieczy

W jakim celu?

- Uzyskanie prawidłowego przepływu ciekłego czynnika chłodniczego ze strony wysokiego ciśnienia na stronę niskiego ciśnienia, zgodnie z bieżącym zapotrzebowaniem;
- Zapewnienie bezpiecznego i niezawodnego działania urządzeń rozprężnych.

W jaki sposób?

- Regulacja stopnia otwarcia urządzenia rozprężnego, w zależności od zmian poziomu cieczy.

⑦ Układy zabezpieczające

W jakim celu?

- Zapobieganie przed wystąpieniem niepożądanych wartości ciśnienia w aparatach;
- Ochrona przed uszkodzeniem sprężarki wskutek uderzenia cieczy, przeciążenia, braku oleju, przegrzania itp.;
- Ochrona przed uszkodzeniem pompy w następstwie kawitacji.

W jaki sposób?

- Instalacja zaworów bezpieczeństwa w miejscach zagrożonych występowaniem zbyt dużego ciśnienia;
- Wyłączenie sprężarki i pompy, jeśli ciśnienie na wlocie lub wylocie, lub różnica tych ciśnień wykroczy poza dopuszczalny zakres;
- Wyłączenie układu lub jego części, w przypadku przekroczenia dopuszczalnego poziomu w zbiorniku lub separatorze cieczy.

⑤ Regulacja pracy pomp czynnika

W jakim celu?

- Zapewnienie prawidłowej pracy pomp, dzięki utrzymywaniu przepływu w zakresie dozwolonych parametrów roboczych;
- Utrzymanie odpowiedniej różnicy ciśnień przed i za pompą (w niektórych układach).

W jaki sposób?

- Zaprojektowanie linii upustowej, tak aby wydajność pompy kształtowała się na poziomie wyższym od minimalnego dozwolonego przepływu;
- Wyłączenie pompy, gdy nie ma możliwości utrzymania dostatecznej różnicy ciśnień.
- Instalacja zaworu regulującego ciśnienie tłoczenia.

2. Regulacja pracy sprężarki

Sprężarka jest „sercem” układu chłodniczego. Posiada dwa podstawowe zadania:

1. Utrzymywanie odpowiedniego ciśnienia w parowniku, zapewniającego wrzenie ciekłego czynnika.
2. Sprężanie do ciśnienia pozwalającego na skroplenie czynnika chłodniczego w normalnej temperaturze.

Podstawą regulacji pracy sprężarki jest dopasowanie jej wydajności do bieżącego zapotrzebowania układu chłodniczego tak, aby utrzymywana była wymagana temperatura parowania. Jeśli

wydajność sprężarki będzie większa od zapotrzebowania, to ciśnienie i temperatura parowania będą niższe od wymaganych i odwrotnie.

Ponadto, w celu optymalizacji warunków pracy, nie należy dopuszczać, aby sprężarka pracowała poza zalecanym przez producenta zakresem ciśnień i temperatur.

2.1 Regulacja wydajności sprężarki

Sprężarka w układzie chłodniczym jest zazwyczaj dobrana tak, aby pokryć najwyższe możliwe obciążenie cieplne. Jednakże rzeczywiste obciążenie cieplne jest zwykle mniejsze od obliczeniowego. Oznacza to nieustanną konieczność regulacji wydajności sprężarki, w celu dopasowania jej do bieżącego zapotrzebowania. Istnieje kilka powszechnie stosowanych metod regulacji wydajności sprężarki:

1. Regulacja wielostopniowa.

Pod tym pojęciem kryje się odciążanie poszczególnych cylindrów sprężarek wielocylindrowych, otwieranie i zamykanie otworów ssawnych w sprężarkach śrubowych, bądź włączanie i wyłączanie pojedynczych sprężarek w układach wielosprężarkowych. Jest to sposób prosty i wygodny. Co więcej, przy częściowym obciążeniu efektywność spada nieznacznie. Metoda ta nadaje się w szczególności do układów wyposażonych w kilka wielocylindrowych sprężarek tłokowych.

2. Suwak regulacyjny.

Najbardziej rozpowszechnionym urządzeniem przeznaczonym do regulacji wydajności sprężarek śrubowych jest suwak regulacyjny. Działanie poruszanego ciśnieniem oleju suwaka reguluje długość roboczą śruby. Sposób ten zapewnia ciągłą i płynną regulację wydajności w zakresie od 10% do 100%, jednakże kosztem spadku efektywności przy częściowym obciążeniu.

3. Zmiana prędkości obrotowej.

Regulacja prędkości obrotowej. Rozwiązanie to jest możliwe do wykorzystania we wszystkich rodzajach sprężarek i jest efektywne energetycznie. Do zmiany prędkości obrotowej wału sprężarki może posłużyć dwubiegowy silnik elektryczny lub przetwornica częstotliwości. Silnik dwubiegowy różnicuje wydajność sprężarki dzięki pracy z wysoką prędkością obrotową, gdy obciążenie cieplne jest duże (np. podczas schładzania towaru) oraz z prędkością niską, w czasie małego zapotrzebowania na wydajność chłodniczą (np. podczas przechowywania schłodzonego towaru). Przetwornica częstotliwości może natomiast płynnie zmieniać prędkość obrotową wału sprężarki tak, aby pokryć bieżące zapotrzebowanie. Przetwornica częstotliwości pracuje z uwzględnieniem ograniczeń w zakresie minimalnej i maksymalnej prędkości, temperatury i ciśnienia, ochrony silnika sprężarki oraz dopuszczalnego momentu i natężenia prądu elektrycznego. Wykorzystanie przetwornic częstotliwości pozwala również na obniżenie prądu rozruchowego.

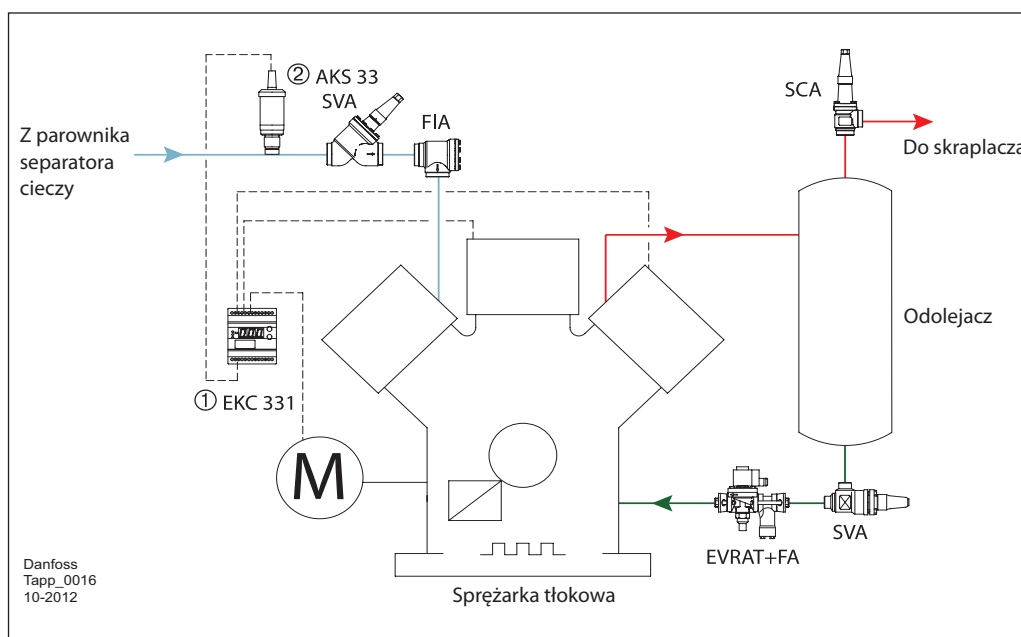
4. Upust gorącej pary.

Rozwiązanie to stosuje się w sprężarkach o stałej wydajności i jest bardziej typowe dla handlowych układów chłodniczych. W celu regulacji wydajności chłodniczej, część sprężonego czynnika z przewodu tłocznego jest upuszczana na stronę niskiego ciśnienia. Mechanizm obniżenia wydajności chłodniczej jest dwojaki: zmniejszone zasilanie parownika ciekłym czynnikiem chłodniczym oraz dostarczenie pewnej ilości ciepła do niskociśnieniowej części układu.

Przykład zastosowania 2.1.1:
Wielostopniowa regulacja wydajności sprężarki

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Regulator wielostopniowy
- ② Przetwornik ciśnienia



Wielostopniowa regulacja wydajności sprężarki może zostać zrealizowana dzięki wykorzystaniu wielostopniowego regulatora EKC 331 ①. EKC 331 jest sterownikiem o maksymalnie czterech stopniach regulacji. Obciąża i odciąża poszczególne sprężarki lub cylindry, bądź steruje pracą silnika elektrycznego, w zależności od informacji o ciśnieniu ssania, pochodzącej z przetwornika ciśnienia AKS 33 ② lub AKS 32R. Działający na zasadzie regulacji ze strefą neutralną EKC 331 może sterować działaniem układu odciążania sprężarki o czterech jednakowych stopniach, albo pracą zespołu dwóch sprężarek wyposażonych w pojedyncze zawory odciążające.

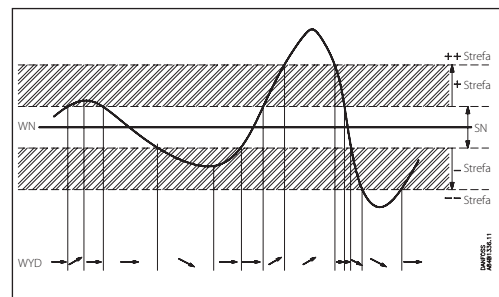
Wersja EKC 331T może współpracować z czujnikiem temperatury PT 1000, co może okazać się potrzebne w przypadku układów pośrednich.

Regulacja ze strefą neutralną
Strefa neutralna (SN) stanowi przedział wokół wartości nastawionej (WN), w którym nie następuje obciążanie ani odciążanie.

Poza strefą neutralną (w zakresowanych przedziałach „Strefa +” i „Strefa -”, w których mierzone ciśnienie wykracza poza strefę neutralną), sterownik podejmuje działanie obciążające lub odciążające.

W odchyleniach od nastawy wykraczających poza przedziały zakreskowane („Strefa +” i „Strefa -”) zmiany wydajności sprężarki (WYD) dokonywane są szybko.

Więcej szczegółowych informacji można znaleźć w instrukcji obsługi sterownika EKC 331(T) firmy Danfoss.



Dane techniczne

	Przetwornik ciśnienia AKS 33	Przetwornik ciśnienia AKS 32R
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Zakres roboczy [bar]	-1 do 34	-1 do 34
Maks. ciśnienie pracy PB [bar]	55 (zależnie od zakresu roboczego)	60 (zależnie od zakresu roboczego)
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 85	
Skompensowany zakres temperatury [°C]	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80	
Znamionowy sygnał wyjściowy	4 do 20 mA	10 do 90% napięcia zasilania

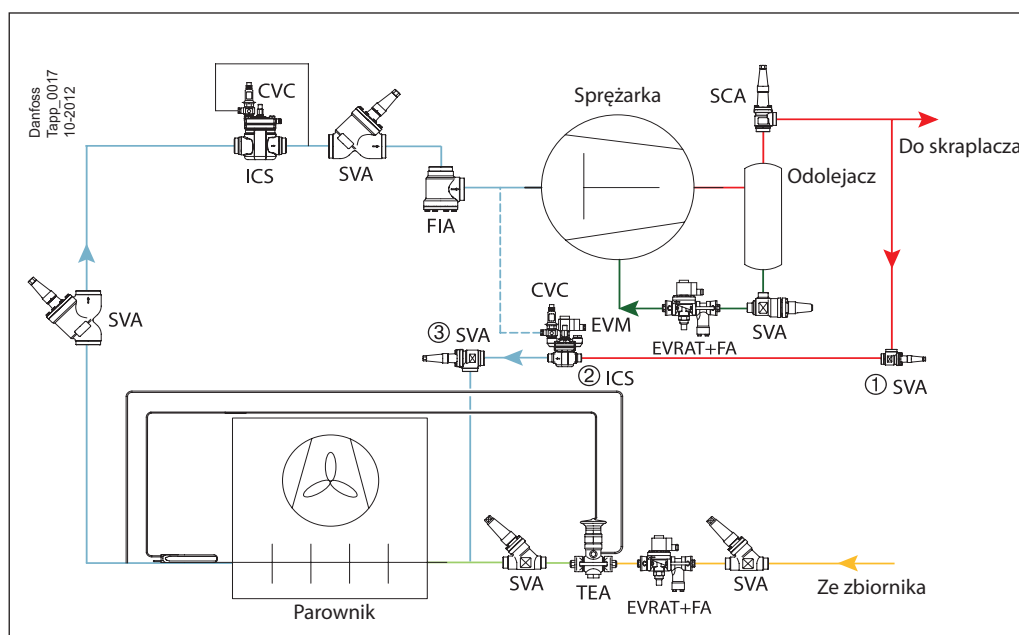
	Przetwornik ciśnienia AKS 3000	Przetwornik ciśnienia AKS 32
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Zakres roboczy [bar]	0 do 60 (zależnie od zakresu)	-1 do 39 (zależnie od zakresu)
Maks. ciśnienie pracy PB [bar]	100 (zależnie od zakresu roboczego)	60 (zależnie od zakresu roboczego)
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 80	-40 do 85
Skompensowany zakres temperatury [°C]	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80
Znamionowy sygnał wyjściowy	4 do 20 mA	1 do 5 V albo 0 do 10 V

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 2.1.2:
Regulacja wydajności sprężarki
poprzez upust gorącej pary

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór odcinający
- ② Regulator wydajności
- ③ Zawór odcinający



Upust gorących par może być wykorzystany do regulacji wydajności chłodniczej sprężarek o stałej wydajności. Sterowany pilotem CVC zawór serwołukowy ICS ② steruje natężeniem przepływu upuszczanej gorącej pary, w zależności od ciśnienia w przewodzie ssawnym. CVC jest zaworem pilotowym sterowanym przez ciśnienie

ssania, które otwiera zawór ICS, zwiększając przepływ gorącej pary, gdy ciśnienie ssania jest niższe od nastawionej wartości. W ten sposób ciśnienie przed sprężarką jest utrzymywane na stałym poziomie i co za tym idzie, wydajność chłodnicza dostosowuje się do bieżącego obciążenia cieplnego.

Dane techniczne

	Zawór serwołukowy ICS
Material	Korpus: stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do +120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Srednica nominalna DN [mm]	20 do 150

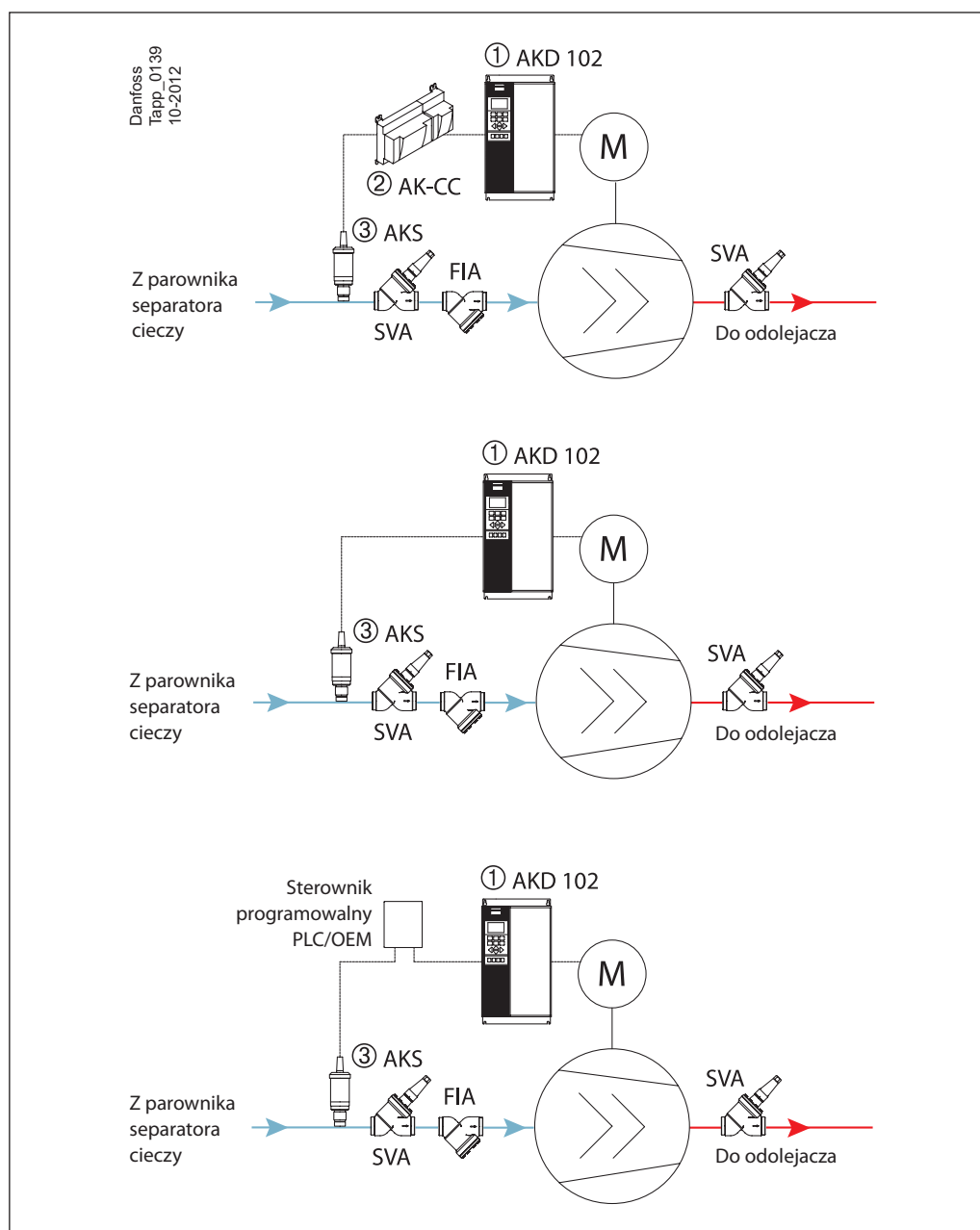
	Zawór pilotowy CVC (LP)
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe czynniki
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	Strona wysokiego ciśnienia: 28 Strona niskiego ciśnienia: 17
Zakres ciśnień [bar]	-0,45 do 7
Wartość K _v [m ³ /h]	0,2

	Zawór pilotowy CVC (XP)
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe czynniki
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	Strona wysokiego ciśnienia: 52 Strona niskiego ciśnienia: 28
Zakres ciśnień [bar]	4 do 28
Wartość K _v [m ³ /h]	0,2

Przykład zastosowania 2.1.3:
Regulacja prędkości obrotowej
wału sprężarki

— Czynniki w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
— Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

- ① Przetwornica częstotliwości
- ② Regulator
- ③ Przetwornik ciśnienia



Sterowanie przetwornicą częstotliwości daje następujące korzyści:

- Oszczędność energii
- Lepsza jakość regulacji
- Zmniejszenie hałasu
- Dłuższy okres eksploatacji
- Uproszczona instalacja
- Łatwa w użytkowaniu, kompleksowa regulacja układu

Dane techniczne

	Przetwornica częstotliwości AKD 102		Przetwornica częstotliwości VLT FC 102 / FC 302
Moc znamionowa (kW)	1,1 kW do 45 kW	1,1 kW do 250 kW	Do 1200 kW
Napięcie zasilające	200–240 V	380–480 V	200–690 V

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

2.2 Regulacja temperatury tłoczenia przez wtrysk cieczy

Producenci sprężarek zazwyczaj zalecają ograniczenie temperatury tłoczenia poniżej pewnej wartości, w celu ochrony przed przegrzaniem, dla przedłużenia okresu eksploatacji i zapobieżenia termicznemu rozkładowi oleju.

Z analizy wykresu log p-h można wywnioskować, że temperatura tłoczenia może osiągać wysokie wartości, gdy:

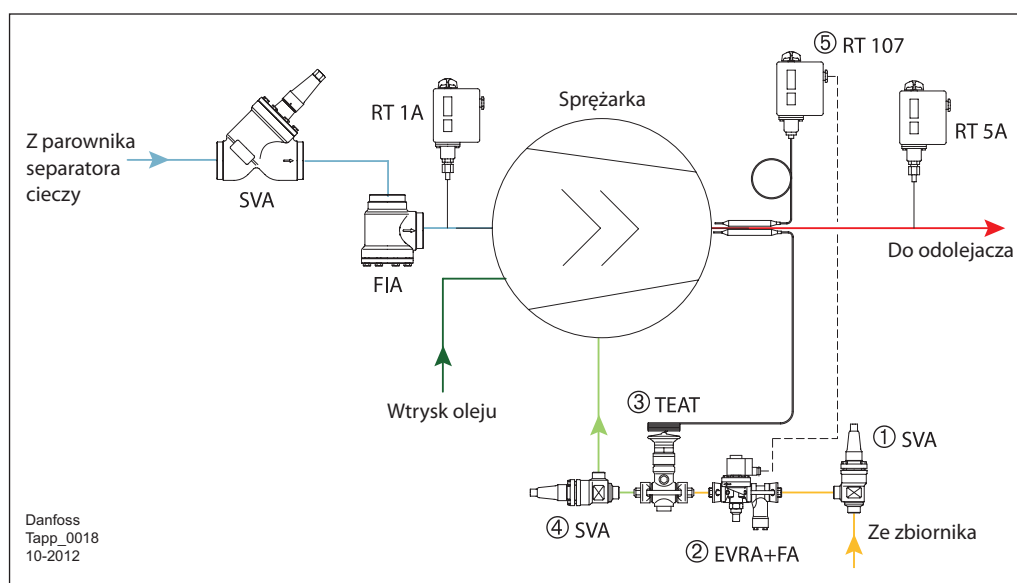
- sprężarka pracuje przy dużej różnicy ciśnień.
- sprężarka zasysa parę o wysokim przegrzaniu.
- wydajność sprężarki jest regulowana przez upust gorącej pary.

Istnieje kilka sposobów na obniżenie temperatury tłoczenia. Jednym z nich jest wodne chłodzenie głowic sprężarek tłokowych. Inną metodą jest wtrysk cieczy, czyli doprowadzenie ciekłego czynnika chłodniczego zza skraplacza lub zbiornika do przewodu ssawnego, chłodnicy międzystopniowej lub okna wtryskowego sprężarki śrubowej.

Przykład zastosowania 2.2.1:
Wtrysk cieczy za pomocą
termostatycznego zaworu
wtryskowego

- Czynniki w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynniki w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór odcinający
- ② Zawór elektromagnetyczny
- ③ Termostatyczny zawór wtryskowy
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Termostat



W przypadku wzrostu temperatury tłoczenia powyżej wartości nastawionej na termostacie RT 107 ⑤, regulator ten podaje napięcie na cewkę zaworu elektromagnetycznego EVRA ②, co umożliwia dopływ cieczy do okna wtryskowego sprężarki śrubowej.

Termostatyczny zawór wtryskowy TEAT ③ reguluje przepływ wtryskiwanej cieczy, w zależności od temperatury tłoczenia, co zapobiega jej dalszemu wzrostowi.

Dane techniczne

	Termostat RT
Czynniki chłodnicze	R717 i czynniki syntetyczne
Obudowa	IP 66/54
Maks. temperatura czujnika [°C]	65 do 300
Temperatura otoczenia [°C]	-50 do 70
Zakres regulacji [°C]	-60 do 150
Różnica łączna [°C]	1,0 do 25,0

	Termostatyczny zawór wtryskowy TEAT
Czynniki chłodnicze	R717 i czynniki syntetyczne
Zakres regulacji [°C]	Maks. temperatura czujnika: 150°C Pasma proporcjonalności: 20°C
Maks. ciśnienie robocze [bar]	20
Wydajność znamionowa* [kW]	3,3 do 274

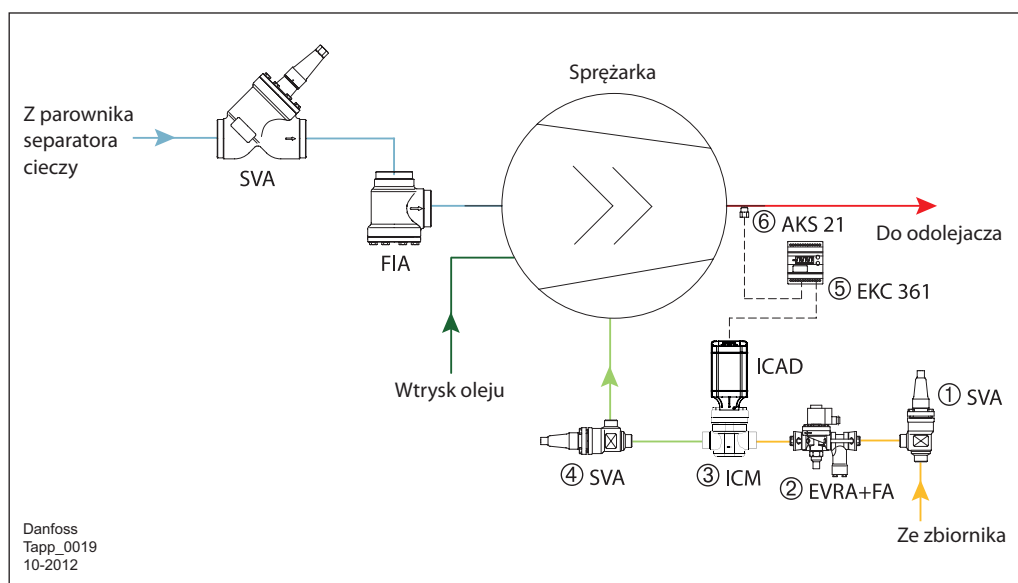
* Warunki: T_e = +5°C, Δp = 8 bar, ΔT_{sub} = 4°C

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 2.2.2:
Wtrysk cieczy za pomocą zaworu silnikowego

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór odcinający
- ② Zawór elektromagnetyczny
- ③ Zawór silnikowy
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Regulator
- ⑥ Czujnik temperatury



Elektroniczna regulacja wtrysku cieczy może zostać zrealizowana dzięki wykorzystaniu zaworu silnikowego ICM ③. Czujnik temperatury PT 1000 typu AKS 21 ⑥ mierzy temperaturę tłoczenia i przekazuje informację o niej do sterownika EKC

361 ⑤. W przypadku osiągnięcia nastawionej wartości temperatury tłoczenia, sterownik EKC 361 wysyła sygnał do siłownika ICAD, który zmienia stopień otwarcia zaworu silnikowego ICM tak, aby obniżyć temperaturę tłoczenia.

Dane techniczne

	Zawór ICM do rozprężania
Materiał	Korpus: Stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	20 do 80
Wydajność nominalna* [kW]	72 do 22 700

* Warunki: T_e = -10°C, Δp = 8,0 bar, ΔT_{sub} = 4K

	Siłownik ICAD
Zakres temperatury otoczenia [°C]	-30 do 50
Wejściowy sygnał sterujący	0/4–10 mA lub 0/2–10
Czas otwierania-zamykania po wybraniu maksymalnej prędkości	3 do 45 sekund, w zależności od wielkości zaworu

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich z aworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych. z wykorzystaniem korpusu ICF

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

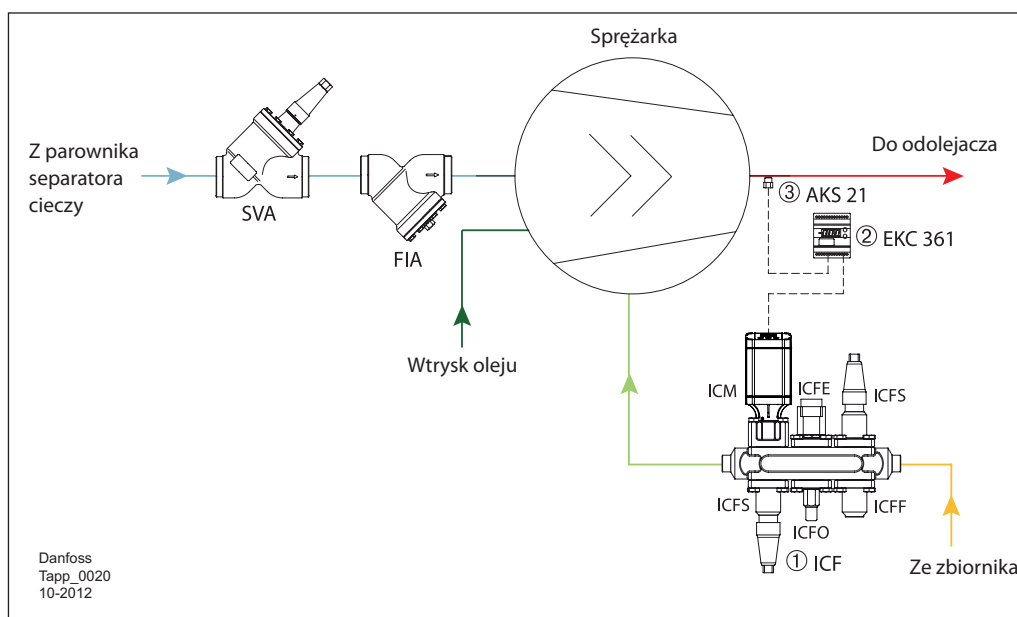
① Zespół zaworów wyposażony w:



- Zawór odcinający
- Filtr
- Zawór elektromagnetyczny
- Zawór ręczny
- Zawór silnikowy
- Zawór odcinający

② Regulator

③ Czujnik temperatury



Na potrzeby realizacji wtrysku cieczy, firma Danfoss oferuje bardzo zwarty zespół zaworów zmontowanych na wspólnym korpusie ICF ①. Można w nim zainstalować do sześciu różnych elementów. Prezentowane rozwiązanie działa według tej samej zasady, co w przykładzie 2.2.2, jednak odznacza się zwartą budową i łatwym montażem.

Dane techniczne

	Zespół zaworów w korpusie ICF
Materiał	Korpus: Stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	20 do 40

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

2.3 Regulacja ciśnienia w skrzyni korbowej

Podczas rozruchu sprężarki, bądź po odszranianiu, istnieje konieczność regulacji ciśnienia ssania, gdyż zbyt wysoka jego wartość może doprowadzić do przeciążenia silnika sprężarki.

Na skutek tego przeciążenia silnik sprężarki może ulec uszkodzeniu.

Istnieją dwa sposoby zaradzenia temu problemowi:

1. Uruchamianie sprężarki pod częściowym obciążeniem. W tym celu mogą zostać wykorzystane układy regulacji wydajności

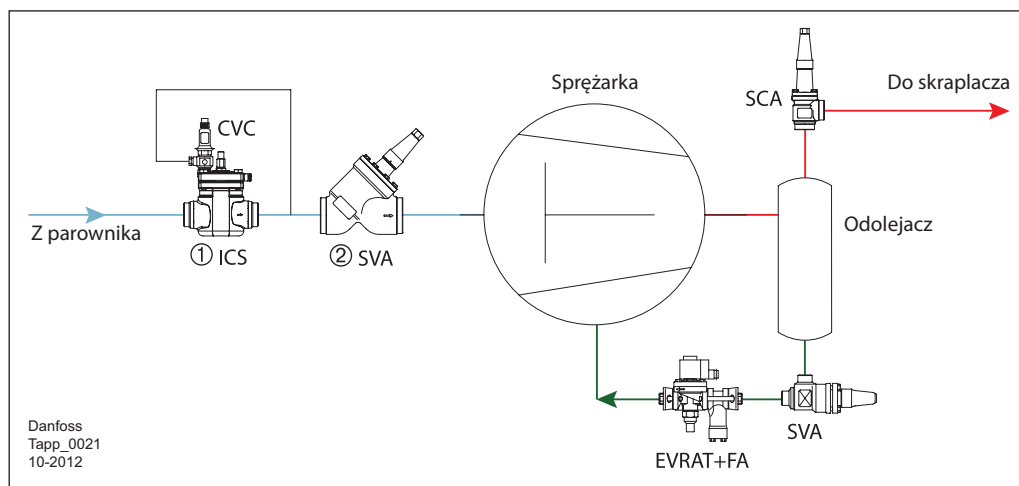
sprężarki, jak np. odciążanie poszczególnych cylindrów w wielocylindrowych sprężarkach tłokowych, czy upust części zassanego czynnika przez suwak regulacyjny w sprężarkach śrubowych itd.

2. Regulacja ciśnienia w skrzyni korbowej w przypadku sprężarek tłokowych. Może ono być utrzymywane poniżej konkretnego poziomu, dzięki zainstalowaniu na przewodzie ssawnym zaworu stałego ciśnienia ssania, który nie otworzy się, dopóki ciśnienie w tym przewodzie nie spadnie poniżej nastawionej wartości.

Przykład zastosowania 2.3.1:
Regulacja ciśnienia w skrzyni korbowej z wykorzystaniem ICS i CVC

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Regulator ciśnienia w skrzyni korbowej
- ② Zawór odcinający



W celu regulacji ciśnienia panującego w skrzyni korbowej podczas rozruchu, po odszranianiu lub w innych przypadkach, gdy ciśnienie ssania może wzrosnąć do zbyt wysokich wartości, na przewodzie ssawnym został zainstalowany zawór serwołukowy ICS ① sterowany pilotowym zaworem ograniczającym wzrost ciśnienia ssania CVC.

Zawór ICS nie otworzy się, dopóki panujące za nim ciśnienie ssania nie spadnie poniżej wartości nastawionej na zaworze pilotowym CVC. Dzięki temu, para znajdująca się w przewodzie ssawnym pod wysokim ciśnieniem jest dostarczana do skrzyni korbowej stopniowo, co zapewnia pracę sprężarki bez dużych przeciążeń.

Dane techniczne

	Zawór serwołukowy ICS
Materiał	Korpus: stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do +120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	20 do 150
Wydajność* [kW]	11 do 2440

* Warunki: T_e = -10°C, T_i = 30°C, Δp = 0,2 bar, ΔT_{sub} = 8K

	Zawór pilotowy CVC (LP)
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe czynniki
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	Strona wysokiego ciśnienia: 28 Strona niskiego ciśnienia: 17
Zakres ciśnień [bar]	-0,45 do 7
Wartość K _v [m³/h]	0,2

	Zawór pilotowy CVC (XP)
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe czynniki
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	Strona wysokiego ciśnienia: 52 Strona niskiego ciśnienia: 28
Zakres ciśnień [bar]	4–28
Wartość K _v [m³/h]	0,2

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

2.4 Zapobieganie przepływowi wstecznemu

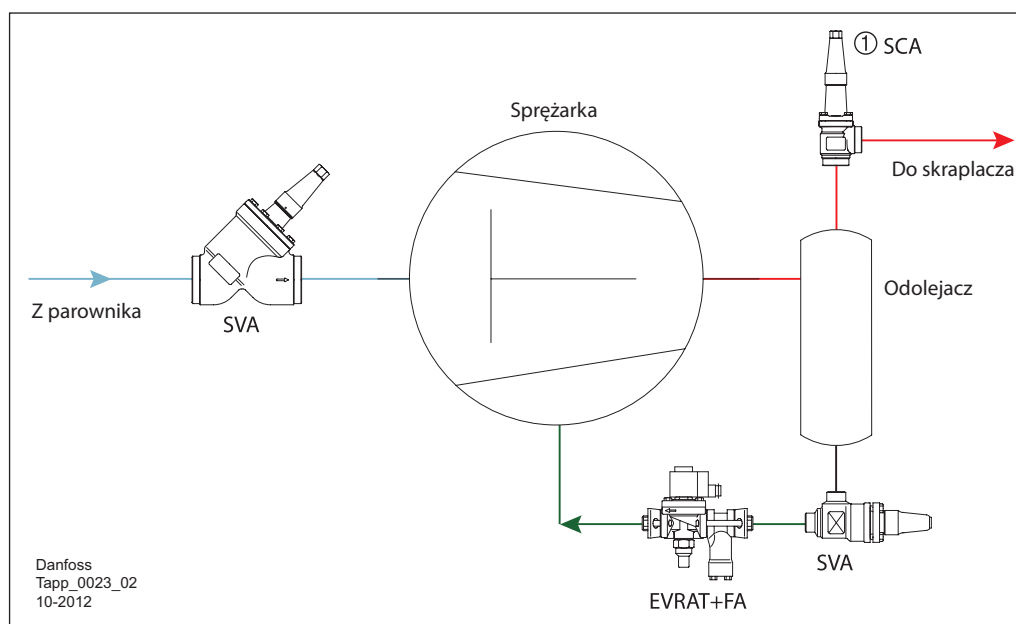
Przykład aplikacji 2.4.1:
Zapobieganie przepływowi
wstecznemu

— Czynnik w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynnik w fazie gazowej
pod niskim ciśnieniem
— Olej

① Zawór odcinająco-zwrotny

Wsteczny przepływ czynnika chłodniczego ze skraplacza do odolejacza i sprężarki powinien być uniemożliwiony w każdej sytuacji. W przypadku sprężarek tłokowych, wsteczny przepływ może doprowadzić do uderzenia hydraulicznego. W sprężarkach śrubowych może spowodować wsteczną rotację śrub i uszkodzenie łożysk

sprężarki. Co więcej, należy zapobiegać migracji czynnika chłodniczego do odolejacza i dalej do sprężarki także podczas postoju. W celu niedopuszczenia do wstecznego przepływu czynnika należy zainstalować na wypływie z odolejacza zawór zwrotny.



Zawór SCA ① może pracować jako zawór zwrotny podczas pracy układu, a także może służyć do odcięcia przepływu w przewodzie tłocznym, w celach serwisowych. Kombinowany zawór odcinająco-zwrotny charakteryzuje się prostszym montażem oraz mniejszym oporem przepływu w porównaniu do tradycyjnego zestawu, obejmującego dwa zawory — odcinający i zwrotny.

Podczas doboru zaworu odcinająco-zwrotnego należy wziąć pod uwagę następujące wskazówki:

1. Dobór przeprowadzić w zależności od wydajności, a nie od średnicy przewodu.
2. Uwzględnić zarówno pracę układu pod obciążeniem nominalnym, jak i częściowym. Prędkość przepływu czynnika w warunkach nominalnych powinna być bliska wartości zalecanej, podczas gdy przy obciążeniu częściowym powinna ona być wyższa od dopuszczalnej prędkości minimalnej.

Szczegółowe informacje na temat doboru zaworów można znaleźć w katalogu wyrobów.

Dane techniczne

	Zawór odcinająco-zwrotny SCA
Materiał	Obudowa: specjalna stal niskotemperaturowa Wrzeciono: polerowana stal nierdzewna
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane, niepalne czynniki, w tym R717.
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 150
Różnica ciśnień otwarcia [bar]	0,04 (jako część zamienna dostępna jest sprężyna 0,3 bar)
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	15 do 125

2.5

Podsumowanie

Rozwiązanie		Zastosowanie	Zalety	Ograniczenia
Regulacja wydajności sprężarki				
Regulacja wielostopniowa z wykorzystaniem EKC 331 i AKS 32/33		Sprężarki wielocylindrowe, śrubowe z wewnętrzną, upustową regulacją wydajności, równoległe połączenie kilku sprężarek.	Prostota. Niemal jednakowa efektywność pracy pod obciążeniem częściowym i całkowitym.	Regulacja nieciągła, szczególnie przy małej liczbie stopni. Wahania ciśnienia ssania.
Upustowa regulacja wydajności z wykorzystaniem ICS i CVC		Sprężarki o nieziennej wydajności.	Skuteczna ciągła regulacja wydajności, w zależności od bieżącego obciążenia cieplnego. Gorące pary mogą polepszyć warunki powrotu oleju z parownika.	Niska efektywność pod częściowym obciążeniem. Energochłonność.
Regulacja prędkości obrotowej wału sprężarki		Wszystkie sprężarki mogące pracować ze zmienną prędkością obrotową.	Niski prąd rozruchowy Oszczędność energii Mniejszy hałas Dłuższy okres eksploatacji Uproszczona instalacja	Sprężarka musi być dostosowana do pracy ze zmienną prędkością obrotową.
Regulacja temperatury tłoczenia za pomocą wtrysku cieczy				
Mechaniczne rozwiązanie układu regulacji wtrysku cieczy z wykorzystaniem TEAT, EVRA(T) i RT		Układy zagrożone zbyt wysoką temperaturą tłoczenia.	Prostota i efektywność.	Wtrysk ciekłego czynnika może stanowić zagrożenie dla sprężarki. Efektywność niższa w porównaniu z chłodzeniem międzystopniowym.
Elektroniczne rozwiązanie układu regulacji wtrysku cieczy z wykorzystaniem EKC 361 i ICM		Układy zagrożone zbyt wysoką temperaturą tłoczenia.	Elastyczność i zwartość. Możliwość zdalnego sterowania i nadzoru.	Nie nadaje się dla czynników łatwopalnych. Wtrysk ciekłego czynnika może stanowić zagrożenie dla sprężarki. Efektywność niższa w porównaniu z chłodzeniem międzystopniowym.
Elektroniczne rozwiązanie układu regulacji wtrysku cieczy z wykorzystaniem EKC 361 i ICF				
Regulacja ciśnienia w skrzyni korbowej				
Regulacja ciśnienia w skrzyni korbowej z wykorzystaniem ICS i CVC		Sprężarki tłokowe, przeznaczone dla układów o małej i średniej wydajności.	Prostota i niezawodność. Skuteczna ochrona sprężarek tłokowych podczas rozruchu i po odszranianiu gorącymi parami.	Stały spadek ciśnienia w przewodzie ssawnym.
Regulacja ciśnienia w skrzyni korbowej z wykorzystaniem ICS i CVP				
Zapobieganie przepływowi wstecznemu				
Zapobieganie przepływowi wstecznemu z wykorzystaniem SCA		Wszystkie urządzenia chłodnicze.	Prostota. Łatwa instalacja. Mały opór przepływu.	Stały spadek ciśnienia w przewodzie tłocznym.

2.6

Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy
AKD 102	PD.R1.B
AKS 21	RK0YG
AKS 33	RD5GH
CVC	PD.HN0.A
CVP	PD.HN0.A
EKC 331	RS8AG
EKC 361	RS8AE
EVRA(T)	PD.BM0.B

Typ	Materiał źródłowy
ICF	PD.FT1.A
ICM	PD.HT0.B
ICS	PD.HS2.A
REG	PD.KM1.A
SCA	PD.FL1.A
SVA	PD.KD1.A
TEAT	PD.AU0.A

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy
AKD 102	MG11L
AKS 21	RI14D
AKS 32R	PI.SB0.A
AKS 33	PI.SB0.A
CVC-XP	PI.HN0.A
CVC-LP	PI.HN0.M
CVP	PI.HN0.C
EKC 331	RI8BE
EKC 361	RI8BF
EVRA(T)	PI.BN0.L

Typ	Materiał źródłowy
ICF	PI.FT0.C
ICM 20-65	PI.HT0.A
ICM 100-150	PI.HT0.B
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
REG	PI.KM1.A
SCA	PI.FL1.A
SVA	PI.KD1.A
TEAT	PI.AU0.A

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

3. Regulacja pracy skraplacza

W rejonach, w których notuje się duże wahania temperatury otaczającego powietrza, a także obciążenia cieplnego, niezbędna staje się regulacja ciśnienia skraplania niepozwalająca na jego spadek do zbyt niskiego poziomu. Zbyt niskie ciśnienie skraplania pociąga za sobą niewystarczającą różnicę ciśnień na zaworze rozprężnym i w konsekwencji zbyt małą ilość czynnika chłodniczego dostarczanego do parownika. Oznacza to, że regulacja wydajności skraplacza jest najczęściej stosowana w strefach klimatu umiarkowanego, a w mniejszym stopniu w strefach subtropikalnej i tropikalnej.

Podstawową ideą jest regulacja wydajności skraplacza w okresach niskiej temperatury otoczenia tak, aby ciśnienie skraplania utrzymywało się powyżej dopuszczalnego minimalnego poziomu.

Taką regulację wydajności skraplacza realizuje się albo zmieniając natężenie przepływu powietrza lub wody przez skraplacz, bądź na skutek zmniejszenia efektywnej powierzchni wymiany ciepła.

Projektuje się różnorodne rozwiązania, przeznaczone dla różnych typów skraplaczy:

- 3.1 Skraplacze chłodzone powietrzem
- 3.2 Skraplacze natryskowo-wyparne
- 3.3 Skraplacze chłodzone wodą

3.1 Skraplacze chłodzone powietrzem

Skraplacz chłodzony powietrzem składa się z rurek zamontowanych w uźbrowanym bloku. Skraplacz może mieć układ poziomy, pionowy lub V. Powietrze z otoczenia jest pobierane przez uźbrowany blok wymiennika ciepła przez wentylatory osiowe lub odśrodkowe.

Skraplacze chłodzone powietrzem są wykorzystywane w przemysłowych układach chłodniczych, gdzie względna wilgotność powietrza jest wysoka. Regulację ciśnienia skraplania w skraplaczach chłodzonych powietrzem można zrealizować następującymi metodami:

3.1.1 - Regulacja wielostopniowa w skraplaczach chłodzonych powietrzem

Pierwszym rozwiązaniem było wykorzystanie odpowiedniej liczby presostatów, np. RT-5 firmy Danfoss, o zróżnicowanych nastawach ciśnienia załączenia i wyłączenia.

Drugim sposobem sterowania pracą wentylatorów było wykorzystanie regulatora ciśnienia ze strefą nieczułości typu RT-L firmy Danfoss. Początkowo współpracował on z wielostopniowym regulatorem,

wyposażonym w odpowiednią liczbę styków dla danej ilości wentylatorów. Jednakże układ ten reagował zbyt szybko, toteż, aby opóźnić włączanie i wyłączanie wentylatorów wykorzystywano przekładniki czasowe.

Trzeci sposób reprezentuje współczesny regulator wielostopniowy Danfoss EKC 331.

3.1.2 - Regulacja prędkości obrotowej wentylatorów w skraplaczach chłodzonych powietrzem

Ten sposób sterowania pracą wentylatorów skraplacza jest najczęściej wykorzystywany wszędzie tam, gdzie względy środowiskowe wymuszają redukcję hałasu.

W tego typu instalacjach można wykorzystać przetwornicę częstotliwości AKD firmy Danfoss.

3.1.3 - Zmniejszanie powierzchni wymiany ciepła w skraplaczach chłodzonych powietrzem

Ten sposób regulacji wydajności skraplacza powietrznego wymaga obecności w układzie zbiornika cieczy. Zbiornik musi się charakteryzować pojemnością wystarczającą do przejęcia zmian ilości czynnika chłodniczego w skraplaczu.

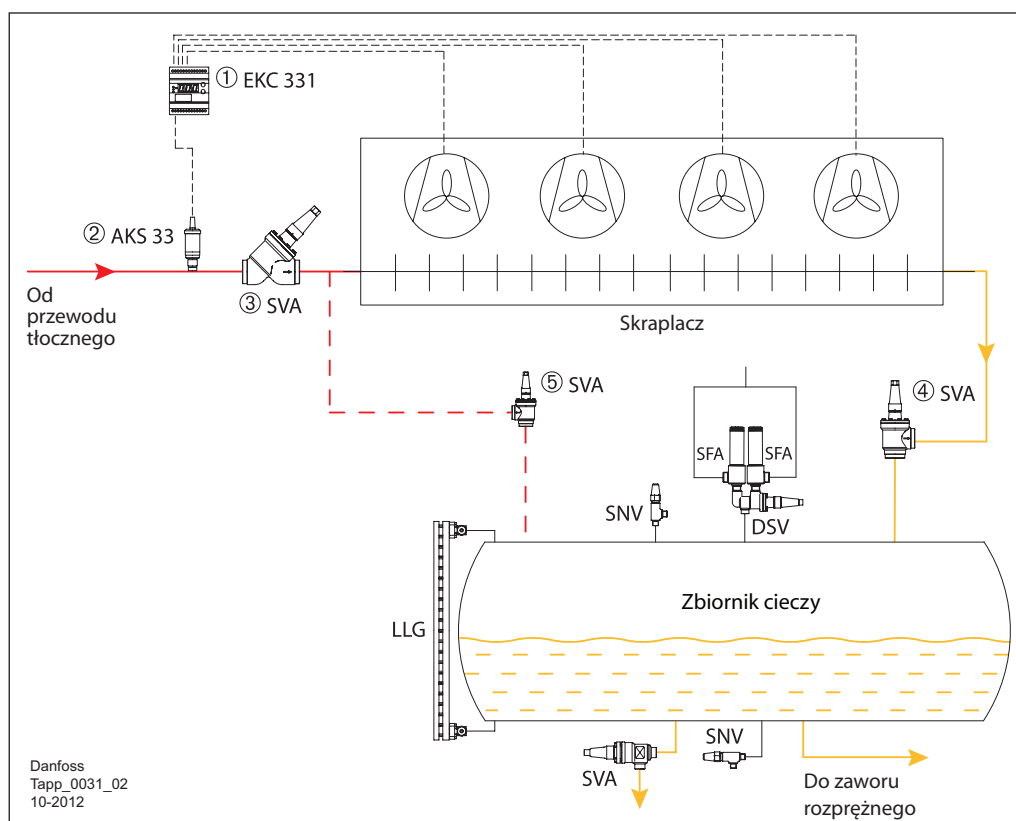
Sterowanie wydajnością i wielkością powierzchni wymiany ciepła może się odbywać na dwa sposoby:

1. Za pomocą zaworu serwowłokowego ICS z pilotowym zaworem stałego ciśnienia CVP(HP), zainstalowanego w rurociągu tłocznym na dopływie do skraplacza oraz zaworu serwowłokowego ICS wyposażonego w zawór pilotowy stałej różnicy ciśnień CVPP(HP), umieszczonego w przewodzie łączącym rurociąg tłoczny ze zbiornikiem. Pomędzy skraplaczem i zbiornikiem musi się znaleźć zawór zwrotny NRVA, zapobiegający wstępnemu przepływowi czynnika.
2. Za pomocą zaworu głównego ICS z zaworem pilotowym stałego ciśnienia CVP(HP), zainstalowanego pomiędzy skraplaczem i zbiornikiem oraz zaworu ICS wyposażonego w zawór pilotowy stałej różnicy ciśnień CVPP(HP) umieszczonego w przewodzie łączącym rurociąg tłoczny ze zbiornikiem. Ta metoda jest najczęściej realizowana w handlowych urządzeniach chłodniczych.

Przykład zastosowania 3.1.1:
Wielostopniowa regulacja pracy wentylatorów za pomocą regulatora EKC 331

— Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
— Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem

- ① Regulator wielostopniowy
- ② Przetwornik ciśnienia
- ③ Zawór odcinający
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Zawór odcinający



EKC 331 ① jest regulatorem czterostopniowym o maksymalnie czterech wyjściach przekątnikowych. Steruje załączaniem wentylatorów w zależności od informacji o ciśnieniu skraplacza pochodzącej z przetwornika AKS 33 ② lub AKS 32R. Działający na zasadzie regulacji ze strefą neutralną, sterownik EKC 331 ① reguluje wydajność skraplacza tak, że ciśnienie skraplacza utrzymuje się powyżej dopuszczalnego minimalnego poziomu.

Więcej informacji na temat regulacji ze strefą neutralną podano w rozdziale 2.1.

Przewód obejściowy, w którym zainstalowano zawór SVA ⑤, pełni rolę przewodu wyrównawczego, wspomagającego wyrównywanie się ciśnienia w zbiorniku i na dopływie do skraplacza, w celu umożliwienia spływu skroplin z tego wymiennika ciepła do zbiornika.

W niektórych układach znajduje zastosowanie regulator EKC 331T. W tym przypadku sygnał wejściowy może pochodzić z czujnika temperatury PT 1000, np. typu AKS 21. Czujnik temperatury montowany jest zwykle na wylocie ze skraplacza.

Uwaga: Rozwiązanie ze sterownikiem EKC 331T wyposażonym w czujnik temperatury PT 1000 nie oferuje takiej dokładności, jak sterownik EKC 331 z przetwornikiem ciśnienia, ponieważ temperatura czynnika na wylocie ze skraplacza nie musi dokładnie odpowiadać ciśnieniu skraplacza, z uwagi na dochłodzenie lub obecność gazów nieskrapających się. W przypadku zbyt małego dochłodzenia, po włączeniu wentylatorów może dojść do pojawienia się w tym przewodzie pęcherzyków pary, powstałych na skutek dławienia.

Dane techniczne

	Przetwornik ciśnienia AKS 33	Przetwornik ciśnienia AKS 32R
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Zakres roboczy [bar]	-1 do 34	-1 do 34
Maks. ciśnienie pracy PB [bar]	55 (zależnie od zakresu roboczego)	60 (zależnie od zakresu roboczego)
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 85	-40 do 85
Skompensowany zakres temperatury [°C]	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80	
Znamionowy sygnał wyjściowy	4 do 20 mA	10 do 90% napięcia zasilania

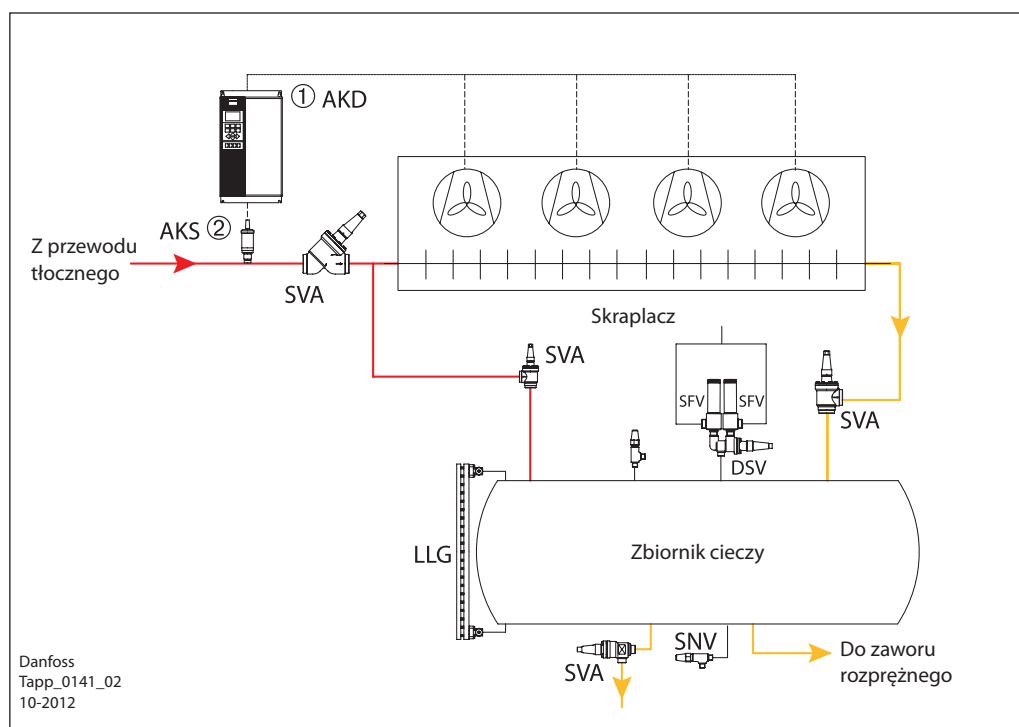
	Przetwornik ciśnienia AKS 3000	Przetwornik ciśnienia AKS 32
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Zakres roboczy [bar]	0 do 60 (zależnie od zakresu)	-1 do 39 (zależnie od zakresu)
Maks. ciśnienie pracy PB [bar]	100 (zależnie od zakresu roboczego)	60 (zależnie od zakresu roboczego)
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 80	-40 do 85
Skompensowany zakres temperatury [°C]	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80	
Znamionowy sygnał wyjściowy	4 do 20 mA	1 do 5 V albo 0 do 10 V

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład aplikacji 3.1.2:
Płynna regulacja obrotów
wentylatorów w skraplaczach
powietrznych

— Czynniki w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynniki w fazie ciekłej
pod wysokim ciśnieniem

① Przetwornica częstotliwości
② Przetwornik ciśnienia



Sterowanie przetwornicą częstotliwości daje
następujące korzyści:

- Oszczędność energii
- Lepsza jakość regulacji
- Zmniejszenie hałasu
- Dłuższy okres eksploatacji
- Uproszczona instalacja
- Łatwa w użytkowaniu, kompleksowa regulacja układu

Dane techniczne

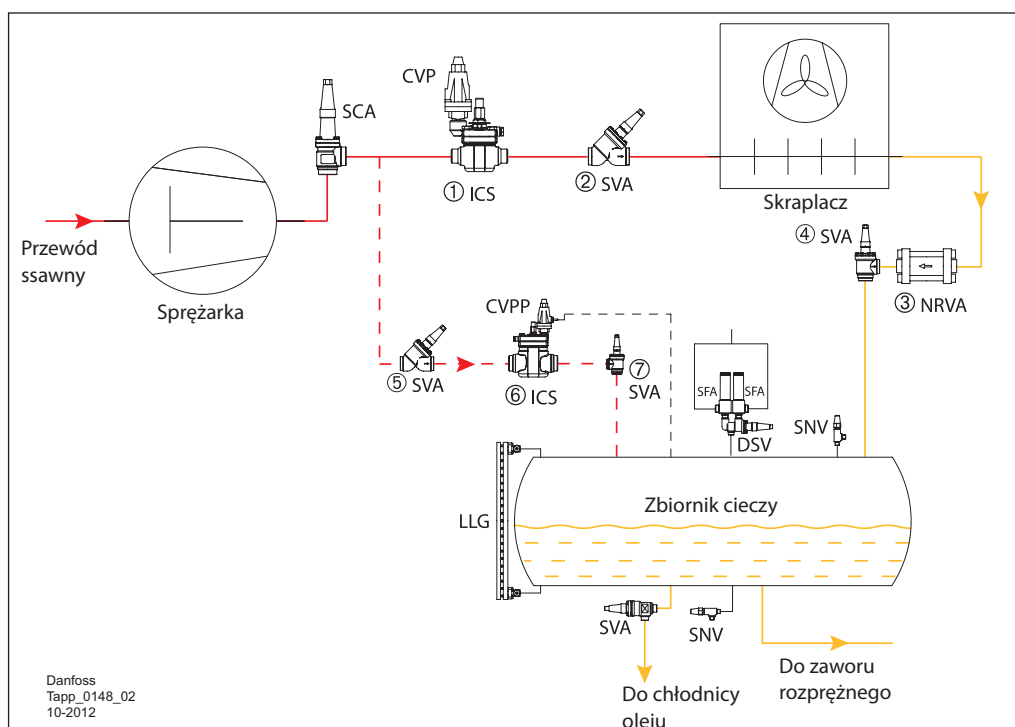
	Przetwornica częstotliwości AKD 102		Przetwornica częstotliwości VLT FC 102 / FC 302
Moc znamionowa (kW)	1,1 kW do 45 kW	1,1 kW do 250 kW	Do 1200 kW
Napięcie zasilające	200–240 V	380–480 V	200–690 V

Na rysunkach nie pokazano wszystkich
zaworów. Rysunków nie należy
kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 3.1.3:
Regulacja powierzchni roboczej
skraplacza chłodzonego
powietrzem

— Czynnik w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynnik w fazie ciekłej
pod wysokim ciśnieniem

- ① Regulator ciśnienia
- ② Zawór odcinający
- ③ Zawór zwrotny
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Zawór odcinający
- ⑥ Regulator różnicy ciśnień
- ⑦ Zawór odcinający



Ten sposób regulacji utrzymuje ciśnienie w zbiorniku cieczy na odpowiednio wysokim poziomie przy niskiej temperaturze otoczenia.

Zawór serwowłokowy ICS ① otwiera się, gdy ciśnienie tłoczenia osiąga nastawioną wartość na zaworze pilotowym CVP. Gdy ciśnienie spada poniżej tej wartości, zawór ICS zamyka się.

Zawór serwowłokowy ICS ⑥ z zaworem pilotowym CVPP stałą różnicę ciśnień utrzymuje odpowiednie ciśnienie w zbiorniku cieczy. W miejscu regulatora

różnicy ciśnień ⑥ można zastosować alternatywnie zawór upustowy OFV.

Zawór zwrotny NRVA ③ zapewnia wzrost ciśnienia skraplania poprzez zatrzymanie cieczy w skraplaczu. To rozwiązanie wymaga odpowiednio dużego zbiornika cieczy. Zawór zwrotny NRVA zapobiega również przepływowi cieczy ze zbiornika z powrotem do skraplacza, gdy skraplacz jest zimniejszy niż zbiornik podczas przestoju sprężarki.

Dane techniczne

	Zawór serwowłokowy ICS
Material	Korpus: stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	20 do 150
Wydajność nominalna* [kW]	Na przewodzie tłocznym: 20 do 3950 Ciecz o wysokim ciśnieniu: 179 do 37 000

* Warunki: R717, T_{ciecz}=30°C, P_{tłocz}=12bar, ΔP=0,2bar, T_{tłocz}=80°C, T_e=-10°C

	Zawór pilotowy różnicy ciśnień CVPP
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane, niepalne czynniki, w tym R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	CVPP (LP): 17 CVPP (HP): do 40
Zakres regulacji [bar]	CVPP (LP): 0 do 7 CVPP (HP): 0 do 22
Wartość K, m ³ /h	0,4

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

*Dane techniczne
(ciąg dalszy)*

	Zawór pilotowy stałego ciśnienia CVP
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	CVP (LP): 17 CVP (HP): do 40 CVP (XP): 52
Zakres ciśnień [bar]	CVP (LP): -0,66 do 7 CVP (HP): -0,66 do 28 CVP (XP): 25 do 52
Wartość K, m ³ /h	CVP (LP): 0,4 CVP (HP): 0,4 CVP (XP): 0,2

	Zawór upustowy OFV
Materiał	Korpus: stal
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	40
Średnica nominalna DN [mm]	20/25
Zakres różnicy ciśnienia otwarcia [bar]	2 do 8

3.2 Skrapłacze natryskowo- wyparne

Skrapłacz natryskowo-wyparny jest chłodzony otaczającym powietrzem oraz wodą natryskiwaną przeciwpłukowo z dysz. Krople wody częściowo odparowują, w efekcie zwiększając wydajność skraplacza.

Współczesne skrapłacze natryskowo-wyparne posiadają obudowę wykonaną ze stali lub tworzyw sztucznych oraz osiowe bądź odśrodkowe wentylatory umieszczone na dole lub u góry aparatu.

Powierzchnię wymiany ciepła znajdującą się w strumieniu wilgotnego powietrza stanowią gładkie rury stalowe. Ponad dyszami wodnymi (w strumieniu suchego powietrza) umieszcza się zwykle odcinki uźebrowanych rur stalowych, w których następuje odebranie ciepła przegrzania par, zanim trafią one do strefy skraplania poniżej dysz. Dzięki

temu spowalnia się znacznie proces narastania kamienia kotłowego na zasadniczej powierzchni wymiany ciepła.

Ten typ skraplacza charakteryzuje się znacznie mniejszym zużyciem wody chłodzącej w porównaniu do wymiennika chłodzonego jedynie wodą. Regulacja wydajności skraplacza natryskowo-wyparnego może być realizowana z wykorzystaniem dwubiegowych silników wentylatorów, bądź przez płynną zmianę ich prędkości obrotowej oraz, w przypadku bardzo niskiej temperatury otoczenia, przez wyłączenie cyrkulacyjnej pompy wody.

Stosowanie skraplaczy natryskowo-wyparnych jest ograniczone w obszarach o podwyższonej wilgotności względnej. W zimnych obszarach, gdzie w temperatura otoczenia spada poniżej 0°C, należy zabezpieczyć urządzenie przed możliwością zamarznięcia poprzez usunięcie wody ze skraplacza.

3.2.1 - Regulacja pracy skraplaczy natryskowo-wyparnych

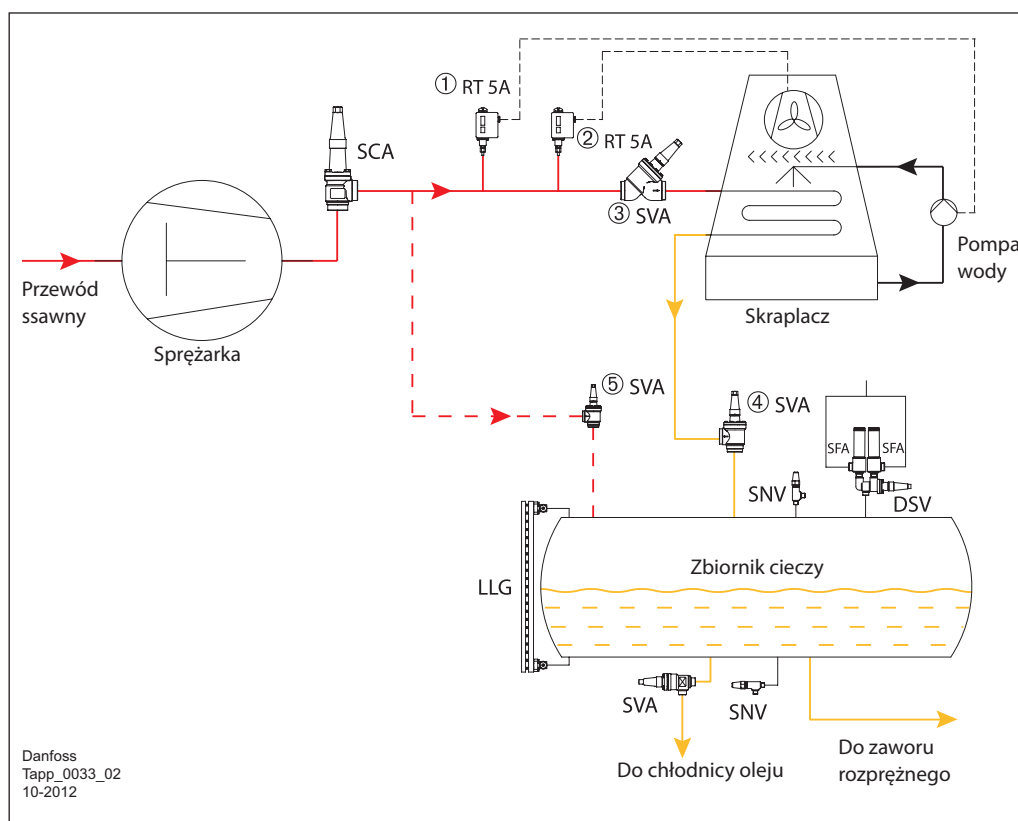
Regulację ciśnienia skraplania w tych wymiennikach ciepła można zrealizować na różne sposoby:

1. Sterowanie pracą wentylatorów za pomocą presostatów RT lub KP oraz wyłączanie pomp wody (najstarsze rozwiązanie).
2. Sterowanie pracą wentylatorów za pomocą regulatora ciśnienia ze strefą nieczułości RT-L oraz wyłączanie pomp.
3. Sterowanie pracą dwubiegowych wentylatorów oraz pomp za pomocą regulatora wielostopniowego.
4. Ciągła regulacja prędkości obrotowej wentylatorów oraz pomp za pomocą przetwornic częstotliwości.
5. Wykorzystanie czujnika przepływu Saginomiya jako urządzenia alarmowego w przypadku zaniku cyrkulacji wody.

Przykład zastosowania 3.2.1:
Regulacja wielostopniowa
z wykorzystaniem presostatów RT

— Czynnik w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynnik w fazie ciekłej
pod wysokim ciśnieniem
— Woda

- ① Presostat
② Presostat
③ Zawór odcinający
④ Zawór odcinający
⑤ Zawór odcinający



Rozwiązanie to, w przypadku niskiej temperatury otoczenia, utrzymuje ciśnienie skraplania i ciśnienie w zbiorniku na wystarczająco wysokim poziomie.

Gdy ciśnienie na wlocie do skraplacza obniży się poniżej wartości ustawionej na presostacie RT 5A ②, regulator ten wyłączy wentylator, w celu zmniejszenia wydajności skraplacza.

Przy wyjątkowo niskiej temperaturze otoczenia, gdy pomimo wyłączenia wentylatorów ciśnienie skraplania spadnie poniżej nastawy presostatu RT 5A ①, regulator zatrzyma pompę wody.

W przypadku wyłączenia pompy, woda powinna zostać usunięta ze skraplacza i rur, aby zapobiec odkładaniu się kamienia kotłowego i zamarzaniu.

Dane techniczne

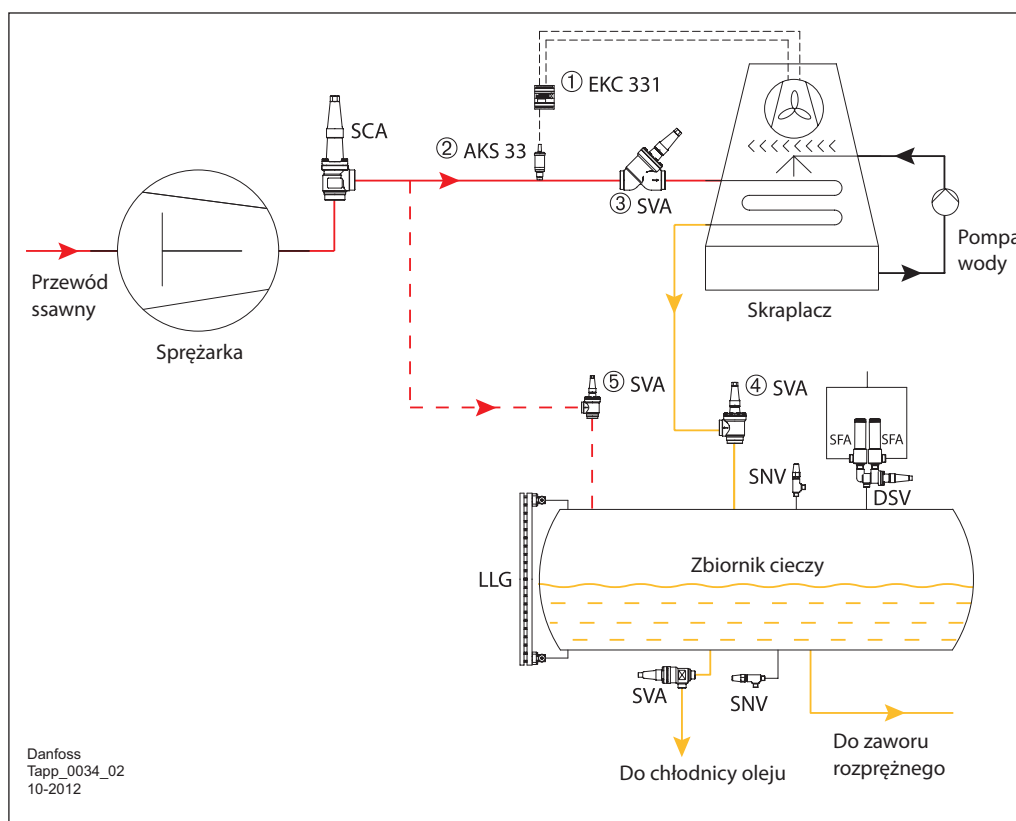
	Presostat wysokiego ciśnienia RT 5A
Czynniki chłodnicze	R717 i czynniki syntetyczne
Obudowa	IP 66/54
Temperatura otoczenia [°C]	-50 do 70
Zakres regulacji [bar]	RT 5A: 4 do 17
Maks. ciśnienie robocze [bar]	22
Maks. ciśnienie próbne [bar]	25

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 3.2.2:
Regulacja wielostopniowa
z wykorzystaniem sterownika
EKC 331

— Czynniki w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
— Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
— Woda

- ① Regulator wielostopniowy
② Przetwornik ciśnienia
③ Zawór odcinający
④ Zawór odcinający
⑤ Zawór odcinający



Rozwiązanie to działa na tej samej zasadzie, jak w przykładzie 3.2.1, z tym że elementem sterującym jest wielostopniowy regulator EKC 331 ①. Więcej informacji na temat sterownika EKC 331 znajduje się na stronie 7.

Wydajność skraplaczy wyparnych można regulować za pomocą regulatora mocy EKC 331 oraz przetwornika ciśnienia AKS. Ostatnim krokiem jest wybór regulacji sekwencyjnej dla pompy wody. Regulacja sekwencyjna oznacza, że stopnie zawsze są włączane i wyłączane w tej samej kolejności.

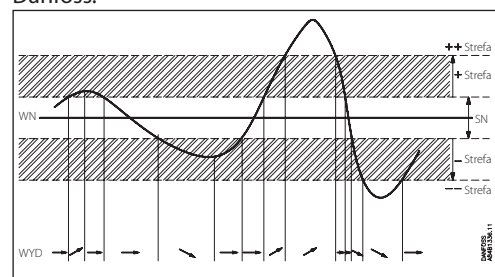
Wersja EKC 331T może współpracować z czujnikiem temperatury PT 1000, co może okazać się potrzebne w przypadku układów pośrednich.

Regulacja ze strefą neutralną
Strefa neutralna (SN) stanowi przedział wokół wartości nastawionej (WN), w którym nie następuje obciążanie ani odciążanie. Poza strefą neutralną (w zakreskowanych

przedziałach „Strefa +” i „Strefa -”, w których mierzone ciśnienie wykracza poza strefę neutralną), sterownik podejmuje działanie obciążające lub odciążające.

W odchyleniach od nastawy wykraczających poza przedziały zakreskowane („Strefa +” i „Strefa -”) zmiany wydajności sprężarki (WYD) dokonywane są szybciej.

Więcej szczegółowych informacji można znaleźć w instrukcji obsługi sterownika EKC 331(T) firmy Danfoss.



Dane techniczne

	Przetwornik ciśnienia AKS 33	Przetwornik ciśnienia AKS 32R
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Zakres roboczy [bar]	-1 do 34	-1 do 34
Maks. ciśnienie pracy PB [bar]	55 (zależnie od zakresu roboczego)	60 (zależnie od zakresu roboczego)
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 85	-40 do 85
Skompensowany zakres temperatury [°C]	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80
Znamionowy sygnał wyjściowy	4 do 20 mA	10 do 90% napięcia zasilania

	Przetwornik ciśnienia AKS 3000	Przetwornik ciśnienia AKS 32
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Zakres roboczy [bar]	0 do 60 (zależnie od zakresu)	-1 do 39 (zależnie od zakresu)
Maks. ciśnienie pracy PB [bar]	100 (zależnie od zakresu roboczego)	60 (zależnie od zakresu roboczego)
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 80	-40 do 85
Skompensowany zakres temperatury [°C]	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80
Znamionowy sygnał wyjściowy	4 do 20 mA	1 do 5 V albo 0 do 10 V

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

3.3 Skraplacze chłodzone wodą

Pierwotna postać skraplacza wodnego, to płaszczowo-rurowy wymiennik ciepła. Obecnie jednak bardzo często ma on formę wymiennika płytowego o nowoczesnej konstrukcji.

Skraplacze wodne nie są wykorzystywane powszechnie, ponieważ w wielu rejonach nie dopuszcza się do zużywania w celu chłodzenia skraplacza tak dużych ilości wody (brak, lub też wysoka cena wody).

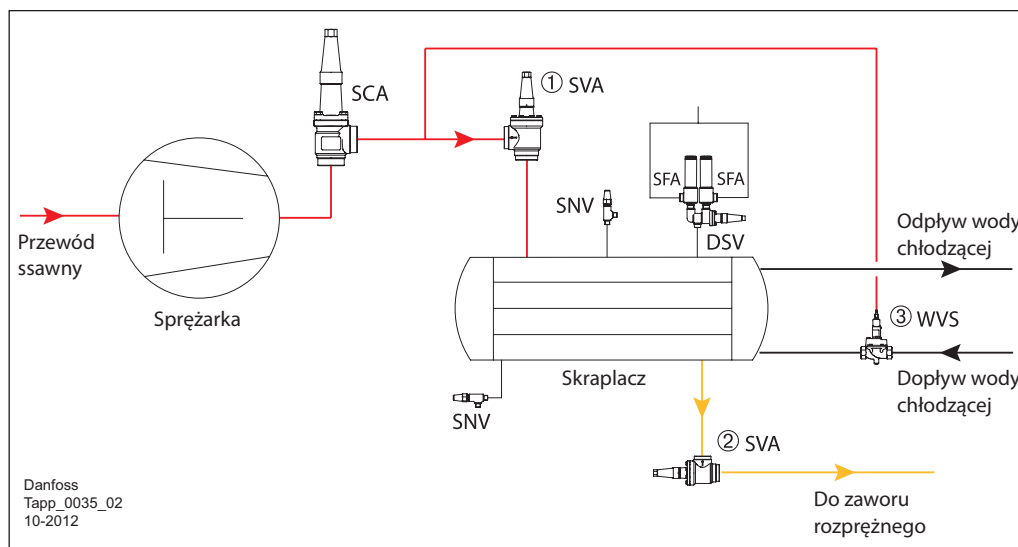
Obecnie skraplacze wodne są często spotykane w schładzaczach wody („chillerach”), gdzie woda chłodząca krąży w obiegu zamkniętym i oddaje ciepło w chłodni kominowej. Znajdują ponadto zastosowanie jako wymienniki do odzysku ciepła skraplania w celu podgrzewania wody.

Regulację ciśnienia skraplania można zrealizować z wykorzystaniem presostatycznego zaworu wodnego, albo wodnego zaworu silnikowego, współpracującego ze sterownikiem elektronicznym, w celu regulacji przepływu wody chłodzącej zależnie od ciśnienia skraplania.

Przykład zastosowania 3.3.1:
Regulacja przepływu wody przez skraplacz z wykorzystaniem zaworu wodnego

— Czynniki w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
— Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
— Woda

- ① Zawór odcinający
② Zawór odcinający
③ Zawór wodny



Prezentowane rozwiązanie zapewnia utrzymywanie ciśnienia skraplania na stałym poziomie. Sygnał o ciśnieniu skraplania czynnika chłodniczego jest przekazywany rurką kapilarną do górnej części zaworu wodnego WVS ③ i steruje stopniem jego otwarcia. Zawór wodny WVS jest regulatorem proporcjonalnym.

Dane techniczne

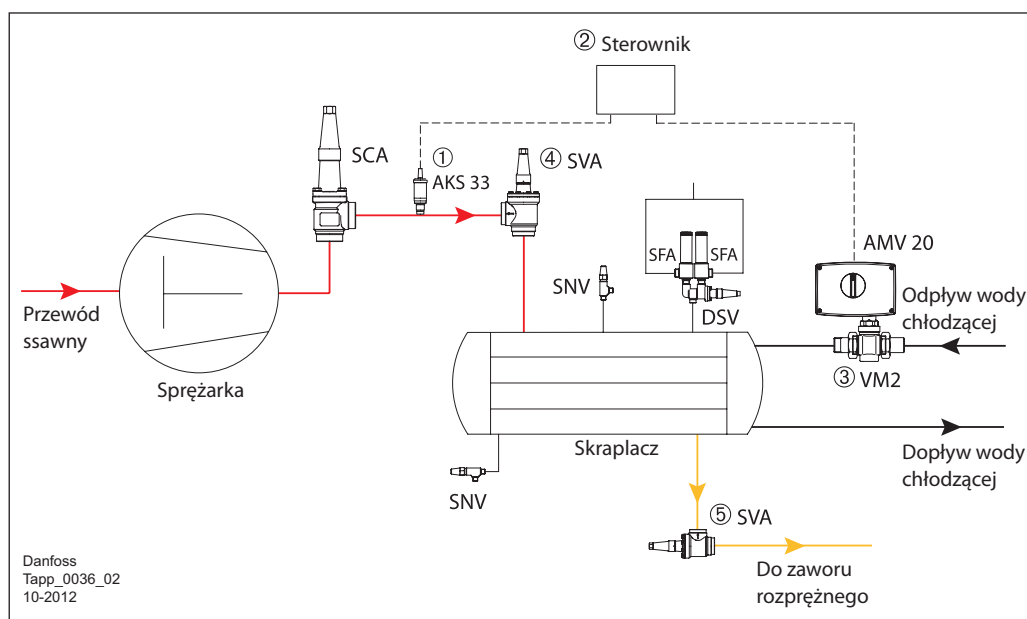
	Zawór wodny WVS
Materiały	Korpus: żeliwo Mieszek: aluminium i stal z zabezpieczeniem antykorozyjnym
Czynniki chłodnicze	R717, CFC, HCFC, HFC
Płyny robocze	Woda słodka, nieagresywna solanka
Zakres temperatury medium [°C]	-25 do 90
Regulowane ciśnienie zamknięcia [bar]	2,2 do 19
Maksymalne ciśnienie robocze po stronie czynnika chłodniczego [bar]	26,4
Maksymalne ciśnienie robocze po stronie cieczy [bar]	10
Średnica nominalna DN [mm]	32 do 100

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 3.3.2:
Regulacja przepływu
wody przez skraplacz
z wykorzystaniem zaworu
silnikowego

— Czynnik w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynnik w fazie ciekłej
pod wysokim ciśnieniem
— Woda

- ① Przetwornik ciśnienia
- ② Regulator
- ④ Zawór silnikowy
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Zawór odcinający



Sterownik ② otrzymuje informację o ciśnieniu skraplania z przetwornika AKS 33 ① i wysyła odpowiedni sygnał sterujący do siłownika AMV 20 zaworu silnikowego VM 2 ③. Tym sposobem następuje dostosowanie przepływu wody chłodzącej, a ciśnienie skraplania utrzymuje się na stałym poziomie.

W tym rozwiązaniu, sterownik może być regulatorem typu PI lub PID.

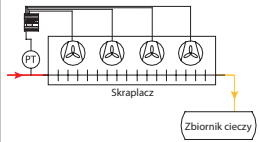
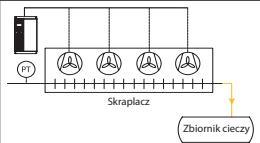
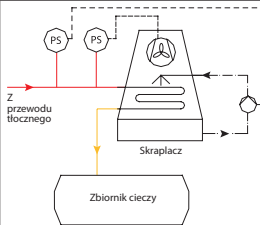
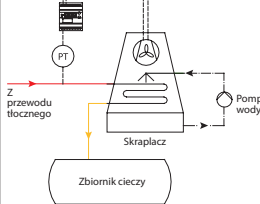
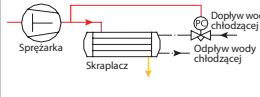
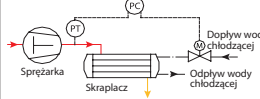
VM 2 i VFG 2 są zaworami silnikowymi, zaprojektowanymi dla układów centralnego ogrzewania i mogą także służyć do regulacji przepływu wody w instalacjach chłodniczych.

Dane techniczne

	Zawór silnikowy VM 2
Materiał	Korpus: brąz
Płyny robocze	Woda obiegowa / wodne roztwory glikolu do 30%
Zakres temperatury medium [°C]	2 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	25
Średnica nominalna DN [mm]	15 do 50

3.4

Podsumowanie

Rozwiązanie		Zastosowanie	Zalety	Ograniczenia
Regulacja pracy skraplaczy powietrznych				
Wielostopniowa regulacja pracy wentylatorów z wykorzystaniem sterownika EKC 331		Głównie w przemysłowych instalacjach chłodniczych w klimacie gorącym oraz w dużo mniejszym stopniu w klimatach chłodniejszych.	Stopniowa regulacja przepływu powietrza, także z wentylatorami wielobiegowymi. Oszczędność energii. Brak poboru wody.	Bardzo niska temperatura otoczenia. Możliwość głośnej pracy wentylatora.
Płynna regulacja obrotów wentylatorów w skraplaczach powietrznych		Wszystkie skraplacze z wentylatorami o zmiennej prędkości obrotowej.	Niski prąd rozruchowy. Oszczędność energii. Mniejszy hałas. Dłuższy okres eksploatacji. Uproszczona instalacja.	Bardzo niska temperatura otoczenia.
Regulacja pracy skraplaczy natryskowo-wyparych				
Regulacja wielostopniowa z wykorzystaniem presostatów RT		Przemysłowe instalacje chłodnicze o bardzo dużej wydajności.	Znaczne zmniejszenie zużycia wody, w porównaniu do skraplaczy wodnych, przy stosunkowo łatwej regulacji wydajności. Oszczędność energii.	Wysoka wilgotność względna powietrza otaczającego; W klimacie zimnym potrzeba spuszczenia wody w okresach postoju pomp.
Regulacja wielostopniowa z wykorzystaniem sterownika EKC 331		Przemysłowe instalacje chłodnicze o bardzo dużej wydajności.	Znaczne zmniejszenie zużycia wody, w porównaniu do skraplaczy wodnych, przy stosunkowo łatwej regulacji wydajności. Możliwość zdalnego sterowania. Oszczędność energii.	Wysoka wilgotność względna powietrza otaczającego; W klimacie zimnym potrzeba spuszczenia wody w okresach postoju pomp.
Regulacja pracy skraplaczy wodnych				
Regulacja przepływu wody z wykorzystaniem presostatycznego zaworu wodnego		Schładzacze cieczy („chillery”), układy z odzyskiem ciepła skraplania.	Łatwa regulacja wydajności.	Problemy z dostępnością wody.
Regulacja przepływu wody z wykorzystaniem zaworu silnikowego		Schładzacze cieczy („chillery”), układy z odzyskiem ciepła skraplania.	Łatwa regulacja wydajności skraplacza i odzysku ciepła. Możliwość zdalnego sterowania.	Wyższy koszt; Problemy z dostępnością wody.

3.5

Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKD 102	PD.R1.B	ICS	PD.HS2.A
AKS 21	RK0YG	NRVA	PD.FK0.A
AKS 33	RD5GH	RT 5A	PD.CB0.A
AMV 20	ED95N	SVA	PD.KD1.A
CVP	PD.HN0.A	VM 2	ED97K
CVPP	PD.HN0.A	WVS	PD.DA0.A

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKD 102	MG11L	ICS 25-65	PI.HS0.A
AKS 21	RI14D	ICS 100-150	PI.HS0.B
AKS 32R	PI.SB0.A	NRVA	PI.FK0.A
AKS 33	PI.SB0.A	RT 5A	RI5BC
AMV 20	EI96A	SVA	PI.KD1.A
CVP, CVPP	PI.HN0.C	VM 2	VIHBC
CVP-XP	PI.HN0.J	WVS	PI.DA0.A

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

4. Regulacja poziomu cieczy

Regulacja poziomu cieczy odgrywa ważną rolę w funkcjonowaniu przemysłowych instalacji chłodniczych. Polega na sterowaniu ilością doprowadzanej cieczy tak, aby utrzymać jej stały poziom w danym aparacie.

Projektując układ regulacji poziomu cieczy, można wykorzystać jedną z dwóch zasadniczych metod:

- Regulacja poziomu cieczy po stronie wysokiego ciśnienia (HP LLRS)
- Regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia (LP LLRS)

Wysokociśnieniowe układy regulacji poziomu cieczy charakteryzują się zwykle:

1. Uwzględnianiem poziomu cieczy po stronie skraplacza,
2. Krytycznie małą ilością czynnika chłodniczego w układzie,
3. Małym zbiornikiem lub nawet jego brakiem,
4. Wykorzystaniem głównie w agregatach do schładzania wody („chillerach”) i innych układach o małym napełnieniu czynnikiem (np. w małych zamrażarkach).

Niskociśnieniowe układy regulacji poziomu cieczy charakteryzują się zwykle:

1. Uwzględnianiem poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia,
2. Dużym zbiornikiem cieczy za skraplaczem,
3. Stosunkowo dużym napełnieniem instalacji czynnikiem chłodniczym,
4. Wykorzystaniem w układach zdecentralizowanych

Obie metody regulacji można zrealizować z wykorzystaniem mechanicznych, jak i elektronicznych elementów automatyki.

4.1 Układ regulacji poziomu cieczy po stronie wysokiego ciśnienia

Podczas projektowania wysokociśnieniowego układu regulacji poziomu cieczy, należy wziąć pod uwagę następujące kwestie:

Ciecz powstająca w skraplaczu jest od razu dostarczana do parownika (na stronę niskiego ciśnienia).

Ciecz opuszczająca skraplacz charakteryzuje się małym dochłodzeniem lub jego brakiem. Fakt ten odgrywa rolę podczas przepływu czynnika na stronę niskiego ciśnienia. Na skutek spadków ciśnienia w przewodach lub także w elementach układu, może dochodzić do pojawienia się mieszaniny cieczowo-gazowej (częściowego odparowania cieczy), co zmniejsza natężenie przepływu czynnika.

Ilość czynnika w układzie musi być precyzyjnie określona. Przepętnienie instalacji zwiększa ryzyko zalewania parownika lub oddzielacza cieczy, a co za tym idzie, porywania cieczy do sprężarki (uderzenie hydrauliczne). Z kolei zbyt mała ilość czynnika w układzie nie pozwoli

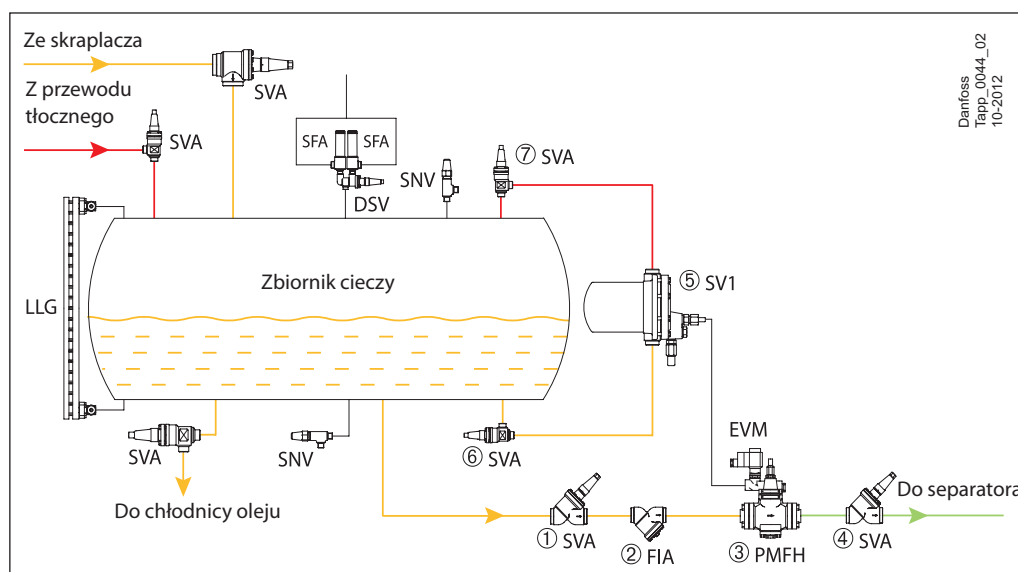
w pełni wykorzystać powierzchni wymiany ciepła w parowniku. Pojemność zbiorników po stronie niskiego ciśnienia (oddzielacz cieczy, parownik płaszczowo-rurowy) musi mieć odpowiednio obliczoną pojemność, aby pomieścić czynnik chłodniczy w każdych warunkach, bez ryzyka zassania par mokrych przez sprężarkę.

Z wyżej wymienionych powodów, regulacja poziomu cieczy po stronie wysokiego ciśnienia nadaje się szczególnie do układów o małym napełnieniu czynnikiem chłodniczym, jak schładzacz wody („chillery”) albo małe zamrażarki. „Chillery” zwykle nie wymagają zbiorników cieczy. Z wyżej wymienionych powodów, regulacja poziomu cieczy po stronie wysokiego ciśnienia nadaje się szczególnie do układów o małym napełnieniu czynnikiem chłodniczym, jak schładzacz wody („chillery”) albo małe zamrażarki. Nawet jeśli zainstalowanie zbiornika jest konieczne w celu zainstalowania zaworów pilotowych i zasilania czynnikiem chłodniczym oleju, to zbiornik ten jest niewielki.

Przykład zastosowania 4.1.1:
Mechaniczny układ regulacji
poziomu cieczy po stronie
wysokiego ciśnienia

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Zawór serwołukowy
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Zawór pływakowy
- ⑥ Zawór odcinający
- ⑦ Zawór odcinający



W dużych układach z regulacją poziomu cieczy po stronie wysokiego ciśnienia, wykorzystuje się zawór wykonawczy PMFH ③ sterowany zaworem pływakowym SV 1 ⑤ lub SV 3. Gdy poziom cieczy w zbiorniku przekroczy ustaloną wartość, zawór pływakowy SV 1 ⑤ wysyła sygnał otwarcia do zaworu wykonawczego PMFH.

Funkcją zbiornika w tym przypadku jest stabilizacja sygnału dla pływaka SV1 ⑤.

Dane techniczne

	Zawór serwołukowy PMFH 80 — 1 do 500
Materiał	Niskotemperaturowe żeliwo sferoidalne
Czynniki chłodnicze	R717, HFC, HCFC i CFC
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do +120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	28
Maksymalne ciśnienie próbne [bar]	42
Wydajność znamionowa* [kW]	139–13 900

* Warunki: R717, +5/32°C, T_i = 28°C

	Zawór pływakowy SV 1 i SV 3
Materiał	Korpus: stal Pokrywa: żeliwo niskotemperaturowe Pływak: stal nierdzewna
Czynniki chłodnicze	R717, HFC, HCFC i CFC
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 65
Zakres regulacji [mm]	35
Maks. ciśnienie robocze [bar]	28
Maksymalne ciśnienie próbne [bar]	36
Wartość K _v [m³/h]	0,06 dla SV 1 0,14 dla SV 3
Wydajność znamionowa* [kW]	SV 1: 25 SV 3: 64

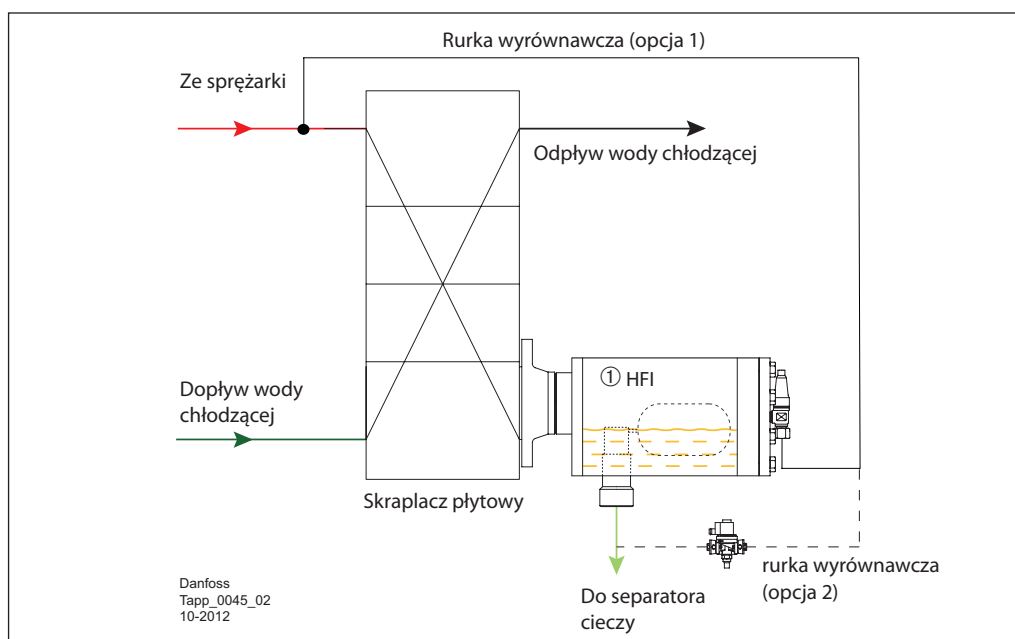
* Warunki: R717, +5/32°C, T_i = 28°C

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 4.1.2:
Mechaniczny układ regulacji
poziomu cieczy po stronie
wysokiego ciśnienia
z wykorzystaniem zaworu HFI

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Woda

① Zawór pływakowy wysokiego ciśnienia



Jeśli skraplacz jest płytowym wymiennikiem ciepła, to do regulacji poziomu cieczy można wykorzystać mechaniczny zawór pływakowy HFI ①.

Najprostszym rozwiązaniem jest opcja 1. Opcja 2 wymaga zastosowania zaworu elektromagnetycznego na linii wyrównawczej.

HFI, to zawór pływakowy wysokiego ciśnienia bezpośredniego działania i do jego pracy nie jest potrzebna żadna różnica ciśnień.

Jeśli zawór HFI nie jest zainstalowany bezpośrednio na skraplaczu, należy go koniecznie podłączyć do linii wyrównawczej.

W pewnych przypadkach może jednak zająć konieczność podłączenia przewodu wyrównawczego ze strony wysokiego (opcja 1), bądź niskiego ciśnienia (opcja 2) zgodnie z rysunkiem. Przewody wyrównawcze mają na celu usunięcie nieskroplonego czynnika chłodniczego blokującego napływ czynnika do obudowy pływaków.

Dane techniczne

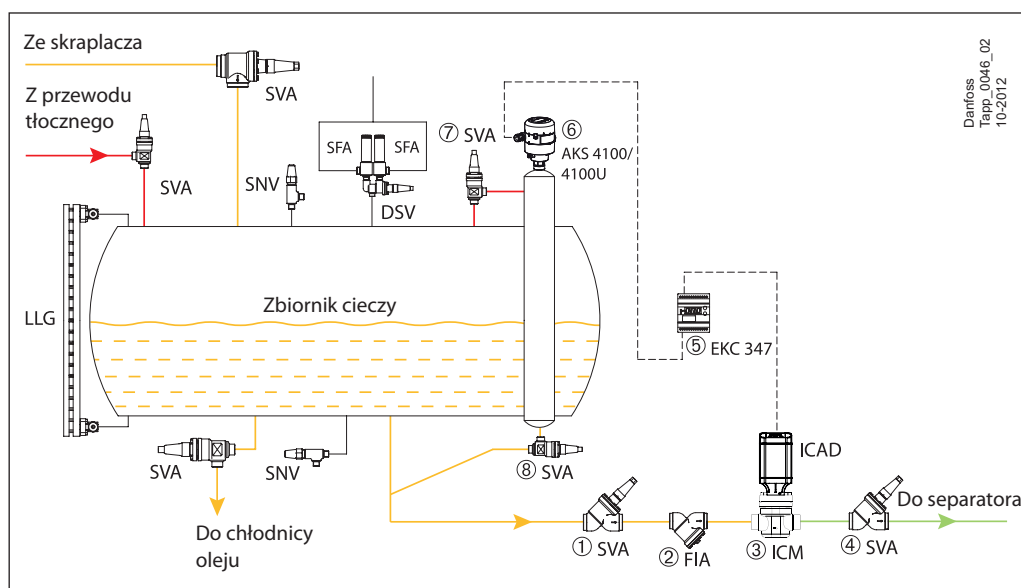
	HFI
Material	Specjalna stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	R717 i inne czynniki niepalne. W przypadku czynników o gęstości ponad 700 kg/m ³ należy skonsultować się z firmą Danfoss.
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 80
Maks. ciśnienie robocze [bar]	25 bar
Maksymalne ciśnienie próbne [bar]	50 (bez pływaków)
Wydajność znamionowa* [kW]	400 do 2400

* Warunki: R717, -10/35°C

Przykład zastosowania 4.1.3:
Elektroniczny układ regulacji
poziomu cieczy po stronie
wysokiego ciśnienia

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Zawór silnikowy
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Regulator
- ⑥ Przetwornik poziomu
- ⑦ Zawór odcinający
- ⑧ Zawór odcinający



W elektronicznym układzie regulacji, sygnał poziomu cieczy może pochodzić z wyłącznika pływakowego AKS 38, który jest przetwornikiem dwustanowym (ON/OFF), lub z czujnika AKS 4100/4100U o ciągłym sygnale wyjściowym (4 do 20 mA).

Sygnał ten dociera do elektronicznego regulatora EKC 347, który steruje zaworem dławiącym.

Przepływ cieczy można regulować na kilka różnych sposobów:

- Z wykorzystaniem zaworu silnikowego ICM z siłownikiem ICAD.
- Za pomocą modulatorycznego zaworu dławiącego AKVA. Można go instalować tylko w układach, w których dozwolona jest pulsacja przepływu za zaworem.

- Z wykorzystaniem zaworu regulacyjnego REG w roli zaworu dławiącego oraz zaworu elektromagnetycznego EVRA, odcinającego przepływ (ON/OFF).
- Na rysunku pokazano układ regulacji złożony z czujnika poziomu AKS 4100/4100U ⑥, wysyłającego sygnał do sterownika EKC 347 ⑤. Zawór silnikowy ICM ③ pełni rolę zaworu dławiącego.

Dane techniczne

	Zawór silnikowy ICM w roli elementu rozprężnego
Materiał	Korpus: Stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	20 do 80
Wydajność nominalna* [kW]	73 do 22 700

* Warunki: R717, T_e = -10°C, Δp = 8,0 bar, ΔT_{sub} = 4K;

	Przetwornik poziomu AKS 4100/4100U
Materiał	Gwintowana nasada i rura pomiarowa: stal nierdzewna Część wierzchnia: lane aluminium
Czynniki chłodnicze	R717, R22, R404a, R134a, R718, R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 100
Ciśnienie procesu	-1 bar g do 100 bar g (-14,5 psig do 1450 psig)
Zakres pomiarowy [mm]	800 do 8000

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

4.2 Regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia

Projektując układ regulacji poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia, należy wziąć pod uwagę następujące kwestie:

Ilość cieczy w aparacie po stronie niskiego ciśnienia (oddzielacz cieczy, parownik płaszczowo-rurowy) jest utrzymywana na stałym poziomie. Zabezpiecza to układ, z jednej strony przed zasysaniem mokrych par przez sprężarkę wskutek zbyt wysokiego poziomu cieczy, a z drugiej przed kawitacją w pompie czynnika chłodniczego w wyniku zbyt niskiego poziomu cieczy w układzie pompowym.

Zbiornik cieczy musi mieć pojemność wystarczającą do pomieszczenia ciekłego czynnika docierającego z parowników, podczas gdy ilość cieczy w poszczególnych wymiennikach zmienia się zależnie od obciążenia cieplnego i aktualnego trybu

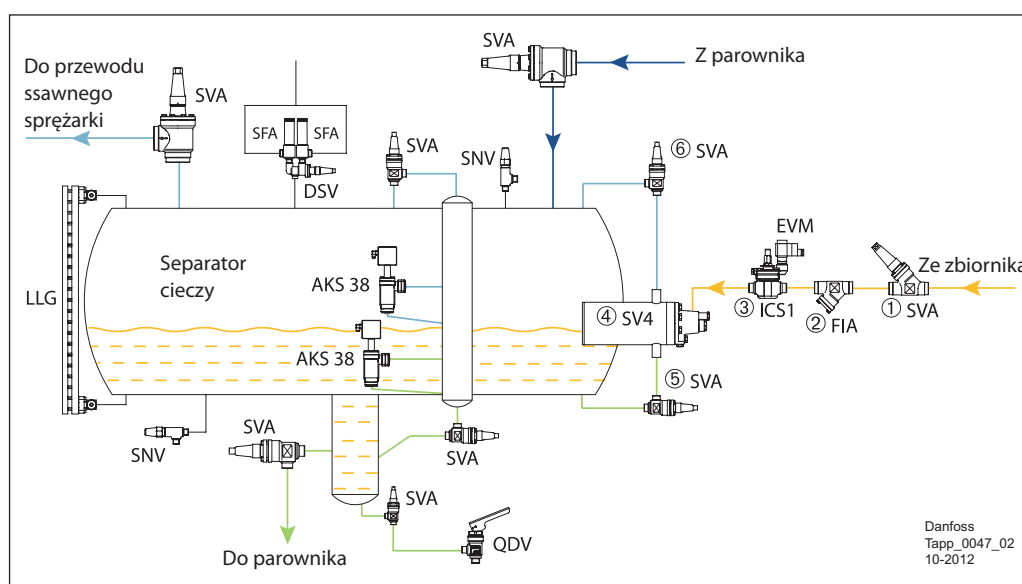
pracy (oszaranie lub wyłączenie parowników). W związku z powyższym, regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia jest szczególnie odpowiednia dla zdecentralizowanych układów chłodniczych o wielu parownikach i z dużą ilością czynnika, jak np. w chłodniach składowych. Instalacje takie mogą wtedy pracować niezawodnie, pomimo braku możliwości wyznaczenia chwilowego zapotrzebowania ilości czynnika chłodniczego.

Podsumowując, regulacja poziomu cieczy po stronie wysokiego ciśnienia jest odpowiednia dla układów zwartych, kompaktowych, jak np. „chillery”. Zaletą tej metody jest mniejszy koszt instalacji (mniejszy zbiornik bądź jego brak). Natomiast regulacja po stronie niskiego ciśnienia może być zrealizowana w układach zdecentralizowanych, wyposażonych w wiele parowników i długie przewody, jak np. duże instalacje chłodni składowych. Zaletą jest w tym przypadku większe bezpieczeństwo i niezawodność.

Przykład zastosowania 4.2.1:
Mechaniczna regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia

- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Zawór pływakowy niskiego ciśnienia
- ⑤ Zawór odcinający
- ⑥ Zawór odcinający



Zawory pływakowe SV regulują poziom ciekłego czynnika w aparatach niskociśnieniowych. Przy małej wydajności, zawory SV ④ mogą być zamontowane bezpośrednio na aparacie i pełnić rolę zaworu dławiącego (patrz rysunek).

Dane techniczne

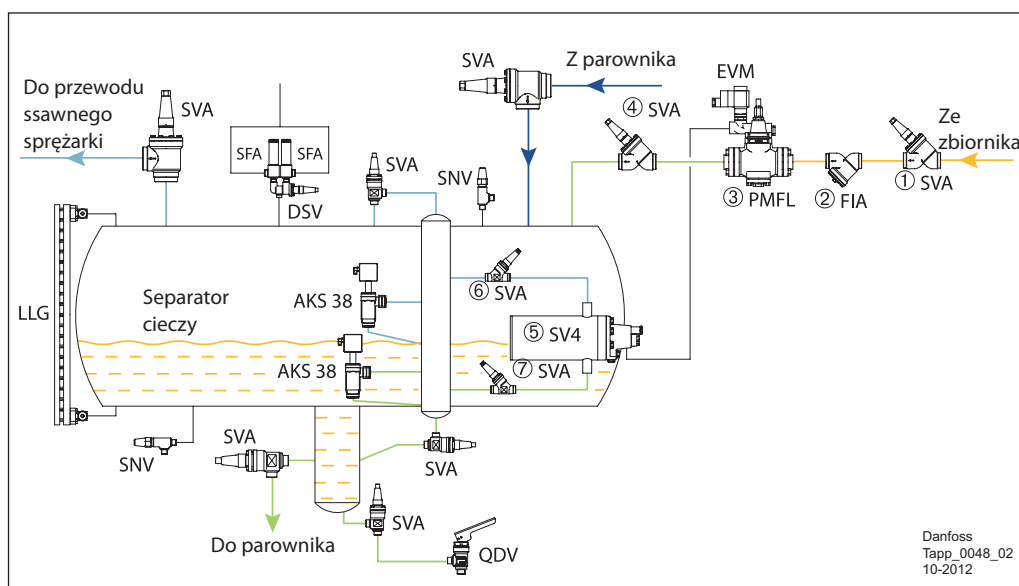
	SV 4-6
Materiał	Korpus: stal Pokrywa: niskotemperaturowe żeliwo sferoidalne Pływak: stal nierdzewna
Czynniki chłodnicze	R717, HFC, HCFC i CFC
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do +120
Zakres regulacji [mm]	35
Maks. ciśnienie robocze [bar]	28
Maksymalne ciśnienie próbne [bar]	42
Wartość K _v [m³/h]	0,23 dla SV 4 0,31 dla SV 5 0,43 dla SV 6
Wydajność znamionowa* [kW]	SV 4: 102 SV 5: 138 SV 6: 186

* Warunki: R717, +5/32°C, ΔT_{sub} = 4K.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 4.2.2:
Mechaniczna regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia

- Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
 - Mieszanina cieczy i pary czynnika chłodniczego
 - Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
 - Czynniki w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- ① Zawór odcinający
 - ② Filtr
 - ③ Zawór serwowłokowy
 - ④ Zawór odcinający
 - ⑤ Zawór pływakowy niskiego ciśnienia
 - ⑥ Zawór odcinający
 - ⑦ Zawór odcinający



W przypadku dużej wydajności, zawór pływakowy SV ⑤ pełni rolę pilota dla zaworu wykonawczego PMFL. Gdy poziom cieczy w zbiorniku opadnie poniżej nastawionej wartości, zawór pływakowy SV ⑤ wyśle sygnał otwarcia do zaworu głównego PMFL.

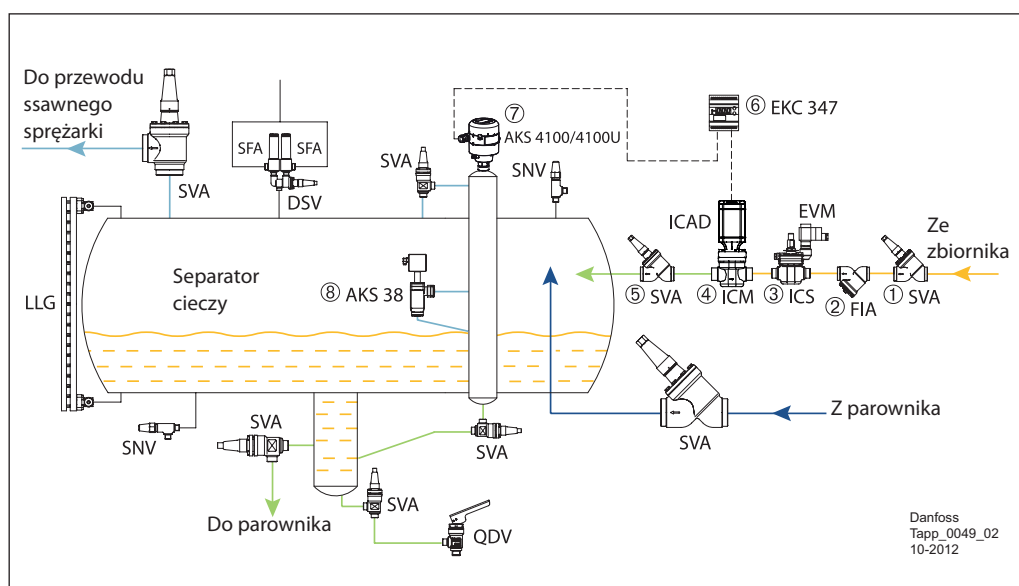
Dane techniczne

	Zawór serwowłokowy PMFL 80 — 1 do 500
Materiał	Niskotemperaturowe żeliwo sferoidalne
Czynniki chłodnicze	R717, HFC, HCFC i CFC
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do +120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	28
Maksymalne ciśnienie próbne [bar]	42
Wydajność znamionowa* [kW]	139-13 900

* Warunki: R717, +5/32°C, ΔT_{sub} = 4K.

Przykład zastosowania 4.2.3:
Elektroniczna regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia

- Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
 - Mieszanina cieczy i pary czynnika chłodniczego
 - Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
 - Czynniki w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- ① Zawór odcinający
 - ② Filtr
 - ③ Zawór elektromagnetyczny
 - ④ Zawór silnikowy
 - ⑤ Zawór odcinający
 - ⑥ Regulator
 - ⑦ Przetwornik poziomu
 - ⑧ Ogranicznik poziomu



Czujnik poziomu cieczy AKS 4100/4100U ⑦ wysyła informację o poziomie czynnika w oddzielaczu do regulatora EKC 347 ⑥, który za pośrednictwem modulowanego sygnału steruje pracą siłownika zaworu wykonawczego ICM ④. Zawór silnikowy ICM spełnia zadanie zaworu dławiącego.

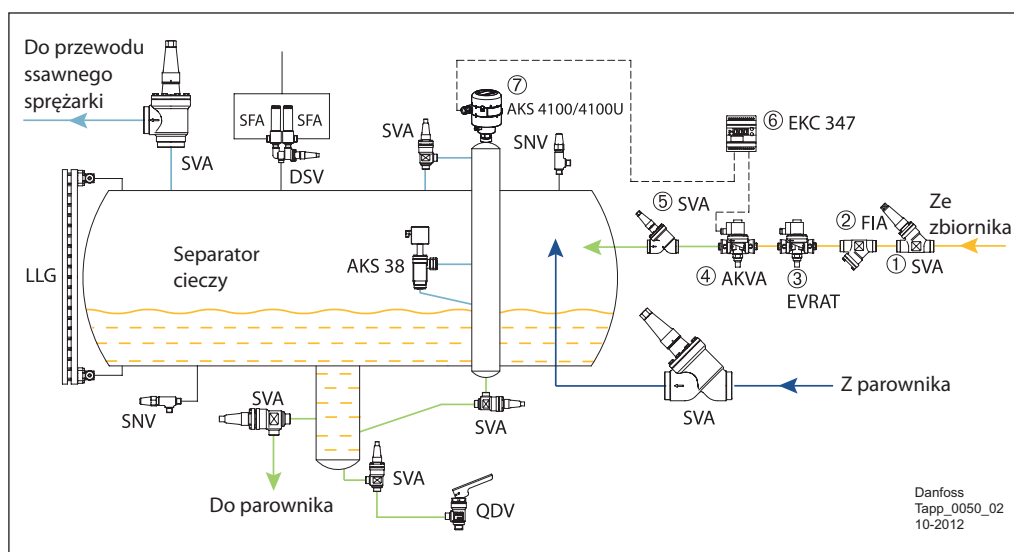
Regulator poziomu cieczy EKC 347 ⑥ posiada także wyjścia przekątnikowe do sygnalizacji poziomu minimalnego i maksymalnego oraz alarmowego. Zaleca się jednak, aby czujnik poziomu AKS 38 ⑧ pełnił rolę wyłącznika wysokiego poziomu cieczy.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 4.2.4:
Elektroniczna regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia

- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary czynnika chłodniczego
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Zawór rozprężny sterowany elektronicznie
- ⑤ Zawór odcinający
- ⑥ Regulator
- ⑦ Przetwornik poziomu



Prezentowane rozwiązanie przypomina przykład 4.2.3. Jednakże, w tym przypadku zawór silnikowy ICM zastąpiono zaworem rozprężnym AKVA sterowanym elektronicznie przez modulację szerokości impulsu sterującego. Zawór EVRAT ③ pełni rolę dodatkowego zaworu elektromagnetycznego, którego zadaniem jest zapewnienie całkowitego odcięcia dopływu podczas postoju.

Regulator poziomu cieczy EKC 347 ⑥ posiada także wyjścia przekątnikowe do sygnalizacji poziomu minimalnego i maksymalnego oraz alarmowego. Zaleca się jednak, aby czujnik poziomu AKS 38 pełnił rolę wyłącznika wysokiego poziomu cieczy.

Dane techniczne

	AKVA
Materiał	AKVA 10: stal nierdzewna AKVA 15: żeliwo AKVA 20: żeliwo
Czynniki chłodnicze	R717
Zakres temperatury medium [°C]	AKVA 10: -50 do +60 AKVA 15 / 20: -40 do +60
Maks. ciśnienie robocze [bar]	42
Średnica nominalna DN [mm]	10 do 50
Wydajność nominalna* [kW]	4 do 3150

*Warunki: R717, +5/32°C, ΔT_{sub} = 4K.

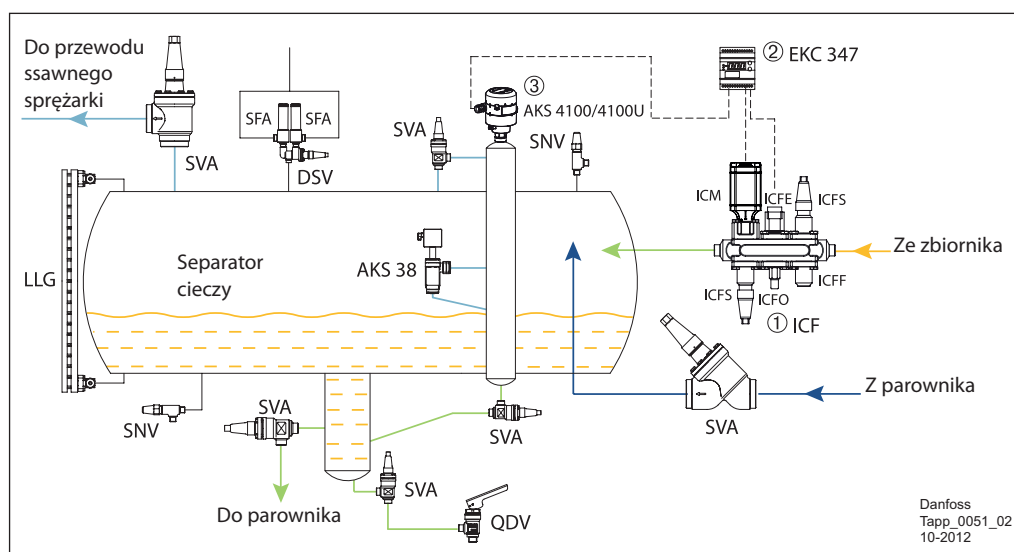
Przykład zastosowania 4.2.5:
Elektroniczna regulacja poziomu cieczy po stronie niskiego ciśnienia

- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary czynnika chłodniczego
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zespół zaworów ICF wyposażony w:

- Zawór odcinający
- Filtr
- Zawór elektromagnetyczny
- Zawór ręczny
- Zawór silnikowy
- Zawór odcinający

- ② Regulator
- ③ Przetwornik poziomu



Danfoss może dostarczyć rozwiązanie w postaci zaworu blokowego ICF ①. We wspólnym korpusie można zamontować do sześciu różnych elementów automatyki, co ułatwia ich instalację. Moduł ICM pełni rolę zaworu rozprężnego, a moduł ICFE pełni rolę zaworu elektromagnetycznego.

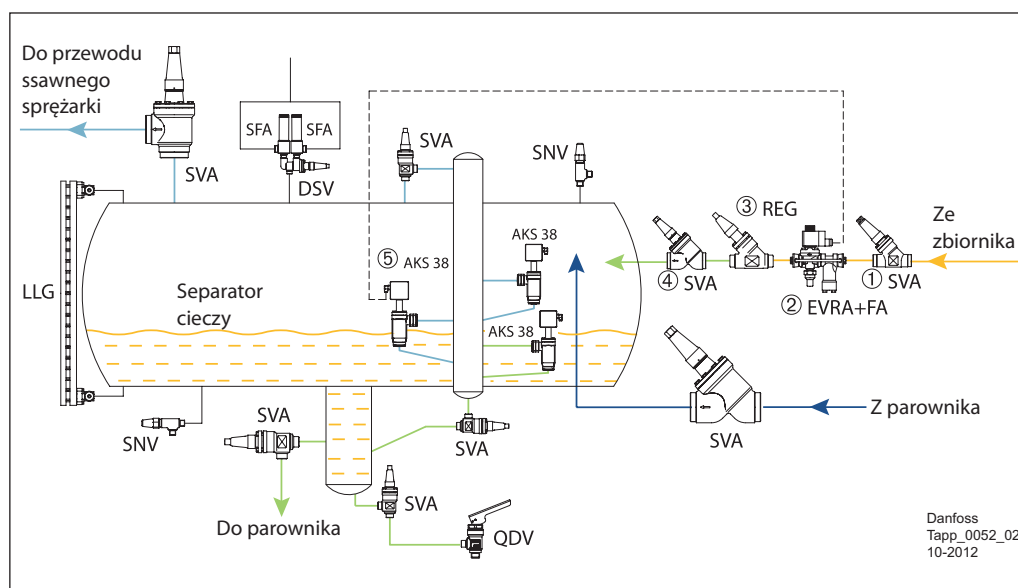
Prezentowane rozwiązanie działa na tej samej zasadzie, jak w przykładzie 4.2.3. Możliwe też jest skonfigurowanie zaworu blokowego ICF w sposób podobny do przykładu 4.2.4. Dalsze informacje można znaleźć w materiałach źródłowych na temat zaworów blokowych ICF.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 4.2.6:
Elektroniczna regulacja poziomu
cieczy po stronie niskiego ciśnienia

- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający
- ② Zawór elektromagnetyczny
- ③ Ręczny zawór regulacyjny
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Czujnik poziomu



Danfoss
Tapp_0052_02
10-2012

Prezentowane rozwiązanie umożliwia dwustanową (ON/OFF) regulację ilości dostarczanej cieczy. Czujnik poziomu AKS 38 ⑤ otwiera lub zamyka zawór elektromagnetyczny EVRA ②, w zależności od bieżącego poziomu cieczy w oddzielaczu. Ręczny zawór regulacyjny REG ③ spełnia zadanie zaworu rozprężnego.

Dane techniczne

	AKS 38
Materiał	Obudowa: żeliwo chromianowe
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe niepalne czynniki, w tym R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 65
Maks. ciśnienie robocze [bar]	28
Zakres pomiarowy [mm]	12,5 do 50

	REG
Materiał	Specjalna stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe niepalne czynniki, w tym R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	6 do 65
Wartość K _v [m³/h]	0,17 do 81,4 dla pełnego otwarcia

	Zawór elektromagnetyczny EVRA
Czynniki chłodnicze	R717, R22, R134a, R404a, R410a, R744, R502
Zakres temperatury medium [°C]	-40 do 105
Maks. ciśnienie robocze [bar]	42
Wydajność znamionowa* [kW]	21,8 do 2368
Wartość K _v [m³/h]	0,23 do 25,0

* Warunki: R717, -10/+25°C, Δp = 0,15 bar

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

4.3
Podsumowanie

Rozwiązanie		Zastosowanie	Zalety	Ograniczenia
Mechanicznie, wysokie ciśnienie: SV1/3 + PMFH		Układy o małym napełnieniu, np. „chillery”.	Rozwiązanie czysto mechaniczne. Szeroki zakres wydajności.	Brak możliwości zdalnego sterowania, odległość między SV i PMFH ograniczona do kilku metrów. Nieczo powolna reakcja.
Mechanicznie, wysokie ciśnienie: HFI		Układy o małym napełnieniu i tylko ze skraplaczami płytowymi.	Rozwiązanie czysto mechaniczne. Prostota. Szczególnie odpowiednie dla płytowych wymienników ciepła.	Brak możliwości termosyfonowego chłodzenia oleju.
Elektronicznie, wysokie ciśnienie: AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICM		Układy o małym napełnieniu, np. „chillery”.	Elastyczność i zwartość. Możliwość zdalnego sterowania i nadzoru. Szeroki zakres wydajności.	Niedopuszczone dla czynników łatwopalnych.
Mechanicznie, niskie ciśnienie: SV 4-6		Małe układy.	Rozwiązanie czysto mechaniczne. Prostota, niski koszt.	Ograniczona wydajność.
Mechanicznie, niskie ciśnienie: SV 4-6 + PMFL		W szczególności układy zdecentralizowane, jak w chłodniach składowych.	Rozwiązanie czysto mechaniczne. Szeroki zakres wydajności.	Brak możliwości zdalnego sterowania, odległość między SV i PMFL ograniczona do kilku metrów. Nieczo powolna reakcja.
Elektronicznie, niskie ciśnienie: AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICM		W szczególności układy zdecentralizowane, jak w chłodniach składowych.	Elastyczność i zwartość. Możliwość zdalnego sterowania i nadzoru. Szeroki zakres wydajności.	Niedopuszczone dla czynników łatwopalnych.
Elektronicznie, niskie ciśnienie: AKS 4100/4100U + EKC 347 + AKVA		W szczególności układy zdecentralizowane, jak w chłodniach składowych.	Elastyczność i zwartość. Możliwość zdalnego sterowania i nadzoru. Szeroki zakres wydajności. Szybsze od zaworu silnikowego. Bezpieczeństwo w przypadku awarii (NC — normalnie zamknięty).	Niedopuszczone dla czynników łatwopalnych. Pulsacje przepływu za zaworem.
Elektronicznie, niskie ciśnienie: AKS 4100/4100U + EKC 347 + ICF		W szczególności układy zdecentralizowane, jak w chłodniach składowych.	Elastyczność i zwartość. Możliwość zdalnego sterowania i nadzoru. Szeroki zakres wydajności. Łatwa instalacja.	Niedopuszczone dla czynników łatwopalnych.
Elektronicznie, niskie ciśnienie: AKS 38 + EVRA + REG		W szczególności układy zdecentralizowane, jak w chłodniach składowych.	Prosty. Niski koszt.	Tylko 40 mm zakresu nastawy. Duża zależność od nastawy zaworu ręcznego REG. Nieodpowiednie dla układów o dużych wahanach obciążenia.

4.4
Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKS 38	PD.GD0.A	PMFH/L	PD.GE0.C
AKS 4100/4100U	PD.SC0.C	ICF	PD.FT1.A
AKVA	PD.VA1.B	REG	PD.KM1.A
EKC 347	PS.G00.A	SV 1-3	PD.GE0.B
EVRA(T)	PD.BM0.B	SV 4-6	PD.GE0.D
ICM	PD.HT0.B		

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKS 38	PI.GD0.A	ICM 100-150	PI.HT0.B
AKS 4100/4100U	PI.SC0.D / PI.SC0.E	PMFH/L	PI.GE0.D / PI.GE0.A
AKVA	PI.VA1.C / PI.VA1.B	ICF	PI.FT0.C
EKC 347	PI.RP0.A	REG	PI.KM1.A
EVRA(T)	PI.BN0.L	SV 1-3	PI.GE0.C
ICM 20-65	PI.HT0.A	SV 4-6	PI.GE0.B

5. Regulacja pracy parownika

Parownik stanowi część układu chłodniczego, w której następuje przekazywanie ciepła od medium ochładzanego (np. od powietrza, solanki albo bezpośrednio od produktu) do czynnika chłodniczego.

Z tego względu, podstawową funkcją układu regulacji pracy parownika jest osiągnięcie żądanej temperatury środowiska chłodzonego. Ponadto, układ automatyki powinien w sposób ciągły zapewniać wydajne i prawidłowe działanie wymiennika ciepła.

W przypadku parownika mogą się okazać niezbędne następujące metody regulacji:

- Podrozdziały 5.1 i 5.2 opisują dwa różne systemy zasilania parownika czynnikiem — ciśnieniowy i pompowy.
- Odszranianie (Podrozdziały 5.3 i 5.4), które staje się koniecznością w przypadku chłodnic powietrza pracujących poniżej 0°C.

- Zmiana zakresu temperatury pracy parownika (Podrozdział 5.5).
- Regulacja temperatury medium chłodzonego (Podrozdział 5.6), gdy wymagane jest utrzymywanie temperatury medium chłodzonego na stałym poziomie, z dużą dokładnością.

Przy omawianiu zagadnienia regulacji temperatury i odszraniania, system zasilania parownika ciśnieniowy i pompowy został omówiony osobno z uwagi na różnice występujące w układach automatyki.

5.1 Zasilanie ciśnieniowe

Projektując ciśnieniowy układ zasilania parownika czynnikiem chłodniczym, należy spełnić następujące wymagania:

- Płynny czynnik chłodniczy w parowniku musi ulec całkowitemu odparowaniu. Ma to zabezpieczyć sprężarkę przed zasysaniem mokrych par.
- Temperatura czynnika chłodniczego na wylocie z parownika musi się mieścić w zadanym przedziale.

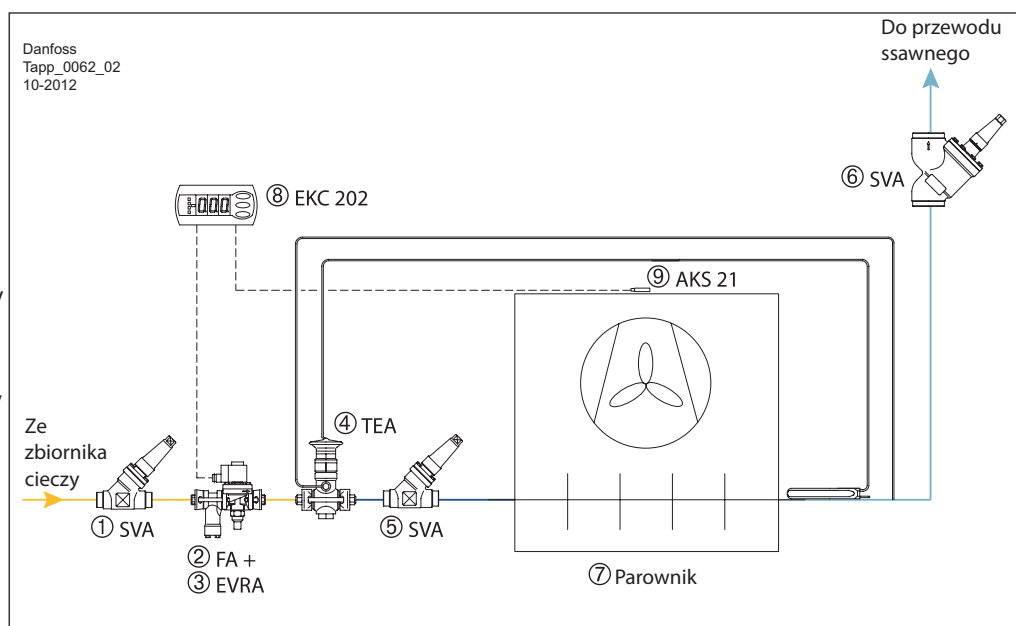
Regulacja wtrysku czynnika odbywa się za pomocą sterowanego przegrzaniem zaworu rozprężnego, który utrzymuje ustawione przegrzanie na wylocie z parownika. Elementem tym może być termostatyczny zawór rozprężny, bądź zawór sterowany elektronicznie.

Regulacja temperatury realizowana jest zwykle w układzie dwustanowym (ON/OFF), doprowadzającym lub odcinającym dopływ czynnika do parownika, w zależności od temperatury medium chłodzonego.

Przykład zastosowania
5.1.1: Ciśnieniowe zasilanie parownika za pomocą zaworu termostaticznego

- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający dopływ cieczy
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Termostaticzny zawór rozprężny
- ⑤ Zawór odcinający dopływ do parownika
- ⑥ Zawór odcinający w przewodzie ssawnym
- ⑦ Parownik
- ⑧ Termostat cyfrowy
- ⑨ Czujnik temperatury



Przykład 5.1.1 przedstawia typowy układ ciśnieniowego zasilania parownika, bez odszraniania gorącymi parami.

Wtryskiem czynnika steruje termostaticzny zawór rozprężny TEA ④, który utrzymuje stałe przegrzanie pary opuszczającej parownik. Zawory TEA są przeznaczone do pracy z amoniakiem. Firma Danfoss dostarcza także termostaticzne zawory rozprężne dla czynników fluorowcopochodnych.

Temperaturę środowiska chłodzonego reguluje cyfrowy termostat EKC 202 ⑧, który powoduje otwarcie lub zamknięcie zaworu elektromagnetycznego EVRA ③, w zależności od informacji o bieżącej temperaturze medium ochładzanego, pochodzącej z czujnika PT 1000 typu AKS 21 ⑨.

Prezentowane rozwiązanie może być wykorzystane do ciśnieniowego zasilania parowników zarówno z naturalnym jak i elektrycznym odszranianiem.

Odszranianie naturalne polega na odcięciu dopływu czynnika chłodniczego do parownika i utrzymywaniu w ruchu wentylatorów chłodnicy. Z kolei odszranianie elektryczne realizuje się wyłączając zasilanie parownika i zatrzymując wentylatory, a włączając grzałki umieszczone w bloku parownika.

Sterownik parownikowy EKC 202
Regulator ten posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, tj. funkcje: termostatu, sterowania pracą wentylatorów, odszraniania i alarmów.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 202 firmy Danfoss.

Dane techniczne

	Termostaticzny zawór rozprężny TEA
Czynniki chłodnicze	R717
Zakres temperatury parowania [°C]	-50 do 30
Maks. temperatura czujnika [°C]	100
Maks. ciśnienie robocze [bar]	19
Wydajność znamionowa* [kW]	3,5 do 295

* Warunki: -15°C/+32°C, ΔT_{sub} = 4°C

	Zawór elektromagnetyczny EVRA(T)
Czynniki chłodnicze	R717, R22, R134a, R404a, R410a, R744, R502
Zakres temperatury medium [°C]	-40 do 105
Maks. ciśnienie robocze [bar]	42
Wydajność znamionowa* [kW]	21,8 do 2368
Wartość K _v [m³/h]	0,23 do 25,0

* Warunki: R717, -10/+25°C, Δp = 0,15 bar

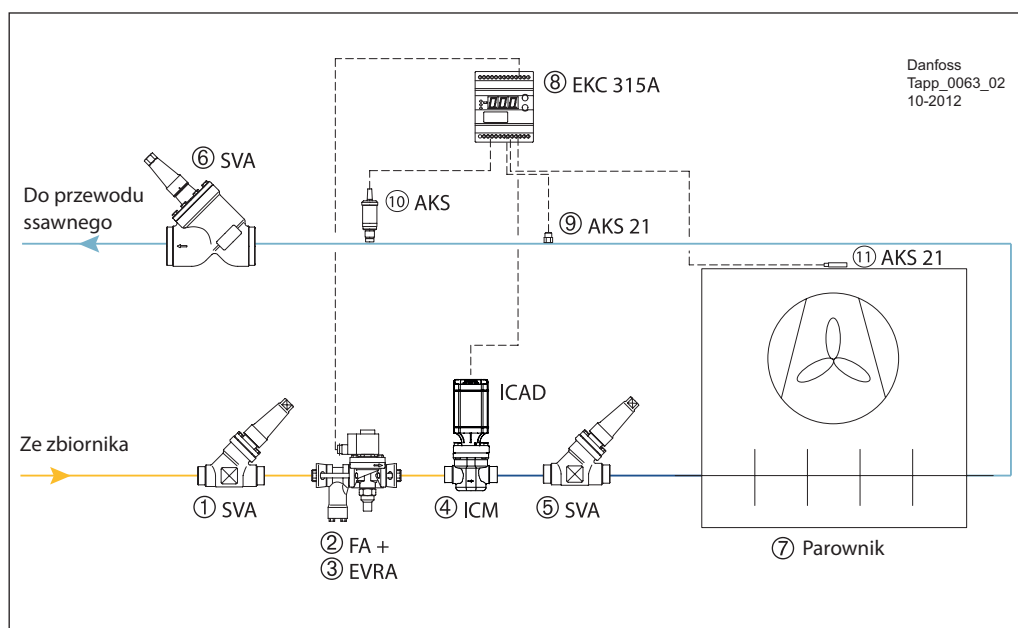
	Filtr siatkowy FA
Czynniki chłodnicze	amoniak i czynniki fluorowcopochodne
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 140
Maks. ciśnienie robocze [bar]	28
Średnica nominalna DN [mm]	15/20
Wkładka filtrująca	siatka 150μ ze stali nierdzewnej
Wartość K _v [m³/h]	3,3/7,0

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 5.1.2:
Ciśnieniowe zasilanie parownika
za pomocą zaworu sterowanego
elektronicznie

- Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający dopływ cieczy
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Elektroniczny zawór rozprężny
- ⑤ Zawór odcinający dopływ do parownika
- ⑥ Zawór odcinający w przewodzie ssawnym
- ⑦ Parownik
- ⑧ Sterownik
- ⑨ Czujnik temperatury
- ⑩ Przetwornik ciśnienia
- ⑪ Czujnik temperatury



Przykład 5.1.2 przedstawia typowe rozwiązanie z elektronicznie sterowanym zasilaniem parownika, bez odszraniania gorącymi parami.

Wtrysk czynnika jest regulowany za pomocą zaworu silnikowego ICM ④, sterowanego przez regulator parownikowy EKC 315A ⑧. Sterownik ten mierzy przegrzanie na wylocie z parownika za pośrednictwem przetwornika ciśnienia AKS ⑩ oraz czujnika temperatury AKS 21 ⑪ i na tej podstawie decyduje o stopniu otwarcia zaworu wykonawczego ICM tak, aby utrzymać przegrzanie na optymalnym poziomie.

Regulator EKC 315A spełnia jednocześnie zadanie cyfrowego termostatu, sterując otwarciem i zamknięciem zaworu elektromagnetycznego EVRA ③, zależnie od informacji o temperaturze środowiska chłodzonego, pochodzącej z czujnika AKS 21 ⑪.

W porównaniu z przykładem 5.1.1, rozwiązanie to zapewnia pracę parownika z optymalnym przegrzaniem i w sposób ciągły dostosowuje stopień otwarcia zaworu zasilającego tak, aby uzyskać jak największą wydajność i efektywność. Powierzchnia wymiany ciepła w parowniku jest wykorzystana w maksymalnym stopniu. Co więcej, prezentowany układ oferuje wysoką dokładność regulacji temperatury medium chłodzonego.

Sterownik parownikowy EKC 315A

Regulator ten posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, tj. funkcje: termostatu, sterowania wtryskiem i alarmów.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 315A firmy Danfoss.

Dane techniczne

	Zawór silnikowy ICM w roli elementu rozprężnego
Materiał	Korpus: Stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	20 do 80
Wydajność nominalna* [kW]	73 do 22 700

* Warunki: R717, T_e = -10°C, Δp = 8,0 bar, ΔT_{sub} = 4K;

	Przetwornik ciśnienia AKS 3000	Przetwornik ciśnienia AKS 32
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717	Wszystkie czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Zakres roboczy [bar]	0 do 60 (zależnie od zakresu)	-1 do 39 (zależnie od zakresu)
Maks. ciśnienie pracy PB [bar]	100 (zależnie od zakresu roboczego)	60 (zależnie od zakresu roboczego)
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 80	-40 do 85
Skompensowany zakres temperatury [°C]	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80	Niskie ciśnienie: -30 do +40 / Wysokie ciśnienie: 0 do +80
Znamionowy sygnał wyjściowy	4 do 20 mA	1 do 5 V albo 0 do 10 V

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania
5.1.3: Ciśnieniowe zasilanie parownika za pomocą zaworu sterowanego elektronicznie i zaworu blokowego ICF

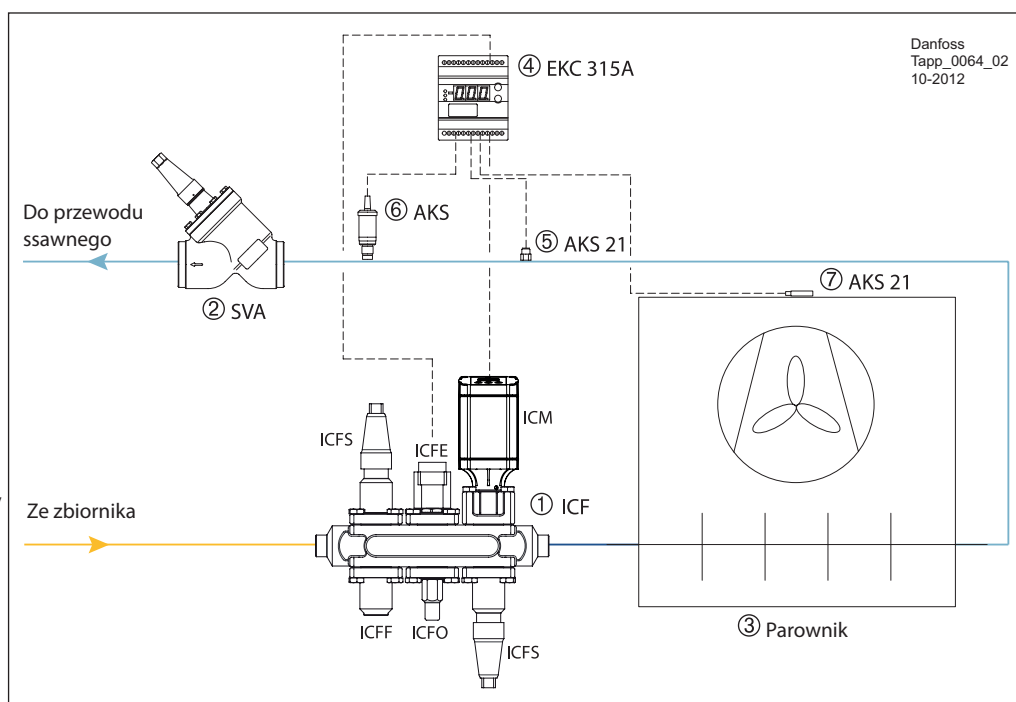
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

① Zawór blokowy ICF wyposażony w:



Zawór odcinający dopływ cieczy
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór ręczny
Elektron. zawór rozpr. ICM
Zawór odcinający dopływ do parownika

- ② Zawór odcinający w przewodzie ssawnym
- ③ Parownik
- ④ Sterownik
- ⑤ Czujnik temperatury
- ⑥ Przetwornik ciśnienia
- ⑦ Czujnik temperatury



Przykład 5.1.3 przedstawia układ elektronicznej regulacji zasilania parownika czynnikiem chłodniczym, z wykorzystaniem zaworu blokowego ICF. Rozwiązanie opiera się na tej samej zasadzie, co przykład 5.1.2 i dotyczy chłodnic bez odszraniania gorącymi parami.

W zaworze blokowym ICF można zastosować do sześciu różnych elementów automatyki, stanowiących jednocześnie rozwiązanie zwarte i łatwe do montażu.

Wtrysk czynnika jest regulowany za pomocą zaworu silnikowego ICM, sterowanego przez regulator parownikowy EKC 315A ④. Sterownik ten mierzy przegrzanie na wylocie z parownika za pośrednictwem przetwornika ciśnienia AKS ⑥ oraz czujnika temperatury AKS 21 ⑤ i na tej podstawie decyduje o stopniu otwarcia zaworu ICM tak, aby utrzymać przegrzanie na optymalnym poziomie.

Regulator EKC 315A spełnia jednocześnie zadanie cyfrowego termostatu, sterując otwarciem i zamknięciem zaworu elektromagnetycznego ICFF, zależnie od informacji o temperaturze środowiska chłodzonego, pochodzącej z czujnika AKS 21 ⑦.

Podobnie jak w przykładzie 5.1.1, rozwiązanie to zapewnia pracę parownika z optymalnym przegrzaniem i w sposób ciągły dostosowuje stopień otwarcia zaworu zasilającego tak, aby uzyskać jak największą wydajność i efektywność. Powierzchnia wymiany ciepła w parowniku jest wykorzystana w maksymalnym stopniu.

Sterownik parownikowy EKC 315A

Regulator ten posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, tj. funkcje: termostatu, sterowania wtryskiem i alarmów.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 315A firmy Danfoss.

Przykład zastosowania 5.1.4:
Ciśnieniowe zasilanie parownika
za pomocą zaworu sterowanego
elektrycznie i zaworu blokowego ICF

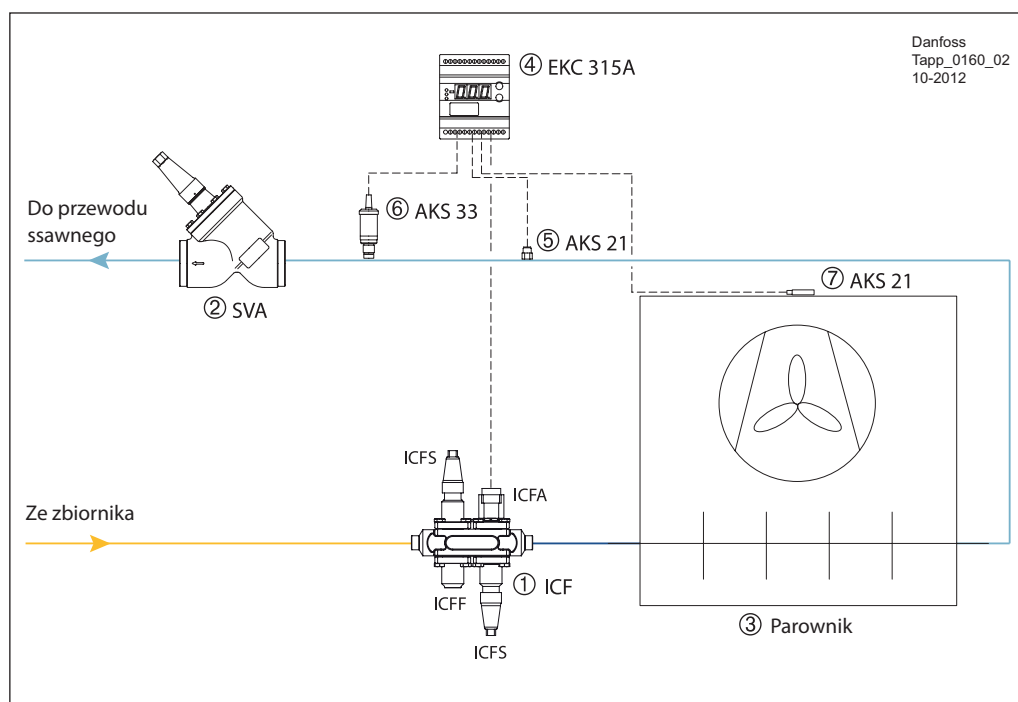
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

① Zawór blokowy ICF wyposażony w:



Zawór odcinający dopływ cieczy
Filtr
Zawór rozprężny
Zawór odcinający dopływ do parownika

- ② Zawór odcinający w przewodzie ssawnym
- ③ Parownik
- ④ Sterownik
- ⑤ Czujnik temperatury
- ⑥ Przetwornik ciśnienia
- ⑦ Czujnik temperatury



Ten przykład przedstawia rozwiązanie wykorzystujące zawór blokowy ICF z elektronicznie sterowanym wtryskiem do parownika, bez odszraniania gorącymi parami.

W zaworze blokowym ICF można zastosować do czterech lub do sześciu różnych elementów automatyki, stanowiących jednocześnie rozwiązanie zwarte i łatwe do montażu.

Wtrysk czynnika jest regulowany za pomocą elektronicznego zaworu rozprężnego ICFA sterowanego przez regulator parownikowy EKC 315A ④. Sterownik ten mierzy przegrzanie na wylocie z parownika za pośrednictwem przetwornika ciśnienia AKS 33 ⑥ oraz czujnika temperatury AKS 21 ⑤ i na tej podstawie decyduje o stopniu otwarcia zaworu ICFA tak, aby utrzymać przegrzanie na optymalnym poziomie.

Rozwiązanie to zapewnia pracę parownika z optymalnym przegrzaniem i w sposób ciągły dostosowuje stopień otwarcia zaworu zasilającego tak, aby uzyskać jak największą wydajność i efektywność. Powierzchnia wymiany ciepła w parowniku jest wykorzystana w maksymalnym stopniu.

Sterownik parownikowy EKC 315A
Regulator ten posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, tj. funkcje: termostatu, sterowania wtryskiem i alarmów.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 315A firmy Danfoss.

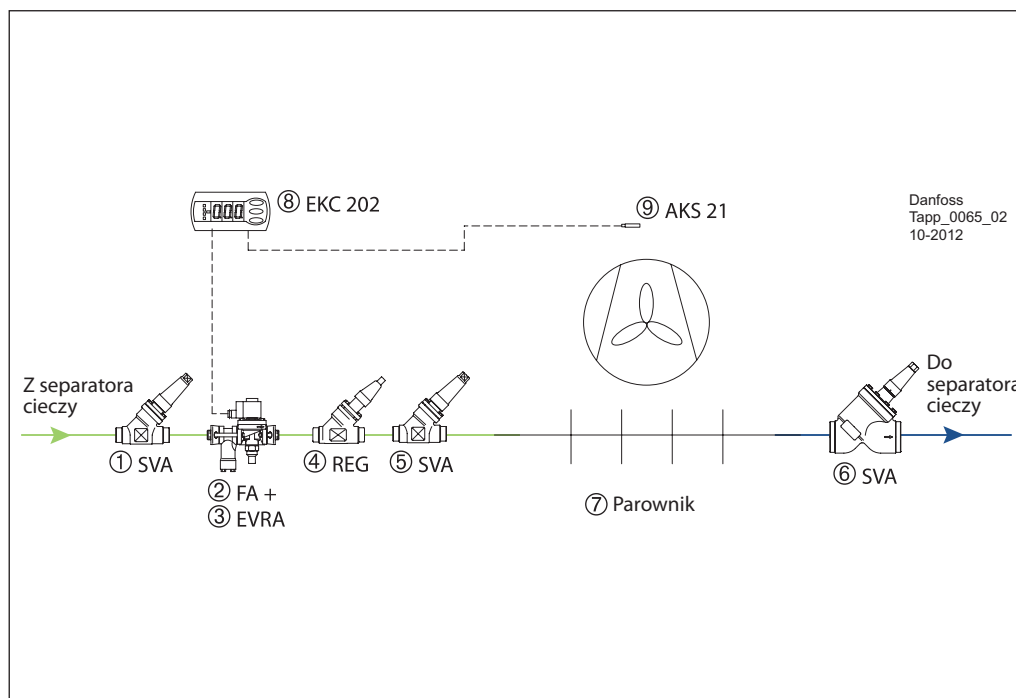
Przedstawiony zawór blokowy ICF można również zastąpić tradycyjnym układem zaworowym (zawór odcinający SVA, filtr FA/FIA, elektroniczny zawór dławiący AKVA i zawór odcinający SVA). Sterownik EKC 315A może współpracować z zespołem ICF i tradycyjnym układem zaworowym.

5.2 Zasilanie pompowe

Przykład zastosowania 5.2.1:
Pompowe zasilanie parownika
bez odszraniania gorącymi parami

■ Mieszanka cieczy i pary
■ Czynnik w fazie ciekłej
pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający dopływ
cieczy
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Ręczny zawór dławiący
- ⑤ Zawór odcinający dopływ
do parownika
- ⑥ Zawór odcinający
w przewodzie ssawnym
- ⑦ Parownik
- ⑧ Termostat cyfrowy
- ⑨ Czujnik temperatury



Przykład 5.2.1 przedstawia typowe rozwiązanie pompowego zasilania parownika bez odszraniania gorącymi parami. Może ono być stosowane w przypadku odszraniania naturalnego lub elektrycznego.

Temperatura środowiska chłodzonego jest utrzymywana na żądanym poziomie, dzięki pracy cyfrowego termostatu EKC 202 ⑧, który otwiera lub zamyka zawór elektromagnetyczny EVRA ③, w zależności od temperatury środowiska ochładzanego, mierzonej czujnikiem PT 1000 typu AKS 21 ⑨.

Strumień cieczy dostarczanej do parownika zależy od stopnia otwarcia ręcznego zaworu dławiącego REG ④. Ważne jest, aby jego nastawa

Obecność oddzielacza cieczy zapewnia, że do sprężarki trafia tylko para sucha. Dlatego parowniki zasilane pompowo wymagają jedynie dwustanowej (ON/OFF) regulacji temperatury środowiska chłodzonego.

była właściwa. Zbyt duży stopień otwarcia prowadzi do częstego otwierania się i zamykania zaworu elektromagnetycznego i w efekcie do jego przyspieszonego zużycia. Z kolei zbyt małe otwarcie spowoduje niedostatek ciekłego czynnika w parowniku.

Sterownik parownikowy EKC 202
Regulator ten posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, tj. funkcje: termostatu, sterowania pracą wentylatorów, odszraniania i alarmów.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 202 firmy Danfoss.

Dane techniczne

	REG
Material	Specjalna stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe niepalne czynniki, w tym R717
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	6 do 65
Wartość K _v [m³/h]	0,17 do 81,4 dla pełnego otwarcia

Przykład zastosowania 5.2.2:
Pompowe zasilanie parownika
bez odszraniania gorącymi
parami, z wykorzystaniem
zaworu blokowego ICF

■ Mieszanina cieczy i pary
Czynnik w fazie ciekłej
■ pod niskim ciśnieniem

① Zawór blokowy ICF
wyposażony w:



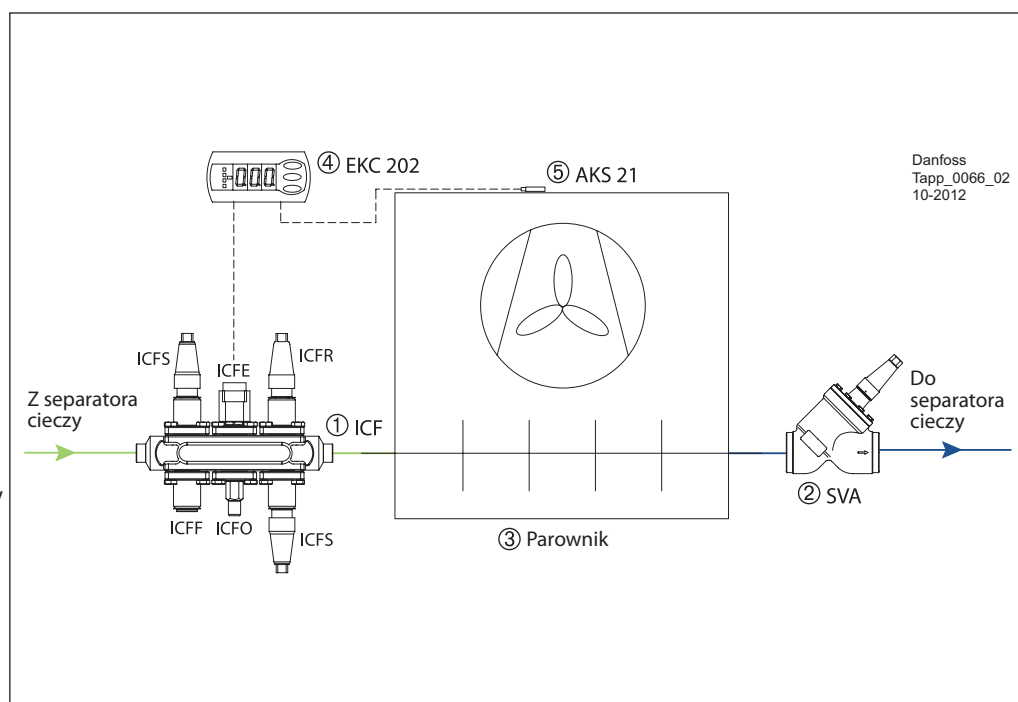
Zawór odcinający dopływ cieczy
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór ręczny
Ręczny zawór dławiący
Zawór odcinający dopływ
do parownika

② Zawór odcinający
w przewodzie ssawnym

③ Parownik

④ Termostat cyfrowy

⑤ Czujnik temperatury



Danfoss
Tapp_0066_02
10-2012

Rozwiązanie 5.2.2 działa na tej samej zasadzie, co układ 5.2.1, wykorzystując zawór blokowy ICF. Również i ten układ pompowego zasilania może być wykorzystany w przypadku parowników odszranianych naturalnie lub elektrycznie. W zaworze blokowym ICF można zastosować do sześciu różnych elementów automatyki, stanowiących jednocześnie rozwiązanie zwarte i łatwe do montażu.

Temperatura środowiska chłodzonego jest utrzymywana na żądanym poziomie, dzięki pracy cyfrowego termostatu EKC 202 ④, który otwiera lub zamyka zawór elektromagnetyczny ICFE osadzony w zaworze blokowym ICF, w zależności od temperatury ośrodka, mierzonej czujnikiem PT 1000 typu AKS 21 ⑤.

Strumień cieczy dostarczanej do parownika zależy od stopnia otwarcia ręcznego zaworu dławiącego ICFR. Ważne jest, aby jego nastawa była właściwa. Zbyt duży stopień otwarcia prowadzi do częstego otwierania się i zamykania zaworu elektromagnetycznego i w efekcie do jego przyspieszonego zużycia. Z kolei zbyt małe otwarcie spowoduje niedostatek ciekłego czynnika w parowniku.

Sterownik parownikowy EKC 202

Regulator ten posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, tj. funkcje: termostatu, sterowania pracą wentylatorów, odszraniania i alarmów.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 202 firmy Danfoss.

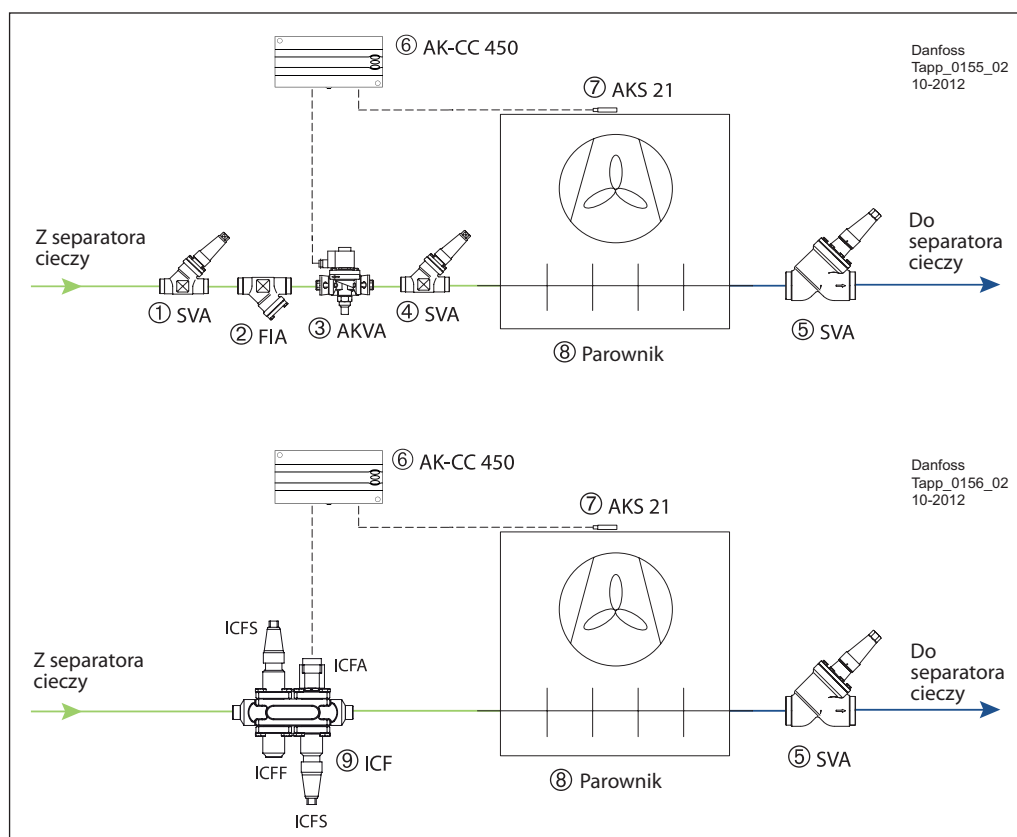
Aplikacja 5.2.3

Wtrysk cieczy do chłodnicy powietrza w układzie zasilanym przy użyciu zaworu AKVA/ICFA sterowanego modulowaną szerokością impulsu, z odszranianiem elektrycznym lub przez medium pośrednie

■ Mieszana ciecz i para
■ Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający przewodu cieczowego
- ② Filtr
- ③ Zawór dławiący sterowany elektronicznie
- ④ Zawór odcinający dopływ do parownika
- ⑤ Zawór odcinający w przewodzie ssawnym
- ⑥ Termostat cyfrowy
- ⑦ Czujnik temperatury
- ⑧ Parownik
- ⑨ Zawór blokowy ICF wyposażony w:

— Zawór odcinający
— Filtr
— Elektroniczny zawór rozprężny
— Zawór odcinający



W tradycyjnych układach zasilanym wtrysk cieczy jest kontrolowany przez termostat, który stale mierzy temperaturę powietrza.

Zawór elektromagnetyczny jest otwierany na kilka minut lub dłużej, do momentu aż temperatura powietrza zrówna się z nastawą. W trakcie wtrysku masa przepływającego czynnika jest stała.

Jest to bardzo prosty sposób regulacji temperatury powietrza, ale wahania temperatury wywołane pracą termostatu mogą w niektórych przypadkach powodować niepożądane skutki uboczne, takie jak osuszanie lub niedokładna regulacja.

Zamiast wtrysku okresowego, jak to opisano powyżej, można również stale dostosowywać natężenie wtrysku cieczy do bieżącego zapotrzebowania. Można to zrealizować przy użyciu zaworu AKVA ③ lub zaworu ICF ⑨ z modułem rozprężnym ICFA.

Temperatura powietrza jest stale mierzona i porównywana z wartością odniesienia. Gdy temperatura powietrza osiąga wartość nastawy, zmniejszane jest otwarcie zaworu AKVA ③. To zmniejsza stopień otwarcia w trakcie cyklu, co skutkuje mniejszą wydajnością. Czas trwania cyklu można ustawiać w przedziale od 30 do 900 s.

W układzie pompowym oznacza to, że średnie natężenie przepływu czynnika jest stale kontrolowane i dostosowywane do zapotrzebowania. Gdy wtryskiwana jest mniejsza ilość czynnika, spada współczynnik cyrkulacji.

Wskutek tego większa ilość czynnika wyparowuje, co tworzy pewną ilość gazu w chłodnicy powietrza.

Bezpośrednim tego skutkiem jest niższa średnia temperatura powierzchni roboczej chłodnicy powietrza, co daje niższą wartość ΔT pomiędzy czynnikiem chłodniczym a powietrzem.

Takie podejście do zagadnienia wtrysku cieczy w układach pompowych jest bardzo uniwersalne. Można dokładnie kontrolować ilość wtryskiwanej cieczy, co zwiększa precyzję działania i sprawność energetyczną układu.

Więcej szczegółowych informacji można znaleźć w instrukcji obsługi sterownika AK-CC 450 firmy Danfoss.

5.3 Odszranianie gorącymi parami przy ciśnieniowym zasilaniu parownika

Jeżeli temperatura parowania czynnika chłodniczego w chłodnicy powietrza jest niższa niż 0°C, to na powierzchni wymiany ciepła tworzy się szron, którego grubość wzrasta z upływem czasu. Narastanie szronu prowadzi do pogorszenia wydajności chłodnicy, z uwagi na spadek współczynnika przenikania ciepła oraz jednocześnie blokowanie przepływu powietrza przez blok lamelowy. Z tego powodu, chłodnice powietrza muszą być regularnie odszraniane, aby ich wydajność utrzymywała się na pożądanym poziomie.

W przemysłowych instalacjach chłodniczych wykorzystuje się powszechnie następujące metody odtajania:

- Odszranianie naturalne
- Odszranianie elektryczne
- Odszranianie gorącymi parami czynnika

Odszranianie naturalne polega na odcięciu dopływu czynnika chłodniczego do parownika i utrzymywaniu w ruchu wentylatorów chłodnicy. Metoda ta nadaje się jedynie do komór o temperaturze powyżej 0°C. Czas odszraniania jest w tym przypadku długi.

Odszranianie elektryczne realizuje się przez odcięcie dopływu czynnika do parownika i zatrzymanie wentylatorów oraz włączenie grzałek elektrycznych umieszczonych w bloku lamelowym chłodnicy. Wykorzystanie przełącznika czasowego, bądź także termostatu końca odtajania umożliwia zakończenie procesu odszraniania, gdy powierzchnia chłodnicy będzie już całkowicie wolna od szronu. Rozwiązanie to jest łatwe do realizacji i charakteryzuje się niskim kosztem inwestycyjnym, jednak koszt eksploatacji (z tytułu zużycia energii elektrycznej) jest zdecydowanie wyższy niż w przypadku innych metod.

Odszranianie gorącymi parami polega na doprowadzeniu ich do parownika i wyłączeniu wentylatorów. Sposób ten wymaga bardziej rozbudowanego układu automatyki, lecz charakteryzuje się najniższym średnim kosztem eksploatacji. Ponadto, pozytywnym skutkiem wprowadzenia do parownika gorącej pary jest usunięcie z niego oleju. W celu zapewnienia odpowiedniej ilości gorących par czynnika chłodniczego, to rozwiązanie może być stosowane w układach chłodniczych z co najmniej trzema parownikami. Ilość par czynnika z co najmniej dwóch parowników pozwoli prawidłowo odszronić trzeci.

Przykład zastosowania 5.3.1:
Parownik zasilany ciśnieniowo,
z odszranianiem gorącymi parami

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanka cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

Przewód cieczowy

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Zawór rozprężny
- ⑤ Zawór odcinający

Przewód ssawny

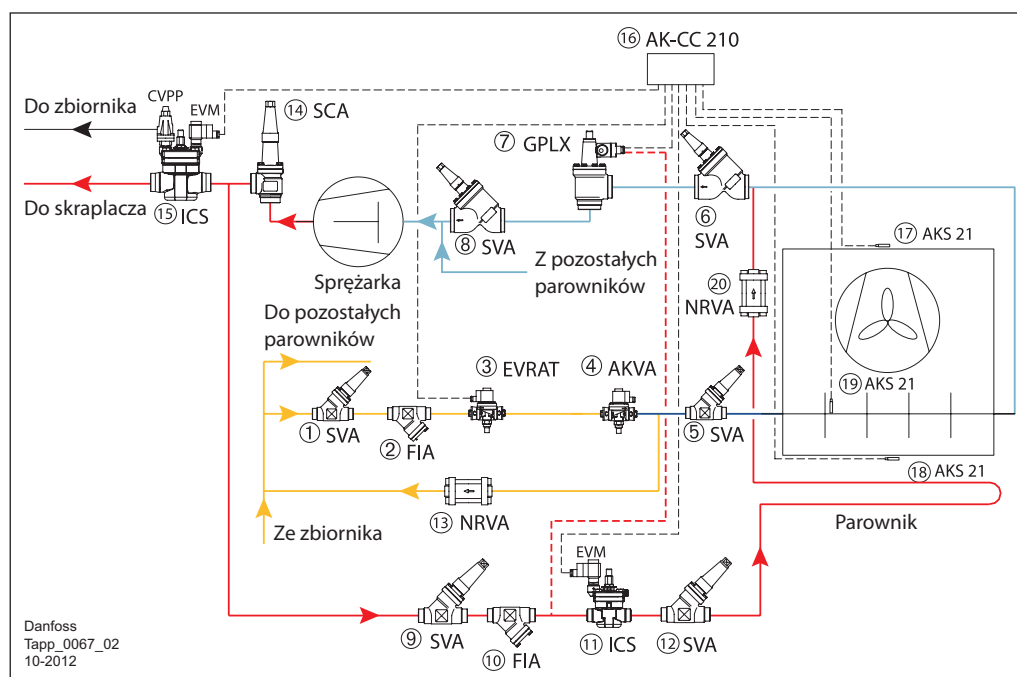
- ⑥ Zawór odcinający
- ⑦ Dwukrokový zawór elektromagnetyczny
- ⑧ Zawór odcinający

Przewód gorących par

- ⑨ Zawór odcinający
- ⑩ Filtr
- ⑪ Zawór elektromagnetyczny
- ⑫ Zawór odcinający
- ⑬ Zawór zwrotny

Przewód tłoczny

- ⑭ Zawór zwrotno-odcinający w przewodzie tłocznym
- ⑮ Regulator różnicy ciśnień
- ⑯ Sterownik
- ⑰ Czujniki temperatury
- ⑱ Czujniki temperatury
- ⑳ Zawór zwrotny



Zamieszczony przykład przedstawia parownik zasilany ciśnieniowo, wyposażony w układ odszraniania gorącymi parami czynnika chłodniczego. Prezentowana metoda nie cieszy się wielką popularnością, a w instalacjach amoniakalnych jest jeszcze rzadziej spotykana niż w układach z czynnikami fluorowcopochodnymi.

Tryb chłodzenia

Zawór elektromagnetyczny EVRAT ③ w rurociągu cieczowym jest otwarty. Regulację zasilania parownika czynnikiem chłodniczym zapewnia elektronicznie sterowany zawór rozprężny AKVA ④.

Zawór elektromagnetyczny GPLX ⑦ w przewodzie ssawnym jest otwarty, a zawór odszraniania ICS ⑪ z elektromagnetycznym zaworem pilotowym EVM jest zamknięty. Zawór zwrotny NRVA ⑬ zapobiega tworzeniu się szronu na tacy ociekowej.

Elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM utrzymuje zawór serwowłokowy ICS ⑮ w pozycji otwartej.

Tryb odtajania

Po rozpoczęciu odszraniania, zawór EVRAT ③ zamyka się, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika z chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór GPLX zaczyna się zamykać. Zawory GPLX ⑦ są utrzymywane w położeniu otwartym przez ciśnienie gorących par. W konsekwencji występuje zjawisko wykrapłania się cieczy wewnątrz serwowmechanizmu, która podczas zamykania zaworu musi zostać usunięta z serwowmechanizmu.

Pełne zamknięcie następuje po pewnym czasie, ponieważ skroplona ciecz jest wypychana pod siłą sprężyny. Dokładny czas zamknięcia zaworu jest uzależniony od temperatury, ciśnienia, rodzaju czynnika i wielkości zaworu

Z tego względu nie można określić dokładnego czasu zamykania zaworów, ale ogólna zasada jest taka, że niższe ciśnienia skutkują dłuższymi czasami zamykania GPLX.

W przypadku zastosowania w parownikach odszraniania gorącymi parami niezwykle ważne jest, aby wziąć pod uwagę czasy zamykania zaworów.

Dalsza zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Dopiero wtedy zawór ICS ⑪ zostaje otwarty przez elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM, co umożliwia dopływ gorącej pary czynnika do parownika.

Podczas odtajania elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM zaworu serwowłokowego ICS ⑮ zostaje zamknięty, dzięki czemu zawór ICS ⑮ jest sterowany przez zawór pilotowy stałej różnicy ciśnień CVPP. Wskutek tego zawór ICS ⑮ utrzymuje różnicę ciśnień Δp pomiędzy ciśnieniem gorącej pary a ciśnieniem w zbiorniku. Różnica ta jest konieczna, aby ciecz powstała w parowniku podczas odszraniania była usuwana do przewodu cieczowego za pośrednictwem zaworu zwrotnego NRVA ⑬.

Gdy temperatura parownika (mierzona czujnikiem AKS 21 ⑲) osiągnie nastawioną wartość, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu ICS ⑪, otwarcie elektromagnetycznego zaworu pilotowego EVM na zaworze ICS ⑮ oraz otwarcie zaworu elektromagnetycznego GPLX ⑦.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, niezbędne jest zainstalowanie dwukrokowego zaworu elektromagnetycznego, takiego jak GPLX lub ICLX firmy Danfoss. Dopóki ta różnica ciśnień jest wysoka, zawór GPLX/ICLX otwiera się na 10% swojej maksymalnej wydajności, co pozwala na wyrównanie się ciśnień po obu stronach zaworu przed jego pełnym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Gdy zawór GPLX otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu EVRAT ③ i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przywarły do powierzchni parownika.

Przykład zastosowania 5.3.2:
Wtrysk cieczy do chłodnicy
powietrza w układzie zasilanym
przy użyciu zaworu AKVA
sterowanego modulacją
szerokości impulsu,
z odszranianiem gorącą parą.

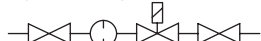
- Czynniki w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynniki w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór blokowy ICF wyposażony w:

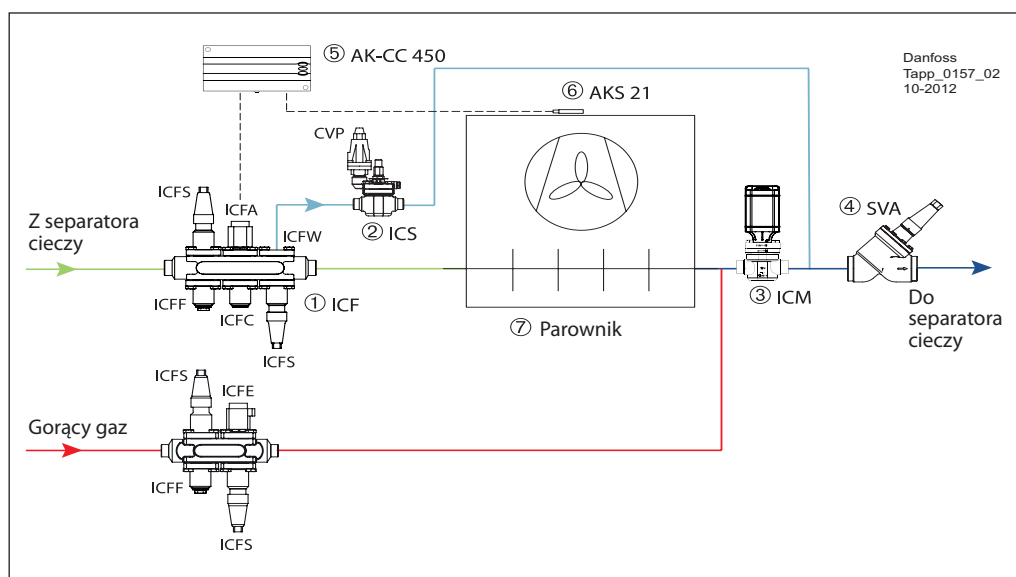


Zawór odcinający
Filtr
Elektryczny zawór
rozprężny
Zawór zwrotny
Króciec do spawania
Zawór odcinający

- ② Regulator ciśnienia
- ③ Regulator ciśnienia
- ④ Zawór odcinający w przewodzie ssawnym
- ⑤ Termostat cyfrowy
- ⑥ Czujnik temperatury
- ⑦ Parownik
- ⑧ Zawór blokowy ICF wyposażony w:



Zawór odcinający
Filtr
Elektryczny zawór
rozprężny
Zawór odcinający



Przykład 5.3.2 pokazuje pompowy układ zasilania parownika i odszraniania gorącymi parami, oparty o zawory blokowe ICF. W zaworze blokowym ICF można zastosować do czterech lub do sześciu różnych elementów automatyki, co stanowi łatwy do montażu zespół sterujący.

Trvb chłodzenia

Moduł rozprężny ICFA wchodzący w skład zespołu ICF ① stale dostosowuje wtrysk cieczy do bieżącego zapotrzebowania.

Zawór silnikowy ICM ③ w przewodzie ssawnym znajduje się w pozycji otwartej, a elektromagnetyczny zawór odszraniania ICFE w zaworze blokowym ICF ① jest w położeniu zamkniętym.

Tryb odtaĳania

Z rozpoczęciem procesu odszraniania, zawór rozprężny ICFA w zaworze blokowym ICF ① zostaje zamknięty, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika obecnego w chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór ICM zamyka się.

Dalsza zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Dopiero wtedy zawór elektromagnetyczny ICFE w zaworze blokowym ICF ① zostaje otwarty, co umożliwia dopływ gorącej pary do parownika.

W trakcie cyklu odszraniania skroplona gorąca para z parownika jest wtryskiwana na stronę niskiego ciśnienia. Ciśnienie odszraniania jest regulowane przez zawór ICS i CVP. ②.

Gdy temperatura parownika osiągnie nastawioną wartość lub gdy zegar odszraniania zakończy odliczanie, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu elektromagnetycznego ICFE w zaworze blokowym ICF ① oraz otwarcie z niewielką zwłoką zaworu siłnikowego ICM ③.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, konieczne jest powolne upuszczanie ciśnienia, tak aby ciśnienie wyrównało się przed całkowitym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Zaletą wykorzystania zaworu silnikowego ICM ③ jest możliwość wyrównania ciśnienia odszraniania poprzez powolne otwieranie zaworu. Optycznym sposobem realizacji tego założenia jest użycie trybu dwustanowego zaworu ICM (ON/OFF) i wybranie bardzo niskiej prędkości. Można to również osiągnąć, korzystając z trybu modulacji i pozostawiając stopień oraz prędkość otwarcia całkowite pod kontrolą sterownika PLC.

Gdy zawór ICM otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu ICFA w zaworze blokowym ICF ① i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przymarzły do powierzchni parownika.

Dane techniczne

	Zawór serwowłokowy ICS
<i>Materiał</i>	Korpus: stal niskotemperaturowa
<i>Czynniki chłodnicze</i>	Wszystkie powszechnie używane, włącznie z R717 i R744
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-60 do 120
<i>Maks. ciśnienie robocze [bar]</i>	52
<i>Średnica nominalna DN [mm]</i>	20 do 150
<i>Wydajność nominalna* [kW]</i>	W przewodzie gorących par: 20 do 4000 W przewodzie ciekowym, bez zmiany fazy: 55 do 11 300

* Warunki: R717, $T_{\text{ciecz}} = 30^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{tlocz}} = 12 \text{ bar}$, $\Delta P = 0,2 \text{ bar}$, $T_{\text{tlocz}} = 80^{\circ}\text{C}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, krotność cyrkulacji = 4

	Elektromagnetyczny zawór dwustopniowy GPLX	Elektromagnetyczny zawór dwustopniowy ICLX
<i>Materiał</i>	Korpus: stal niskotemperaturowa	Korpus: żeliwo niskotemperaturowe
<i>Czynniki chłodnicze</i>	Wszystkie powszechnie używane, niepalne czynniki, w tym R717.	Wszystkie powszechnie używane, niepalne czynniki, w tym R717.
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-60 do 150	-60 do 120
<i>Maks. ciśnienie robocze [bar]</i>	40	52
<i>Średnica nominalna DN [mm]</i>	80 do 150	32 do 150
<i>Wydajność nominalna* [kW]</i>	Przewód ssawny, para sucha: 442 do 1910 Przewód ssawny, para mokra: 279 do 1205	Przewód ssawny, para sucha: 76 do 1299 Przewód ssawny, para mokra: 48 do 820

* Warunki dla R717, $\Delta P = 0,05 \text{ bar}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ciecz}} = 30^{\circ}\text{C}$, krotność cyrkulacji = 4

	Zawór zwrotny NRVA
<i>Materiał</i>	Korpus: stal
<i>Czynniki chłodnicze</i>	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-50 do 140
<i>Maks. ciśnienie robocze [bar]</i>	40
<i>Średnica nominalna DN [mm]</i>	15 do 65
<i>Wydajność nominalna* [kW]</i>	W przewodzie ciekowym, bez zmiany fazy: 160,7 do 2411

* Warunki: R717, $\Delta P = 0,2 \text{ bar}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, krotność cyrkulacji = 4

	Filtr FIA
<i>Materiał</i>	Korpus: stal
<i>Czynniki chłodnicze</i>	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-60 do 150
<i>Maks. ciśnienie robocze [bar]</i>	52
<i>Średnica nominalna DN [mm]</i>	15 do 200
<i>Wkładka filtrująca</i>	siatka 100/150/250/500µ ze stali nierdzewnej

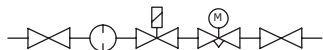
	Zawór silnikowy ICM w roli zaworu regulacyjnego
<i>Materiał</i>	Korpus: stal niskotemperaturowa
<i>Czynniki chłodnicze</i>	Wszystkie powszechnie używane, włącznie z R717 i R744
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-60 do 120
<i>Maks. ciśnienie robocze [bar]</i>	52
<i>Średnica nominalna DN [mm]</i>	20 do 150
<i>Wydajność nominalna* [kW]</i>	W przewodzie gorących par: 2,3 do 4230 Przewód ssawny, para mokra: 0,85 do 1570

* Warunki: R717, $T_{\text{ciecz}} = 30^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{tlocz}} = 12 \text{ bar}$, $\Delta P = 0,2 \text{ bar}$, $T_{\text{tlocz}} = 80^{\circ}\text{C}$, $T_e = -10^{\circ}\text{C}$, krotność cyrkulacji = 4

Przykład zastosowania 5.3.3:
Parownik zasilany ciśnieniowo,
z odszranianiem gorącymi parami,
z wykorzystaniem zaworów
blokowych ICF

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanka cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

① Zespół ICF w przewodzie cieczowym wyposażony w:



Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór ręczny
Zawór rozprężny ICM
Zawór odcinający

② Zawór odcinający

③ Dwukrokowy zawór elektromagnetyczny

④ Zawór odcinający

⑤ Zespół ICF w przewodzie gorących par wyposażony w:



Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór odcinający

⑥ Zawór zwrotny

⑦ Zawór zwrotny

⑧ Zawór zwrotno-odcinający w przewodzie tłocznym

⑨ Regulator różnicy ciśnień

⑩ Sterownik

⑪ Regulator przegrzania

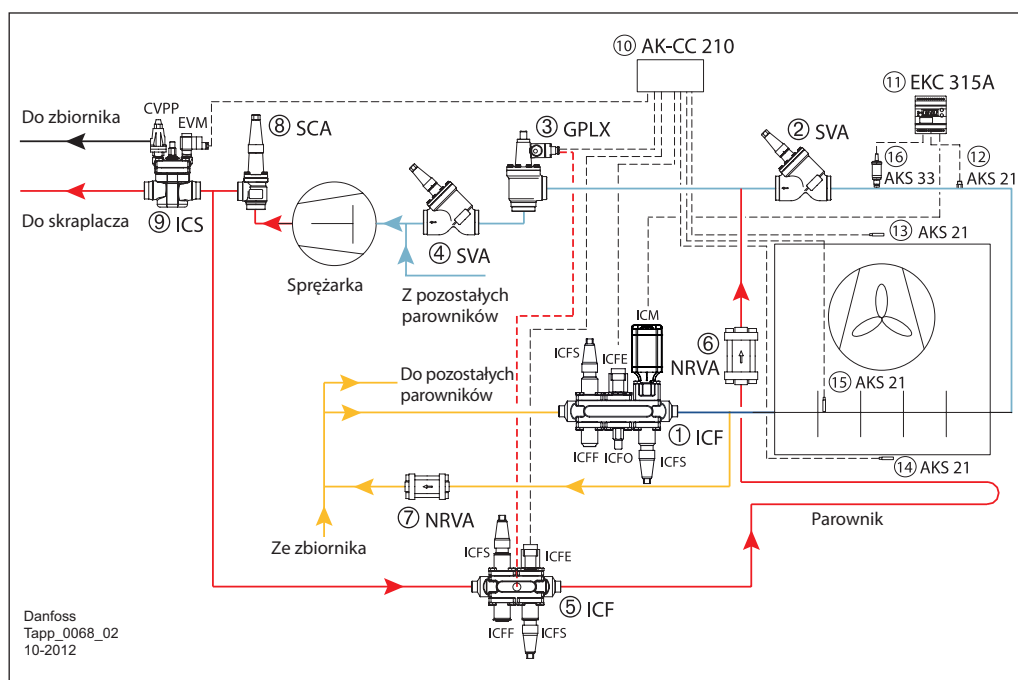
⑫ Czujniki temperatury

⑬ Czujniki temperatury

⑭ Czujniki temperatury

⑮ Czujniki temperatury

⑯ Przetwornik ciśnienia



Przykład 5.3.3 przedstawia parownik zasilany ciśnieniowo, wyposażony w układ odszraniania gorącymi parami czynnika chłodniczego, oparty o zawory blokowe ICF.

W zaworze blokowym ICF można zastosować do czterech lub do sześciu różnych elementów automatyki, stanowiących jednocześnie rozwiązanie zwarte i łatwe do instalacji.

Tryb chłodzenia

Zawór elektromagnetyczny ICFE zamontowany w zaworze blokowym ICF ① w przewodzie cieczowym pozostaje otwarty. Regulację zasilania parownika czynnikiem chłodniczym zapewnia zawór siłnikowy ICM w tym samym zaworze blokowym ICF ①.

Zawór elektromagnetyczny GPLX ③ w przewodzie ssawnym jest otwarty, a elektromagnetyczny zawór odszraniania ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤ jest zamknięty.

Elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM utrzymuje zawór serwowłokowy ICS ⑨ w pozycji otwartej.

Tryb odtajania

Po rozpoczęciu procesu odszraniania, zawór ICFE w zaworze blokowym ICF ① zamyka się, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika obecnego w chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór GPLX ③ zaczyna się zamykać. Zawory GPLX ③ są utrzymywane w położeniu otwartym przez ciśnienie gorących par. W konsekwencji występuje zjawisko wykrapłania się cieczy wewnątrz serwomechanizmu, która podczas zamykania zaworu musi zostać usunięta z serwomechanizmu.

Pełne zamknięcie następuje po pewnym czasie, ponieważ skroplona ciecz jest wypychana pod siłą sprężyny. Dokładny czas zamknięcia zaworu jest uzależniony od temperatury, ciśnienia, rodzaju czynnika i wielkości zaworu.

Z tego względu nie można określić dokładnego czasu zamykania zaworów, ale ogólna zasada jest taka, że niższe ciśnienia skutkują dłuższymi czasami zamykania. W przypadku zastosowania w parownikach odszraniania gorącą parą niezwykle ważne jest, aby wziąć pod uwagę czasy zamykania.

Dalsza zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Dopiero wtedy zawór elektromagnetyczny ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤ zostaje otwarty, co umożliwia dopływ gorącej pary do parownika.

Podczas odtajania elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM zaworu serwowłokowego ICS ⑨ zostaje zamknięty, dzięki czemu zawór ICS ⑨ jest sterowany przez zawór pilotowy stałej różnicy ciśnień CVPP. Wskutek tego zawór ICS ⑨ utrzymuje różnicę ciśnień Δp pomiędzy ciśnieniem gorącej pary a ciśnieniem w zbiorniku. Różnica ta jest konieczna, aby ciecz powstała w parowniku ze skroplenia par czynnika podczas odszraniania była usuwana do przewodu cieczowego za pośrednictwem zaworu zwrotnego NRVA ⑦.

Gdy temperatura parownika (mierzona czujnikiem AKS 21 ⑮) osiągnie nastawioną wartość, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu elektromagnetycznego ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤, otwarcie elektromagnetycznego zaworu pilotowego EVM na zaworze serwowłokowym ICS ⑨ oraz otwarcie zaworu elektromagnetycznego GPLX ③.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, niezbędne jest zainstalowanie dwukrokowego zaworu elektromagnetycznego, takiego jak GPLX ③ lub ICLX firmy Danfoss. Dopóki ta różnica ciśnień jest wysoka, zawór GPLX ③/ICLX otwiera się na 10% swojej maksymalnej wydajności, co pozwala na wyrównanie się ciśnień po obu stronach zaworu przed jego pełnym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Gdy już zawór GPLX ③ otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu ICFE w zaworze blokowym ICF ① i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przymarzły do powierzchni parownika.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 5.3.4:
Parownik zasilany ciśnieniowo,
z odszranianiem gorącymi parami,
z wykorzystaniem zaworów ICF/
ICM, bez połączeń kołnierzowych

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem

① Zespół ICF w przewodzie cieczowym wyposażony w:



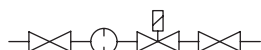
Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór ręczny
Zawór rozprężny ICM
Zawór odcinający

② Zawór odcinający

③ Regulator ciśnienia (zawór silnikowy)

④ Zawór odcinający

⑤ Zespół ICF w przewodzie gorących par wyposażony w:



Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór odcinający

⑥ Zawór zwrotny

⑦ Zawór zwrotny

⑧ Zawór zwrotno-odcinający

⑨ Regulator różnicy ciśnień

⑩ Sterownik

⑪ Regulator przegrzania

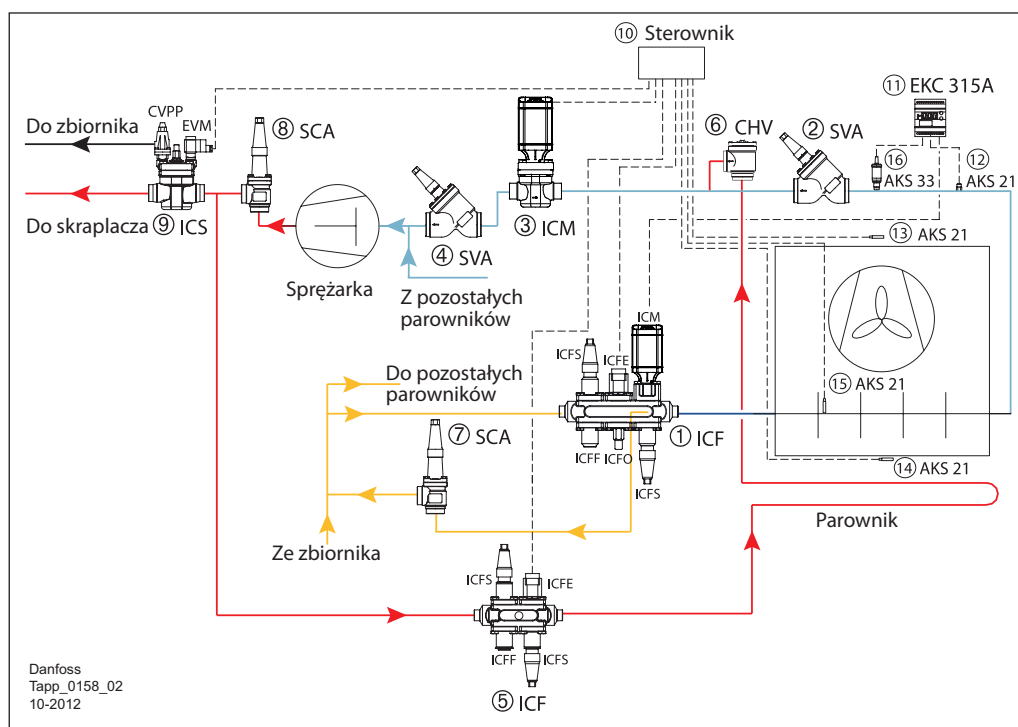
⑫ Czujniki temperatury

⑬ Czujniki temperatury

⑭ Czujniki temperatury

⑮ Czujniki temperatury

⑯ Przetwornik ciśnienia



Przykład 5.3.3 przedstawia parownik zasilany ciśnieniowo, wyposażony w układ odszraniania gorącymi parami czynnika chłodniczego, oparty o zawory blokowe ICF.

W zaworze blokowym ICF można zastosować do czterech lub do sześciu różnych elementów automatyki, co stanowi łatwy do montażu zespół sterujący.

Tryb chłodzenia

Zawór elektromagnetyczny ICFE zamontowany w zaworze blokowym ICF ⑤ w przewodzie cieczowym pozostaje otwarty. Regulację zasilania parownika czynnikiem chłodniczym zapewnia zawór silnikowy ICM w zaworze blokowym ICF ⑤.

Zawór silnikowy ICM ③ w przewodzie ssawnym znajduje się w pozycji otwartej, a zawór elektromagnetyczny odszraniania ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤ jest w położeniu zamkniętym.

Elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM utrzymuje zawór serwowłokowy ICS ⑨ w pozycji otwartej.

Tryb odtajania

Po rozpoczęciu procesu odszraniania, zawór ICFE w zaworze blokowym ICF ① zamyka się, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika obecnego w chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór ICM ③ zamyka się.

Dalsza zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Dopiero wtedy elektromagnetyczny zawór ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤ zostaje otwarty, co umożliwia dopływ gorącej pary do parownika.

Podczas odtajania elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM zaworu serwowłokowego ICS ⑨ zostaje zamknięty, dzięki czemu zawór ICS ⑨ jest sterowany przez zawór pilotowy stałej różnicy ciśnień CVPP. Wskutek tego zawór ICS ⑨ utrzymuje różnicę ciśnień Δp pomiędzy ciśnieniem gorącej pary a ciśnieniem w zbiorniku.

Różnica ta jest konieczna, aby ciecz powstała w parowniku ze skroplenia par czynnika podczas odszraniania była usuwana do przewodu cieczowego za pośrednictwem zaworu zwrotnego SCA ⑦.

Gdy temperatura parownika (mierzona czujnikiem AKS 21) osiągnie nastawioną wartość, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu elektromagnetycznego ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤, otwarcie elektromagnetycznego zaworu pilotowego EVM na zaworze serwowłokowym ICS ⑨ oraz otwarcie zaworu silnikowego ICM ③.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, konieczne jest powolne upuszczanie ciśnienia, tak aby ciśnienie wyrównało się przed całkowitym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Zaletą wykorzystania zaworu silnikowego ICM ③ jest możliwość wyrównania ciśnienia odszraniania poprzez powolne otwieranie zaworu. Opłacalnym sposobem realizacji tego założenia jest użycie trybu dwustanowego zaworu ICM (ON/OFF) i wybranie bardzo małej prędkości, ale można to również osiągnąć, korzystając z trybu modulacji i pozostawiając stopień oraz prędkość otwarcia całkowicie pod kontrolą sterownika PLC.

Gdy zawór ICM ③ otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu ICFE w zaworze blokowym ICF ① i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przymarzły do powierzchni parownika.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

5.4 Odszranianie gorącymi parami chłodnic powietrza zasilanych pompowo

Przykład zastosowania 5.4.1:
Parownik zasilany pompowo,
z odszranianiem gorącymi parami

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

Przewód cieczowy

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Zawór zwrotny
- ⑤ Ręczny zawór dławiący
- ⑥ Zawór odcinający

Przewód ssawny

- ⑦ Zawór odcinający
- ⑧ Dwukrokový zawór elektromagnetyczny
- ⑨ Zawór odcinający w przewodzie ssawnym

Przewód gorących par

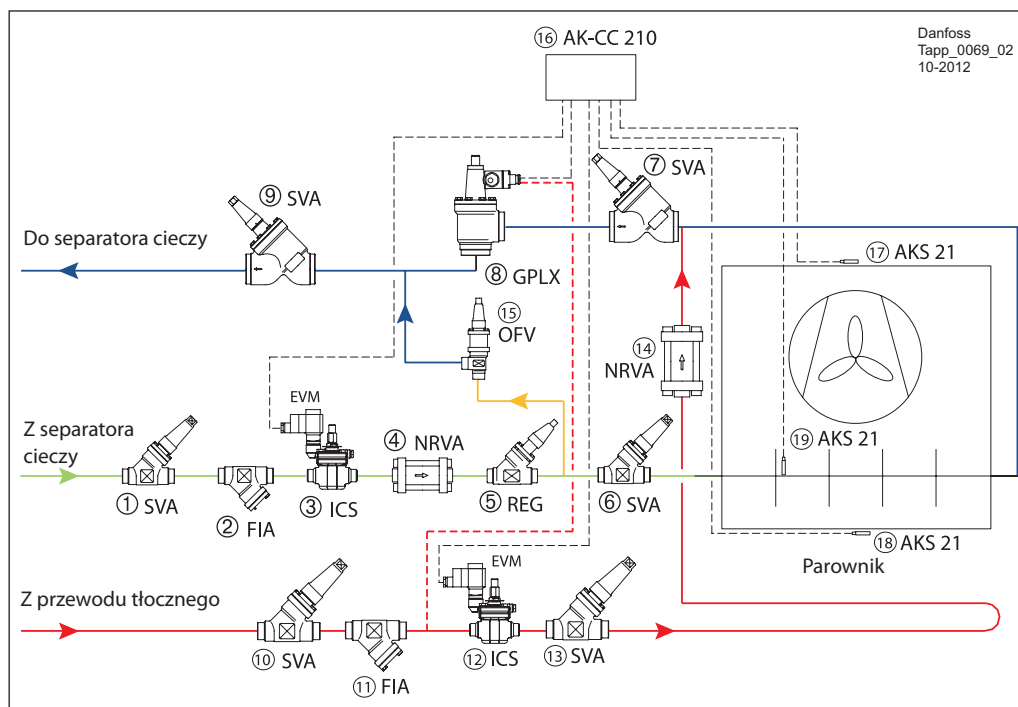
- ⑩ Zawór odcinający
- ⑪ Filtr
- ⑫ Zawór elektromagnetyczny
- ⑬ Zawór odcinający
- ⑭ Zawór zwrotny

Przewód wyrównawczy

- ⑮ Zawór upustowy

Elementy sterujące

- ⑯ Sterownik
- ⑰ Czujnik temperatury
- ⑱ Czujnik temperatury
- ⑲ Czujnik temperatury



Przykład 5.4.1 pokazuje typowy pompowy układ zasilania parownika z odszranianiem gorącymi parami.

Tryb chłodzenia

Zawór elektromagnetyczny ICS ③ w przewodzie cieczowym jest otwarty. Regulację zasilania parownika czynnikiem chłodniczym zapewnia ręczny zawór regulacyjny REG ⑤.

Zawór elektromagnetyczny GPLX ⑧ w przewodzie ssawnym jest otwarty, a elektromagnetyczny zawór odszraniania ICS ⑫ jest zamknięty.

Tryb odtajania

Po rozpoczęciu procesu odszraniania, zawór ICS ③ zamyka się, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika obecnego w chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór GPLX zaczyna się zamykać. Zawory GPLX ⑧ są utrzymywane w położeniu otwartym przez ciśnienie gorących par. W konsekwencji występuje zjawisko wykrapiania się cieczy wewnątrz serwomechanizmu, która podczas zamykania zaworu musi zostać usunięta z serwomechanizmu.

Pełne zamknięcie następuje po pewnym czasie, ponieważ skroplona ciecz jest wypychana pod siłą sprężyny. Dokładny czas zamknięcia zaworu jest uzależniony od temperatury, ciśnienia, rodzaju czynnika i wielkości zaworu.

Z tego względu nie można określić dokładnego czasu zamykania zaworów, ale ogólna zasada jest taka, że niższe ciśnienia skutkują dłuższymi czasami zamykania. W przypadku zastosowania w parownikach odszraniania gorącą parą niezwykle ważne jest, aby wziąć pod uwagę czasy zamykania.

Dalsza zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Dopiero wtedy zawór elektromagnetyczny ICS ⑫ zostaje otwarty, co umożliwia dopływ gorącej pary czynnika do chłodnicy.

Podczas odszraniania następuje automatyczne otwarcie zaworu upustowego OFV ⑮ pod wpływem różnicy ciśnień. Zawór ten odprowadza skropliny powstałe w parowniku podczas odtajania do przewodu pary mokrej. Zawór OFV można zastąpić regulatorem ciśnienia ICS+CVP (w zależności od wydajności), bądź zaworem pływakowym wysokiego ciśnienia SV1/3, który odprowadza ciecz na stronę niskociśnieniową.

Gdy temperatura parownika (mierzona czujnikiem AKS 21 ⑰) osiągnie nastawioną wartość, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu elektromagnetycznego ICS ⑫ oraz otwarcie dwukrokowego zaworu elektromagnetycznego GPLX ⑧.

Gdy już zawór GPLX otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu ICS ③ i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przymarzły do powierzchni parownika.

Zawór ICLX ma tę samą funkcję (dwukrokový zawór elektromagnetyczny) co zawór GPLX. Dopóki ta różnica ciśnień jest wysoka, zawór GPLX/ICLX otwiera się na 10% swojej maksymalnej wydajności, co pozwala na wyrównanie się ciśnień po obu stronach zaworu przed jego pełnym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Dane techniczne

	Zawór upustowy OFV
Materiał	Korpus: stal
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	40
Średnica nominalna DN [mm]	20/25
Zakres różnicy ciśnienia otwarcia [bar]	2 do 8

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA). 2014-10

Przykład zastosowania 5.4.3:
Parownik zasilany pompowo,
odsraniany gorącymi parami,
bez połączeń kołnierzowych,
układ z zaworem blokowym
ICF oraz z zaworem ICS i CVP

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanka cieczy i pary
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

① Zespół ICF w przewodzie ciekowym wyposażony w:



Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór zwrotny
Ręczny zawór dławiący
Zawór odcinający

② Zawór odcinający

③ Regulator ciśnienia (zawór silnikowy)

④ Zawór odcinający

⑤ Zespół ICF w przewodzie gorących par wyposażony w:



Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór odcinający

⑥ Zawór zwrotny

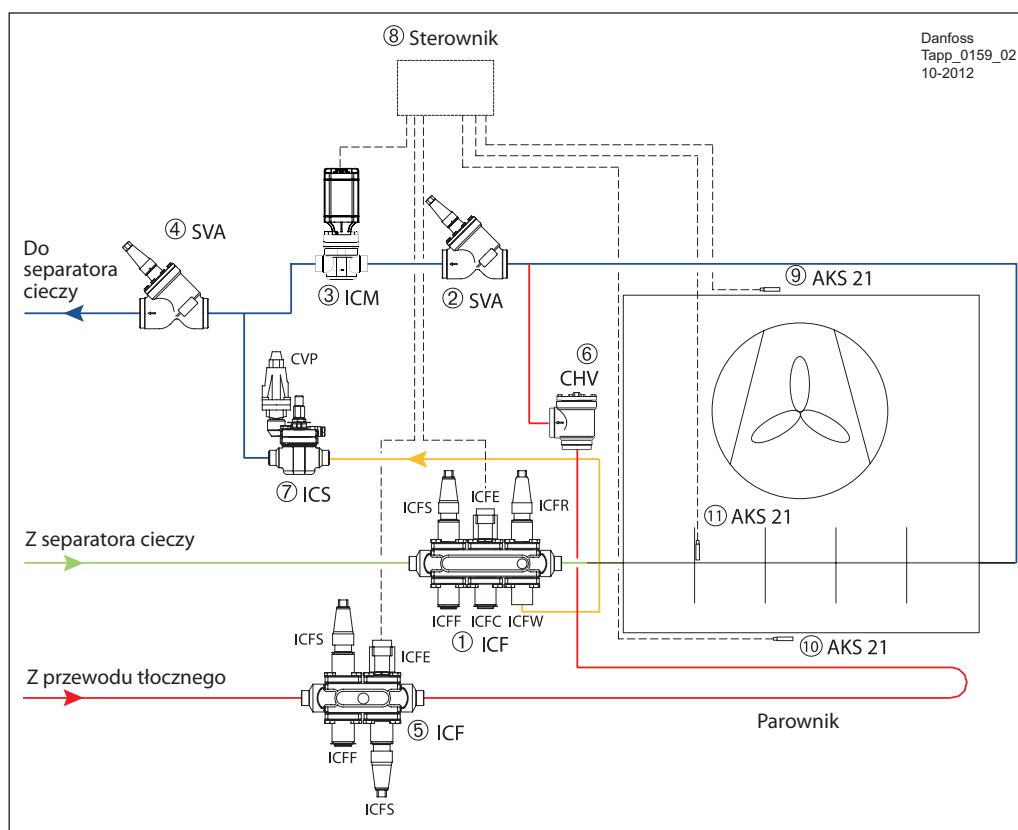
⑦ Regulator ciśnienia

⑧ Sterownik

⑨ Czujniki temperatury

⑩ Czujniki temperatury

⑪ Czujniki temperatury



Przykład 5.4.3 pokazuje pompowy układ zasilania parownika i odszraniania gorącymi parami, oparty o zawory blokowe ICF.

W zaworze blokowym ICF można zastosować do czterech lub do sześciu różnych elementów automatyki, co stanowi łatwy do instalacji zespół sterujący.

Tryb chłodzenia

Zawór elektromagnetyczny ICFE zamontowany w zaworze blokowym ICF ① jest otwarty. Wtrysk cieczy do parownika jest regulowany zaworem ręcznym ICFR w zaworze blokowym ICF ①.

Zawór silnikowy ICM ③ w przewodzie ssawnym znajduje się w pozycji otwartej, a elektromagnetyczny zawór odszraniania ICFE w zaworze blokowym ICF ① jest w położeniu zamkniętym.

Tryb odtajania

Z rozpoczęciem procesu odszraniania, zawór elektromagnetyczny ICFE w zaworze blokowym ICF ① zostaje zamknięty, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika obecnego w chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór ICM zamyka się. Zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Dopiero wtedy zawór elektromagnetyczny ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤ zostaje otwarty, co umożliwia dopływ gorącej pary do parownika.

W trakcie cyklu odszraniania skroplona gorąca para z parownika jest odprowadzana na stronę niskiego ciśnienia. Ciśnienie odszraniania jest regulowane przez zespół ICS+CVP ⑦. Gdy temperatura parownika (mierzona czujnikiem AKS 21) osiągnie nastawioną wartość, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu elektromagnetycznego ICFE w zaworze blokowym ICF ⑤ oraz otwarcie z niewielką zwłoką zaworu silnikowego ICM ③.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, konieczne jest powolne upuszczanie ciśnienia, tak aby ciśnienie wyrównało się przed całkowitym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Zaletą wykorzystania zaworu silnikowego ICM ③ jest możliwość wyrównania ciśnienia odszraniania poprzez powolne otwieranie zaworu. Optycznym sposobem realizacji tego założenia jest użycie trybu dwustanowego zaworu ICM (ON/OFF) i wybranie bardzo małej prędkości. Można to również osiągnąć, korzystając z trybu modulacji i pozostawiając stopień oraz prędkość otwarcia całkowicie pod kontrolą sterownika PLC.

Gdy zawór ICM otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu ICFE w zaworze blokowym ICF ① i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przymarzły do powierzchni parownika.

5.5 Parowniki ze zmienną temperaturą wrzenia

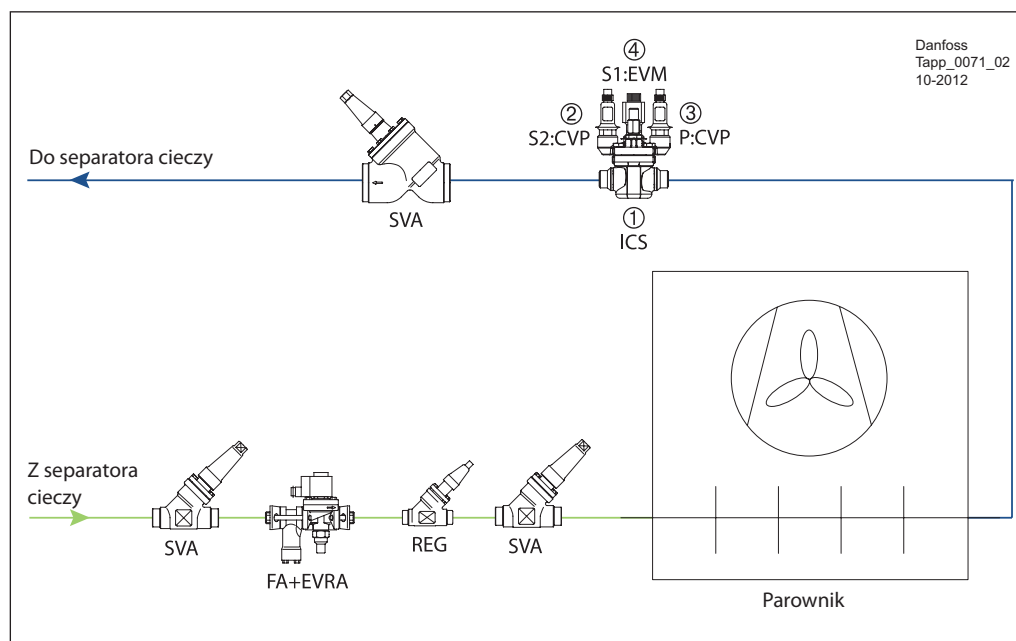
W przemyśle przetwórczym często się zdarza, że dany parownik w różnych okresach ma pracować ze zróżnicowanymi temperaturami.

W przypadku, gdy parownik ma mieć możliwość pracy w dwóch różnych temperaturach, zastosowanie znajduje zawór serwowłokowy ICS wyposażony w dwa zawory pilotowe stałego ciśnienia.

Przykład zastosowania 5.5.1:
Regulacja ciśnienia parowania
dla dwóch różnych nastaw

■ Mieszanka cieczy i pary
■ Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór regulacji ciśnienia
- ② Zawór pilotowy stałego ciśnienia
- ③ Zawór pilotowy stałego ciśnienia
- ④ Elektromagnetyczny zawór pilotowy



Rysunek 5.5.1 pokazuje układ regulacji ciśnienia parowania o dwóch różnych nastawach. Rozwiązanie to może być wykorzystane w przypadku parowników zasilanych zarówno ciśnieniowo, jak i pompowo, niezależnie od sposobu odszraniania.

W gnieździe S1 zaworu serwowłokowego ICS znajduje się normalnie zamknięty elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM. W pozostałych dwóch gniazdach (S2 i P) zainstalowano pilotowe zawory stałego ciśnienia CVP.

Zawór pilotowy CVP w gnieździe S2 nastawiony jest na niższe ciśnienie parowania, podczas gdy zawór CVP w gnieździe P posiada nastawę o wyższej wartości.

Gdy na cewkę zaworu elektromagnetycznego w gnieździe S1 podawane jest napięcie elektryczne, ciśnienie w parowniku reguluje zawór CVP w gnieździe S1. W przeciwnym przypadku, funkcję tę przejmie zawór pilotowy CVP zainstalowany w gnieździe P.

Przykład:

	I	II
Temperatura wylotowa powietrza	+3°C	+8°C
Temperatura parowania	-2°C	+2°C
Wylotowa różnica temperatur	5K	6K
Czynnik chłodniczy	R717	R717
Ciśnienie parowania	3,0 bar	3,6 bar

S2: zawór pilotowy CVP nastawiony na 3,0 bar,
P: zawór pilotowy CVP nastawiony na 3,6 bar.

- I: Zawór pilotowy EVM otwiera się. Ciśnienie parowania jest regulowane zaworem w gnieździe S2: CVP.
- II: Zawór pilotowy EVM zamyka się. Ciśnienie parowania jest regulowane zaworem w gnieździe P: CVP.

5.6 Regulacja temperatury medium chłodzonego

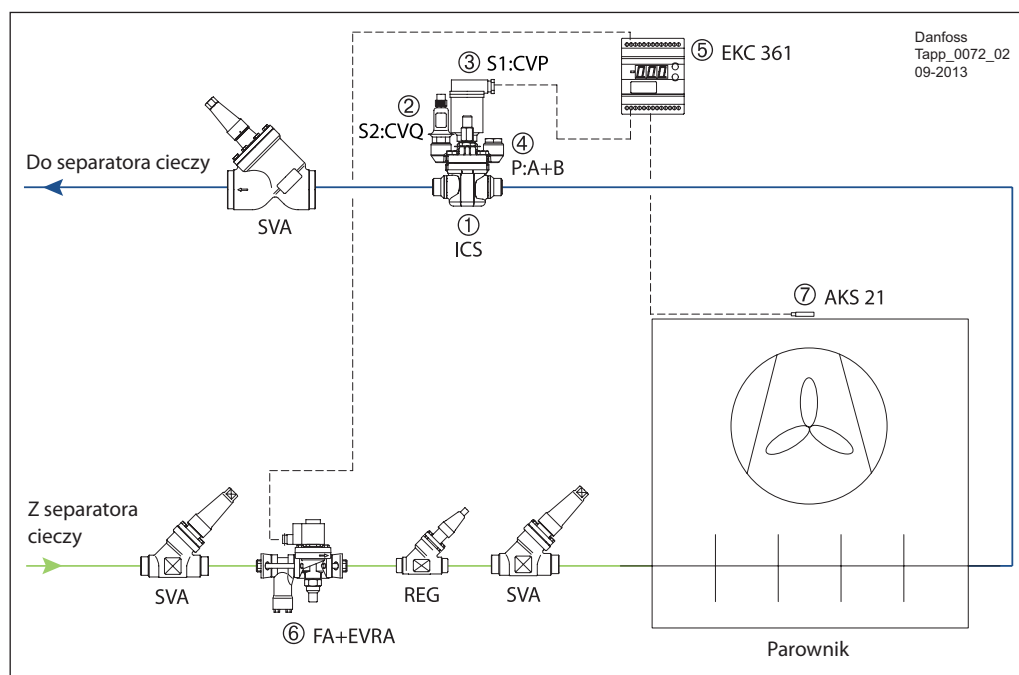
Instalacje chłodnicze, wobec których stawia się rygorystyczne wymagania w zakresie regulacji temperatury medium ochładzanego wymagają odpowiednich rozwiązań układów automatyki. Takimi obiektami są na przykład:

- Komory chłodnicze dla owoców i produktów żywnościowych
- Pomieszczenia technologiczne w przemyśle spożywczym
- Zakłady przetwórstwa substancji ciekłych

*Przykład zastosowania 5.6.1:
Regulacja temperatury medium
ochładzanego z wykorzystaniem
zaworu serwowłokowego ICS*

- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór regulacji ciśnienia
- ② Zawór pilotowy stałego ciśnienia
- ③ Zawór pilotowy sterowany elektronicznie
- ④ Korek zaślepiający
- ⑤ Sterownik
- ⑥ Zawór elektromagnetyczny z filtrem
- ⑦ Czujnik temperatury



Przykład 5.6.1 przedstawia układ dokładnej regulacji temperatury medium chłodzonego. Układ ten zapobiega ponadto zamrożeniu produktu, dzięki nie dopuszczaniu do zbyt dużego spadku ciśnienia parowania.

Rozwiązanie to znajduje zastosowanie zarówno w przypadku ciśnieniowego, jak i pompowego zasilania parownika, przy dowolnym sposobie odszraniania.

W gnieździe S2 zaworu ICS 3 zamontowano zawór CVQ, sterowany przez regulator temperatury EKC 361. W gniazdo S1 zamontowano zawór CVP. Gniazdo P zaślepiają elementy A+B.

Nastawa zaworu CVP odpowiada najniższemu dozwolonemu ciśnieniu parowania.

Sterownik EKC 361 reguluje temperaturę medium
ochładzanego, zmieniając stopień otwarcia

ciśnienie parowania do bieżącego obciążenia cieplnego i wymaganej temperatury medium chłodzonego.

Prezentowany układ zapewnia utrzymywanie zadanej temperatury z dokładnością $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$. Jeśli temperatura medium chłodzonego spadnie poniżej tego przedziału, sterownik EKC zamknie zawór elektromagnetyczny w przewodzie cieczowym.

Regulator temperatury EKC 361 posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, włącznie z funkcjami termostatu i alarmów.

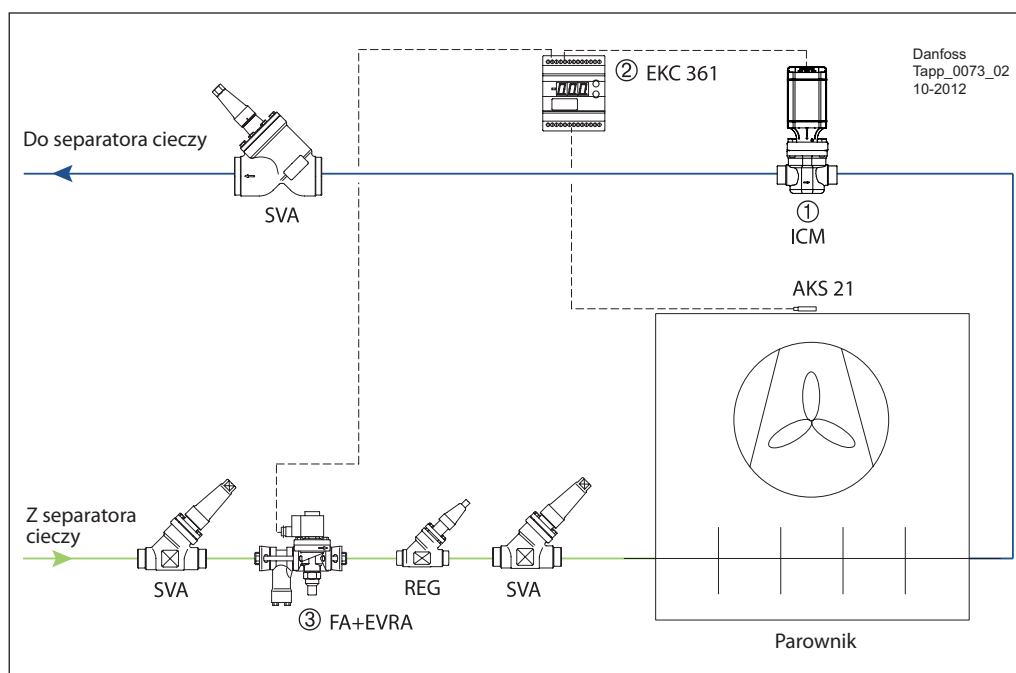
Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 361.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 5.6.2:
Regulacja temperatury medium
ochładzanego z wykorzystaniem
zaworu bezpośredniego działania

■ Mieszanina cieczi i pary
Czynnik w fazie ciekłej
■ pod niskim ciśnieniu

- ① Regulator ciśnienia
(zawór silnikowy)
- ② Sterownik
- ③ Zawór elektromagnetyczny
z filtrem



Przykład przedstawia układ dokładnej i płynnej regulacji temperatury medium chłodzonego.

Rozwiązanie to znajduje zastosowanie zarówno w przypadku ciśnieniowego, jak i pompowego zasilania parownika, przy dowolnym sposobie odszraniania.

W układzie wykorzystano zawór silnikowy typu ICM, sterowany regulatorem temperatury EKC 361.

Sterownik EKC 361 reguluje temperaturę medium ochładzanego, zmieniając stopień otwarcia zaworu silnikowego ICM, a tym samym dostosowując ciśnienie parowania do bieżącego obciążenia cieplnego i wymaganej temperatury medium.

Prezentowany układ zapewnia utrzymywanie zadanej temperatury z dokładnością $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$. Jeśli temperatura medium chłodzonego spadnie poniżej tego przedziału, sterownik EKC zamknie zawór elektromagnetyczny w przewodzie cieczowym.

Regulator temperatury EKC 361 posiada wszystkie funkcje sterowania pracą parownika, włącznie z funkcjami termostatu i alarmów.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika EKC 361.

5.7

Podsumowanie

Rozwiązanie		Zastosowanie	Zalety	Ograniczenia
-------------	--	--------------	--------	--------------

Zasilanie ciśnieniowe

Parownik DX, termostaticzny zawór rozprężny TEA, zawór EVRA, sterownik EKC 202		Układy z ciśnieniowym zasilaniem parownika	Prostota, brak oddzielacza cieczy i układu pompowego.	Mniejsza wydajność i efektywność niż przy zasilaniu pompowym. Nieodpowiednie dla czynników łatwopalnych.
Elektronicznie sterowany zawór dławiący ICM / ICF, zawór EVRA, sterownik EKC 315A		Układy z ciśnieniowym zasilaniem parownika	Optymalne przegrzanie. Szybka reakcja. Możliwość zdalnego sterowania. Szeroki zakres wydajności.	Nieodpowiednie dla czynników łatwopalnych.

Zasilanie pompowe

Parownik zasilany pompowo, regulacja rozprężania za pomocą zaworów REG, EVRA i EKC 202		Układy z pompowym zasilaniem parownika	Duża wydajność i efektywność.	Wahania poziomu cieczy i duża ilość czynnika w układzie.
--	--	--	-------------------------------	--

Odszranianie gorącymi parami czynnika chłodnic powietrza zasilanych ciśnieniowo

Parownik zasilany ciśnieniowo, odszraniany gorącymi parami		Układy z ciśnieniowym zasilaniem parownika	Szybkie odszranianie. Lepsze usunięcie oleju zalegającego w parowniku.	Nieodpowiednie dla układów o liczbie parowników mniejszej niż 3.
--	--	--	--	--

Odszranianie gorącymi parami czynnika chłodnic powietrza zasilanych pompowo

Parownik zasilany pompowo, odszraniany gorącymi parami		Układy z pompowym zasilaniem parownika	Szybkie odszranianie. Lepsze usunięcie oleju zalegającego w parowniku.	Nieodpowiednie dla układów o liczbie parowników mniejszej niż 3.
Parownik zasilany pompowo, odszraniany gorącymi parami z wykorzystaniem zaworu SV1/3		Układy z pompowym zasilaniem parownika	Szybkie odszranianie. Lepsze usunięcie oleju zalegającego w parowniku. Zawór pływakowy wydajnie i stabilnie reguluje przepływ gorącej pary.	Nieodpowiednie dla układów o liczbie parowników mniejszej niż 3.

Różne temperatury parowania

Zmiana nastawy ciśnienia parowania z wykorzystaniem zaworów ICS i CVP		Parowniki przeznaczone do pracy w różnych temperaturach	Możliwa praca parownika z dwoma różnymi temperaturami parowania.	Dodatkowy spadek ciśnienia w przewodzie ssawnym.
---	--	---	--	--

Regulacja temperatury medium chłodzonego

Regulacja temperatury z wykorzystaniem zaworów ICS, CVQ i CVP		Bardzo dokładna regulacja temperatury, połączona z zabezpieczeniem przed nadmiernym spadkiem ciśnienia parowania. Możliwość pracy z różnymi nastawami temperatury.	Zawór CVQ precyzyjnie reguluje temperaturę. Zawór CVP utrzymuje ciśnienie parowania powyżej poziomu minimalnego.	Dodatkowy spadek ciśnienia w przewodzie ssawnym.
Regulacja temperatury z wykorzystaniem zaworu siłnikowego ICM		Bardzo dokładna regulacja temperatury. Możliwość pracy z różnymi nastawami temperatury.	Zawór ICM kontroluje temperaturę z dużą precyzją poprzez regulację stopnia otwarcia	Maksymalna wydajność dla ICM 150.

5.8

Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKS 21	RK0YG	FIA	PD.FN1.A
AKS 33	RD5GH	GPLX	PD.BO0.A
AKVA	PD.VA1.B	ICF	PD.FT1.A
CVP	PD.HN0.A	ICM	PD.HT0.B
CVQ	PD.HN0.A	ICS	PD.HS2.A
EVM	PD.HN0.A	NRVA	PD.FK0.A
EKC 202	RS8DZ	OFV	PD.HQ0.A
EKC 315A	RS8CS	ICLX	PD.HS1.A
EKC 361	RS8AE	REG	PD.KM1.A
EVRA(T)	PD.BM0.B	SV 1-3	PD.GE0.B
FA	PD.FM0.A	SVA	PD.KD1.A
		TEA	PD.AJ0.A

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKS 21	RI14D	FIA	PI.FN1.A
AKS 32R	PI.SB0.A	GPLX	PI.BO0.A
AKS 33	PI.SB0.A	ICF	PI.FT0.C
AKVA	PI.VA1.C / PI.VA1.B	ICM 20-65	PI.HT0.A
CVP	PI.HN0.C	ICM 100-150	PI.HT0.B
CVQ	PI.VH1.A	ICS 25-65	PI.HS0.A
EVM	PI.HN0.N	ICS 100-150	PI.HS0.B
EKC 202	RI8JV	NRVA	PI.FK0.A
EKC 361	RI8BF	OFV	PI.HX0.B
EVRA(T)	PI.BN0.L	ICLX	PI.HS1.A/B
FA	PI.FM0.A	REG	PI.KM1.A
		SV 1-3	PI.GE0.C
		SVA	PI.KD1.A
		TEA	PI.AJ0.A

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

6. Obieg oleju

Sprężarki w przemysłowych instalacjach chłodniczych są z reguły smarowane olejem, który dzięki pracy pompy olejowej lub pod działaniem różnicy wysokiego i niskiego ciśnienia w układzie, jest doprowadzany do części współpracujących ciernie (łożyska, wirniki, gładź cylindrowa itd.). Aby zapewnić niezawodne i efektywne działanie sprężarki, należy utrzymywać w określonych granicach następujące parametry oleju:

- Temperatura oleju. Powinna mieścić się w zakresie podanym przez producenta. Olej powinien charakteryzować się odpowiednią lepkością, a jego temperatura powinna być niższa od punktu zapłonu.
- Ciśnienie oleju. Nadciśnienie oleju powinno być utrzymywane powyżej minimalnego dopuszczalnego poziomu.

W układach chłodniczych występują elementy pomocnicze, służące do filtracji oleju, do oddzielania go od czynnika chłodniczego, do wyprowadzania środka smarnego ze strony niskiego ciśnienia,

do wyrównania jego poziomu w układach wielosprężarkowych i do spustu oleju. Większość z tych podzespołów dostarcza wytwórca sprężarki.

Konfiguracja obiegu oleju w przemysłowych instalacjach chłodniczych zależy od rodzaju sprężarki (śrubowa lub tłokowa) i czynnika chłodniczego (amoniak, HFC/HCFC lub CO₂). Generalnie, do współpracy z amoniakiem wykorzystuje się oleje nietworzące z nim roztworów, podczas gdy w przypadku czynników syntetycznych zastosowanie znajdują oleje z nimi rozpuszczalne. Ponieważ układy olejowe są ściśle związane ze sprężarkami, niektóre z poruszonych kwestii uwzględniono w rozdziale 2 (sterowanie pracą sprężarek) i 7 (układy zabezpieczające).

6.1 Chłodzenie oleju

Sprężarki chłodnicze (wliczając wszystkie sprężarki śrubowe i niektóre tłokowe) generalnie wymagają chłodzenia oleju. Zbyt wysoka temperatura tłoczenia może doprowadzić do rozkładu oleju, a w konsekwencji do uszkodzenia sprężarki. Istotne jest też, aby środek smarny posiadał odpowiednią lepkość, która w ogromnym stopniu zależy od temperatury. Nie wystarczy jedynie utrzymywać temperatury oleju poniżej wartości krytycznej, ale należy ją także regulować. Wymagana temperatura oleju jest zwykle podana przez producenta sprężarki.

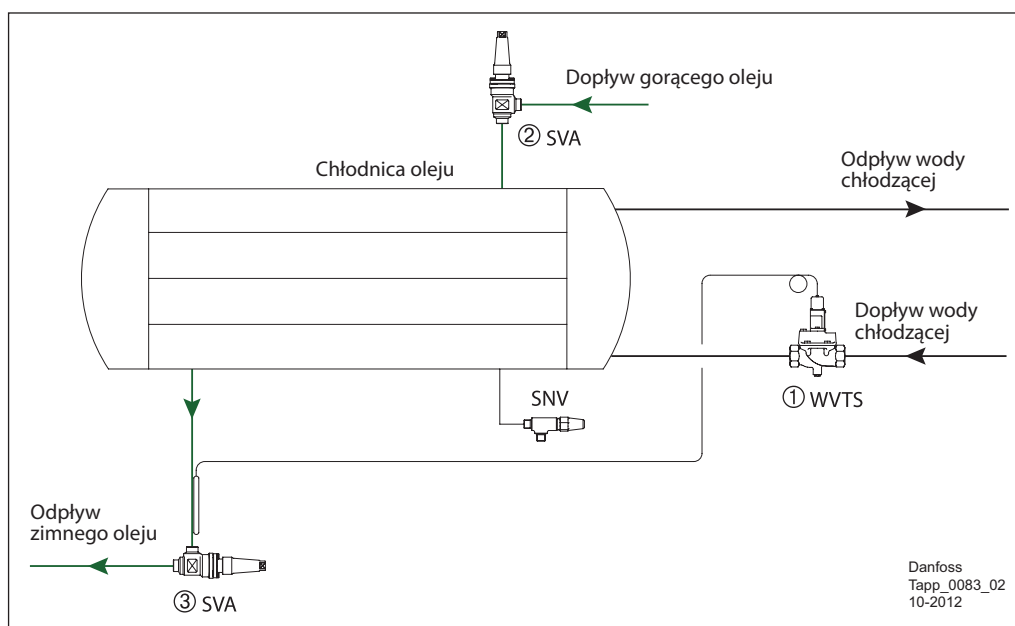
W chłodnictwie wykorzystuje się kilka różnych sposobów chłodzenia oleju. Najbardziej rozpowszechnione są:

- chłodzenie wodą
- chłodzenie powietrzem
- chłodzenie termosyfonowe

Olej może być także chłodzony dzięki bezpośredniemu wtryskowi ciekłego czynnika do przestrzeni roboczej przez okno wtryskowe sprężarki śrubowej. W przypadku sprężarek tłokowych, często nie instaluje się specjalnych układów odprowadzania ciepła od oleju, porzeczając na jego chłodzeniu w skrzyni korbowej, gdyż temperatura oleju nie jest aż tak krytycznym parametrem, jak w sprężarkach śrubowych.

Przykład zastosowania 6.1.1:
Chłodzenie oleju wodą

- Woda
— Olej
 ① Zawór wodny
 ② Zawór odcinający
 ③ Zawór odcinający



Tego typu układy występują w urządzeniach, dla których dostępne jest tanie źródło wody. W przeciwnym przypadku, niezbędne staje się zainstalowanie wentylatorowej chłodnicy natryskowo-wyparnej, w celu chłodzenia wody obiegowej. Wodne chłodnice oleju są dosyć popularne w okrętowych instalacjach chłodniczych.

Aby sprawdzić, czy wybrane podzespoły nadają się do pracy z wodą morską, należy skontaktować się z lokalnym przedstawicielstwem firmy Danfoss.

Natężenie przepływu wody jest regulowane za pomocą zaworu wodnego WVTS ①, w zależności od temperatury oleju.

Dane techniczne

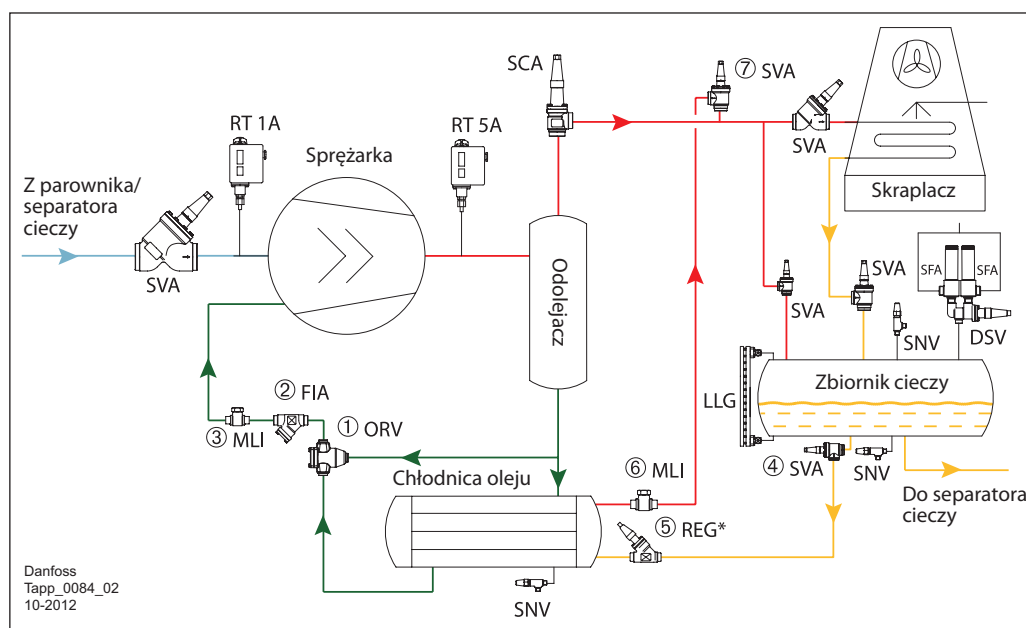
	Zawór wodny WVTS
Materiały	Korpus: żeliwo
Płyny robocze	Woda słodka, medium pośrednie
Maks. ciśnienie robocze [bar]	10
Zakres temperatury pracy [°C]	Czujnik: 0 do 90 Ciecz: -25 do 90
Średnica nominalna DN [mm]	32 do 100
Maks. wartość K _v [m³/h]	12,5 do 125

	Zawór wodny AVTA
Płyny robocze	Woda słodka, medium pośrednie
Maks. ciśnienie robocze [bar]	16
Zakres temperatury pracy [°C]	Czujnik: 0 do 90 Ciecz: -25 do 130
Średnica nominalna DN [mm]	10 do 25
Maks. wartość K _v [m³/h]	1,4 do 5,5

Przykład zastosowania 6.1.2:
Termosyfonowe chłodzenie oleju

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór do regulacji temperatury oleju
- ② Filtr
- ③ Wziernik
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Ręczny zawór regulacyjny
- ⑥ Wziernik
- ⑦ Zawór odcinający



Tego typu układy są wygodne w eksploatacji, gdyż olej jest chłodzony w samej instalacji. Niezbędne jest jedynie przewymiarowanie skraplacza, z uwzględnieniem ciepła odbieranego od środka smarowego. Termosyfonowe chłodzenie oleju wymaga poprowadzenia kilku dodatkowych przewodów rurowych i niekiedy dodatkowego zbiornika (jeśli zbiornik ciekłego czynnika jest zamontowany zbyt nisko lub brak go w układzie).

Ciekły czynnik chłodniczy o wysokim ciśnieniu spływa pod działaniem siły ciężkości ze zbiornika do chłodnicy oleju, gdzie odparowuje, odbierając ciepło od oleju. Powstała para unosi się z powrotem do zbiornika, bądź w pewnych przypadkach jest kierowana do przewodu wlotowego do skraplacza. Ważne jest, aby spadek ciśnienia w przewodzie zasilającym i powrotnym był jak najmniejszy.

W przeciwnym przypadku, czynnik chłodniczy nie będzie powracać z chłodnicy oleju i układ nie będzie funkcjonował. Zainstalowana powinna być tylko minimalna liczba zaworów odcinających SVA. Niedozwolone jest wykorzystanie zaworów elektromagnetycznych serwo sterowanych. Zaleca się zainstalowanie włącznika przepływu MLI ⑥ w przewodzie powrotnym.

Temperatura oleju jest utrzymywana na właściwym poziomie dzięki pracy zaworu trójdrożnego ORV ①. Reguluje on temperaturę oleju w przedziale zależnym od elementu termostaticznego zaworu. Gdy temperatura oleju nadmiernie wzrośnie, cały jego strumień trafia do chłodnicy. Gdy zbyt nisko spadnie, przepływ oleju odbywa się przewodem obejściowym chłodnicy.

* Zawór regulacyjny REG może się okazać użyteczny w przypadku znacznie przewymiarowanej chłodnicy oleju.

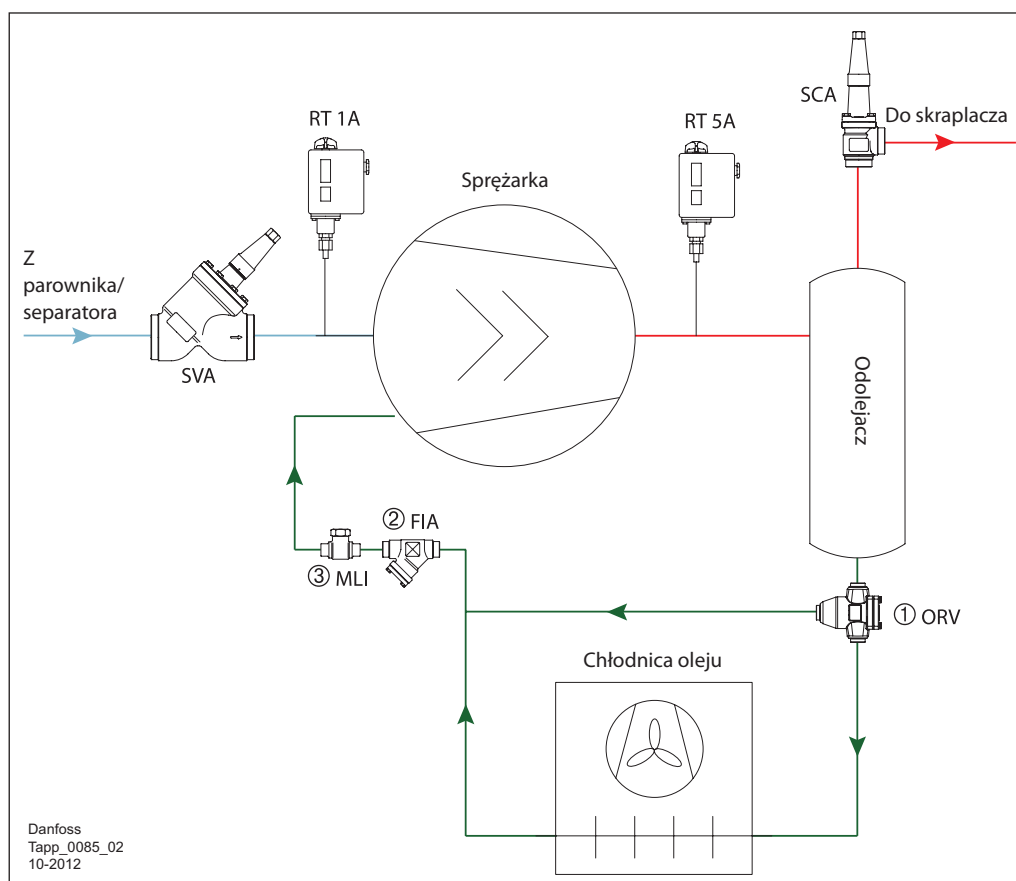
Dane techniczne

	Zawór regulacyjny oleju ORV
Materialy	Korpus: stal niskotemperaturowa
Fluy robocze	Wszystkie powszechnie używane oleje i czynniki chłodnicze, włącznie z R717
Maks. ciśnienie robocze [bar]	40
Zakres temperatury [°C]	Praca ciągła: -10 do 85 Praca krótkotrwała: -10 do 120
Średnica nominalna DN [mm]	25 do 80

Przykład zastosowania 6.1.3:
Chłodzenie oleju powietrzem

— Czynniki w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
— Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
— Olej

- ① Zawór do regulacji temperatury oleju
② Filtr siatkowy
③ Wziernik



Wraz z półhermetycznymi agregatami sprężarkowymi ze sprężarkami śrubowymi wykorzystuje się często chłodnice oleju chłodzone powietrzem.

W tym przypadku zawór ORV dzieli strumień oleju płynący z odolejacza, w zależności od zmian temperatury środka smarowego.

Temperatura oleju jest regulowana za pomocą zaworu ORV ①.

6.2 Regulacja ciśnienia oleju

W czasie normalnej pracy sprężarki chłodniczej cyrkulację oleju wymusza pompa olejowa lub różnica ciśnienia pomiędzy stroną wysoko- i niskociśnieniową. Najbardziej newralgicznym momentem jest rozruch sprężarki.

Niezwykle ważne jest szybkie wytworzenie odpowiedniego ciśnienia oleju, gdyż w przeciwnym przypadku sprężarka może ulec uszkodzeniu.

Istnieją dwa podstawowe sposoby szybkiego wytworzenia ciśnienia oleju w sprężarkach chłodniczych.

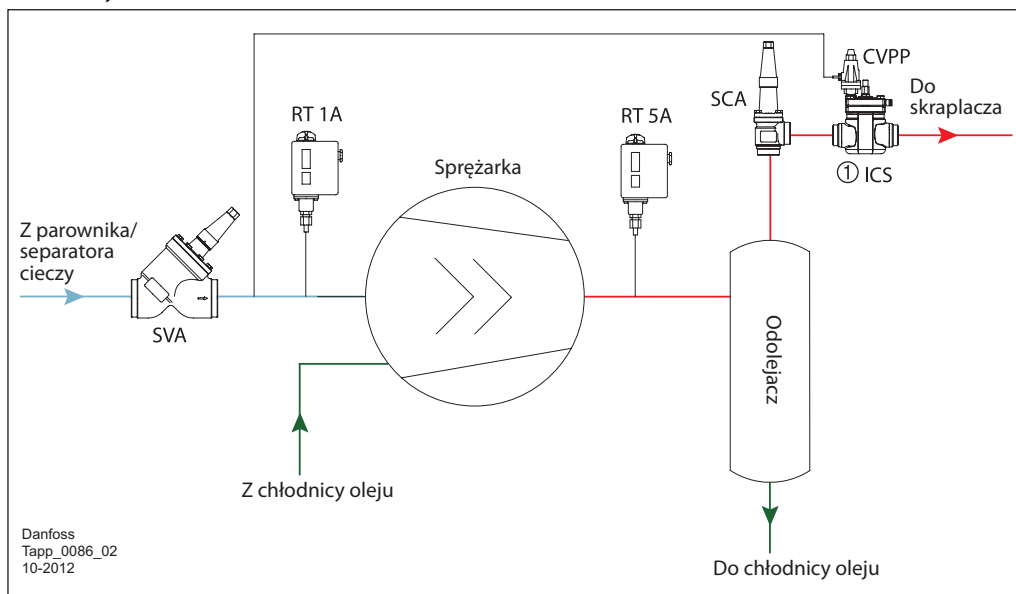
Pierwszym jest wykorzystanie zewnętrznej pompy olejowej, a drugi polega na zainstalowaniu zaworu regulacyjnego w przewodzie tłocznym, za odolejaczem.

W przypadku drugiej metody należy sprawdzić, czy wytwórca sprężarki dopuszcza kilkusekundową jej suchą pracę. Zwykle jest to możliwe dla sprężarek śrubowych z łożyskami tocznymi, lecz niedozwolone w przypadku łożysk ślizgowych.

Przykład zastosowania 6.2.1:
Regulacja ciśnienia oleju
z wykorzystaniem zaworów
ICS i CVPP

— Czynniki w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynniki w fazie gazowej
pod niskim ciśnieniem
— Olej

① Regulator różnicy ciśnień



W zaprezentowanym rozwiązaniu wykorzystuje się zawór serwowłokowy ICS ① sterowany zaworem pilotowym stałej różnicy ciśnień CVPP. Przewód sygnałowy zaworu pilotowego CVPP jest dołączony do przewodu ssawnego, na dopływie do sprężarki. W momencie rozruchu sprężarki zawór ICS ① pozostaje zamknięty.

Zasadniczą zaletą tego rozwiązania jest jego elastyczność, gdyż nadciśnienie oleju można wyregulować na miejscu, a zawór wykonawczy ICS może pełnić jeszcze inne funkcje, jeśli zostanie wyposażony w inne zawory pilotowe.

Ponieważ rurociąg tłoczny pomiędzy sprężarką i zaworem jest krótki, zadana różnica ciśnień ssanie/tłoczenie zostaje szybko uzyskana. Po krótkim czasie zawór otwiera się całkowicie, i sprężarka zaczyna pracować w normalnych warunkach.

Dane techniczne

	Zawór serwowłokowy ICS
Materiał	Korpus: stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane, włącznie z R717 i R744
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	52
Średnica nominalna DN [mm]	20 do 150
Wydajność nominalna* [kW]	20 do 4000

* Warunki: R717, przewód gorącej pary, T_{ciecz} = 30°C, P_{tłocz.} = 12 bar, ΔP = 0,2 bar, T_{tłocz.} = 80°C, T_e = -10°C

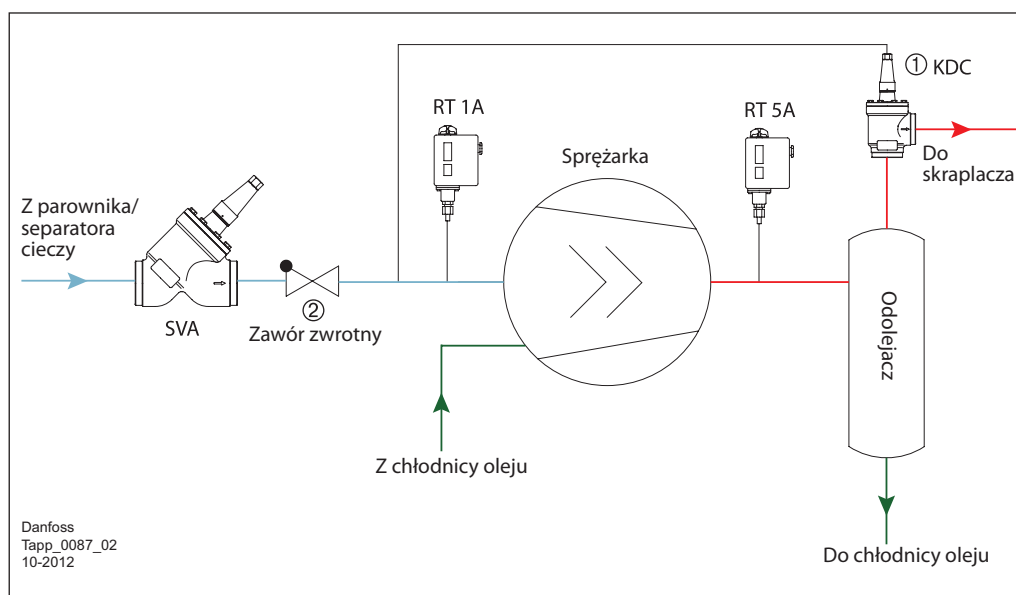
	Zawór pilotowy różnicy ciśnień CVPP
Materiał	Korpus: stal nierdzewna
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane, niepalne czynniki, w tym R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	CVPP (LP): 17 CVPP (HP): do 40
Zakres regulacji [bar]	CVPP (LP): 0 do 7 CVPP (HP): 0 do 22
Wartość K _v , m ³ /h	0,4

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 6.2.2:
Regulacja nadciśnienia oleju
z wykorzystaniem zaworu KDC

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Regulator różnicy ciśnień
- ② Zawór zwrotny (standardowo zamontowany w sprężarce)



Zasada działania prezentowanego rozwiązania jest taka sama, jak w przykładzie 6.2.1. Zawór wielofunkcyjny KDC ① pozostaje otwarty, dopóki różnica pomiędzy ciśnieniem panującym w odolejaczach i ciśnieniem w przewodzie ssawnym przekracza nastawioną wartość, a ciśnienie w odolejaczach jest jednocześnie wyższe niż ciśnienie skraplania.

Zawór KDC ① posiada pewne zalety, gdyż może pełnić funkcję zaworu zwrotnego (nie może zostać otwarty pod działaniem ciśnienia za zaworem) oraz powoduje mniejszy spadek ciśnienia w pozycji otwartej.

Jednakże zawór KDC ① posiada również kilka ograniczeń. Nie ma możliwości ingerowania w jego nastawę, a liczba możliwych nastaw różnicy ciśnienia jest ograniczona. Istnieje także konieczność zainstalowania zaworu zwrotnego ② w przewodzie ssawnym.

Jeśli zabraknie zaworu zwrotnego, w sprężarce może dojść do dużego, wstecznego przepływu czynnika z odolejacza. Niedopuszczalne jest instalowanie zaworu zwrotnego pomiędzy sprężarką, a odolejaczem, gdyż stałby się on przyczyną zbyt długiego czasu zamykania się zaworu KDC.

Dane techniczne

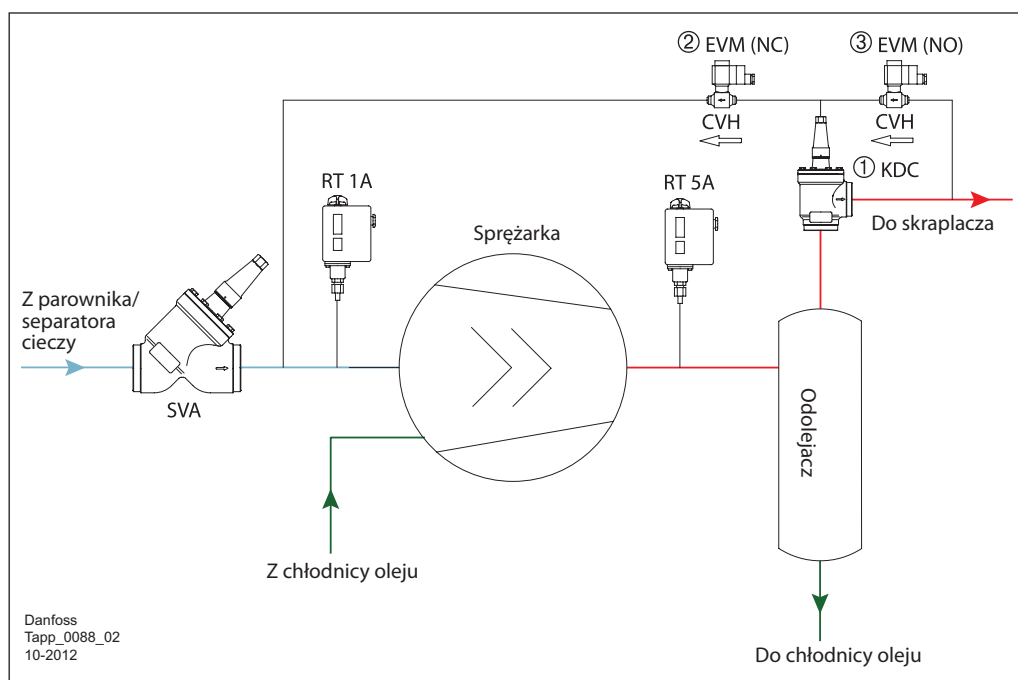
	Zawór wielofunkcyjny KDC
Material	Stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	40
Średnica nominalna DN [mm]	65 do 200
Wydajność nominalna* [kW]	435 do 4207

* Warunki: R717, +35°C/-15°C, ΔP = 0,05 bar

Przykład zastosowania 6.2.3:
Regulacja ciśnienia oleju
z wykorzystaniem zaworów
KDC i EVM

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór wielofunkcyjny
- ② Elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM (NC)
- ③ Elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM (NO)



Gdy nie ma możliwości zainstalowania zaworu zwrotnego w przewodzie ssawnym, albo zawór zwrotny znajduje się między sprężarką i odolejaczem, można wykorzystać zawór KDC ① zaopatrzony w elektromagnetyczne zawory pilotowe.

Zawory pilotowe muszą być zainstalowane w przewodach sygnałowych, z wykorzystaniem korpusów CVH. Podczas rozruchu sprężarki układ pracuje analogicznie jak w poprzednim przykładzie (6.2.2).

Gdy sprężarka zostaje zatrzymana, normalnie zamknięty elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM (NC) ② powinien zamknąć się, a normalnie otwarty zawór EVM (NO) ③ powinien się otworzyć. Następuje wyrównanie ciśnienia nad elementem sprężystym zaworu KDC i jego zamknięcie.

Należy zwrócić uwagę na kierunek przepływu czynnika przez korpusy CVH zaworów pilotowych EVM.

6.3

Układ powrotu oleju

W przemysłowych amoniakalnych instalacjach chłodniczych sprężarki są jedynymi urządzeniami, które wymagają smarowania. Z tego względu stosuje się odolejacz sprężarki, którego funkcją jest zapobieganie przenikaniu oleju do układu chłodniczego.

Jednakże, olej zawsze przedostaje się z odolejacza do instalacji i zalega po stronie niskiego ciśnienia w oddzielaczach cieczy i w parownikach, obniżając ich wydajność.

Jeśli zbyt dużo oleju opuści sprężarkę i migruje do instalacji, poziom oleju w sprężarce może

opasać poniżej wartości określonej przez producenta sprężarek. Układy powrotu oleju są stosowane głównie z czynnikami chłodniczymi, które mogą mieszać się z olejem, np. HFC/HCFC. Układ powrotu oleju może mieć zatem dwie funkcje:

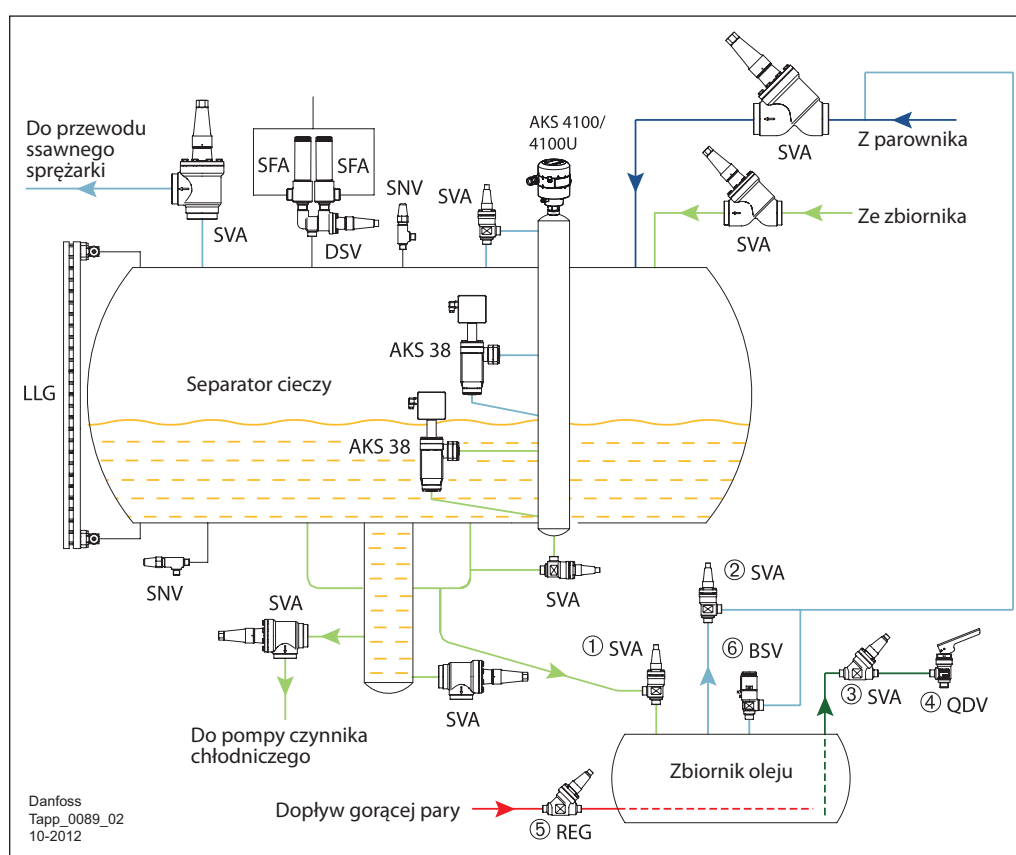
- Usunąć olej z niskociśnieniowej części układu
- Doprowadzić go z powrotem do sprężarki

Należy zwrócić uwagę, że olej znajdujący się w aparatach po strony niskociśnieniowej amoniakalnych instalacji chłodniczych powinien być usunięty i nie nadaje się do ponownego użytku.

Przykład zastosowania 6.3.1:
Powrót oleju w układach amoniakalnych

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór odcinający
- ② Zawór odcinający
- ③ Zawór odcinający
- ④ Szybko zamykający się zawór spustu oleju
- ⑤ Zawór regulacyjny
- ⑥ Zawór bezpieczeństwa



W urządzeniach amoniakalnych wykorzystuje się olej nierozpuszczalny i cięższy od ciekłego amoniaku. Wobec tego, zbiera się on na dnie oddzielacza cieczy i nie jest w stanie powrócić do sprężarki przewodem ssawnym.

Z tego względu, olej w układach amoniakalnych jest zwykle odprowadzany z oddzielacza cieczy do zbiornika oleju. Rozwiązanie to ułatwia oddzielenie oleju od amoniaku.

Aby dokonać spustu oleju, należy zamknąć zawory odcinające ① i ② oraz udrożnić przewód gorących par, umożliwiając ich dopływ do zbiornika oleju, w celu podniesienia w nim ciśnienia i temperatury.

Następnie należy spuścić olej przez szybko zamykający zawór spustowy QDV ④, który może się szybko zamknąć, gdy tylko cały olej zostanie odprowadzony ze zbiornika i z zaworu zacznie się wydostawać amoniak.

Miedzy zbiornikiem oleju i zaworem QDV musi być zainstalowany zawór odcinający SVA ③. Powinien on być otwarty przed spustem oleju i zamknięty zaraz po tej operacji.

Podczas spustu oleju z instalacji amoniakalnych należy przedsięwziąć odpowiednie środki ostrożności.

Dane techniczne

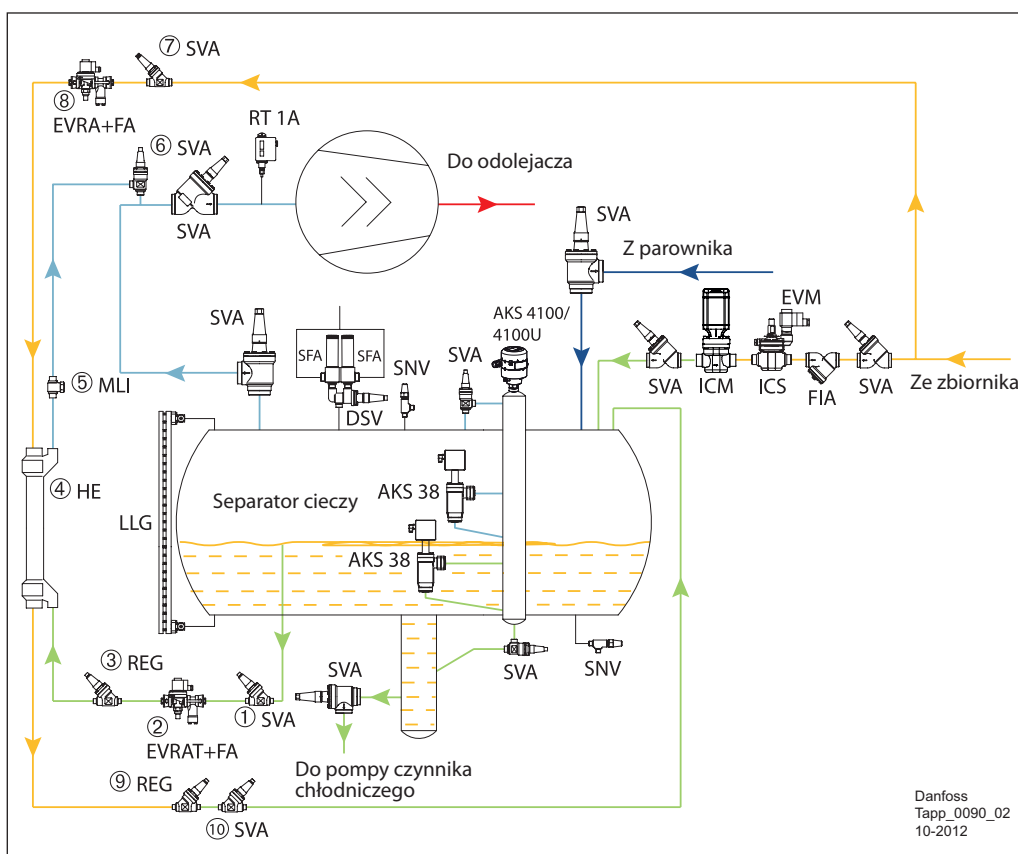
	Szybko zamykający się zawór spustu oleju QDV
Materiał	Korpus: stal
Czynniki chłodnicze	Typowe oleje dla R717 i wszystkich powszechnych, niepalnych czynników
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	40
Średnica nominalna DN [mm]	15

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 6.3.2:
Powrót oleju w układach
z czynnikami syntetycznymi

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający
- ② Zawór elektromagnetyczny
- ③ Zawór regulacyjny
- ④ Wymiennik ciepła
- ⑤ Wziernik
- ⑥ Zawór odcinający
- ⑦ Zawór odcinający
- ⑧ Zawór elektromagnetyczny
- ⑨ Zawór regulacyjny
- ⑩ Zawór odcinający



Danfoss
Tapp_0090_02
10-2012

Czynniki syntetyczne najczęściej pracują z olejami rozpuszczalnymi. W przypadku układów z dobrze zaprojektowaną siecią przewodów (pochylenie rurociągów, syfony olejowe itp.), nie ma potrzeby spuszczać oleju, gdyż wraca on do sprężarki wraz z parą czynnika.

Jednakże w układach niskotemperaturowych, olej może się zbierać w elementach układu po stronie niskiego ciśnienia. W porównaniu z typowymi czynnikami syntetycznymi, olej jest substancją lżejszą, a przez to nie ma możliwości tak łatwego jego drenażu, jak w instalacjach amoniakalnych.

Olej zbiera się na powierzchni ciekłego czynnika, na wysokości zależnej od bieżącego poziomu cieczy.

W prezentowanym układzie, czynnik chłodniczy spływa z oddzielacza cieczy do wymiennika ciepła HE ④ pod działaniem siły ciężkości.

W wymienniku czynnik o niskim ciśnieniu jest ogrzewany przez wysokociśnieniową cieć i odparowuje.

Para czynnika zmieszana ze środkiem smarnym płynie do przewodu ssawnego. Pobór czynnika z oddzielacza cieczy odbywa się z poziomu roboczego.

Zawór regulacyjny REG ③ musi być nastawiony tak, aby we wzierniku MLI ⑤ nie pojawiały się krople ciekłego czynnika chłodniczego. W roli wymiennika ciepła można wykorzystać wymiennik HE firmy Danfoss.

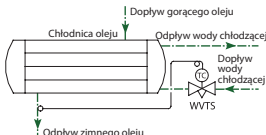
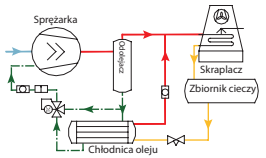
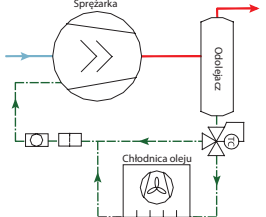
Czynnik chłodniczy może też być pobierany z przewodów tłocznych pomp. W tym przypadku nie ma potrzeby zwracania uwagi na roboczy poziom czynnika.

Dane techniczne

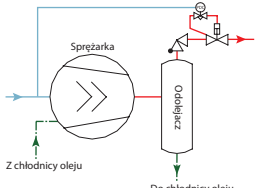
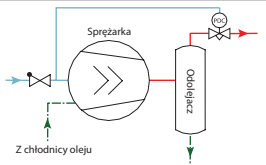
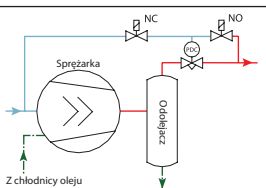
	Wymiennik ciepła HE
Czynniki chłodnicze	Wszystkie czynniki syntetyczne
Zakres temperatury medium [°C]	-60 do 120
Maks. ciśnienie robocze [bar]	HE0,5, 1,0, 1,5, 4,0: 28 HE8,0: 21,5
Średnica nominalna DN [mm]	Przewód cieczowy: 6 do 16 Przewód ssawny: 12 do 42

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

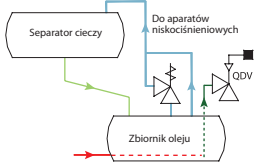
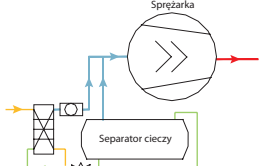
6.4 Podsumowanie

Rozwiązanie		Zastosowanie	Zalety	Ograniczenia
Układy chłodzenia oleju				
Chłodzenie wodne, zawór wodny WVTS		Instalacje okrętowe, urządzenia z dostępem do taniego źródła zimnej wody.	Prostota i efektywność	Możliwy duży koszt, wymagana osobna instalacja wodna.
Chłodzenie termosyfonowe, zawór ORV		Wszystkie rodzaje urządzeń chłodniczych	Chłodzenie oleju odbywa się za pomocą czynnika, bez uszczerbku dla efektywności pracy układu.	Wymagane są dodatkowe przewody oraz zbiornik cieczy po stronie wysokiego ciśnienia, umieszczony na konkretnej wysokości.
Chłodzenie powietrzne, zawór ORV		Handlowe urządzenia chłodnicze o dużej wydajności, wyposażone w zespoły sprężarkowe.	Prostota, brak dodatkowych przewodów, brak potrzeby doprowadzenia wody.	Możliwe duże wahania temperatury oleju w różnych porach roku, chłodnica oleju może się okazać zbyt wielka w przypadku dużych urządzeń.

Regulacja ciśnienia oleju

ICS + CVPP		Sprężarki śrubowe (wymagana akceptacja wytwórcy)	Elastyczność, możliwe różne nastawy.	Wymagana instalacja zaworu zwrotnego
KDC			Zawór zwrotny w przewodzie tłocznym nie jest wymagany, mniejszy spadek ciśnienia niż dla ICS	Wymagany zawór zwrotny w przewodzie ssawnym, brak możliwości zmiany nastawy.
KDC+EVM			Jak powyżej, przy czym nie ma konieczności instalacji zaworu zwrotnego w przewodzie ssawnym.	Wymagane dodatkowe przewody, brak możliwości zmiany nastawy.

Układy powrotu oleju

Spust oleju z instalacji amoniakalnych, QDV		Urządzenia amoniakalne	Prostota i bezpieczeństwo	Wymagana obsługa ręczna
Powrót oleju w układach z czynnikami syntetycznymi, wymiennik HE		Niskotemperaturowe urządzenia z syntetycznymi czynnikami chłodniczymi	Brak konieczności ręcznej obsługi	Regulacja układu może być kłopotliwa

6.5

Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy
BSV	PD.IC0.A
CVPP	PD.HN0.A
EVM	PD.HN0.A
FIA	PD.FN0.A
HE	PD.FD0.A
ICS	PD.HS2.A
KDC	PD.FQ0.A

Typ	Materiał źródłowy
MLI	PD.GH0.A
ORV	PD.HP0.B
QDV	PD.KL0.A
REG	PD.KM1.A
SVA	PD.KD1.A

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy
BSV	PI.IC0.A
CVPP	PI.HN0.C
EVM	PI.HN0.N
FIA	PI.FN0.A
HE	PI.FD0.A
ICS 25-65	PI.HS0.A
ICS 100-150	PI.HS0.B
KDC	PI.FQ0.A

Typ	Materiał źródłowy
MLI	PI.GH0.A
ORV	PI.HP0.A
QDV	PI.KL0.A
REG	PI.KM1.A
SVA	PI.KD1.A

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

7. Układy zabezpieczające

Wszystkie przemysłowe instalacje chłodnicze są wyposażone w różnorodne układy zabezpieczające, zapobiegające zaistnieniu niebezpiecznych warunków pracy, jak na przykład wystąpieniu zbyt wysokiego ciśnienia. Należy zapobiegać każdemu, dającemu się przewidzieć, nadmiernemu wzrostowi ciśnienia w układzie, zapobiegając mu lub likwidując tę nadwyżkę przy jak najmniejszym zagrożeniu dla ludzi, instalacji i środowiska.

Wymagania wobec układów zabezpieczających są ściśle narzucone przez odpowiednie władze. Z tego względu, w poszczególnych krajach należy zweryfikować parametry tych systemów w świetle lokalnego prawa.

Urządzenie upustowe, np. zawór bezpieczeństwa, ma za zadanie automatycznie zlikwidować nadwyżkę ciśnienia zanim osiągnie dopuszczalny poziom i zamknąć się, gdy ciśnienie spadnie do bezpiecznego poziomu.

Wyłącznik temperaturowy jest urządzeniem działającym w zależności od mierzonej temperatury, mającym zapobiegać zaistnieniu

niebezpiecznego poziomu temperatury, przez awaryjne wyłączenie układu lub jego części.

Wyłącznik ciśnieniowy jest urządzeniem chroniącym przed nadmiernym wzrostem lub spadkiem ciśnienia, przywracającym automatycznie pracę układu po ustąpieniu niebezpiecznych warunków.

Ciśnieniowy wyłącznik bezpieczeństwa

Ciśnieniowy wyłącznik bezpieczeństwa reaguje na przekroczenie niebezpiecznego poziomu ciśnienia, a powrót układu do pracy staje się możliwy po ręcznym zwolnieniu blokady.

Wyłącznik zależny od poziomu cieczy zapobiega wystąpieniu niebezpiecznego poziomu czynnika, reagując na bieżące jego zmiany.

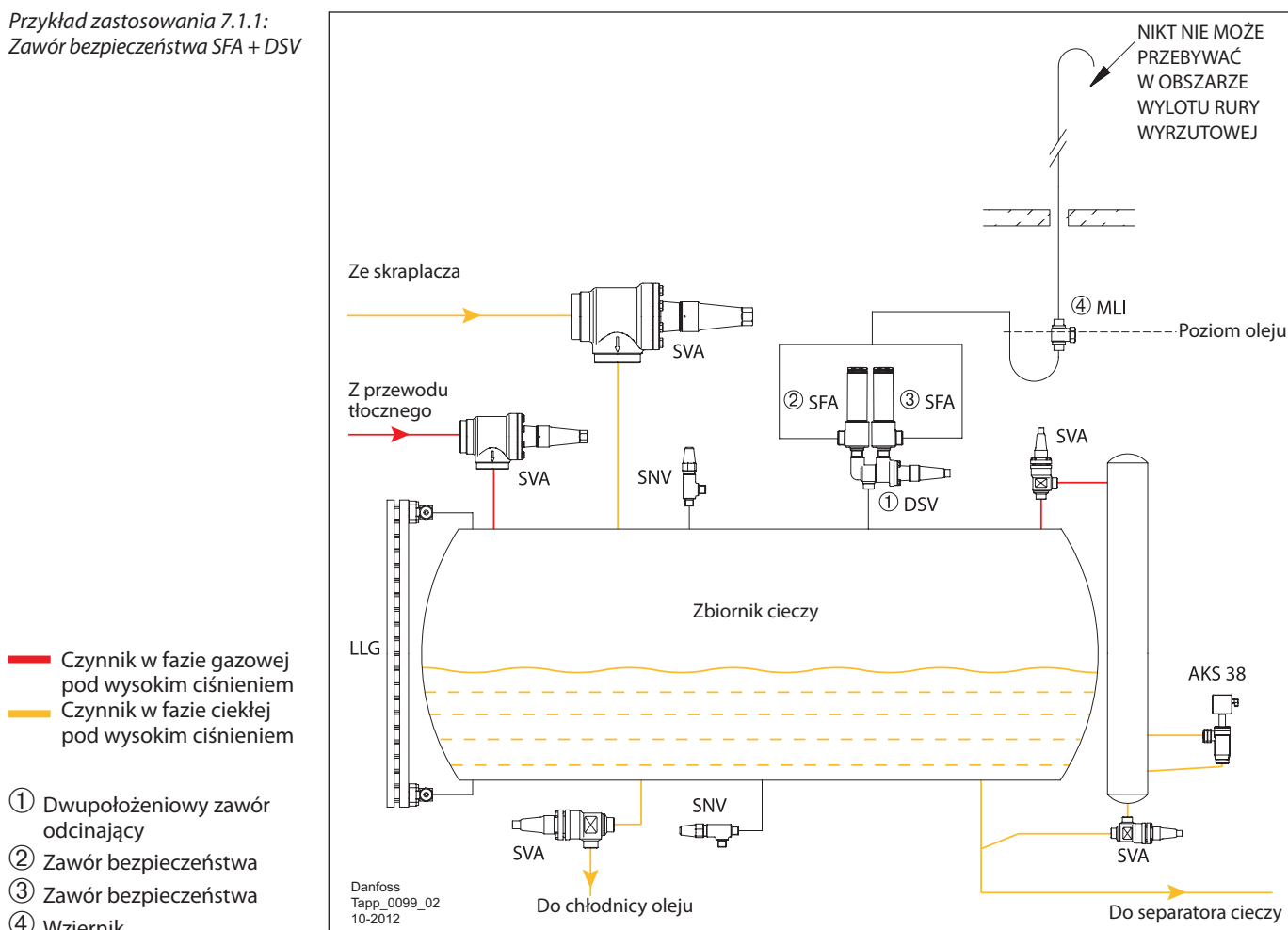
Detektor czynnika chłodniczego, to urządzenie, które ma zadziałać po zarejestrowaniu nastawionej wartości stężenia czynnika w otoczeniu. Firma Danfoss produkuje detektory czynnika typu GD — więcej informacji znajduje się w odpowiednim poradniku.

7.1 Zawory bezpieczeństwa

Zawory bezpieczeństwa instaluje się w celu uniknięcia wzrostu ciśnienia ponad poziom dopuszczalny dla poszczególnych podzespołów układu, jak i dla instalacji w całości. W przypadku zaistnienia zbyt wysokiego ciśnienia, zawory bezpieczeństwa wyrzucają czynnik chłodniczy z układu.

Zasadniczymi parametrami zaworów bezpieczeństwa są ciśnienie otwarcia i ciśnienie zamknięcia. Normalnie, ciśnienie podczas otwarcia nie powinno przekraczać nastawionego ciśnienia więcej niż o 10%. Ponadto, jeśli zawór bezpieczeństwa się nie zamknie, bądź zostanie zamknięty przy zbyt niskim ciśnieniu, to nastąpić może znaczny ubytek czynnika w obiegu chłodniczym.

Przykład zastosowania 7.1.1:
Zawór bezpieczeństwa SFA + DSV



Zawory bezpieczeństwa powinny być zainstalowane na wszystkich aparatach typu zbiornikowego oraz na sprężarkach.

Zwykle, znajdują tu zastosowanie zawory SFA, działające w zależności od ciśnienia wylotowego. Zawory bezpieczeństwa powinny być instalowane wraz z zaworem dwupołożeniowym DSV ①, aby możliwa była obsługa techniczna jednego zaworu, podczas normalnej pracy drugiego.

Zawory bezpieczeństwa powinny być instalowane blisko elementów, które mają chronić. W celu umożliwienia kontroli, czy zadziałał zawór bezpieczeństwa, należy w przewodzie wylotowym za zaworem wykonać syfon napełniony olejem i zakończony wziernikiem MLI ④.

Uwaga: W niektórych krajach wykonanie syfonu w tym miejscu jest niedozwolone.

Rurociąg wylotowy powinien być tak poprowadzony, aby nie narażać ludzi na kontakt z upuszczanym do atmosfery czynnikiem chłodniczym.

Spadek ciśnienia w rurociągu wylotowym przed zaworem bezpieczeństwa jest ważny dla funkcjonowania zaworu. Zaleca się sprawdzenie wymagań normatywnych dotyczących wymiarowania tego typu rurociągów.

Dane techniczne

	Nadmiarowy zawór bezpieczeństwa SFA 15 (zależny od ciśnienia wylotowego)
<i>Materiał</i>	Korpus: specjalna stal niskotemperaturowa
<i>Czynniki chłodnicze</i>	R717, R744, HFC, HCFC, inne (w zależności od kompatybilności materiałów uszczelnienia)
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-30 do 100
<i>Powierzchnia przepływu [mm²]</i>	133
<i>Nastawa ciśnienia [bar]</i>	10 do 40

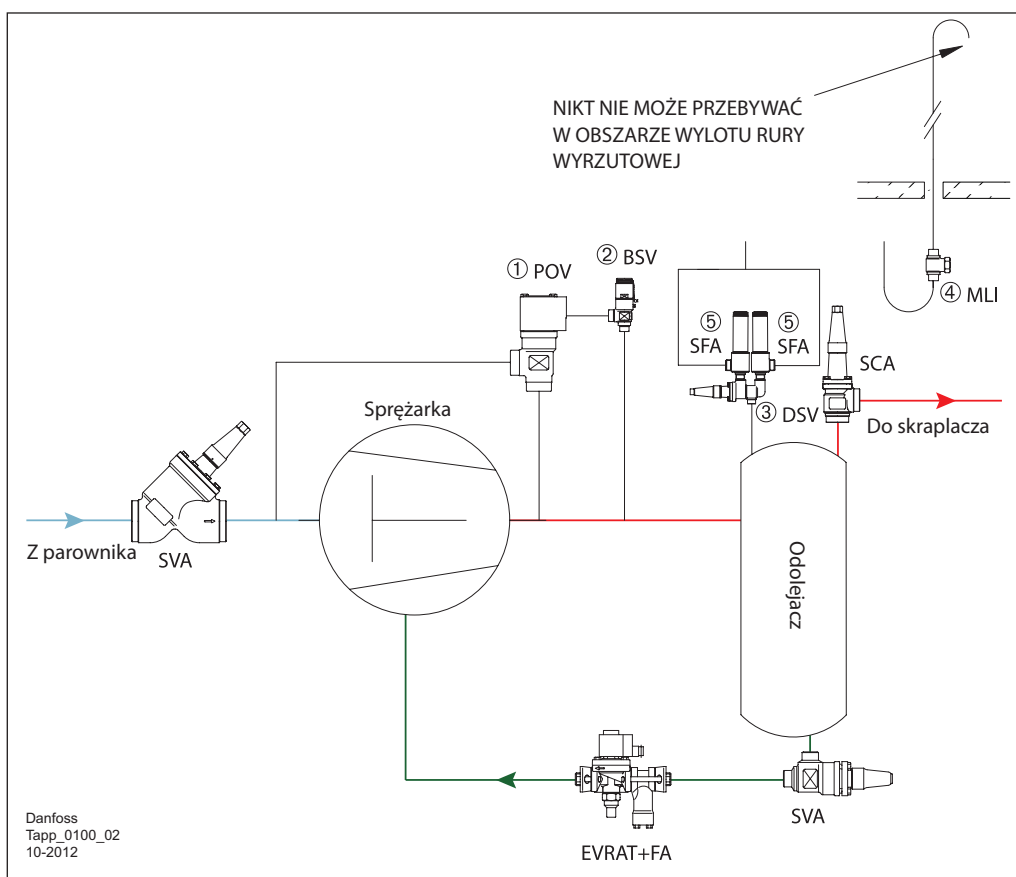
	Nadmiarowy zawór bezpieczeństwa SFV 20–25 (zależny od ciśnienia wylotowego)
<i>Materiał</i>	Korpus: specjalna stal niskotemperaturowa
<i>Czynniki chłodnicze</i>	R717, R744, HFC, HCFC, inne (w zależności od kompatybilności z materiałem uszczelki)
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-30 do 100
<i>Powierzchnia przepływu [mm²]</i>	SFV 20: 254 / SFV 25: 415
<i>Nastawa ciśnienia [bar]</i>	10 do 25

	Podwójny zawór odcinający DSV 1/2
<i>Materiał</i>	Korpus: specjalna stal niskotemperaturowa
<i>Czynniki chłodnicze</i>	Wszystkie powszechnie używane, niepalne czynniki, w tym R717
<i>Zakres temperatury medium [°C]</i>	-50 do 100
<i>Maksymalne ciśnienie pracy [bar]</i>	40
<i>Wartość K_v [m³/h]</i>	DSV 1: 17,5 DSV 2: 30

Przykład zastosowania
7.1.2: Wewnętrzne zawory bezpieczeństwa BSV i POV

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa sterowany zaworem pilotowym
- ② Upustowy zawór bezpieczeństwa
- ③ Dwupołożeniowy zawór odcinający
- ④ Wziernik
- ⑤ Zawór bezpieczeństwa



W roli wewnętrznych zaworów bezpieczeństwa, przepuszczających czynnik chłodniczy ze strony wysokiego ciśnienia na stronę niskociśnieniową, zastosowanie znajdują tylko zawory działające niezależnie od ciśnienia wylotowego (typu BSV i POV).

Zawór BSV ② może pełnić funkcję wewnętrznego zaworu bezpieczeństwa bezpośredniego działania w układach o małej wydajności, lub może być zaworem pilotowym dla zaworu głównego POV ①. Gdy ciśnienie tłoczenia przekroczy nastawioną wartość, zawór pilotowy BSV wymusi otwarcie zaworu POV, powodując upust pary o wysokim ciśnieniu na stronę niskociśnieniową.

Wewnętrzne zawory bezpieczeństwa o działaniu niezależnym od ciśnienia za zaworem instaluje się bez zaworu dwupołożeniowego. Jeśli zaistnieje konieczność wymiany lub regulacji tych zaworów, należy zatrzymać sprężarkę.

Jeśli w przewodzie tłocznym za odolejaczem zainstalowano zawór odcinający, to trzeba zapewnić ochronę odolejacza i sprężarki przed nadmiernym wzrostem ciśnienia, spowodowanym napływem ciepła z zewnątrz lub na skutek sprężania.

Taką ochronę można zrealizować z wykorzystaniem standardowych zaworów bezpieczeństwa SFA ⑤ zainstalowanych wraz z zaworem dwupołożeniowym DSV ③.

Dane techniczne

	Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa BSV (niezależny od ciśnienia wylotowego)
Materiał	Korpus: specjalna stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	R717, R744, HFC, HCFC, inne (w zależności od kompatybilności materiałowej)
Zakres temperatury medium [°C]	Zawór bezpośredniego działania: -30 do 100 Zawór pilotowy dla zaworu POV: -50 do 100
Nastawa ciśnienia [bar]	10 do 25
Powierzchnia przepływu [mm ²]	50

	Wewnętrzny serwo sterowany zawór bezpieczeństwa POV
Materiał	Korpus: stal
Czynniki chłodnicze	R717, HFC, HCFC, inne (w zależności od kompatybilności materiałowej)
Zakres temperatury medium [°C]	Zawór pilotowy dla POV: -50 do 150
Nastawa ciśnienia [bar]	15 do 25
Powierzchnia przepływu [mm ²]	POV 600: 835 POV 1050: 1244 POV 2150: 2734
Średnica nominalna DN [mm]	40/50/80

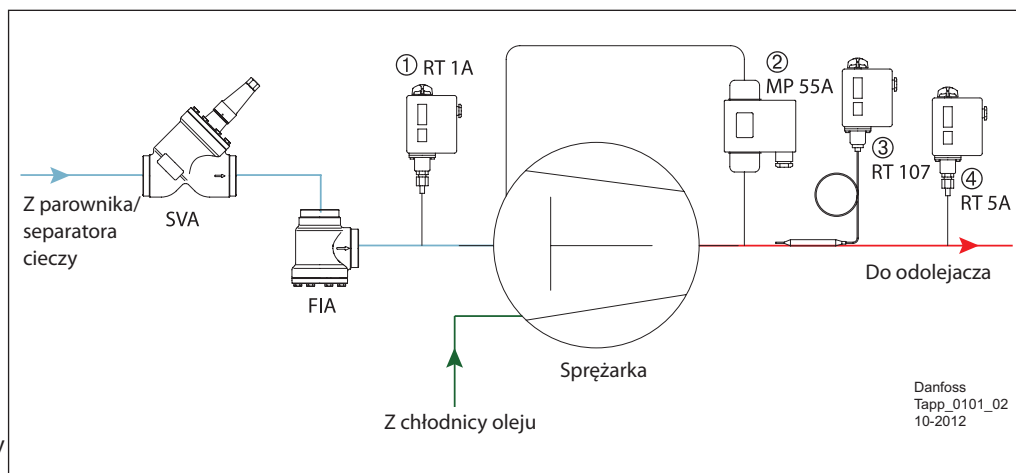
Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

7.2 Wyłączniki ciśnieniowe i temperaturowe

Przykład zastosowania 7.2.1:
Ciśnieniowe i temperaturowe
wyłączniki sprężarki

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Wyłącznik niskiego ciśnienia
- ② Wyłącznik małej różnicy ciśnień
- ③ Wyłącznik wysokiej temperatury
- ④ Wyłącznik wysokiego ciśnienia



Wyłączniki KP i RT chronią sprężarkę przed wystąpieniem zbyt wysokiego ciśnienia i temperatury tłoczenia oraz zbyt niskiego ciśnienia ssania.

RT 1A ① jest presostatem niskiego ciśnienia, RT 5A ④ presostatem wysokiego ciśnienia, a RT 107 ③ termostatem.

Nastawa presostatów wysokiego ciśnienia powinna być niższa od nastawy zaworów bezpieczeństwa zainstalowanych na stronie wysokociśnieniowej. Nastawę presostatu

niskiego ciśnienia określa producent sprężarki. W przypadku sprężarek tłokowych zastosowanie znajduje presostat różnicowy ciśnienia oleju MP 54/55 ②, którego zadaniem jest zatrzymanie sprężarki, gdy nadciśnienie oleju będzie zbyt niskie.

Presostat różnicowy wyłącza sprężarkę, jeśli nie wytworzy ona odpowiedniego nadciśnienia oleju po upływie określonego czasu rozruchu (0-120 s).

Dane techniczne

	Termostat RT
Czynniki chłodnicze	R717 i czynniki syntetyczne
Obudowa	IP 66/54
Maksymalna temperatura czujnika [°C]	65 do 300
Temperatura otoczenia [°C]	-50 do 70
Zakres regulacji [°C]	-60 do 150
Różnica łączna [°C]	1,0 do 25,0

	Presostat różnicowy MP 54/55/55A
Czynniki chłodnicze	MP 54/55: czynniki syntetyczne MP 55A: R717
Obudowa	IP 20
Zakres regulacji ΔP [bar]	MP 54: 0,65/0,9 MP 55/55A: 0,3 do 4,5
Maks. ciśnienie robocze [bar]	17
Maks. ciśnienie próbne [bar]	22
Zakres pracy po stronie niskiego ciśnienia [bar]	-1 do 12

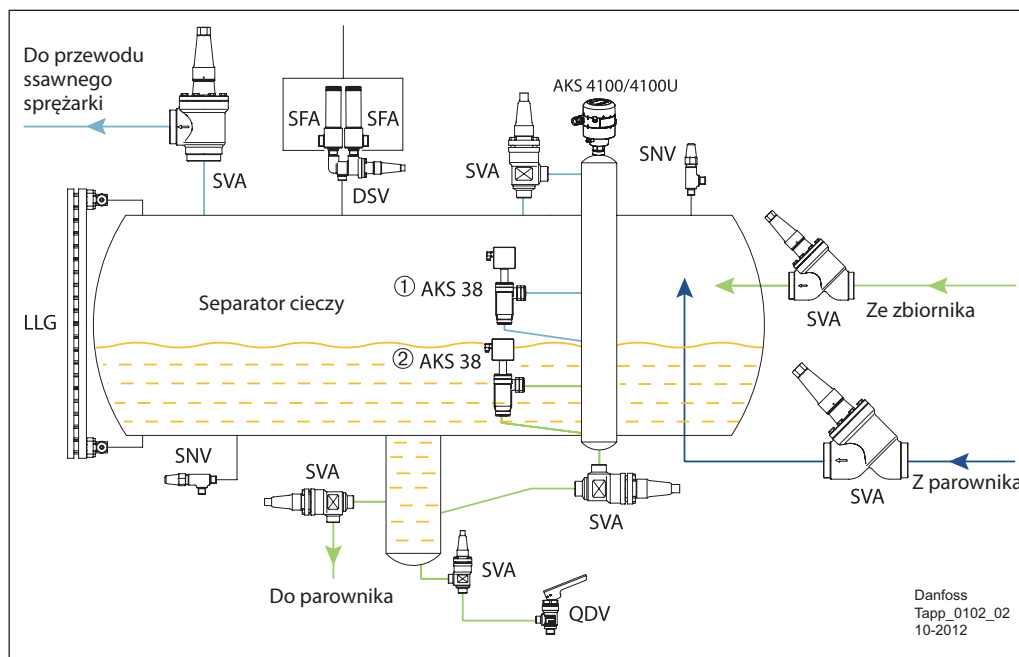
7.3

Wyłączniki zależne od poziomu cieczy

Przykład zastosowania 7.3.1:
Wyłączniki pływakowe niskiego i wysokiego poziomu w oddzielaczu cieczy

- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

- ① Wyłącznik wysokiego poziomu
- ② Wyłącznik niskiego poziomu



Aparaty typu zbiornikowego, znajdujące się po stronie wysokiego i niskiego ciśnienia posiadają różne wyłączniki poziomu cieczy.

Zbiorniki po stronie wysokiego ciśnienia muszą być wyposażone jedynie w wyłącznik niskiego poziomu cieczy (AKS 38), utrzymujący minimalny poziom czynnika, niezbędny do zasilania elementów rozprężnych.

Zainstalowany może też być poziomowskaz LLG, w celu umożliwienia wzrokowej kontroli poziomu ciekłego czynnika chłodniczego.

Zbiorniki po stronie niskiego ciśnienia posiadają zwykle wyłącznik niskiego, jak i wysokiego

poziomu cieczy. Wyłącznik niskiego poziomu ma za zadanie zapobiegać kawitacji w pompach.

Wyłącznik wysokiego poziomu cieczy instaluje się w celu ochrony sprężarki przed zassaniem par mokrych.

Powinien być również zainstalowany poziomowskaz LLG umożliwiający kontrolę wzrokową poziomu cieczy.

W przypadku poziomowskazów LLG w aparatach niskociśnieniowych może być konieczne zainstalowanie adaptera wskaźnika, który umożliwi sprawdzanie poziomu pomimo obecności szronu na wskaźniku.

Dane techniczne

	Czujnik poziomu AKS 38
Materiał	Obudowa: żeliwo chromianowe
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe niepalne czynniki, w tym R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 65
Maks. ciśnienie robocze [bar]	28
Zakres pomiarowy [mm]	12,5 do 50

	Poziomowskaz LLG
Czynniki chłodnicze	Wszystkie typowe niepalne czynniki, w tym R717
Zakres temperatury medium [°C]	-10 do 100 albo -50 do 30
Maks. ciśnienie robocze [bar]	25
Długość [mm]	185 do 1550

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

**7.4
Detektory gazu**

Urządzenia do wykrywania gazu są zazwyczaj stosowane w instalacjach stacjonarnych, w których montuje się szereg czujników w obszarach, gdzie istnieje niebezpieczeństwo gromadzenia się czynnika chłodzącego w przypadku wycieku z układu.

Są to miejsca uzależnione od układu maszynowni i obszarów przyległych, a także od konfiguracji systemu i zastosowanego czynnika chłodzącego.

Przed przystąpieniem do wyboru odpowiedniego detektora należy rozważyć kilka kwestii:

Jakie gazy muszą być wykrywane i w jakich stężeniach?
Jaka metoda detekcji jest najbardziej odpowiednia?

Ile czujników jest wymaganych? Jak należy je umiejscowić i skalibrować?
Jakie wartości graniczne alarmów będą odpowiednie? Ile wartości granicznych jest wymaganych? Jak informacje o alarmach mają być przetwarzane?

**7.4.1
Technologia wykrywania**

Firma Danfoss wybrała dla docelowych gazów chłodniczych najbardziej odpowiednie czujniki, z uwzględnieniem rodzaju czynnika i wymaganej rzeczywistej wartości ppm.

Jaki czujnik jest odpowiedni dla określonego czynnika chłodniczego?

	Półprzewodnik	Elektrochemiczne	Katalityczne	Podczerwień
„Niskie” stężenie amoniaku (< 100 ppm)	–	✓	–	–
„Średnie” stężenie amoniaku (< 1000 ppm) ¹⁾	(✓)	✓	–	(✓)
„Wysokie” stężenie amoniaku (< 10 000 ppm)	✓	–	✓	(✓)
„Bardzo wysokie” stężenie amoniaku (> 10 000 ppm)	–	–	✓	(✓)
Dwutlenek węgla CO ₂	–	–	–	✓
HC Węglowodory	(✓)	–	✓	(✓)
HCFC - HFC Halony	✓	–	–	(✓)
✓ Najlepsze rozwiązanie (✓) Odpowiednie, ale mniej skuteczne – Nieodpowiednie				

¹⁾ Zakres pomiarowy 0–1000 ppm. Możliwość dostosowania w całym zakresie.

7.4.2

Konieczność wykrywania gazu

Wykrywanie obecności gazu jest konieczne z wielu różnych powodów. Obowiązujące przepisy to oczywiście bardzo istotny argument, ale są to także:

- niższe koszty serwisowania (koszt gazu na wymianę i wezwanie serwisu),
- niższe zużycie energii w wyniku braku czynnika chłodniczego,
- ryzyko uszkodzenia zmagazynowanych produktów w wyniku znacznego wycieku,
- potencjalnie niższe koszty ubezpieczenia,
- opodatkowanie urządzeń chłodniczych nieprzyjaznych środowisku,
- różne aplikacje chłodnicze wymagają wykrywania gazu z innych powodów.

Amoniak jest sklasyfikowany jako substancja toksyczna o bardzo charakterystycznym zapachu i w związku z tym jest „samoalarmująca”. Jednak detektory gazu są niezbędne w maszynowniach, ponieważ pracownicy często nie są obecni w tych miejscach i nie mogą podejmować wymaganych czynności. Co więcej amoniak jest jedynym powszechnie stosowanym czynnikiem lżejszym od powietrza.

Węglowodory są sklasyfikowane jako substancje łatwopalne. Jest zatem bardzo ważne, aby kontrolować, czy ich stężenie wokół układu chłodniczego nie przekracza granicy zapalności.

Czynniki syntetyczne wszystkich typów mają określony niekorzystny wpływ na środowisko. Jest zatem bardzo ważne, aby nie dopuszczać do ich wycieków.

CO₂ (dwutlenek węgla) jest bezpośrednio powiązany z procesem oddychania i z tego względu należy z nim odpowiednio postępować. W powietrzu występuje około 0,04% CO₂. Przy jego wyższych stężeniach ludzie zaczynają odczuwać dolegliwości, począwszy od przyspieszonego oddechu (o ok. 100% przy stężeniu 3% CO₂), a przy dalszym wzroście stężenia następuje utrata przytomności i śmierć przy stężeniach CO₂ przekraczających 10%.

Tlen — Czujniki niedoboru tlenu mogą być używane w niektórych aplikacjach, jednak nie znajdują się w ofercie firmy Danfoss i nie zostaną opisane w dalszej części tego przewodnika.

Uwaga: Czujników tlenu nie wolno stosować w instalacjach CO₂.

Przepisy i normy

W wielu krajach na całym świecie obowiązują odmienne wymagania względem wykrywania gazu.

7.5

Podsumowanie

Rozwiązanie		Zastosowanie
Zawory bezpieczeństwa		
Zawory bezpieczeństwa SFA + zawór dwupołożeniowy DSV		Ochrona zbiorników, sprężarek i wymienników ciepła przed nadmiernym wzrostem ciśnienia
Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa BSV + serwowsterowany zawór bezpieczeństwa POV		Ochrona sprężarek i pomp przed nadmiernym wzrostem ciśnienia
Wyłączniki ciśnienia i temperatury		
Wyłącznik ciśnienia: RT		Ochrona sprężarek przed zbyt wysokim ciśnieniem tłoczenia i zbyt niskim ciśnieniem ssania
Presostat różnicowy MP 55		Ochrona sprężarek tłokowych przed zbyt niskim nadciśnieniem oleju
Termostat RT		Ochrona sprężarek przed zbyt wysoką temperaturą tłoczenia
Wyłączniki poziomu cieczy		
Wyłącznik pływakowy AKS 38		Ochrona układu przed zbyt wysokim lub zbyt niskim poziomem ciekłego czynnika w zbiornikach
Poziomowskaz LLG		Wzrokowa kontrola poziomu cieczy w zbiornikach
Wykrywanie czynnika chłodniczego		
Czujniki gazu, GD		Wykrywanie obecności gazowego czynnika chłodniczego w atmosferze.

7.6

Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKS 38	PD.GD0.A	POV	PD.ID0.A
BSV	PD.IC0.A	RT 1A	PD.CB0.A
DSV	PD.IE0.A	RT 107	PD.CB0.A
LLG	PD.GG0.A	RT 5A	PD.CB0.A
MLI	PD.GH0.A	SFA	PD.IF0.A
MP 55 A	PD.CG0.B	GD	PD.S00.A

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKS 38	PI.GD0.A	POV	PI.ID0.A
BSV	PI.IC0.A	RT 1A	RI5BC
DSV	PI.IE0.A / PI.IE0.B1	RT 5A	RI5BC
LLG	PI.GG0.A	SFA	PI.IB0.A
MLI	PI.GH0.A	GD	PI.S00.A
MP 55 A	PI.CG0.E		

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

8. Regulacja pracy pomp czynnika chłodniczego

W przemysłowych układach chłodniczych występuje zwykle pompowe zasilanie parowników czynnikiem chłodniczym. Rozwiązanie to posiada następujące zalety w porównaniu do zasilania ciśnieniowego:

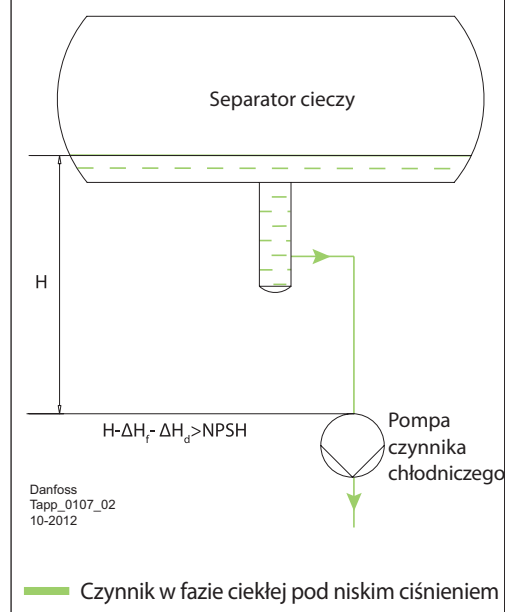
- Pompy zapewniają efektywne zasilanie parowników czynnikiem i powrót mieszaniny parowo-cieczowej do oddzielacza cieczy;
- Możliwe staje się obniżenie przegrzania niemal do zera w konsekwencji zwiększenie efektywności pracy parowników, bez ryzyka zassania ciekłego czynnika przez sprężarkę.

Projektując usytuowanie pompy czynnika chłodniczego należy ją zabezpieczyć przed kawitacją. Zjawisko to występuje tylko wtedy, gdy statyczne ciśnienie ciekłego czynnika na wlocie do pompy będzie niższe od ciśnienia nasycenia, odpowiadającego temperaturze cieczy w tym punkcie układu.

Z tego względu, wysokość słupa ciekłego czynnika H mierzona względem pompy powinna, co najmniej kompensować sumę spadku ciśnienia na skutek oporów przepływu ΔH_f w rurociągach i zaworach, spadku ciśnienia na wlocie do rurociągu ΔH_d oraz spadku ciśnienia na skutek przyspieszenia przepływu cieczy na wlocie do wirnika pompy ΔH_p (ciśnienie na ssaniu netto - NPSH), rys. 8.1.

Rys. 8.1

Położenie pompy



W celu zapewnienia bezawaryjnej pracy pompy, natężenie przepływu czynnika powinno mieścić się w dozwolonym zakresie roboczym, jak na rys. 8.2.

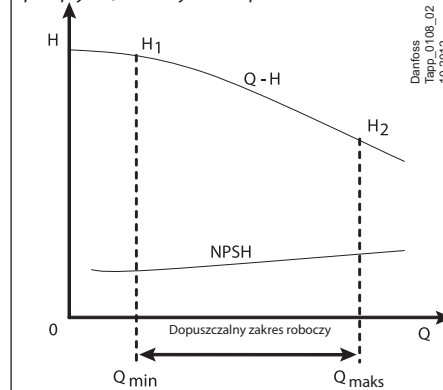
Jeśli natężenie przepływu będzie zbyt małe, ciepło wydzielane przez silnik może spowodować odparowanie części czynnika i w konsekwencji pracę pompy „na sucho” lub kawitację.

W przypadku zbyt dużego natężenia przepływu, ciśnienie na ssaniu netto (NPSH) nadmiernie spada, grożąc wystąpieniem kawitacji.

Dlatego układ pompowego zasilania parowników powinien być tak zaprojektowany, aby utrzymać natężenie przepływu ciekłego czynnika w dozwolonym zakresie roboczym.

Rys. 8.2

Typowa charakterystyka pompy: Q — natężenie przepływu, H — wysokość podnoszenia.



8.1 Zabezpieczenie pompy z wykorzystaniem presostatu różnicowego

Kawitacja może łatwo uszkodzić pompę. Aby uniknąć tego zjawiska, należy utrzymywać odpowiednią wysokość słupa cieczy przed pompą. W tym celu, oddzielacz cieczy wyposaża się w wyłącznik pływakowy niskiego poziomu cieczy AKS 38.

Jednakże nawet, jeśli wyłącznik pływakowy nie dopuszcza do nadmiernego obniżenia się poziomu ciekłego czynnika w oddzielaczu, ciągle istnieje groźba kawitacji.

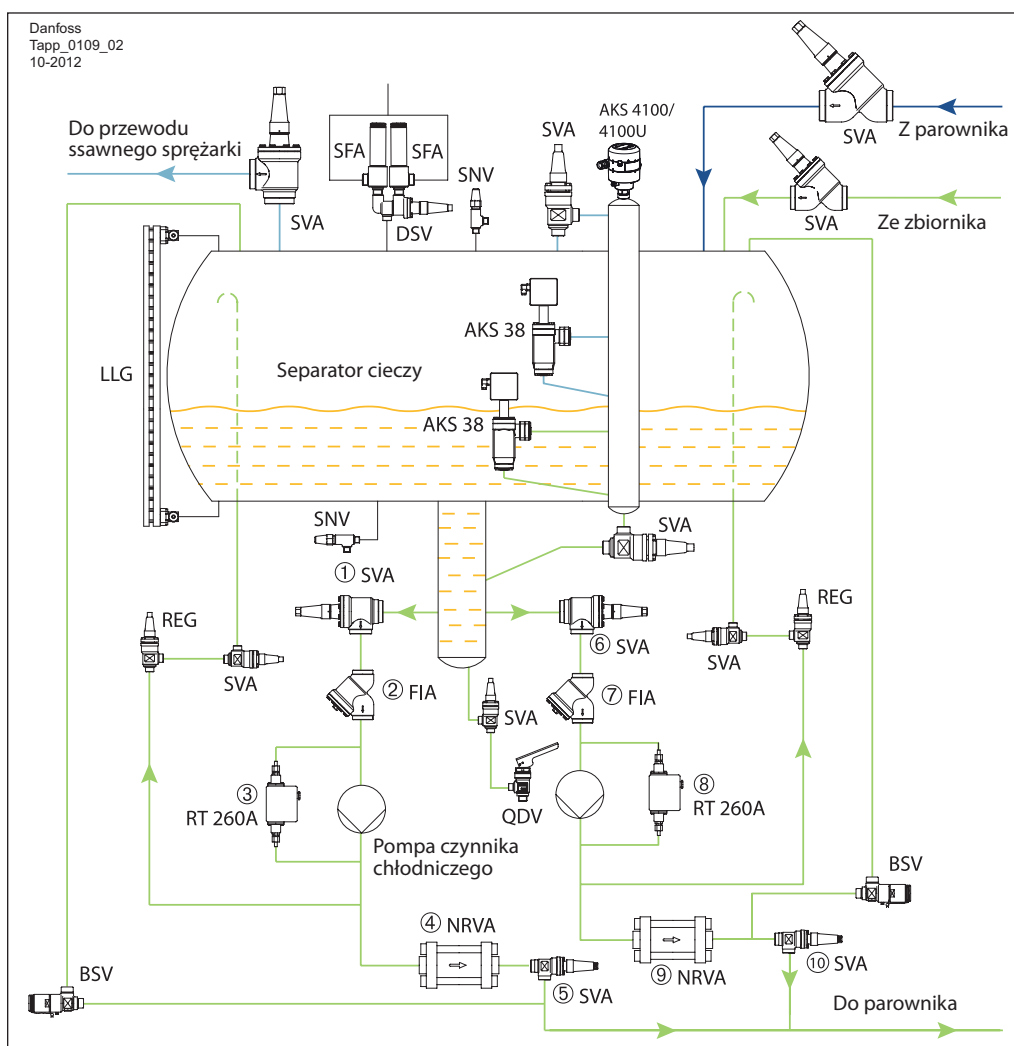
Na przykład, nieprawidłowa eksploatacja parownika może spowodować zwiększenie natężenia przepływu czynnika przez pompę, wyłącznik pływakowy może ulec uszkodzeniu, filtr na dopływie do pompy może ulec zabrudzeniu itp.

Wszystkie te przypadki mogą prowadzić do wystąpienia kawitacji w pompie. Dlatego, konieczne jest wyłączenie pompy, gdy tylko różnica ciśnienia na tłoczeniu i na ssaniu spadnie poniżej wartości odpowiadającej maksymalnemu dopuszczalnemu natężeniu przepływu Q_{maks} (H_2 na rys.8.2).

Przykład zastosowania 8.1.1:
Zabezpieczenie pompy
z wykorzystaniem presostatu
różnicowego RT 260A

■ Mieszanka cieczy i pary
■ Czynnik w fazie gazowej
pod niskim ciśnieniem
■ Czynnik w fazie ciekłej
pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Presostat różnicowy
- ④ Zawór zwrotny
- ⑤ Zawór odcinający
- ⑥ Zawór odcinający
- ⑦ Filtr
- ⑧ Presostat różnicowy
- ⑨ Zawór zwrotny
- ⑩ Zawór odcinający



Presostaty różnicowe stanowią zabezpieczenie przed zbyt niską różnicą ciśnień. Presostaty RT 260A ③ i ⑧ nie posiadają zwłoki czasowej i natychmiast wyłączają pompę, gdy mierzona przez nie różnica ciśnień spadnie poniżej nastawionej wartości.

Filtry FIA ② i ⑦ zainstalowane w przewodach ciekowych mają za zadanie wyłapywanie zanieczyszczeń stałych i dzięki temu ochronę zaworów regulacyjnych i pomp przed uszkodzeniem, zablokowaniem i przyspieszonym zużyciem. Filtr może być zamontowany albo w przewodzie ssawnym pompy, albo w tłocznym.

Filtr zainstalowany w przewodzie ssawnym pompy przede wszystkim zapobiega dostawianiu się do niej cząstek stałych. Jest to szczególnie ważne podczas pierwszego rozruchu instalacji w trakcie oddawania jej do eksploatacji.

Ponieważ spadek ciśnienia w filtrze może grozić wystąpieniem kawitacji, zaleca się umieszczenie

w nim siatki o rozmiarze oczka 500 µm. Podczas oczyszczania instalacji można wykorzystać siatkę o oczkach drobniejszych, o ile w fazie projektowania przewodów uwzględniono spadek ciśnienia, jaki na niej nastąpi. Ponadto, niezbędna jest wymiana siatki filtrującej po upływie pewnego czasu.

W przypadku filtra zainstalowanego w przewodzie tłocznym pompy, występujący w nim spadek ciśnienia nie ma aż takiego znaczenia i wykorzystać można siatkę o rozmiarze oczek 150–200 µm. Należy zauważyć, że w takiej konfiguracji, zanieczyszczenia stałe będą się dostawać do pompy, zanim zostaną odseparowane w filtrze.

Zawory zwrotne NRVA ④ i ⑨ zainstalowane w przewodach tłocznych chronią pompy przed wstecznym przepływem czynnika podczas ich postoju. W tym celu można również zastosować zawory odcinająco-zwrotne SCA (NRVA i SVA zostają zastąpione przez SCA, patrz przykład zastosowania 8.1.2).

Dane techniczne

	Presostat różnicowy RT 260A/252A/265A/260AL
Czynniki chłodnicze	R717 i czynniki syntetyczne
Obudowa	IP 66/54
Temperatura otoczenia [°C]	-50 do 70
Zakres regulacji [bar]	0,1 do 11
Maks. ciśnienie robocze [bar]	22/42

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

8.2 Upustowa regulacja wydajności pompy

Najczęściej spotykanym sposobem utrzymywania natężenia przepływu czynnika przez pompę powyżej minimalnej dopuszczalnej wartości (Q_{min} na rys. 8.2) jest wykonanie przewodu upustowego.

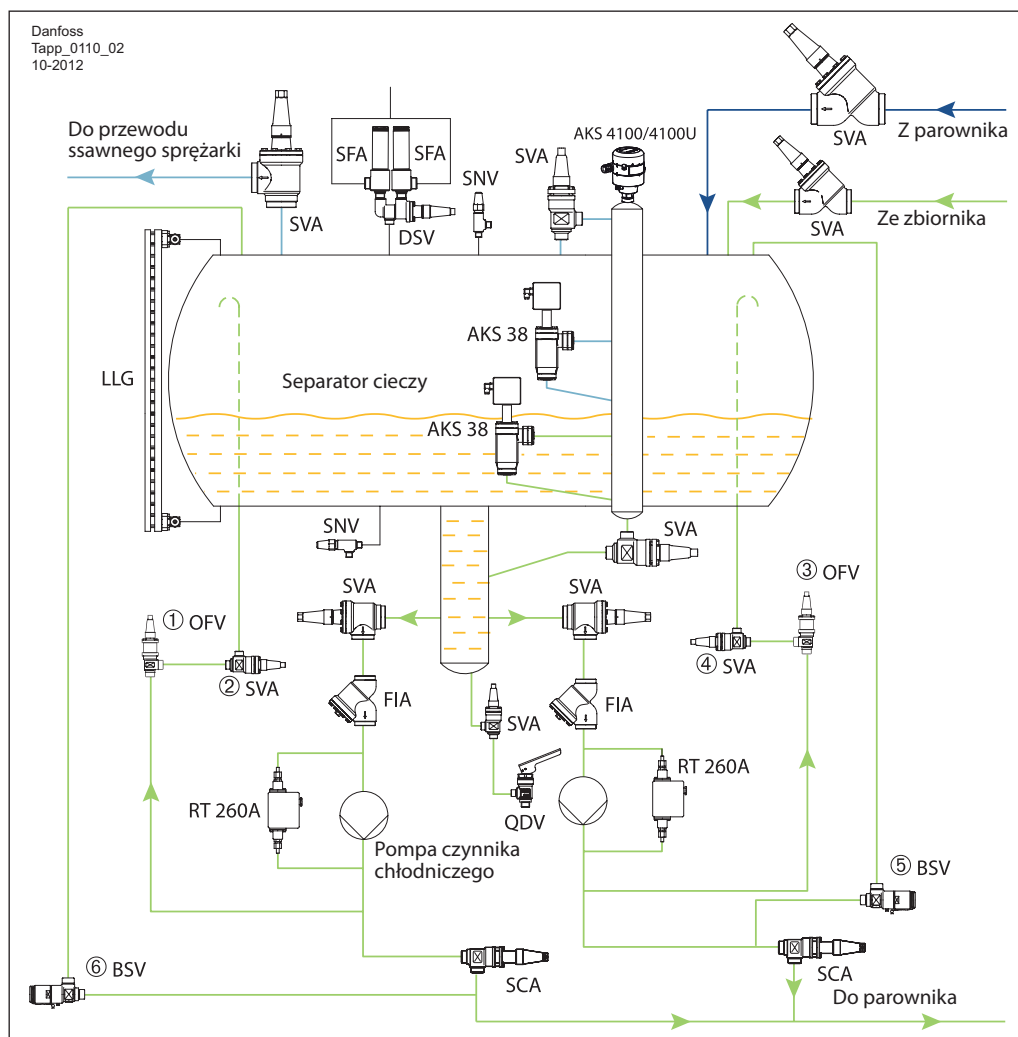
W przewodzie upustowym może być zainstalowany zawór regulacyjny REG, zawór upustowy OFV, a nawet zwykła zwężka.

W skrajnym przypadku, gdy zasilanie ciekłym czynnikiem wszystkich parowników w układzie zostanie zamknięte, istnienie przewodu upustowego wciąż umożliwia utrzymanie minimalnego natężenia przepływu przez pompę.

Przykład zastosowania 8.2.1:
Upustowa regulacja wydajności
pompy z wykorzystaniem
zaworu OFV

■ Mieszanina cieczy i pary
■ Czynnik w fazie gazowej
pod niskim ciśnieniu
■ Czynnik w fazie ciekłej
pod niskim ciśnieniem

- ① Zawór upustowy
- ② Zawór odcinający
- ③ Zawór upustowy
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa
- ⑥ Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa



W prezentowanym przykładzie, w przewodzie upustowym przy każdej pompie zainstalowano zawór upustowy OFV.

Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa BSV chroni przed wystąpieniem zbyt wysokiego ciśnienia, na przykład w następstwie zamknięcia zaworów odcinających i podgrzania uwięzionego w przewodzie ciekłego czynnika.

Dane techniczne

	Zawór upustowy OFV
Material	Korpus: stal
Czynniki chłodnicze	Wszystkie powszechnie używane czynniki, włącznie z R717
Zakres temperatury medium [°C]	-50 do 150
Maks. ciśnienie robocze [bar]	40
Średnica nominalna DN [mm]	20/25
Zakres różnicy ciśnienia otwarcia [bar]	2 do 8

	Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa BSV (niezależny od ciśnienia wylotowego)
Material	Korpus: specjalna stal niskotemperaturowa
Czynniki chłodnicze	R717, R744, HFC, HCFC, inne (w zależności od kompatybilności materiałowej)
Zakres temperatury medium [°C]	Zawór bezpośredniego działania: -30 do 100 Zawór pilotowy dla zaworu POV: -50 do 100
Nastawa ciśnienia [bar]	10 do 25
Powierzchnia przepływu [mm ²]	50

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

8.4

Podsumowanie

Rozwiązanie		Zastosowanie	Zalety	Ograniczenia
Zabezpieczenie pompy z wykorzystaniem presostatu różnicowego				
Zabezpieczenie pompy z wykorzystaniem presostatu różnicowego RT 260A		Wszystkie układy pompowego zasilania parowników	Prosty. Efektywna ochrona pompy przed zbyt niską różnicą ciśnienia (odpowiadającą zbyt dużemu natężeniu przepływu).	Nie nadaje się dla czynników łatwopalnych.
Filtr i zawór zwrotny				
Filtr FIA i zawór zwrotny NRVA w przewodzie pompy.		Wszystkie układy pompowego zasilania parowników	Prosty. Efektywna ochrona pompy przed przepływem wstecznym i zanieczyszczeniami stałymi.	Filtr w przewodzie ssawnym pompy może spowodować w niej kawitację, jeśli zostanie zatkany. Filtr w przewodzie tłocznym pompy nie chroni przed dostawaniem się do niej cząstek stałych.
Upustowa regulacja wydajności pompy				
Upustowa regulacja wydajności z wykorzystaniem zaworu REG i wewnętrznego zaworu bezpieczeństwa BSV		Wszystkie układy pompowego zasilania parowników	Prosty. Efektywność i niezawodność utrzymywania minimalnej wydajności pompy. Zawór bezpieczeństwa zapobiega zbyt dużemu wzrostowi ciśnienia.	Stała strata części mocy napędowej pompy.
Regulacja różnicy ciśnienia przed i za pompą				
Regulacja różnicy ciśnienia z wykorzystaniem zaworów ICS i CVPP		Układy zasilania pompowego, wymagające stałego spadku ciśnienia w zaworach regulacyjnych przed parownikami.	Zapewnienie stałej różnicy ciśnienia i krotności cyrkulacji czynnika.	Stała strata części mocy napędowej pompy.

8.5

Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
BSV	PD.IC0.A	NRVA	PD.FK0.A
CVPP	PD.HN0.A	REG	PD.KM1.A
FIA	PD.FM1.A	RT 260A	PD.CB0.A
ICS	PD.HS2.A	SVA	PD.KD1.A

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
BSV	PI.IC0.A	NRVA	PI.FK0.A
CVPP	PI.HN0.C	REG	PI.KM1.A
FIA	PI.FN1.A	RT 260A	RI5BB
ICS 25-65	PI.HS0.A	SVA	PI.KD1.A
ICS 100-150	PI.HS0.B		

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

9. Inne

9.1 Filtry odwadniacze w układach z czynnikami fluorowcopochodnymi

W układzie chłodniczym, napełnionym czynnikiem syntetycznym, w sposób naturalny pojawia się woda, kwasy i zanieczyszczenia stałe. Wilgoć może się dostać do instalacji w czasie montażu, obsługi technicznej, w przypadku wystąpienia nieszczelności itp.

Kwasy powstają w wyniku rozkładu czynnika i oleju.

Cząstki stałe, to pozostałości po spawaniu lub lutowaniu, produkty reakcji czynnika z olejem itp.

Dopuszczenie do przekroczenia akceptowalnych limitów zawartości kwasów, wody i zanieczyszczeń stałych znacznie skraca możliwy czas eksploatacji układu chłodniczego, a nawet może doprowadzić do spalenia uzwojeń silnika sprężarki.

Zbyt duża zawartość wilgoci w układach o temperaturze parowania poniżej 0°C może powodować formowanie się lodu i zablokowanie zaworów regulacyjnych, zaworów elektromagnetycznych, filtrów itd. Obecność cząstek stałych przyspiesza zużywanie się sprężarek i zaworów, a ponadto może doprowadzić do zablokowania przepływu. Kwasy nie wykazują działania korodującego, o ile w układzie nie ma wody. Jednak w obecności wilgoci kwasy niszczą rurociągi i przyczyniają się do platerowania miedzią gorących, obciążonych powierzchni w sprężarce.

Osadzanie cząstek miedzi zachodzi na elementach pompy olejowej, na wale korbowym, korbowodach, pierścieniach tłokowych, na zaworze ssawnym i tłocznym itp. Platerowanie miedzią powoduje wzrost temperatury pracy łożysk, w miarę zmniejszania się szczeliny olejowej, na skutek systematycznego przyrostu grubości warstwy miedzi.

Chłodzenie łożysk staje się mniej intensywne w wyniku zmniejszenia natężenia przepływu środka smarnego w szczelinie olejowej. Elementy te coraz bardziej się nagrzewają. Płytki zaworowe zaczynają przeciekać, a temperatura tłoczenia rośnie. Wraz z narastaniem tych problemów, awaria sprężarki staje się nieuchronna.

Filtry odwadniacze zaprojektowano w celu zapobiegania występowaniu opisanych przypadków. Przypisano im dwa zadania: osuszanie i filtrowanie.

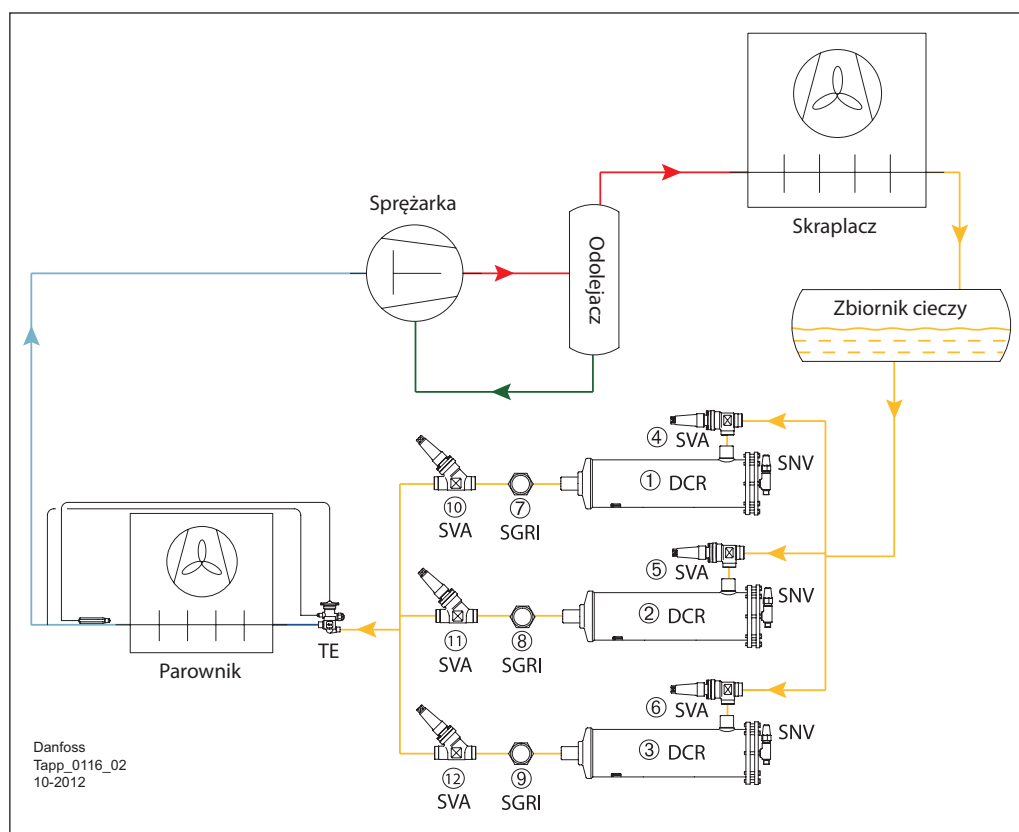
Działanie osuszające stanowi ochronę przed reakcjami chemicznymi i polega na adsorbowaniu wody i kwasów. W ten sposób zapobiega się korozji powierzchni metalowych, rozkładowi czynnika chłodniczego i oleju oraz spalaniu uzwojeń silników.

Działanie filtrujące stanowi ochronę przed szkodliwymi zjawiskami fizycznymi i obejmuje zatrzymywanie cząstek stałych i wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń. W wyniku tego, zmniejsza się zużycie sprężarki, polepsza się jej ochrona przed uszkodzeniem oraz znacznie wydłuża okres eksploatacji.

Przykład zastosowania 9.1.1:
Filtr odwadniacz
w układach z czynnikami
fluorowcopochodnymi

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Filtr odwadniacz
- ② Filtr odwadniacz
- ③ Filtr odwadniacz
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Zawór odcinający
- ⑥ Zawór odcinający
- ⑦ Wziernik
- ⑧ Wziernik
- ⑨ Wziernik
- ⑩ Zawór odcinający
- ⑪ Zawór odcinający
- ⑫ Zawór odcinający



W przypadku układów chłodniczych z czynnikami syntetycznymi, filtry odwadniacze instaluje się zwykle w przewodzie ciekowym, przed zaworem rozprężnym. W tym miejscu przez filtr odwadniacz płynie ciecz (za zaworem rozprężnym mamy już mieszaninę cieczy i pary).

Spadek ciśnienia w filtrze odwadniaczu jest niewielki i ma mały wpływ na jakość pracy układu. Zainstalowanie filtra odwadniacza zapobiega także tworzeniu się lodu w zaworze rozprężnym.

W układach przemysłowych, pojemność pojedynczego filtra odwadniacza zwykle nie wystarcza do osuszenia całego czynnika znajdującego się w instalacji, więc stosuje się równoległy zespół kilku filtrów odwadniaczy.

DCR, to oznaczenie filtrów odwadniaczy z wymiennym wkładem. Istnieją trzy rodzaje wkładów: DM, DC i DA.

- **DM** — cały wkład filtrujący wykonany w postaci sit molekularnych, przeznaczony do czynników grupy HFC oraz CO₂;
- **DC** — wkład filtrujący złożony w 80% z sit molekularnych i 20% z aktywowanego tlenku glinu, przeznaczony do czynników grup CFC i HCFC, odpowiedni także do czynników typu HFC;

- **DA** — wkład filtrujący złożony w 30% z sit molekularnych i 70% z aktywowanego tlenku glinu, przeznaczony do usunięcia szkodliwych zanieczyszczeń z układu chłodniczego po spalaniu uzwojeń silników, odpowiedni do czynników grup CFC, HCFC i HFC.

Ponadto, firma Danfoss dostarcza także wkłady filtrujące wykonane zgodnie z życzeniem klienta. Danfoss sprzedaje również hermetyczne filtry odwadniacze ze stałym wkładem. Więcej informacji można uzyskać w katalogu wyrobów lub w lokalnym przedstawicielstwie firmy.

W celu kontroli zawartości wody w czynniku grupy HCFC lub CFC, za filtrem odwadniaczem instaluje się wziernik przepływu z indykatozem wilgoci typu SGRI. Dostępne są również wzierniki przepływu z indykatozem wilgoci do innych czynników chłodniczych. Więcej informacji znajduje się w katalogu wyrobów firmy Danfoss.

Dane techniczne

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

	Filtr odwadniacz DCR
Czynniki chłodnicze	CFC / HCFC / HFC / R744
Materiał	Korpus: stal
Maks. ciśnienie robocze [bar]	Strona wysokiego ciśnienia: 46
Zakres temperatury pracy [°C]	-40 do 70
Wkłady filtrujące	DM / DC / DA

9.2 Usuwanie wilgoci z układów amoniakalnych

W porównaniu do układów z czynnikami fluorowcopochodnymi lub z CO₂, woda w instalacjach amoniakalnych stanowi specyficzne zagadnienie: Struktura molekularna amoniaku i wody jest podobna, cząsteczki obu związków są małe i heteropolarne, a w konsekwencji amoniak i woda są ze sobą całkowicie rozpuszczalne.

Wobec takiego podobieństwa cząsteczek wody i amoniaku, nie ma efektywnego filtra odwadniającego dla układów amoniakalnych. Co więcej, z powodu dużej rozpuszczalności, wytrącanie się niezwiązanej wody z roztworu z amoniakiem jest trudne.

Woda i amoniak wspólnie wypełniają instalację i tworzą swego rodzaju zeotropowy czynnik chłodniczy, dla którego zależność ciśnienia i temperatury nasycenia odbiega od własności bezwodnego amoniaku.

Dlatego instalacje amoniakalne rzadko są budowane jako układy z ciśnieniowym zasilaniem parownika. Z jednej strony, obecność wody utrudnia całkowite odparowanie amoniaku, co może prowadzić do uderzenia hydraulicznego. Z drugiej zagrożone jest prawidłowe działanie termostatycznego zaworu rozprężnego w obliczu zmieniającej się zależności ciśnienia i temperatury nasycenia.

Pompowe zasilanie parowników dosyć dobrze chroni sprężarki przed potencjalnymi zagrożeniami, spowodowanymi obecnością wody. Do przewodu ssawnego dostaje się tylko para czynnika, co zapobiega uderzeniu hydraulicznemu. Dopóki w układzie nie ma zbyt dużo wilgoci (poniżej zalecanego progu 0,3%), para amoniaku prawie jej nie zawiera, co skutecznie chroni olej przed zanieczyszczeniem wodą.

Pompowe zasilanie parowników amoniakiem nie tylko zapobiega uszkodzeniom sprężarek, ale zmniejsza także inne problemy związane z obecnością wody w układzie, takie jak:

- **Pogorszenie współczynnika wydajności chłodniczej**
Obecność wody w amoniaku zmienia zależność ciśnienia i temperatury nasycenia. Konkretnie, pod danym ciśnieniem czynnik chłodniczy wrze w wyższej temperaturze. Zmniejsza się przez to wydajność chłodnicza i rośnie pobór mocy elektrycznej.
- **Korozja**
W obecności wody, amoniak zaczyna przejawiać działanie korozyjne wobec rurociągów, zaworów, zbiorników itp.
- **Zagrożenia dla sprężarek**
Jeśli woda trafia do sprężarki, np. na skutek zbyt małej pojemności oddzielacza cieczy, staje się przyczyną problemów związanych z zanieczyszczeniem oleju oraz z korozją.

Dlatego, aby zapewnić efektywną i niezawodną pracę układu, zaleca się regularną kontrolę ilości wody w instalacji oraz usuwanie jej, gdy zawartość wilgoci przekroczy dopuszczalny poziom.

Istnieją trzy podstawowe metody zmniejszania zanieczyszczenia amoniaku wodą:

- **Wymiana czynnika**
Jest to sposób odpowiedni dla układów o małym napełnieniu (np. agregatów do chłodzenia wody, z parownikami płytowymi) i powinien zostać zweryfikowany w świetle lokalnych przepisów.
- **Usuwanie wilgoci z parowników**
Sposób ten nadaje się do układów z zasilaniem grawitacyjnym, bez odszraniania gorącymi parami czynnika. W takich instalacjach, woda pozostaje w nieodparowanym czynniku i zalega w parownikach.
- **Rektyfikacja**
Część zawilgoconego amoniaku płynie do rektyfikatora, gdzie jest ogrzewana, dzięki czemu amoniak odparowuje, a pozostała w fazie ciekłej woda zostaje odprowadzona na zewnątrz układu. Jest to jedyny sposób wyprowadzenia wilgoci z instalacji o pompowym zasilaniu parowników.

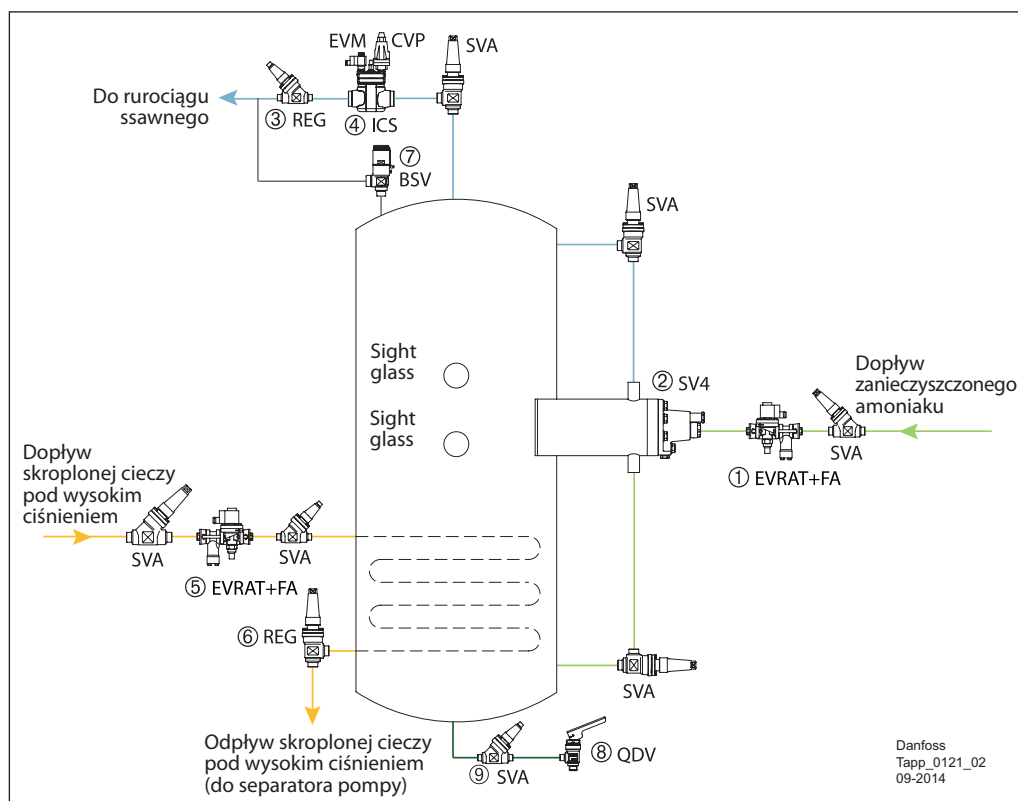
Więcej informacji na temat zawilgocenia i usuwania wody z amoniakalnych układów chłodniczych można znaleźć w biuletynie IIAR nr 108.

Należy wspomnieć, że istnieje zła strona zbyt małej zawartości wody, w postaci zagrożenia pewnego rodzaju korozją elementów stalowych. Jednak w instalacjach chłodniczych niebezpieczeństwo to jest mało prawdopodobne.

Przykład zastosowania 9.2.1:
Rektyfikator ogrzewany gorącą parą, wyposażony w zawory pływakowe

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór elektromagnetyczny
- ② Zawór pływakowy
- ③ Ręczny zawór regulacyjny
- ④ Zawór regulacji ciśnienia
- ⑤ Zawór elektromagnetyczny
- ⑥ Ręczny zawór regulacyjny
- ⑦ Wewnętrzny zawór bezpieczeństwa
- ⑧ Szybko zamykający się zawór spustowy
- ⑨ Zawór odcinający



Danfoss
Tapp_0121_02
09-2014

Procedura usuwania wody:

1. Podać napięcie na cewkę zaworu elektromagnetycznego EVRAT ① i ICS+EVM ④. Zawilgocony amoniak spływa do rektyfikatora. Zawór pływakowy SV4 ② zamknie dopływ czynnika do tego zbiornika, gdy zostanie w nim osiągnięty nastawiony poziom cieczy. Podać napięcie na cewkę zaworu elektromagnetycznego EVRAT ⑤.
2. Skroplona ciecz jest podawana do węzownicy wewnątrz zbiornika i zaczyna ogrzewać zawilgocony amoniak. Amoniak zaczyna odparowywać, a zanieczyszczona ciecz pozostaje w zbiorniku. W miarę odparowywania amoniaku i obniżania się poziomu cieczy w rektyfikatorze zawór pływakowy SV4 ② otwiera się i doprowadza do zbiornika większą ilość zawilgoconego amoniaku. Po upływie pewnego czasu, opartego na doświadczeniu, można rozpocząć przygotowanie do spuszczenia zanieczyszczonej cieczy.
3. Odciąć zasilanie zaworu elektromagnetycznego EVRAT ①. Po upływie pewnego czasu amoniak odparuje, a w zbiorniku pozostanie wyłącznie zanieczyszczona ciecz. W celu spuszczenia zanieczyszczonej cieczy ze zbiornika ciśnienie w jego wnętrzu należy zwiększyć do wartości odpowiadającej temperaturze powyżej 0°C.

W tym celu odcinane jest zasilanie zaworu elektromagnetycznego ICS+EVM ④. Ciśnienie wewnątrz zbiornika jest teraz kontrolowane przez zawór ICS+CVP ④. Otworzyć o kilka obrotów zawór odcinający SVA ⑨, otworzyć ostrożnie zawór spustowy QDV ⑧ i spuścić zanieczyszczoną ciecz pozostającą w zbiorniku.

4. Zamknąć zawór spustowy QDV ⑧ i zawór odcinający SVA ⑨. Następnie odciąć zasilanie zaworu elektromagnetycznego ⑤ w celu zakończenia usuwania zanieczyszczonej cieczy; w razie konieczności kontynuacji procesu powtórzyć procedurę od punktu 1.

Ze względów bezpieczeństwa na zbiorniku rektyfikatora zainstalowano wewnętrzny zawór bezpieczeństwa BSV ⑦ w celu ochrony przed nadmiernym wzrostem ciśnienia.

9.3 Układy odpowietrzania

Obecność gazów nie skraplających się

Gazy nie skraplające się obecne w instalacji chłodniczej po jej zmontowaniu pochodzą z aparatów i rur wypełnionych powietrzem. Jeśli następnie nie przeprowadzi się prawidłowo operacji odesiania układu, powietrze może pozostać w instalacji.

Ponadto, powietrze może się dostać do układu po jego rozhermetyzowaniu podczas obsługi technicznej, w czasie uzupełniania oleju, na skutek przenikania przez elementy instalacji, a także przez nieszczelności połączeń w tych częściach układu, gdzie ciśnienie amoniaku jest niższe od atmosferycznego (w przypadku temperatury parowania niższej od -34°C) itp.

Co więcej, gazami nie skraplającymi się mogą być zanieczyszczenia czynnika chłodniczego, bądź produkty rozkładu czynnika lub oleju, spowodowanego wysoką temperaturą tłoczenia (np. amoniak rozkłada się na azot i wodór).

Wykrywanie i lokalizacja

Gazy nie skraplające się gromadzą się po stronie wysokiego ciśnienia, głównie w tych strefach skraplacza, gdzie panuje najniższa temperatura i najmniejsza prędkość przepływu czynnika.

Najprostszym sposobem stwierdzenia obecności gazów nie skraplających się w układzie jest porównanie rzeczywistego ciśnienia skraplania, odczytanego z manometru zainstalowanego na zbiorniku czynnika, z ciśnieniem nasycenia, odpowiadającym temperaturze zmierzonej na wylocie ze skraplacza.

Na przykład, jeśli na wylocie skraplacza w układzie amoniakalnym zmierzono temperaturę 30°C, to odpowiada jej nadciśnienie nasycenia 10,7 bar g. Z kolei, jeśli z manometru odczytano wartość 11,7 bar g, to znaczy, że stwierdzona różnica 1 bar jest rezultatem obecności gazów nie skraplających się.

Problemy

Powietrze ma tendencję do formowania warstewki izolującej wokół powierzchni rur skraplacza będącej powierzchnią wymiany ciepła skraplającego się czynnika. Efektem jest spadek wydajności tego wymiennika i wzrost ciśnienia skraplania. Sprawność energetyczna spada, a w zależności od ciśnienia skraplania, następują problemy związane ze smarowaniem. Spadek wydajności cieplnej skraplacza jest faktem, jednak jest on trudny do oszacowania. Producenci odpowietrzaczy podają informacje, z których wynika, że wzrost ciśnienia skraplania o 1 bar pociąga za sobą

zmniejszenie wydajności tego wymiennika o 9–10%. W przypadku, gdy wymagane jest bardziej dokładne obliczenie tego spadku, można posłużyć się wytycznymi ASHRAE, wraz z przykładowymi wynikami badań tego zjawiska (opracowanie „HVAC Systems & Equipment Manual”, rozdział o gazach nie skraplających się „Non-Condensable Gases”).

Inni wytwórcy szacują wzrost ryzyka wystąpienia awarii i związane z nim koszty. Wzrost ciśnienia skraplania i temperatury tłoczenia pociąga za sobą większe obciążenie łożysk sprężarki zainstalowanej w układzie, z uwagi na możliwe problemy z ich smarowaniem. Szacowany wzrost kosztów eksploatacji sprężarki zależy od jej rodzaju i wielkości.

Podsumowując, obecność gazów nie skraplających się jest tyleż niepożądana, co nieunikniona i dlatego częste zastosowanie znajdują układy odpowietrzania instalacji.

Układy odpowietrzania

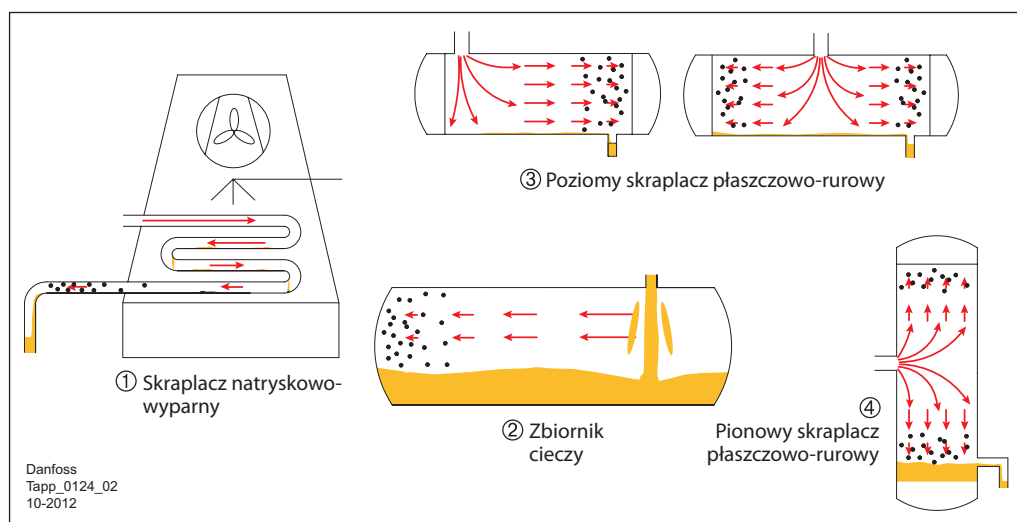
Powietrze i inne gazy nie skraplające się można usunąć z układu ręcznie lub automatycznie. Dokonuje tego personel obsługujący instalację. Sposób ten może jednak prowadzić do nadmiernych strat czynnika chłodniczego.

Inna metoda odpowietrzania bywa nazywana chłodniczą: faza lotna pobierana z poszczególnych punktów odpowietrzania jest chłodzona w specjalnym naczyniu wyposażonym w wężownicę, w celu skroplenia czynnika i zawrócenia go do układu. Gazy pozostałe w odpowietrzaczu są usuwane z układu. Istotą tej metody jest dążenie do minimalizacji ilości czynnika chłodniczego uwalnianego do otoczenia.

Wężownica chłodząca może być zasilana tym samym czynnikiem, jaki znajduje się w układzie, lub dowolnym innym czynnikiem chłodniczym.

Ustalenie miejsc, z których należy pobierać fazę lotną do odpowietrzania jest dość trudne i uzależnione od konfiguracji układu oraz rodzaju skraplacza. Poniżej wskazano kilka przykładowych punktów odpowietrzania. Strzałki na rysunkach odpowiadają prędkości przepływu czynnika chłodniczego w wężownicach skraplacza i w zbiornikach. Strzałki są tym krótsze, im ta prędkość jest mniejsza.

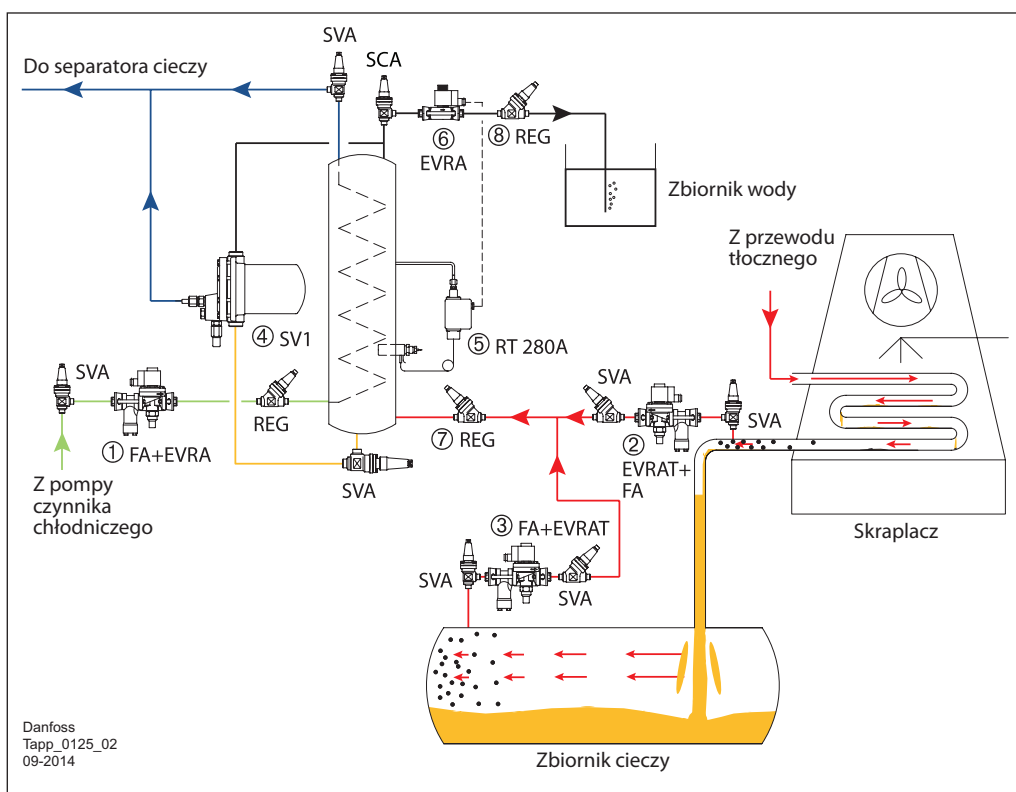
Gromadzące się powietrze zaznaczono czarnymi kropkami. Punkty odpowietrzania powinny zostać umiejscowione w strefach o dużej koncentracji powietrza.



Przykład zastosowania
9.3.1: Automatyczny układ
odpowietrzania, wykorzystujący
czynnik chłodniczy z instalacji

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Powietrze

- ① Zawór elektromagnetyczny
- ② Zawór elektromagnetyczny
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Zawór pływakowy
- ⑤ Regulator poziomu cieczy
- ⑥ Zawór elektromagnetyczny
- ⑦ Ręczny zawór regulacyjny
- ⑧ Ręczny zawór regulacyjny



Procedura odpowietrzania:

1. Podać napięcie na cewkę zaworu elektromagnetycznego EVRA ①, aby ciekły czynnik chłodniczy o niskim ciśnieniu dopływał do węzownicy i chłodził czynnik znajdujący się w zbiorniku.
2. Podać napięcie na cewkę zaworu elektromagnetycznego EVRAT ② lub ③ (tylko JEDEN z nich). Mieszanina pary czynnika chłodniczego z powietrzem dostaje się do zbiornika odpowietrzacza, gdzie czynnik ulega kondensacji, a powietrze gromadzi się w górnej części zbiornika. Skroplony czynnik chłodniczy zostaje automatycznie odprowadzony przez zawór pływakowy SV1 ④.
3. Powietrze gromadzi się w górnej części zbiornika a skroplony czynnik w dolnej części i omywa ciekłą czujkę regulatora poziomu RT 280A ⑤. Gdy ilość powietrza wzrośnie na tyle że poziom skroplonego czynnika się obniży i nie będzie zakrywał elementu czujnika poziomu, otwiera się zawór elektromagnetyczny EVRA ⑥ i wypuszcza porcję powietrza z układu.

Zawór regulacyjny ⑧ musi być dostosowany do względnie małego stopnia otwarcia w celu zapewnienia kontrolowanego/powolnego oczyszczania powietrza ze zbiornika.

Zawór regulacyjny ⑦ musi być dostosowany do względnie małego stopnia otwarcia i musi wytwarzać spadek ciśnienia umożliwiając uzyskanie niskiego ciśnienia wewnątrz oczyszczacza powietrza. Można również zamontować za zaworem regulacyjnym małą dyszę ⑦.

9.4 Układ odzysku ciepła

Jeśli w obiekcie istnieje zapotrzebowanie na moc grzewczą, można do jego pokrycia wykorzystać odpadowe ciepło przegrzania lub także ciepło skraplania, pochodzące ze skraplacza instalacji chłodniczej. Ciepło to może posłużyć do ogrzewania powietrza w pomieszczeniach biurowych i handlowych, do ogrzewania wody użytkowej i technologicznej, wstępnego podgrzewania wody na dopływie do kotła itp.

Aby odzysk ciepła ze skraplacza był rozwiązaniem efektywnym, należy się upewnić, czy odpowiada ono zapotrzebowaniu, pod względem czasu występowania, poziomu temperatury i mocy cieplnej. Na przykład, w celu przygotowania ciepłej wody, co wymaga ciepła na stosunkowo wysokim poziomie temperaturowym, zasadny jest odzysk ciepła przegrzania. Natomiast do ogrzewania pomieszczeń biurowych, zwykle można wykorzystać całe ciepło oddawane przez czynnik w skraplaczu.

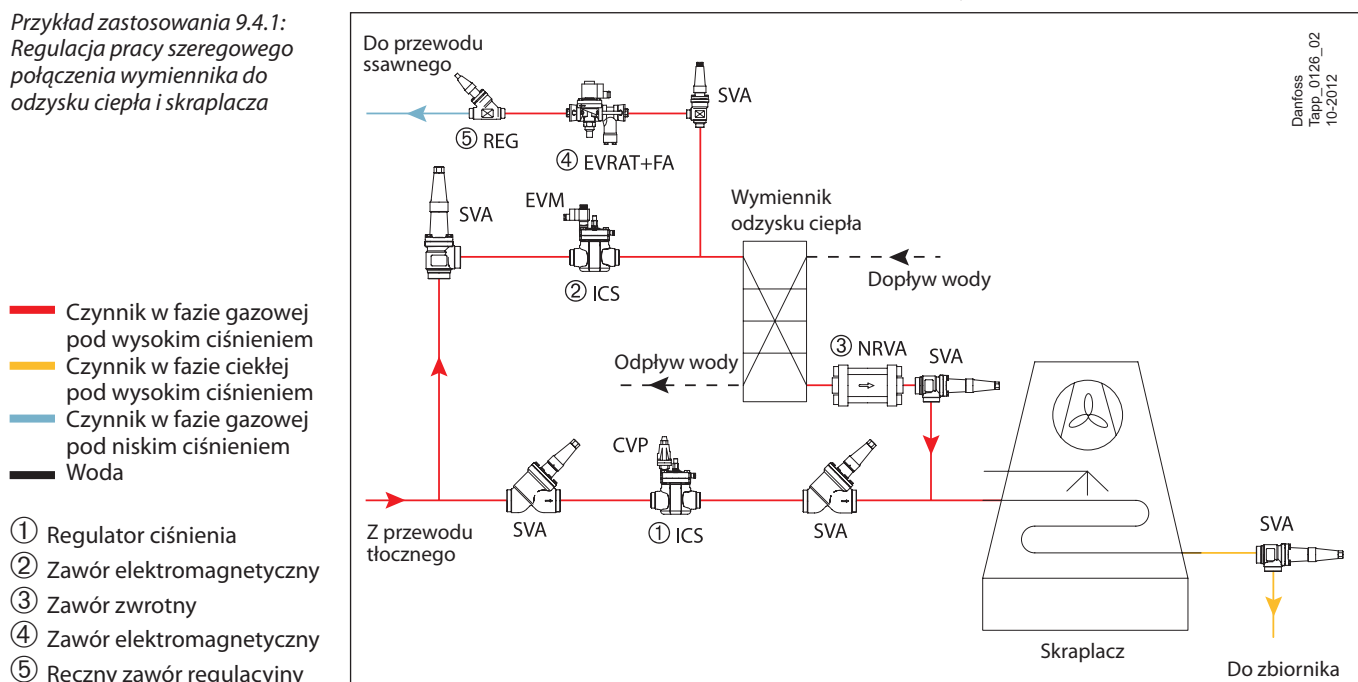
Dla efektywnej i niezawodnej pracy instalacji chłodniczej z odzyskiem ciepła kluczowe znaczenie ma dobre zaprojektowanie układu regulacji.

Zadaniem układu regulacji jest skoordynowanie odzysku ciepła z funkcją chłodzenia:

1. Podstawowa funkcja układu, jaką jest chłodzenie, nie powinna być zakłócona, niezależnie od tego, czy realizowany jest odzysk ciepła, czy nie. Ciśnienie skraplania nie powinno zbyt szybko wzrastać przy braku odzysku ciepła. Co więcej, w przypadku ciśnieniowego zasilania parowników, ciśnienie skraplania nie powinno również być za niskie (patrz rozdział 3).
2. Muszą zostać spełnione wymagania stawiane odzyskiwanemu ciepłu, np. temperatura i ilość.
3. Włączanie i wyłączanie węzła odzysku ciepła musi się odbywać bezproblemowo i zgodnie z zapotrzebowaniem.

Układy regulacji odzysku ciepła wymagają wyrafinowanych rozwiązań, które mogą się różnić w zależności od instalacji. Poniżej zamieszczono kilka przykładów.

*Przykład zastosowania 9.4.1:
Regulacja pracy szeregowego
połączenia wymiennika do
odzysku ciepła i skraplacza*



Ten układ odzysku ciepła może znaleźć zastosowanie do ogrzewania zarówno wody, jak i powietrza.

Praca układu bez odzysku ciepła

Gorąca para z przewodu tłocznego kierowana jest bezpośrednio do głównego skraplacza, za pośrednictwem serwowłokowego zaworu ICS ① sterowanego zaworem pilotowym stałego ciśnienia CVP (HP). Zawór zwrotny NRVA ③ zapobiega wstęcnemu przepływowi czynnika do wymiennika do odzysku ciepła.

Praca układu z odzyskiem ciepła

Zawór serwowłokowy ICS ② jest sterowany elektromagnetycznym zaworem pilotowym EVM, który jest otwierany i zamykany przez sygnał pochodzący z przełącznika czasowego, termostatu itp. Po jego otwarciu gorąca para trafia do wymiennika do odzysku ciepła.

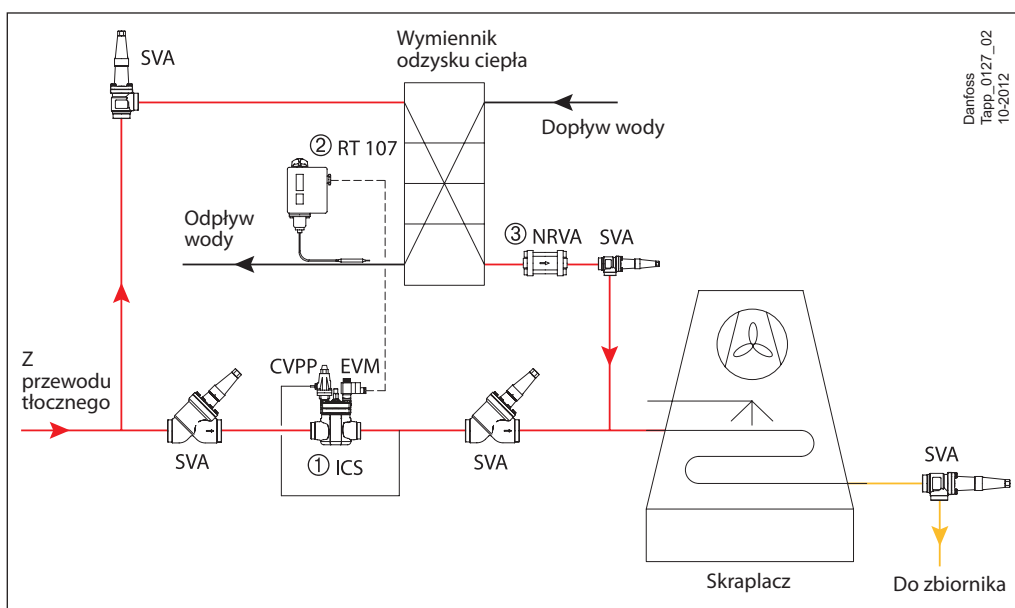
Zawór ICS ① zostanie zamknięty na skutek wzrostu wydajności cieplnej i spadku ciśnienia tłoczenia. W przypadku wzrostu ciśnienia tłoczenia, zawór pilotowy stałego ciśnienia CVP (HP) otworzy zawór wykonawczy ICS ①, w wyniku czego strumienia gorącej pary popłyną bezpośrednio do głównego skraplacza.

W okresie letnim, wymiennik do odzysku ciepła jest mniej wykorzystywany. Aby zapobiec gromadzeniu się cieczy w wymienniku, następuje cykliczne otwieranie zaworu elektromagnetycznego EVRA ④, zainstalowanego przed zaworem regulacyjnym REG ⑤, w celu okresowego odparowywania ewentualnego kondensatu zalegającego w wymienniku do odzysku ciepła.

Przykład zastosowania 9.4.2:
Regulacja pracy szeregowego
połączenia wymiennika do
odzysku ciepła i skraplacza

— Czynnik w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynnik w fazie ciekłej
pod wysokim ciśnieniem
— Woda

- ① Regulator różnicy ciśnień
② Termostat
③ Zawór zwrotny



Danfoss
Tapp_0127_02
10-2012

Ten układ odzysku ciepła nadaje się do instalacji chłodniczych wyposażonych w kilka sprężarek.

W przypadku, gdy instalacja pracuje z częściową wydajnością chłodniczą, cały strumień wytłaczanej gorącej pary przepływa przez wymiennik do odzysku ciepła, a następnie do głównego skraplacza.

W miarę wzrostu wydajności chłodniczej, rośnie spadek ciśnienia w wymienniku do odzysku ciepła.

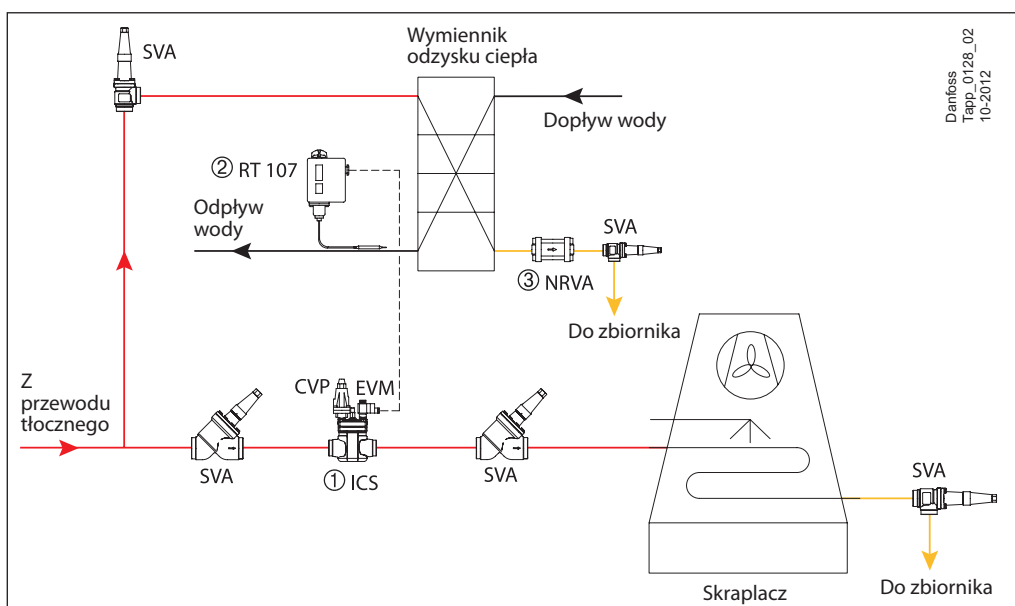
Kiedy ten spadek ciśnienia przekroczy wartość nastawioną na zaworze pilotowym stałej różnicy ciśnienia CVPP (HP), otworzy on częściowo zawór główny ICS ①, w wyniku czego część strumienia gorącej pary popłynie bezpośrednio do skraplacza.

Gdy woda lub powietrze ogrzewane w wymienniku do odzysku ciepła osiągnie wymaganą temperaturę, termostat RT 107 ② wysyła sygnał otwarcia do elektromagnetycznego zaworu pilotowego EVM, dzięki czemu następuje pełne otwarcie zaworu ICS ①.

Przykład zastosowania 9.4.3:
Regulacja pracy równoległego
połączenia wymiennika do
odzysku ciepła i skraplacza

— Czynnik w fazie gazowej
pod wysokim ciśnieniem
— Czynnik w fazie ciekłej
pod wysokim ciśnieniem
— Woda

- ① Regulator ciśnienia z zaworem
elektromagnetycznym
② Termostat
③ Zawór zwrotny



Danfoss
Tapp_0128_02
10-2012

Ten układ odzysku ciepła nadaje się do instalacji chłodniczych wyposażonych w kilka sprężarek. Może służyć do ogrzewania wody w układach centralnego ogrzewania.

W stanie normalnej pracy, zawór serwołukowy ICS ① jest utrzymywany w pozycji otwartej za pomocą elektromagnetycznego zaworu pilotowego EVM, sterowanego termostatem RT 107.

W zimie, gdy wzrost zapotrzebowania na moc grzejącą wymusza załączenie układu odzysku

ciepła, elektromagnetyczny zawór pilotowy EVM zamyka się, sprowadzając zawór ICS ① do pozycji zamkniętej. Jeśli ciśnienie skraplania wzrośnie ponad wartość nastawioną na zaworze pilotowym stałego ciśnienia CVP (HP), spowoduje on częściowe otwarcie zaworu serwołukowego ICS i przepływ części strumienia gorącej pary do skraplacza głównego.

Zawór zwrotny NRVA zapobiega wstecznemu przepływowi czynnika chłodniczego do wymiennika do odzysku ciepła.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

9.5

Dokumenty źródłowe

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
BSV	PD.IC0.A	REG	PD.KM1.A
CVP	PD.HN0.A	RT 107	PD.CB0.A
DCR	PD.EJ0.A	SGR	PD.EK0.A
EVM	PD.HN0.A	SNV	PD.KB0.A
EVRA(T)	PD.BM0.B	SVA	PD.KD1.A
ICS	PD.HS2.A	SV 1-3	PD.GE0.B
NRVA	PD.FK0.A	SV 4-6	PD.GE0.D

Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
BSV	PI.IC0.A	REG	PI.KM1.A
CVP	PI.HN0.C	SGR	PI.EK0.A
DCR	PI.EJ0.B	SNV	PI.KB0.A
EVM	PI.HN0.N	SVA	PI.KD1.A
EVRA(T)	PI.BN0.L	SV 1-3	PI.GE0.C
ICS 25-65	PI.HS0.A	SV 4-6	PI.GE0.B
ICS 100-150	PI.HS0.B		
NRVA	PI.FK0.A		

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

10. Wykorzystanie CO₂ w układach chłodniczych

Wykorzystanie dwutlenku węgla (CO₂) jako czynnika chłodniczego zostało zaproponowane po raz pierwszy przez Aleksandra Twininga (źródło [1]), który wspominał o tym w swoim brytyjskim patencie w 1850 roku. Tadeusz Lowe Sobieski eksperymentował z zastosowaniem CO₂ w balonach wojskowych, ale zaprojektował także maszynę do lodu wykorzystującą CO₂ w 1867 roku. Lowe opracował także maszynę okrętową do transportu zamrożonego mięsa.

Z literatury dowiadujemy się, że w kolejnych latach opracowano układy chłodnicze wykorzystujące CO₂, a szczytowy okres ich użytkowania przypadał na lata 20. i wczesna lata 30. dwudziestego wieku. Ogólnie CO₂ był preferowanym czynnikiem w branży transportowej ponieważ nie jest ani toksyczny ani palny, natomiast amoniak (NH₃ - R717) był bardziej popularny w zastosowaniach przemysłowych (źródło [2]). CO₂ zniknął z branży czynników chłodniczych głównie ze względu na pojawienie się nowego „cudownego” czynnika chłodniczego — freonu, który został bardzo dobrze przyjęty.

Przez lata amoniak nadal był dominującym czynnikiem chłodniczym w przemysłowych instalacjach chłodniczych. W latach 90. dwudziestego wieku na nowo pojawiło się zainteresowanie zaletami stosowania CO₂, ze względu na określenie parametrów ODP (potencjał degradacji warstwy ozonowej) i GWP (potencjał tworzenia efektu cieplarnianego), które doprowadziły do ograniczenia użycia czynników CFC i HFC oraz nałożenie ograniczeń ilościowych czynnika w dużych instalacjach amoniakalnych.

CO₂ jest sklasyfikowany jako naturalny czynnik chłodniczy, podobnie jak amoniak, węglowodory (np. propan i butan) i woda. Wszystkie te czynniki chłodnicze mają swoje wady.

Amoniak jest toksyczny, węglowodory są łatwopalne, a woda ma ograniczone możliwości stosowania. Natomiast CO₂ jest nietoksyczny i niepalny.

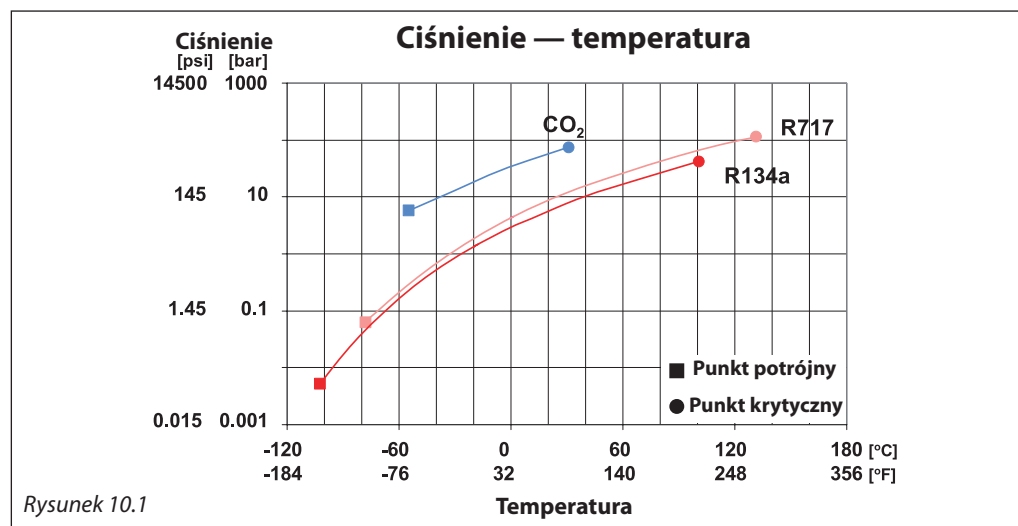
CO₂ różni się od innych powszechnie stosowanych czynników i w wielu aspektach charakteryzuje się pewnymi specyficznymi właściwościami. Postęp techniczny od 1920 r. zniósł wiele barier w możliwościach stosowania CO₂, ale użytkownicy nadal muszą być w pełni świadomi wyjątkowych cech tego gazu i podejmować odpowiednie kroki pozwalające unikać problemów w eksploatowanych instalacjach chłodniczych.

Wykres na rys. 10.1 przedstawia krzywe ciśnienia zależnie od temperatury dla CO₂, R134a i amoniaku. Najważniejsze cechy dotyczące właściwości CO₂ w porównaniu z innymi czynnikami:

- Wyższe ciśnienie robocze przy określonej temperaturze
- Węższy zakres temperatur roboczych
- Punkt potrójny przy dużo wyższym ciśnieniu
- Punkt krytyczny przy bardzo niskiej temperaturze.

Podczas gdy punkt potrójny i punkt krytyczny są zazwyczaj nieistotne przy popularnych czynnikach chłodniczych, w przypadku CO₂ jest inaczej. Punkt potrójny znajduje się względnie wysoko przy ciśnieniu 5,2 bar [75,1 psi], ale co ważniejsze, znajduje się wyżej niż normalne ciśnienie atmosferyczne. Może to być przyczyną problemów, o ile nie podejmie się stosownych środków zaradczych. Dodatkowo punkt krytyczny CO₂ znajduje się bardzo nisko: 31,1°C [88,0°F], co silnie wpływa na wymagania konstrukcyjne.

W poniższej tabeli zestawiono różne właściwości CO₂ w porównaniu z R134a i amoniakiem.



Czynnik chłodniczy		R134a	NH ₃	CO ₂
Substancja naturalna		NIE	TAK	TAK
Potencjał degradacji warstwy ozonowej (ODP)*		0	0	0
Potencjał tworzenia efektu cieplarnianego (GWP)*		1300	-	1
Punkt krytyczny	bar [psi]	40,7 [590]	113 [1640]	73,6 [1067]
	°C [°F]	101,2 [214]	132,4 [270]	31,1 [87,9]
Punkt potrójny	bar [psi]	0,004 [0,06]	0,06 [0,87]	5,18 [75,1]
	°C [°F]	-103 [-153]	-77,7 [-108]	-56,6 [-69,9]
Palny lub wybuchowy		NIE	(TAK)	NIE
Toksyczny		NIE	TAK	NIE

10.1 CO₂ jako czynnik chłodniczy

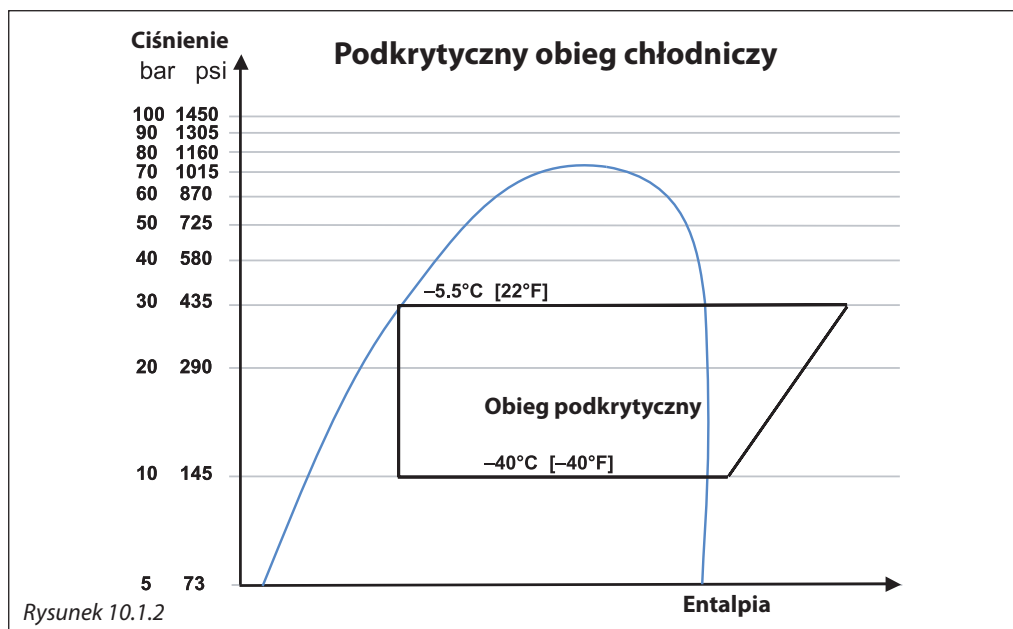
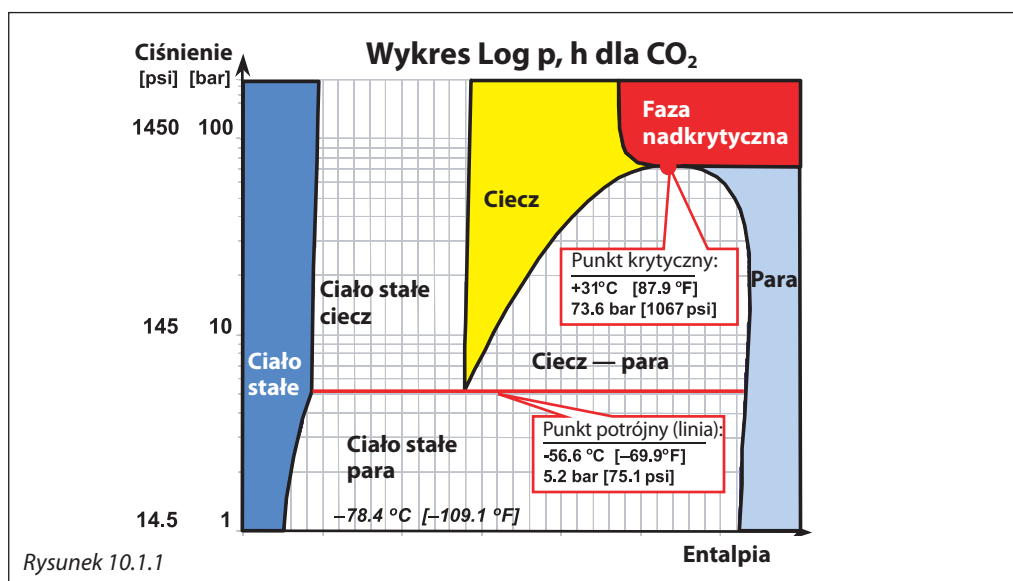
CO₂ może być stosowany jako czynnik chłodniczy w obiegach różnych typów, wliczając w to obiegi podkrytyczne i transkrytyczne. We wszystkich typach obiegów z użyciem CO₂ należy koniecznie wziąć pod uwagę punkt krytyczny i punkt potrójny.

Tradycyjny, dobrze znany obieg chłodniczy jest podkrytyczny, tj. cały zakres temperatur i ciśnień znajduje się poniżej punktu krytycznego i powyżej punktu potrójnego.

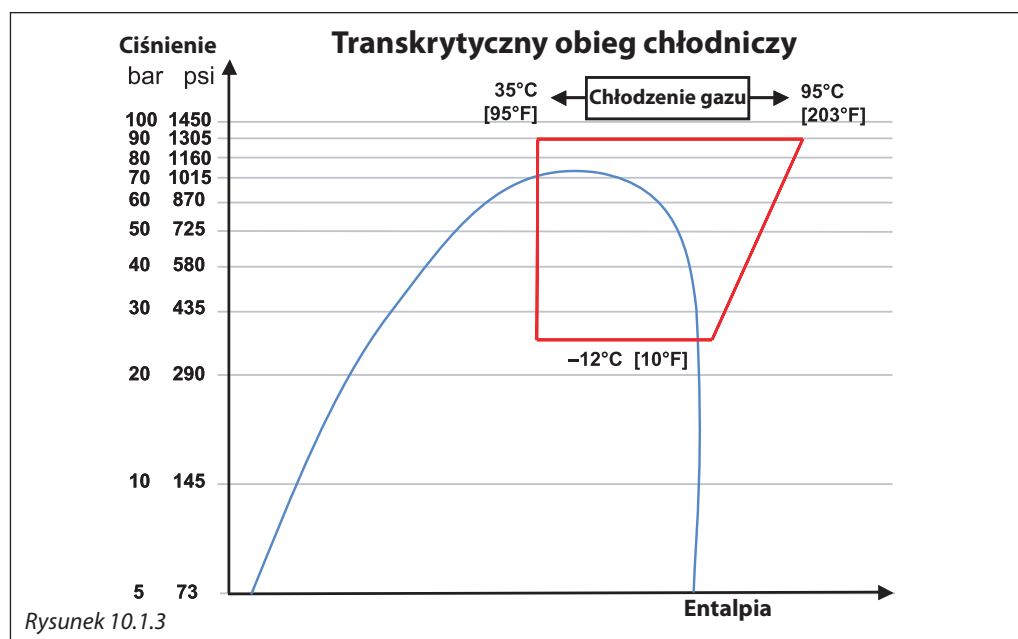
Jednostopniowy, podkrytyczny układ CO₂ jest prosty, ale ma również wady ze względu na swój ograniczony zakres temperatur i wysokie ciśnienie (rys. 10.1.2).

Transkrytyczne układy CO₂ znajdują obecnie zastosowanie wyłącznie w małych i średnich aplikacjach, np. przenośne klimatyzatory, małe pompy ciepła i układy chłodnicze w supermarketach, ale nie nadają się do układów przemysłowych (rys. 10.1.3). Układy transkrytyczne nie zostały opisane w tym podręczniku.

Ciśnienia robocze w obiegach podkrytycznych mieszczą się zazwyczaj w zakresie od 5,7 do 35 bar [83 do 507 psi], co odpowiada temperaturom -55 do 0°C [-67 do 32°F]. Jeśli parowniki są odszraniane przy użyciu gorącej pary, ciśnienie robocze jest około 10 bar [145 psi] wyższe.



10.1 CO₂ jako czynnik chłodniczy (ciąg dalszy)

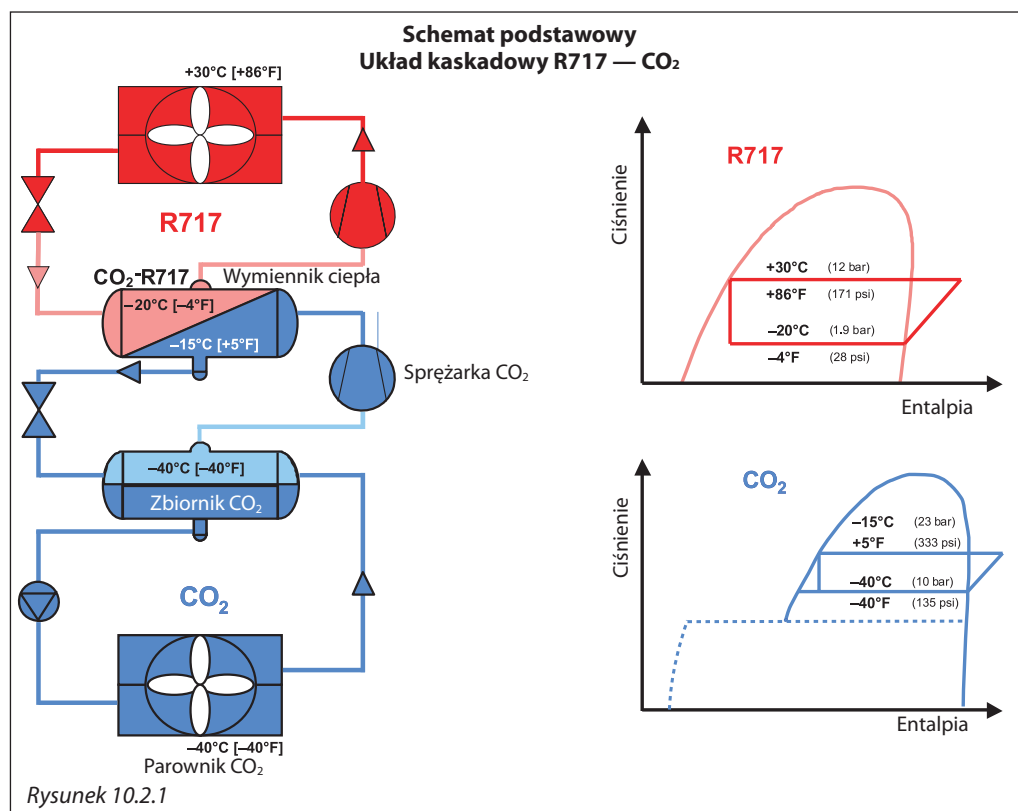


CO₂ w chłodnictwie przemysłowym jest najczęściej wykorzystywany w układach kaskadowych lub pośrednich, ponieważ ciśnienie w tych obiegach można ograniczyć do takiego poziomu, przy którym można użyć dostępnych na rynku podzespołów, takich jak sprężarki, regulatory i zawory.

Układy kaskadowe CO₂ można projektować na różne sposoby, np. jako układy zasilane ciśnieniowo, układy zasilane pompowo, układy z lotnym CO₂ we wtórnym obiegu solankowym, lub jako kombinacje tych wariantów.

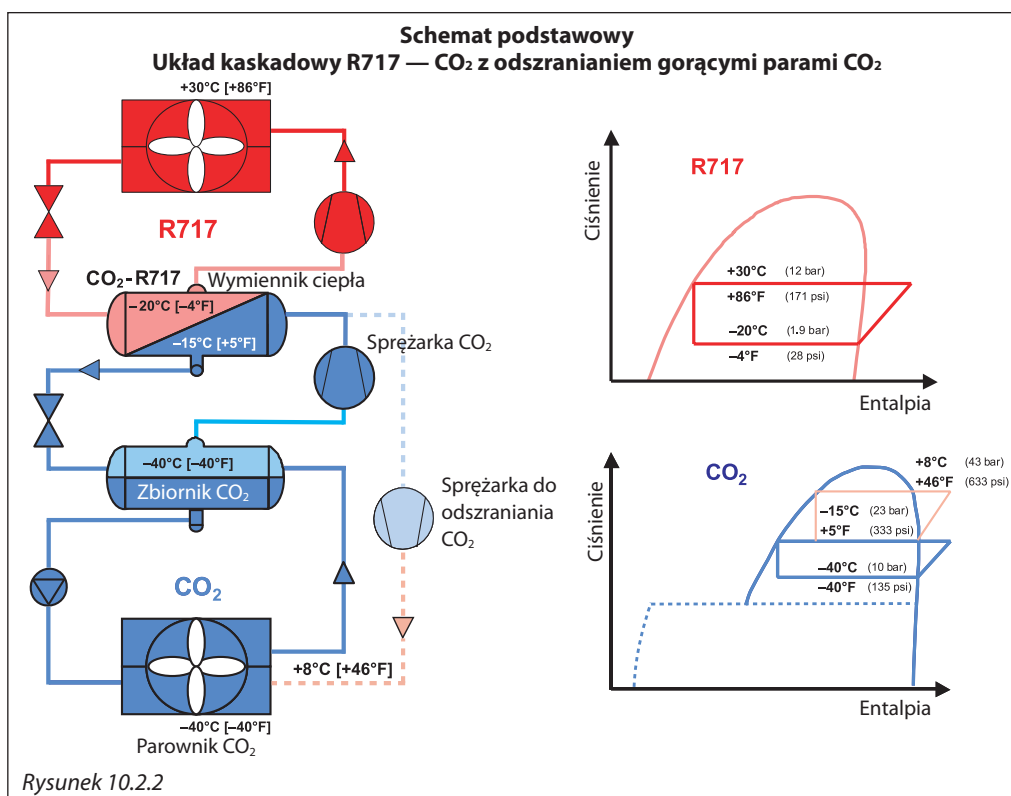
10.2 CO₂ jako czynnik chłodniczy w układach przemysłowych

Na rysunku 10.2.1 przedstawiono niskotemperaturowy układ chłodniczy -40°C [-40°F] wykorzystujący CO₂ w roli czynnika chłodniczego ze zmianą fazy w układzie kaskadowym z amoniakiem po stronie wysokiego ciśnienia.



10.2

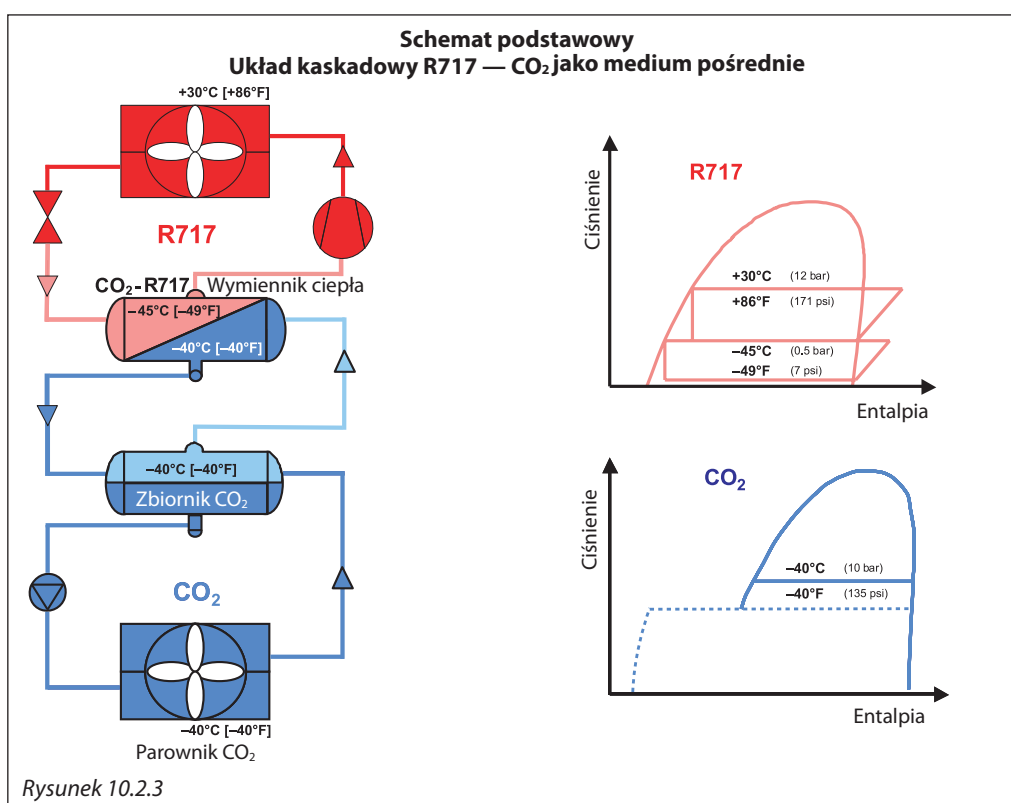
CO₂ jako czynnik chłodniczy w układach przemysłowych (ciąg dalszy)



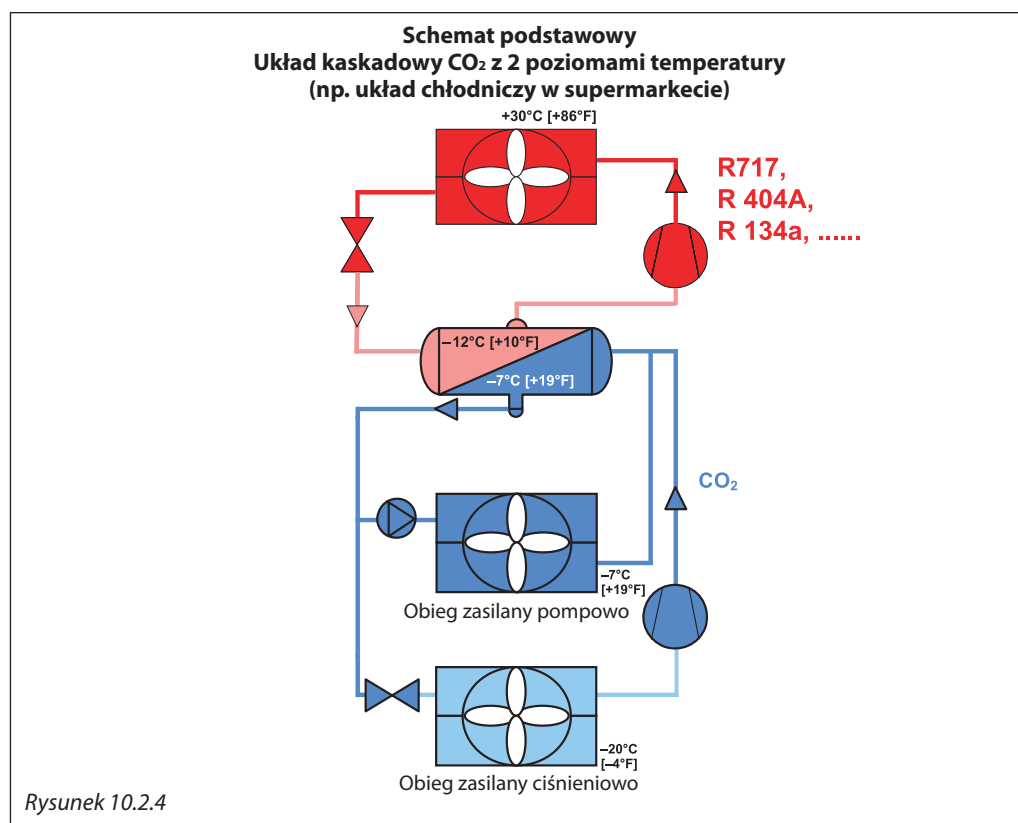
Przedstawiony układ CO₂ jest układem zasilanym pompowo, w którym płynny CO₂ jest pompowany ze zbiornika do parownika, gdzie następuje częściowe odparowanie. Gazowy CO₂ jest następnie sprężany w sprężarce CO₂ i skraplany w wymienniku ciepła CO₂-NH₃. Wymiennik ciepła pełni rolę parownika w układzie NH₃. W porównaniu

z tradycyjnym układem amoniakalnym, ilość amoniaku w wyżej opisanym układzie kaskadowym można ograniczyć około 10-krotnie.

Rysunek 10.2.2 przedstawia ten sam układ co na rys. 10.2.1, ale uwzględniono w nim układ odszraniania gorącymi parami CO₂.



10.2 CO₂ jako czynnik chłodniczy w układach przemysłowych (ciąg dalszy)



Na rysunku 10.2.3 przedstawiono niskotemperaturowy układ chłodniczy -40°C [-40°F] wykorzystujący CO₂ w roli medium pośredniego z amoniakiem po stronie wysokiego ciśnienia. Przedstawiony układ CO₂ jest układem zasilanym pompowo, w którym płynny CO₂ jest pompowany ze zbiornika do parownika. Tam zostaje częściowo odparowany przed powrotem do zbiornika.

Gazowy CO₂ jest następnie skraplany w wymienniku ciepła CO₂-NH₃. Wymiennik ciepła pełni rolę parownika w układzie NH₃. Rysunek 10.2.4 przedstawia układ mieszany z zasilaniem pompowym i ciśnieniowym, np. układ chłodniczy w supermarkecie, gdzie wymagane są dwa poziomy temperatury.

10.3 Ciśnienie obliczeniowe

Określając ciśnienie obliczeniowe dla układów CO₂, należy brać pod uwagę dwa najważniejsze czynniki:

- Ciśnienie podczas przestoju
- Ciśnienie wymagane podczas odszraniania

Co ważne, przy braku jakiegokolwiek elementu regulacji ciśnienia, podczas przestoju, tj. gdy układ jest wyłączony, ciśnienie układu będzie wzrastać w wyniku odbierania ciepła z otoczenia. Jeśli temperatura miała osiągać 0°C [32°F], ciśnienie wynosiłoby 34,9 bar [505 psi] lub 57,2 bar [830 psi] przy 20°C [68°F]. W przemysłowych układach chłodniczych, zaprojektowanie systemu, który mógłby wytrzymać ciśnienie wyrównawcze (tj. ciśnienie nasycenia odpowiadające temperaturze otoczenia) podczas przestoju byłoby dość kosztowne. Z tego względu powszechną metodą ograniczania maksymalnego ciśnienia w trakcie przestoju do rozsądnego poziomu, np. 30 bar [435 psi], jest zamontowanie dodatkowego, małego urządzenia skraplającego.

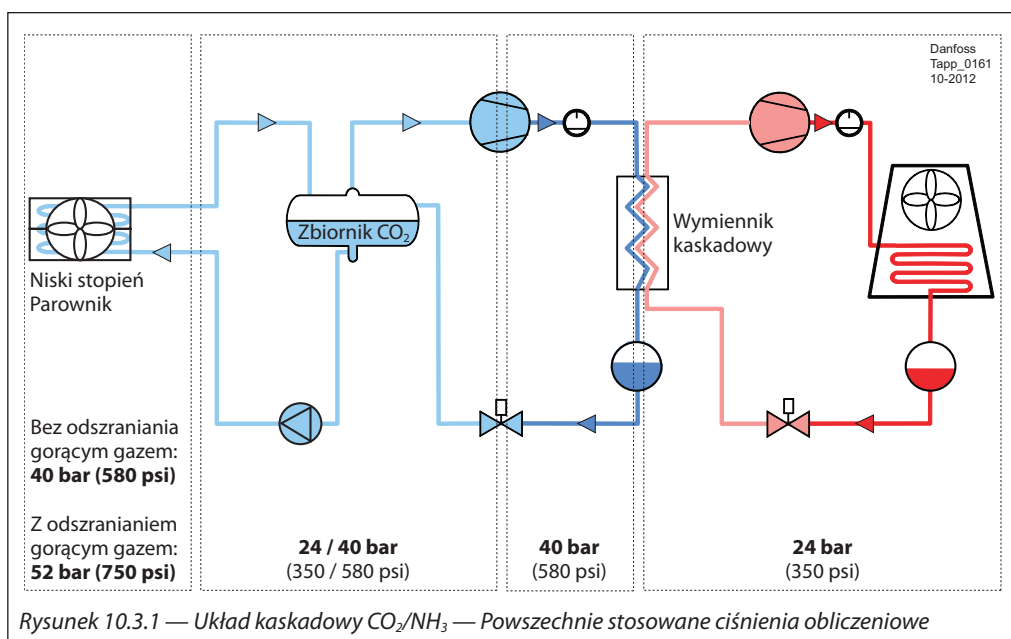
W przypadku układów CO₂ można stosować wiele różnych metod odszraniania (np. naturalne, wodne, elektryczne, gorącą parą). Odszranianie gorącymi parami jest najskuteczniejsze, zwłaszcza w niskich temperaturach, ale wymaga również najwyższego ciśnienia. Przy ciśnieniu obliczeniowym wynoszącym 52 bar g [754 psig], możliwe jest bezpieczne uzyskanie temperatury odszraniania około 10°C [50°F].

Ciśnienie nasycenia przy 10°C [50°F] wynosi 45 bar [652 psi]. Po dodaniu 10% na zawory bezpieczeństwa i około 5% na skoki ciśnienia otrzymuje się maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze o wartości około 52 barg [754 psig] (rys. 10.3.2 i 10.3.3).

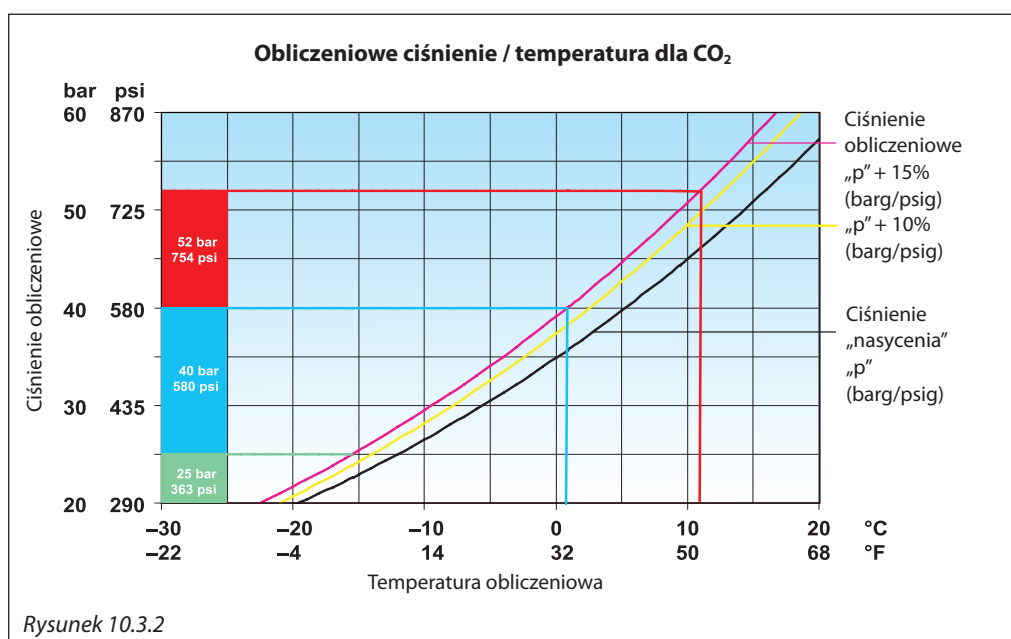
10.3

Ciśnienie obliczeniowe

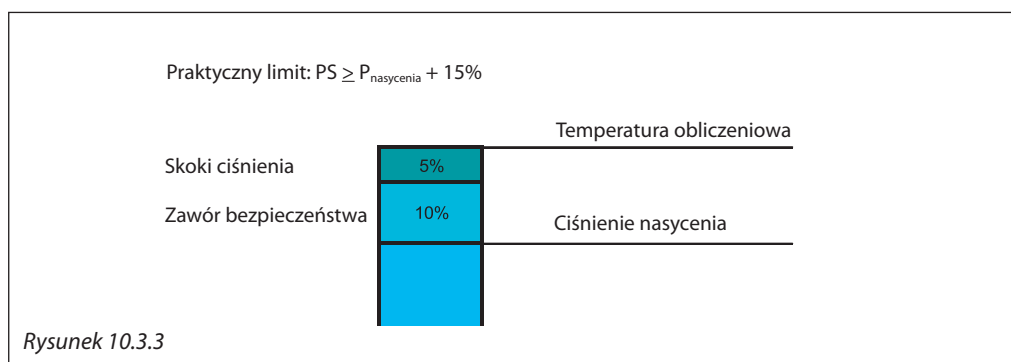
(ciąg dalszy)



Rysunek 10.3.1 — Układ kaskadowy CO₂/NH₃ — Powszechnie stosowane ciśnienia obliczeniowe



Rysunek 10.3.2



Rysunek 10.3.3

10.4 Bezpieczeństwo

CO₂ jest bezwoną, bezbarwną substancją sklasyfikowaną jako niepalny i nietoksyczny czynnik chłodniczy, jednak pomimo tego, że wszystkie jego właściwości zdają się być bardzo pozytywne, CO₂ posiada również pewne wady.

Ze względu na fakt, że CO₂ jest bezwonny, nie ma właściwości samoalarmujących w przypadku wycieku (źródło [6]).

CO₂ jest cięższy od powietrza, więc wnika w podłóżę lub gromadzi się na poziomie podłóża. To może prowadzić do niebezpiecznych sytuacji, zwłaszcza w dołach lub zamkniętych przestrzeniach. CO₂ może wypreć tlen do tego stopnia, że skład powietrza stanie się zabójczy. Gęstość względna CO₂ wynosi 1,529 (powietrze = 1 przy 0°C [32°F]). To zagrożenie wymaga specjalnej uwagi w trakcie projektowania i eksploatacji. Zawsze należy stosować układy wykrywania gazów i/lub wentylację awaryjną.

W porównaniu z amoniakiem CO₂ jest bezpieczniejszym czynnikiem chłodniczym. TLV (progowa wartość graniczna) jest maksymalnym stężeniem CO₂ w powietrzu, które może być tolerowane w trakcie ośmiogodzinnej zmiany w 40-godzinnym tygodniu pracy. Bezpieczna wartość graniczna TLV wynosi 25 ppm dla amoniaku i 5000 ppm (0,5%) dla CO₂.

W powietrzu występuje około 0,04% CO₂. Przy jego wyższych stężeniach ludzie zaczynają odczuwać dolegliwości:

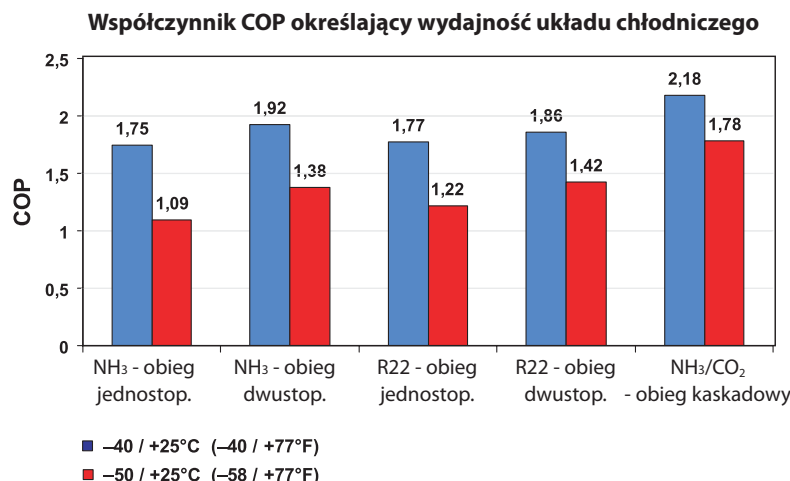
2%	oddech przyspieszony o 50%
3%	oddech przyspieszony o 100%
5%	oddech przyspieszony o 300%
8–10%	następuje zatrzymanie naturalnego procesu oddychania, a oddychanie staje się praktycznie niemożliwe. Ból i zawroty głowy, nadmierne pocenie się i dezorientacja.
> 10%	może prowadzić do utraty przytomności i śmierci.
> 30%	szybko doprowadza do śmierci.

10.5 Sprawność

W kaskadowych układach CO₂-NH₃ zastosowany jest wymiennik ciepła skraplacz/parownik. Stosowanie wymienników ciepła obniża sprawność układu ze względu na konieczność występowania różnicy temperatur pomiędzy

mediami. Jednakże sprężarki pracujące z CO₂ mają wyższą sprawność, a wymiana ciepła jest lepsza. Ogólna sprawność kaskadowego układu CO₂-NH₃ nie jest obniżona w porównaniu z tradycyjnym układem NH₃ (rys. 10.5.1) i źródło [3]

Przykład:



Źródło: IAR Albuquerque, st. Nowy Meksyk 2003, P.S. Nielsen i T.Lund
„Introducing a New Ammonia/CO₂ Cascade Concept for Large Fishing Vessels”

Rysunek 10.5.1

10.6 Olej w układach CO₂

W układach CO₂ z tradycyjnymi sprężarkami chłodniczymi stosuje się zarówno oleje rozpuszczalne, jak i nierozpuszczalne (patrz tabela poniżej).

W przypadku nierozpuszczalnych olejów, takich jak polialfaolefin (PAO), układ obiegu oleju jest dość skomplikowany. Gęstość PAO jest niższa niż gęstość ciekłego CO₂. Zatem olej unosi się nad czynnikiem chłodniczym, co powoduje, że jego usunięcie jest trudniejsze niż w układach amoniakalnych. Dodatkowo, aby nie dochodziło do zaolejenia parowników, odolejacz sprężarki w przypadku nierozpuszczalnego oleju musi być bardzo skuteczny. Właściwie zalecany jest układ praktycznie bezolejowy.

W przypadku rozpuszczalnych olejów, takich jak ester polioliu (POE), układ obiegu oleju może być dużo prostszy. Oleje POE mają duże podobieństwo do wody, więc problemem podczas stosowania olejów POE jest zapewnienie stabilności środka smarnego.

W układach pompowych CO₂ jako medium pośrednim oraz w układach z bezolejowymi sprężarkami i układem pompowym obiegu CO₂ nie występuje olej. Z punktu widzenia sprawności jest to rozwiązanie optymalne, ponieważ skutkuje dobrymi współczynnikami wymiany ciepła w parownikach. Jednakże wymagane jest, aby wszystkie zawory, regulatory i inne elementy układu mogły pracować bez oleju.

CO₂ i olej

Typ oleju	PAO Olej poli-alfa-olefinowy (olej syntetyczny)	POE Olej polioli estrowy (olej estrowy)
Rozpuszczalność	Niska (nierozpuszczalny)	Wysoka (rozpuszczalny)
Hydroliza	Niska	Wysokie powinowadztwo z wodą
Układ odolejania	Brak specjalnych wymagań: - Wysoka wydajność filtracji - Wielostopniowe filtry koalescencyjne - Filtr z aktywnym węglem	Brak specjalnych wymagań (Wymagania systemowe jak w przypadku HCFC/HFC)
Układ powrotu oleju	Brak specjalnych wymagań: Spust oleju ze zbiornika o niskiej temperaturze (gęstość oleju niższa niż CO₂ — przeciwieństwo NH₃)	Prosty (Wymagania systemowe jak w przypadku HCFC/HFC)
Problemy	- Odolejanie i układ powrotny - Długoterminowe gromadzenie się oleju np. w parownikach	- Wysokie powinowadztwo z wodą - Długoterminowa stabilność oleju - Wymóg „czystego” układu chłodniczego

10.6 Olej w układach CO₂ (ciąg dalszy)

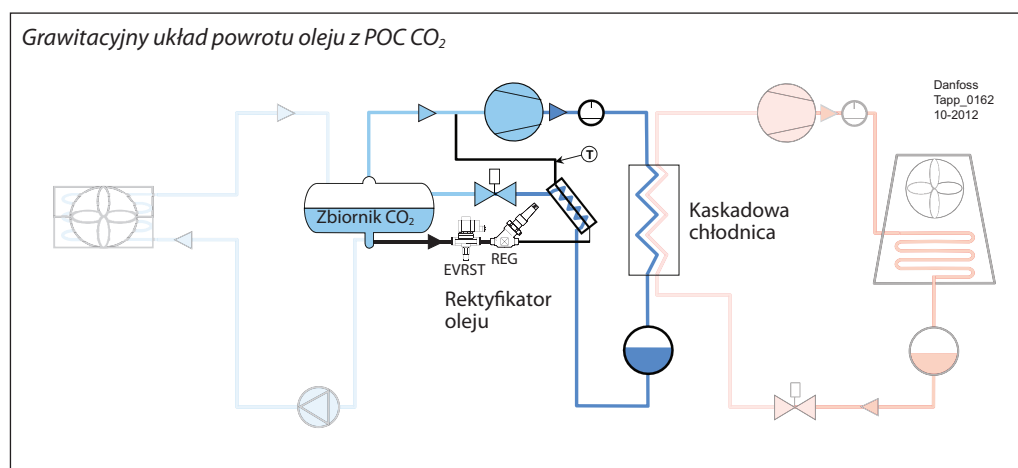
Ilość oleju w poziomym oddzielniku cieczy (POC) zwiększa się stopniowo, ponieważ olej nie jest porywany w odpowiedniej ilości przez gaz zasysany przez sprężarkę. Gdy nagromadzenie oleju w parowniku przekroczy dopuszczalny poziom, siły adhezyjne powodują, że olej „przyłgnie” do powierzchni wymiany ciepła. To ograniczy wydajność układu.

Stężenie oleju pozostaje niskie dzięki stałemu odparowywaniu mieszaniny olej/CO₂ w dochładzaczu cieczy ze skraplacza. W trakcie wymiany ciepła ciekły CO₂ ze skraplacza jest dochładzany, a mieszanina oleju/CO₂ jest odparowywana i zasysana przez sprężarkę.

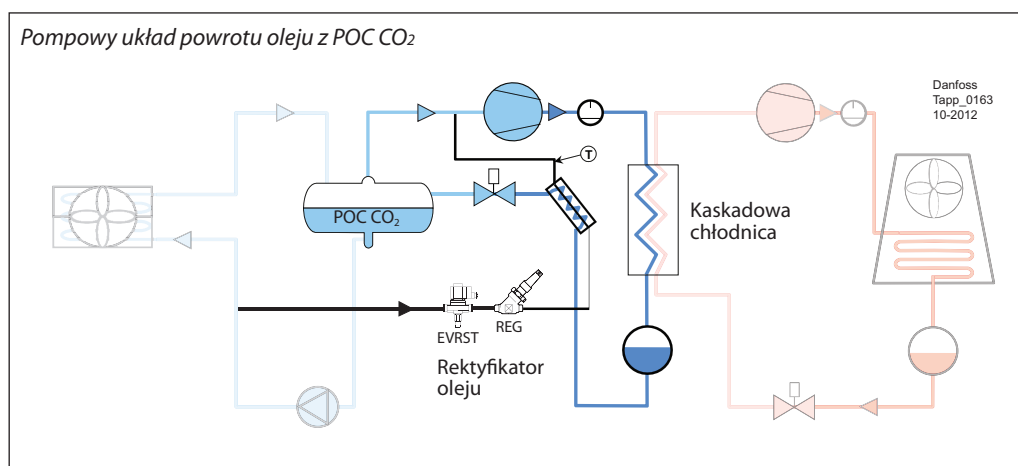
Pary mokre roztworu olej/CO₂ nie mogą być zassane przez sprężarkę, ponieważ doprowadziłoby to do jej uszkodzenia. Z tego względu konieczne jest przegrzanie mieszaniny olej/CO₂ na wylocie wymiennika ciepła.

Przegrzanie może być regulowane przez zawór REG zamontowany za zaworem elektromagnetycznym.

Przykład 10.6.1
Układ powrotu oleju
zasilany grawitacyjnie



Przykład 10.6.2
Układ powrotu oleju
zasilany pompowo

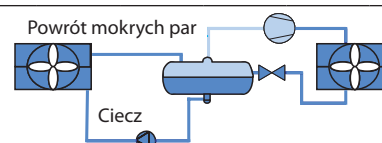


10.7

Porównanie różnych cech elementów stosowanych w obiegach chłodniczych CO₂, amoniaku i R134a

Układy CO₂ w wielu aspektach różnią się od układów wykorzystujących amoniak i R134a. Poniższe porównanie obrazuje ten fakt. Aby porównanie było miarodajne, warunki robocze, takie jak temperatura parowania i temperatura skraplania, są identyczne.

Porównanie powierzchni przekroju rurociągów pary mokre / zasilanie cieczą z pompy



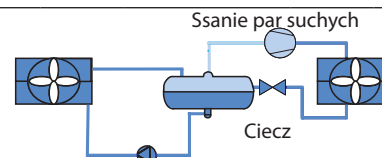
Czynnik chłodniczy			R134a	R717	CO ₂
Rurociąg par mokrych	Wydajność	kW [TR]	250 [71]	250 [71]	250 [71]
	ΔT	K [F]	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]
	Δp	bar [psi]	0,0212 [0,308]	0,0303 [0,439]	0,2930 [4,249]
	Prędkość	m/s [stopy/s]	11,0 [36,2]	20,2 [66,2]	8,2 [26,9]
Średnica		mm [cale]	215 [8,5]	133 [5,2]	69 [2,7]
Przekrój rurociągu mokrych par		mm ² [cale ²]	36 385 [56,40]	13 894 [21,54]	3774 [5,85]

Rurociąg cieczy	Prędkość	m/s [stopy/s]	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]
Średnica		mm [cale]	61 [2,4]	36 [1,4]	58 [2,3]
Przekrój rurociągu cieczy		mm ² [cale ²]	2968 [4,6]	998 [1,55]	2609 [4,04]
Suma przekroju rurociągów	„Powrót mokrych par” + powierzchnia „cieczowa”	mm ² [cale ²]	39 353 [61,0]	14 892 [23,08]	6382 [9,89]
Powierzchnia przekroju rurociągu cieczowego			8	7	41

$L_{wyřrów.} = 50$ [m] / 194 [stopy] — Krotność cyrkulacji: $n_{obieg.} = 3$ — Temp. parowania: $TE = -40$ [°C] / -40 [°F]

Tabela 1

Porównanie powierzchni przekroju rurociągów: ssawny, pary suche / cieczowy z skraplacza



Czynnik chłodniczy			R134a	R717	CO ₂
Rurociąg par suchych	Wydajność	kW [TR]	250 [71]	250 [71]	250 [71]
	ΔT	K [F]	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]	0,8 [1,4]
	Δp	bar [psi]	0,0212 [0,308]	0,0303 [0,439]	0,2930 [4,249]
	Prędkość	m/s [stopy/s]	20,4 [67]	37,5 [123]	15,4 [51]
Średnica		mm [cale]	168 [6,6]	102 [4,0]	53 [2,1]
Przekrój rurociągu ssawnego par suchych		mm ² [cale ²]	22 134 [34,31]	8097 [12,55]	2242 [3,48]

Rurociąg cieczowy	Prędkość	m/s [stopy/s]	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]	0,8 [2,6]
Średnica		mm [cale]	37 [1,5]	21 [0,8]	35 [1,4]
Przekrój rurociągu cieczy		mm ² [cale ²]	1089 [1,69]	353 [0,55]	975 [1,51]
Suma przekroju rurociągów	Suma przekrojów rurociągu pary suche + rurociąg cieczy	mm ² [cale ²]	23 223 [36,00]	8450 [13,10]	3217 [4,99]
Powierzchnia przekroju rurociągu cieczowego			5	4	30

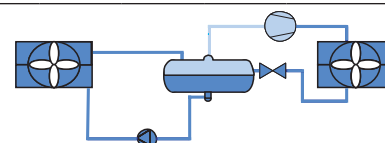
$L_{wyřrów.} = 50$ [m] / 194 [stopy] — Temp. parowania: $TE = -40$ [°C] / -40 [°F] — Temp. skraplania: $TE = -15$ [°C] / -5 [°F]

Tabela 2

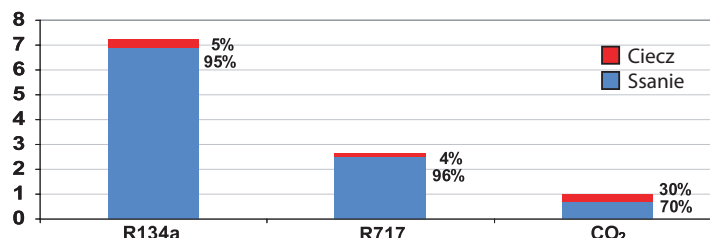
10.7

Porównanie różnych cech elementów stosowanych w obiegach chłodniczych CO₂, amoniaku i R134a (ciąg dalszy)

Porównanie powierzchni przekroju rurociągów: ssanie, para sucha / cieczowy z skraplacza



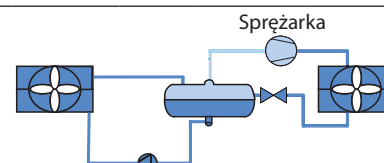
Czynnik chłodniczy			R134a	R717	CO ₂
Wydajność	kW [TR]		250 [71]	250 [71]	250 [71]
Rurociąg ssawny par suchych	Przekrój rurociągu ssawnego	mm ² [cal ²]	22 134 [34,31]	8097 [12,55]	2242 [3,48]
Rurociąg cieczowy	Przekrój rurociągu cieczowego	mm ² [cal ²]	1089 [1,69]	353 [0,55]	975 [1,51]
Całkowita powierzchnia przekroju rurociągów	Suma przekrojów rurociągów pary suche + cieczowy	mm ² [cal ²]	23 223 [36,00]	8450 [13,10]	3217 [4,99]
Względna powierzchnia przekroju	-	-	7,2	2,6	1,0
Powierzchnia przekroju rurociągu cieczowego	%		5	4	30
Powierzchnia przekroju rurociągu pary suche	%		95	96	70



L_{wyřrów.} = 50 [m] / 194 [stopy] - Temp. parowania: TE = -40[°C] / -40[°F] - Temp. skraplania: TE = -15[°C] / -5[°F]

Tabela 3

Porównanie wydajności sprężarek

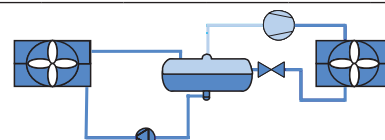


Czynnik chłodniczy			R134a	R717	CO ₂
Wydajność chłodnicza	kW [TR]		250 [71]	250 [71]	250 [71]
Wydajność objętościowa sprężarki	m ³ /godz. [stopy ³ /godz.]		1628 [57 489]	1092 [38 578]	124 [4387]
Względna wydajność	-	-	13,1	8,8	1,0

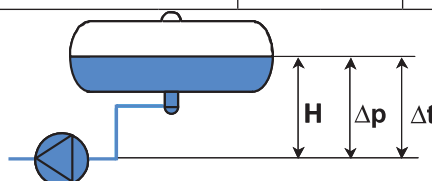
Temp. parowania: TE = -40[°C] / -40[°F] — Temp. skraplania: TE = -15[°C] / -5[°F]

Tabela 4

Porównanie ciśnienia / dochłodzenia wynikającego ze słupa cieczy



Czynnik chłodniczy			R134a	R717	CO ₂
Wysokość słupa cieczy „H”	m [stopy]		3 [9,8]	3 [9,8]	3 [9,8]
Ciśnienie wytwarzane przez słup cieczy Δp	bar [psi]		0,418 [6,06]	0,213 [2,95]	0,329 [4,77]
Dochłodzenie wynikające z słupa cieczy Δt	K [°F]		14,91 [26,8]	5,21 [9,4]	0,88 [1,6]



Temp. parowania: TE = -40[°C] / -40[°F]

Tabela 5

Rurociągi powrotu par mokrych w obiegach pompowych:

Porównanie obiegów zasilanych pompowo pokazuje, że rurociągi powrotne par mokrych w obiegach CO₂ mogą być wykonywane z rur o dużo mniejszej średnicy niż w przypadku amoniaku czy R134a (tabela 3). W przypadku rurociągów powrotnych par mokrych CO₂ dopuszczalny spadek ciśnienia dla jednakowej temperatury jest około 10 razy wyższy

niż w rurociągach powrotnych par mokrych amoniaku czy R134a. To zjawisko wynika z względnie wysokiej gęstości CO₂ w fazie gazowej. Powyższe porównanie wykonano dla krotności cyrkulacji $n=3$. Wyniki będą nieznacznie inne, jeśli krotność cyrkulacji zostanie zoptymalizowana dla danego czynnika.

Rurociągi ssawne w obiegach zasilanych ciśnieniowo:

W porównaniu rurociągów ssawnych par suchych wyniki są niemalże takie same jak w poprzednim porównaniu, w zakresie zarówno spadku ciśnienia, jak i wielkości rurociągu (tabela 2).

Rurociągi cieczowe:

W przypadku układów zasilanych ciśnieniowo lub pompowo średnice rurociągów cieczowych CO₂ są dużo większe niż w przypadku amoniaku, ale tylko niewiele większe niż w przypadku R134a (tabela 1 i 2). Można to wytłumaczyć dużo wyższym ciepłem utajonym amoniaku w porównaniu z CO₂ i R134a.

W tabeli przedstawiono porównanie względnej powierzchni przekrojów rurociągów cieczowych i pary dla trzech czynników (tabela 1). Całkowita powierzchnia przekroju rurociągów dla układu CO₂ jest około 2,5 raza mniejsza niż w przypadku układu amoniakalnego i około siedem razy mniejsza niż w przypadku R134a. Ten wynik prowadzi do interesujących wniosków w odniesieniu do względnych kosztów instalacji dla tych trzech czynników. Z uwagi na względnie małą objętość pary w układzie CO₂ i dużą objętościową wydajność chłodniczą, układy CO₂ są relatywnie podatne na zmianę wydajności. Jest zatem istotne, aby zaprojektować oddzielną ciecz o dostatecznej objętości, aby możliwa była kompensacja małej objętości pary w przewodach.

Dla trzech omawianych czynników obliczono wymaganą wydajność sprężarki przy identycznych obciążeniach cieplnych (tabela 4). Jak widać, układ CO₂ wymaga dużo mniejszej sprężarki niż układ wykorzystujący amoniak czy R134a.

Przy sprężarkach o identycznej pojemności skokowej, wydajność sprężarki dla CO₂ jest 8,8 raza większa niż w przypadku amoniaku i 13 razy większa niż w przypadku R134a.

Dla trzech omawianych czynników obliczono dochłodzenie wytwarzane przez słup cieczy o określonej wysokości „H” (tabela 5). Dochłodzenie w słupie cieczy CO₂ jest dużo mniejsze niż w przypadku amoniaku i R134a. O tej właściwości należy pamiętać przy projektowaniu układów CO₂, aby uniknąć kawitacji i innych problemów z pompami cyrkulacyjnymi CO₂.

10.8

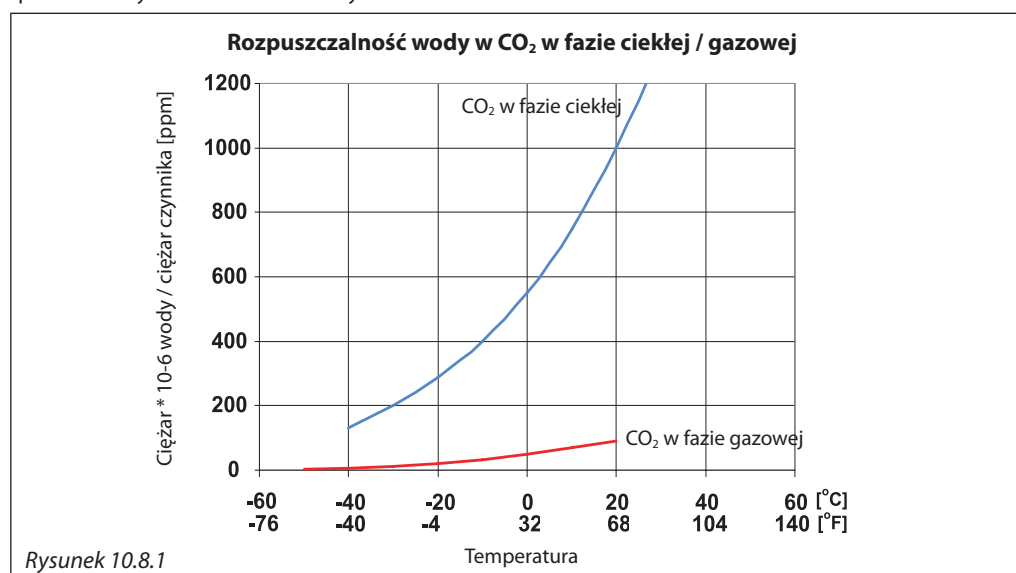
Woda w układach CO₂

W układach amoniakalnych olej jest wymieniany regularnie, a gazy nieskrapające się, są często usuwane w celu zminimalizowania gromadzenia się oleju, wody i stałych zanieczyszczeń, które mogą być przyczyną problemów.

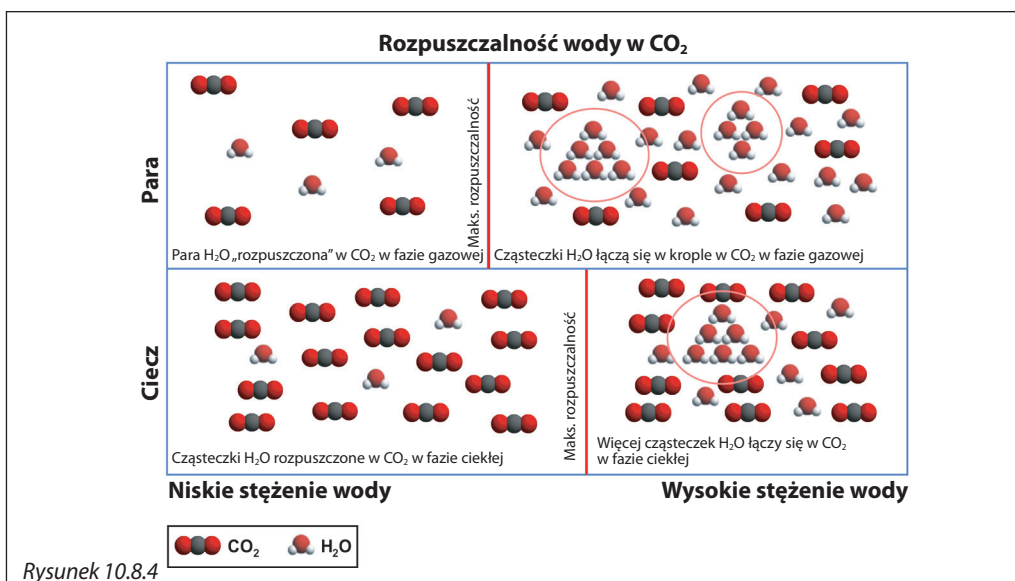
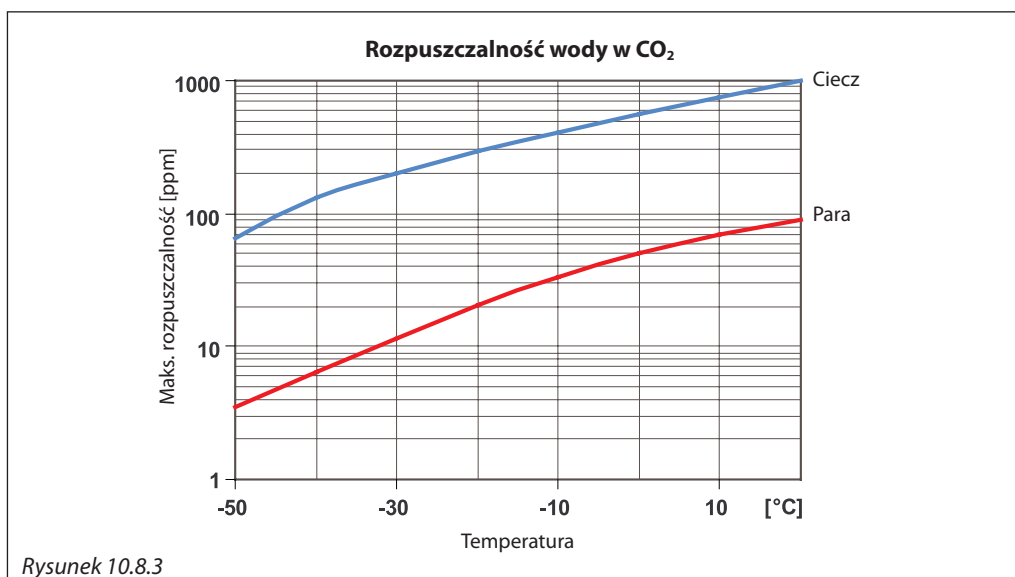
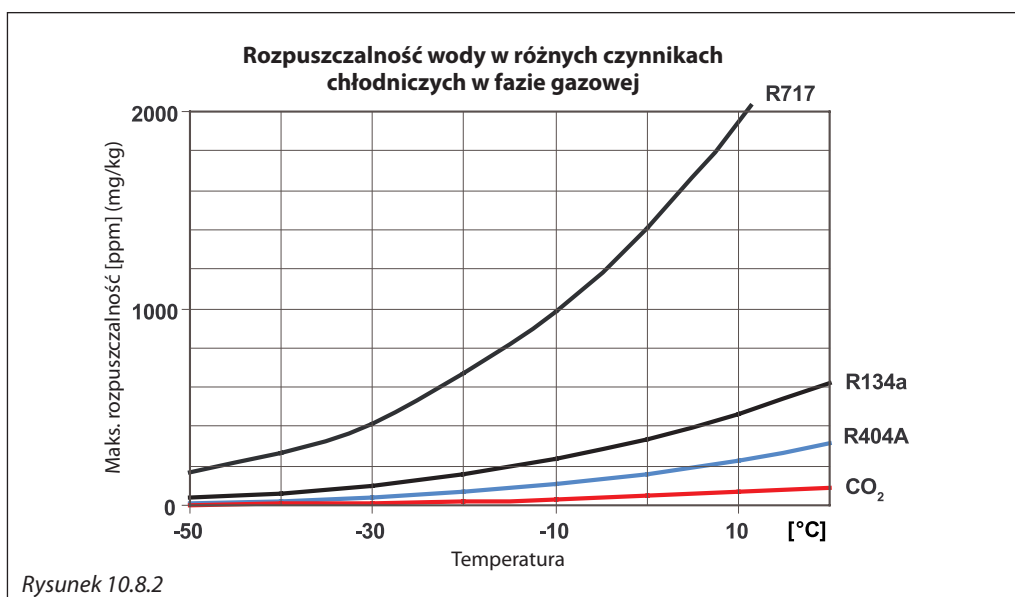
W porównaniu do układów amoniakalnych, obieg z CO₂ są mniej czułe, ale problemy mogą występować w przypadku obecności wody. W niektórych wczesnych instalacjach wykorzystujących CO₂ występowały problemy m.in. z podzespołami regulacyjnymi. Badania ujawniły, że wiele z tych problemów było spowodowanych zamarzaniem wody w układzie.

We współczesnych układach stosuje się filtry odwadniacze w celu utrzymania zawartości wody w układzie na możliwie niskim poziomie.

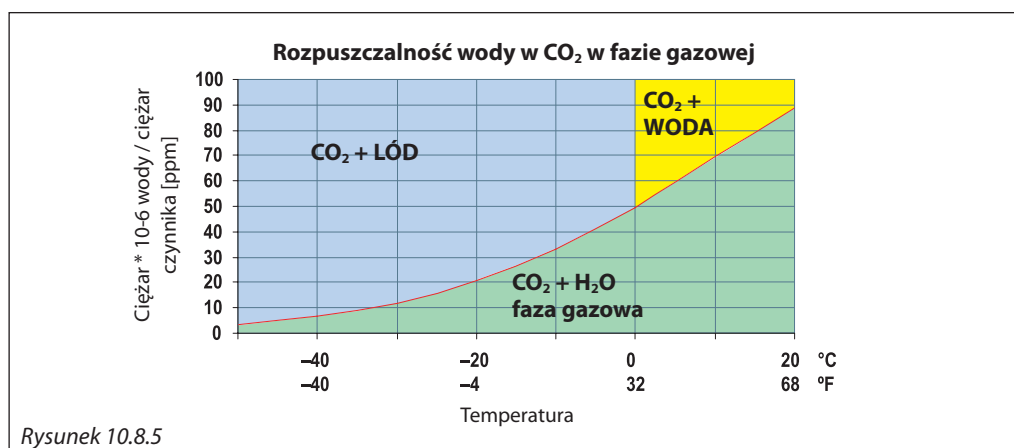
Dopuszczalny poziom wody w układach CO₂ jest dużo niższy niż w przypadku innych powszechnie używanych czynników chłodniczych. Wykres na rysunku 10.8.1 przedstawia rozpuszczalność wody w CO₂ w fazie ciekłej i gazowej w funkcji temperatury. Rozpuszczalność w fazie ciekłej jest dużo wyższa niż w fazie gazowej. Rozpuszczalność w fazie gazowej jest znana także jako *punkt rosy*.



10.8 Woda w układach CO₂ (ciąg dalszy)



10.8 Woda w układach CO₂ (ciąg dalszy)



Wykres na rysunku 10.8.1 pokazuje, że rozpuszczalność wody w CO₂ jest dużo niższa niż w przypadku R134a czy amoniaku. Przy -20°C [-4°F] rozpuszczalność wody w fazie ciekłej wynosi:

- 20,8 ppm dla CO₂
- 158 ppm dla R134a
- 672 ppm dla amoniaku

Poniżej tych wartości woda pozostaje rozpuszczona w czynniku chłodniczym i nie może zaszkodzić układowi. Jak pokazano na rysunku 10.8.4, cząsteczki wody (H₂O) są rozpuszczone, jeśli stężenie jest niższe niż wartość graniczna maksymalnej rozpuszczalności,

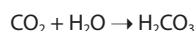
a wytrącają się z roztworu w postaci kropli, jeśli stężenie wody jest wyższe niż wartość graniczna maksymalnej rozpuszczalności.

Jeśli dopuści się, aby stężenie wody przekroczyło ten limit w układzie CO₂, mogą wystąpić problemy, zwłaszcza gdy temperatura będzie poniżej 0°C. W takiej sytuacji woda zamrze, a lód może zablokować zawory regulacyjne, zawory elektromagnetyczne, filtry i inne elementy (rys. 10.8.5). Ten problem jest szczególnie znaczący w układach CO₂ zasilanych i zasilanych ciśnieniowo, a mniej istotny w przypadku układów pośrednich ze względu na użycie mniej czułych podzespołów.

Reakcje chemiczne

Należy zaznaczyć, że niżej opisane reakcje nie zachodzą w dobrze serwisowanych układach CO₂, w których zawartość wody jest utrzymywana poniżej wartości granicznej maksymalnej rozpuszczalności.

W układach zamkniętych, takich jak obiegi chłodnicze, CO₂ może reagować z olejem, tlenem i wodą, szczególnie przy podwyższonej temperaturze i ciśnieniu. Na przykład, jeśli dopuści się, aby stężenie wody przekroczyło wartość graniczną maksymalnej rozpuszczalności, CO₂ może wytworzyć kwas węglowy w następujący sposób (źródła [4] i [5]):

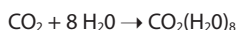


(CO₂ + woda → kwas węglowy)

W układach produkujących CO₂, w których stężenia wody mogą osiągać wysoki poziom, dobrze znanym faktem jest, że kwas węglowy może żrąco działać na kilka różnych materiałów, ale taka reakcja nie występuje w dobrze serwisowanym układzie CO₂, ponieważ zawartość wody jest utrzymywana poniżej wartości granicznej maksymalnej rozpuszczalności.

Woda w fazie gazowej

Jeśli stężenie wody jest względnie wysokie, CO₂ i para wodna mogą reagować i utworzyć hydrat gazowy CO₂:



(CO₂ + woda → hydrat CO₂)

Hydrat gazowy CO₂ to duża cząsteczka, która może występować w temperaturach powyżej 0°C [32°F]. Może być przyczyną problemów związanych z elementami regulacyjnymi i filtrami, jakie są podobne do problemów z lodem.

Olej typ POE

Ogólnie rzecz ujmując, estry takie jak POE, reagują z wodą w następujący sposób:



(ester + woda → alkohol + kwas organiczny)

Jak przedstawiono, w przypadku obecności wody olej POE będzie z nią reagować do alkoholu i kwasu organicznego (karboksylowego), który jest na tyle mocny, że może reagować z metalami w układzie. Dlatego jest niezwykle ważne, aby ograniczać stężenie wody w układach CO₂, jeśli zastosowano olej POE.

Olej typu PAO



(olej + tlen → woda + kwas)

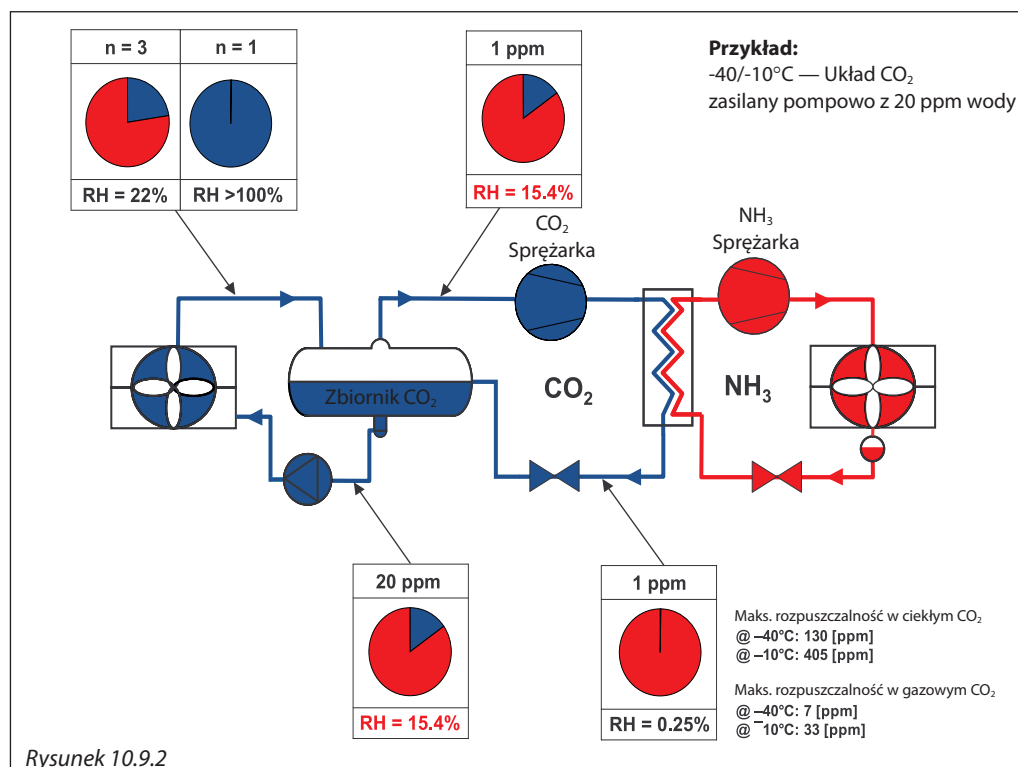
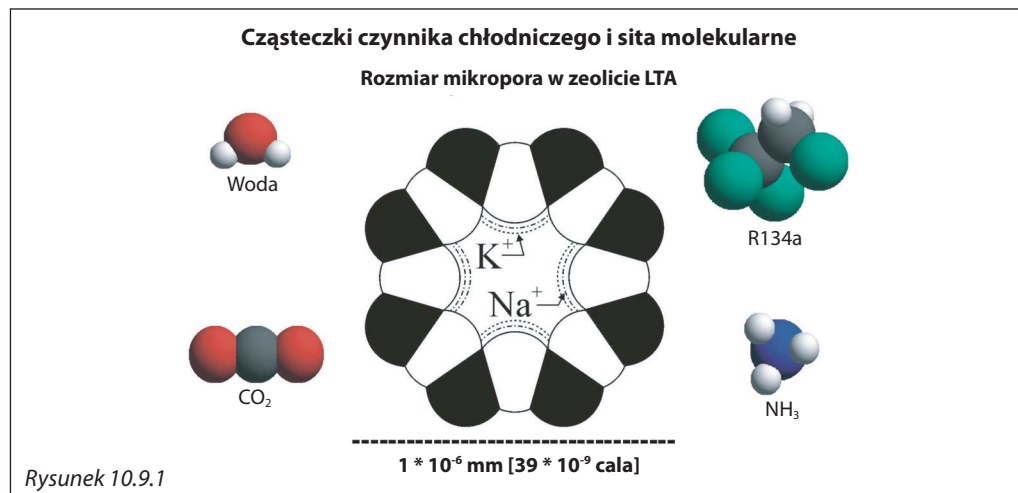
Olej PAO jest nazywany również olejem syntetycznym. Zazwyczaj PAO jest bardzo stabilny. Jednakże w razie obecności dostatecznej ilości wolnego tlenu, który może powstać np. w wyniku korozji rur, tlen będzie reagować z olejem w celu utworzenia kwasu karboksylowego.

10.9 Usuwanie wody

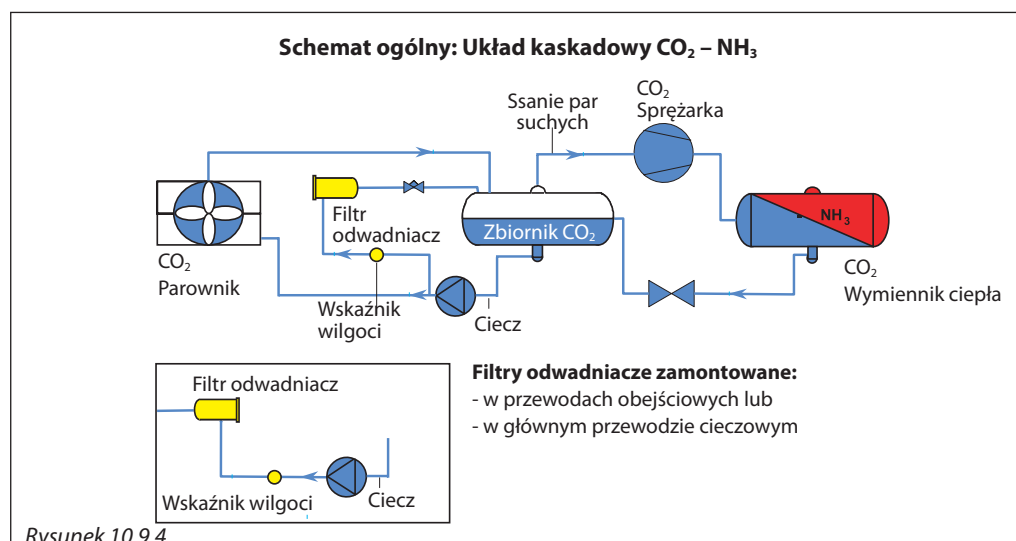
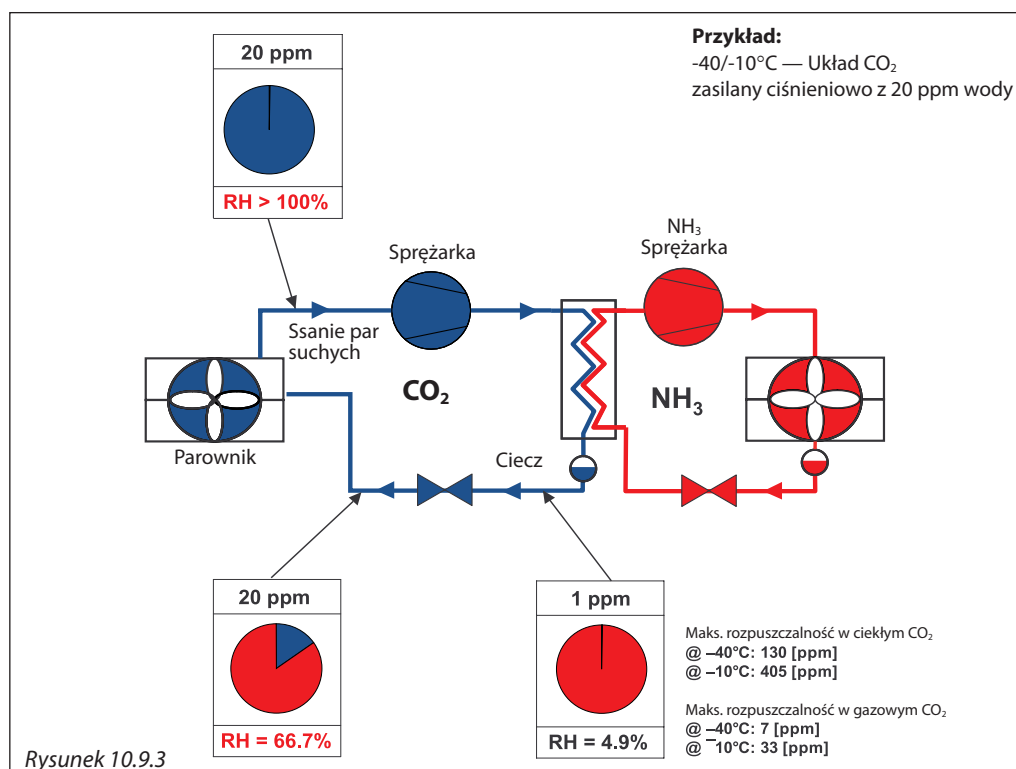
Bardzo skuteczną metodą zapobiegania wyżej opisanym reakcjom chemicznym jest kontrolowanie zawartości wody w układzie chłodniczym.

W układach freonowych, do usuwania wody powszechnie używane są filtry odwadniające, zazwyczaj z wkładem zeolitowym. Zeolit ma niezwykle małe pory i działa jak sito molekularne (rysunek 10.9.1).

Cząsteczki wody są na tyle małe, że przenikają przez sito, a ponieważ są bardzo heteropolarne, są pochłaniane przez cząsteczki zeolitu. Cząsteczki czynnika R134a są zbyt duże, aby przeniknąć sito. Woda zostaje usunięta wraz z wyjęciem wymiennego wkładu.



10.9 Usuwanie wody (ciąg dalszy)



CO₂ nie jest cząsteczką heteropolarną, więc proces jej usuwania jest inny. Podobnie jak cząsteczki wody, cząsteczki CO₂ są dostatecznie małe, aby przenikać przez sito molekularne. Jednakże cząsteczki wody pochłaniane przez sito molekularne wypierają cząsteczki CO₂ ze względu na różnicę biegunowości. Filtry odwadniacze zeolitowe nie mogą być używane w układach amoniakalnych, ponieważ zarówno woda, jak i amoniak, są bardzo spolaryzowane. Pomimo że odwadniacze w tym zakresie działają inaczej w układach CO₂, ich skuteczność jest całkiem dobra. Zdolność do wiązania wody jest mniej więcej taka sama jak w układach R134a.

Najbardziej korzystnym usytuowaniem do wykrywania i usuwania wody jest miejsce, gdzie jej stężenie jest duże. Rozpuszczalność wody w CO₂ jest dużo niższa w fazie gazowej

niż w fazie ciekłej, więc większa ilość wody może być transportowana w przewodach cieczowych.

Na rys. 10.9.2 przedstawiono zmienność wilgotności względnej w układzie zasilanym pompowo pracującym z temperaturą -40°C. Rysunek pokazuje, że wilgotność względna jest najwyższa w rurociągu powrotu par mokrych i że zależy od krotności cyrkulacji. W układach zasilanych ciśnieniowo zmiana wilgotności względnej jest inna, ale także w tym przypadku najwyższe stężenie występuje w przewodzie ssawnym (rys. 10.9.3).

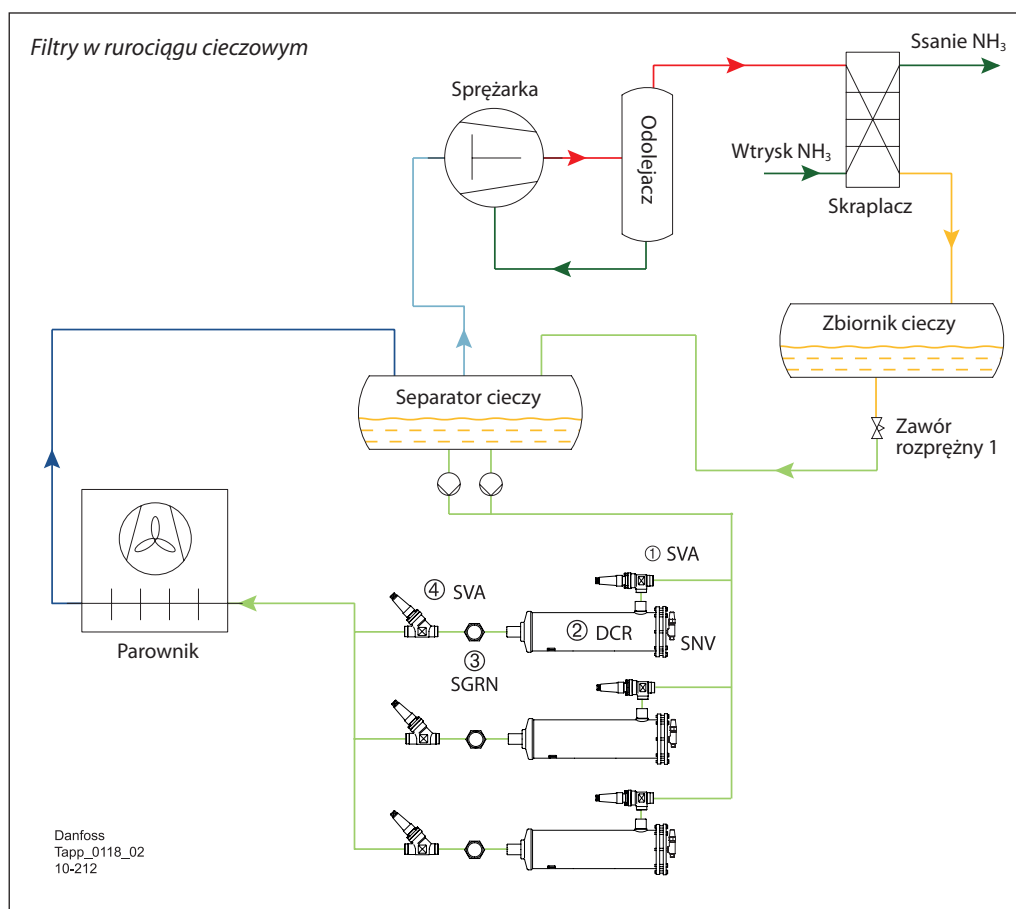
Zgodnie z tą zasadą, wskaźniki wilgotności i filtry odwadniacze są zazwyczaj instalowane w rurociągu cieczowym zasilającym lub obejściowym biegnącym ze zbiornika (rysunki 10.9.4 i 10.9.5).

Przykład zastosowania 10.9.5:
Filtry odwadniacze w pompowych instalacjach chłodniczych z CO₂

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr odwadniacz
- ③ Wziernik
- ④ Zawór odcinający

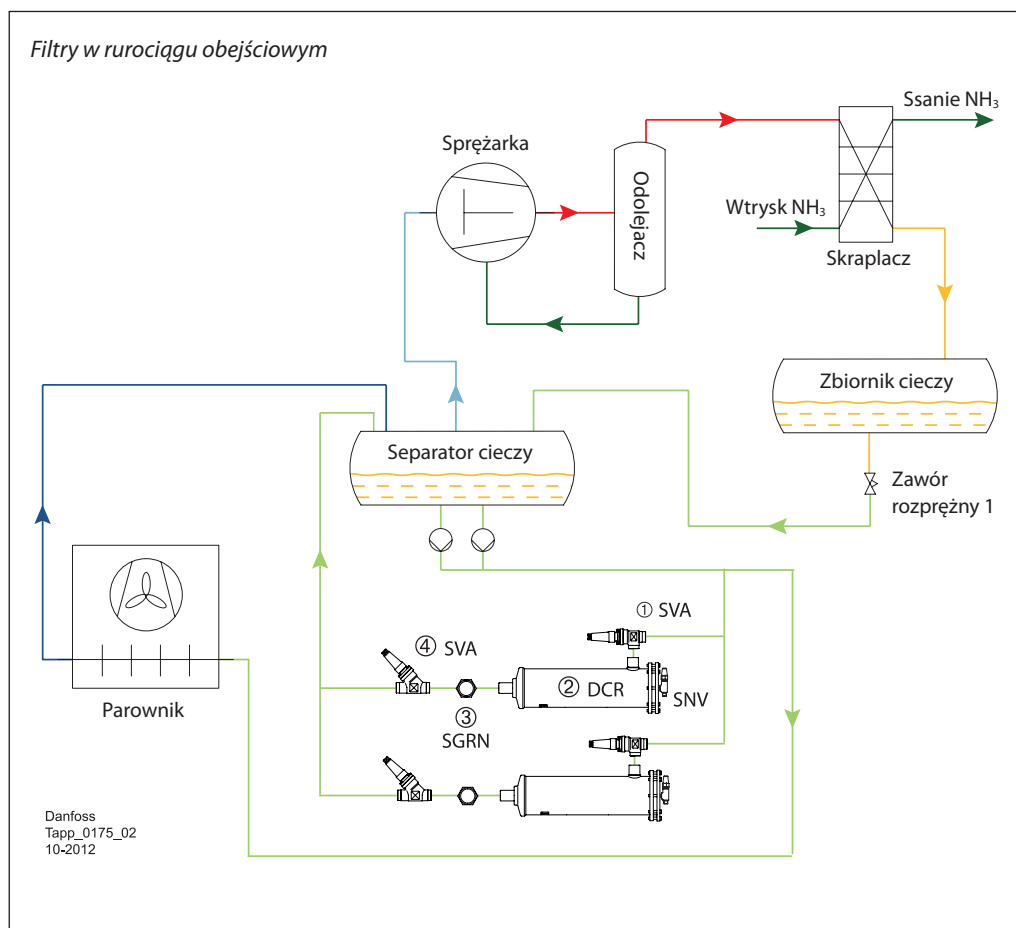
Filtry w rurociągu cieczowym



- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr odwadniacz
- ③ Wziernik
- ④ Zawór odcinający

Filtry w rurociągu obejściowym



Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Przykład zastosowania 10.9.6:
Filtry odwadniacze
w pompowych instalacjach
chłodniczych z CO₂
(ciąg dalszy)

Montując filtr odwadniacz w instalacji chłodniczej z CO₂ należy rozważyć następujące kwestie:

- **Wilgotność względna**
Wilgotność względna powinna być wysoka.
- **Spadek ciśnienia**
Spadek ciśnienia na filtrze odwadniaczu powinien być mały. Wydajność układu nie powinna być zależna od tego spadku ciśnienia.
- **Przepływ dwufazowy**
Należy unikać przepływu dwufazowego w filtrze odwadniaczu, gdyż powstaje ryzyko powstawania lodu i blokowania przepływu, z powodu specyficznej rozpuszczalności wody.

W układach pompowych z CO₂, zaleca się instalowanie filtrów odwadniaczy w rurociągach ciekowych, przed parownikami. W tych rurociągach wilgotność względna jest wysoka, nie ma przepływu dwufazowego, a spadek ciśnienia nie odgrywa dużej roli.

Umieszczenie filtrów odwadniaczy w innych punktach układu nie jest zalecane z następujących względów:

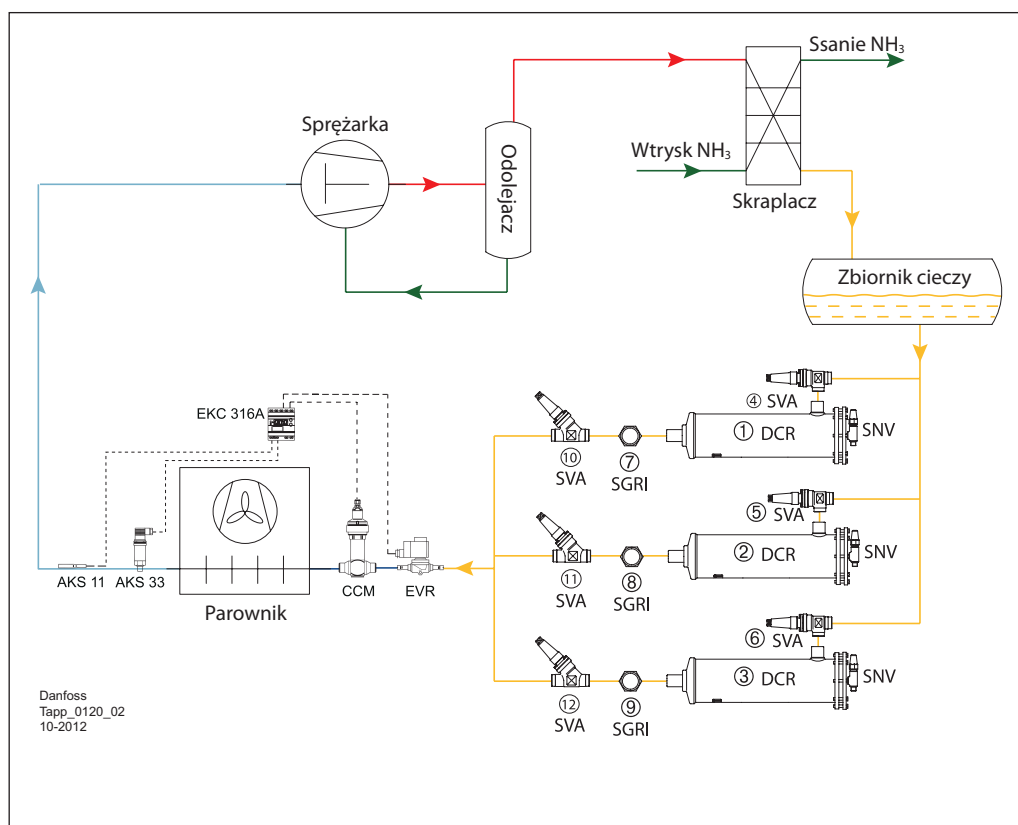
1. Na odcinku sprężarka — skraplacz — zawór rozprężny panuje niska wilgotność względna. W oddzielaczu cieczy ponad 90% wilgoci znajduje się w fazie ciekłej czynnika chłodniczego, z uwagi na znacznie niższą niż w cieczy rozpuszczalność wody w gazowym CO₂. Dlatego wraz z zasysaną parą do sprężarki trafia mała ilość wilgoci. Filtr odwadniacz zainstalowany po stronie wysokiego ciśnienia miałby zbyt niską wydajność.
2. W rurociągu pary mokrej istnieje ryzyko powstawania lodu w przepływie dwufazowym.
3. W rurociągu ciekowym, przed pompami czynnika spadek ciśnienia w filtrze odwadniaczu zwiększa ryzyko wystąpienia kawitacji w pompach.

Jeżeli wydajność pojedynczego filtra odwadniacza jest niewystarczająca, można połączyć równolegle kilka filtrów.

Przykład zastosowania 10.9.7:
Filtry odwadniacze w instalacjach
chłodniczych z CO₂, przy
ciśnieniowym zasilaniu
parowników

- Czynniki w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanka cieczy i pary
- Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Filtr odwadniacz
- ② Filtr odwadniacz
- ③ Filtr odwadniacz
- ④ Zawór odcinający
- ⑤ Zawór odcinający
- ⑥ Zawór odcinający
- ⑦ Wziernik
- ⑧ Wziernik
- ⑨ Wziernik
- ⑩ Zawór odcinający
- ⑪ Zawór odcinający
- ⑫ Zawór odcinający



W układach CO₂ z ciśnieniowym zasilaniem parowników, zawartość wilgoci jest jednakowa w całej instalacji, więc wilgotność względna może sięgać tylko wartości odpowiadającej maksymalnej rozpuszczalności wody w czynniku.

Chociaż wilgotność względna w rurociągu ciekowym, przed zaworem rozprężnym jest stosunkowo niska z powodu dużej rozpuszczalności maksymalnej wody w ciekłym CO₂ o wysokiej temperaturze, to zaleca się instalację filtrów odwadniaczy właśnie w tym rurociągu (podobnie jak w układach z czynnikami syntetycznymi), z następujących powodów:

1. W rurociągu ssawnym i tłocznym istotne znaczenie miałby spadek ciśnienia w filtrze odwadniaczu, a w rurociągu ssawnym istnieje duże ryzyko powstawania lodu. Pomimo wysokiej wilgotności względnej nie zaleca się montażu filtrów odwadniaczy w tym miejscu.
2. Nie należy instalować filtra odwadniacza za zaworem rozprężnym, z uwagi na dwufazowy przepływ czynnika.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

10.10 Jak woda wnika do układu CO₂?

Inaczej niż w niektórych układach amoniakalnych, ciśnienie w układach CO₂ zawsze przewyższa ciśnienie atmosferyczne. Jednakże woda nadal może znaleźć swoją drogę wnikania do układów CO₂.

Woda może zanieczyszczać układ CO₂ na pięć różnych sposobów:

1. Dyfuzja
2. Czynności konserwacyjne i naprawy
3. Niepełne usunięcie wody w trakcie montażu/rozruchu
4. Napełnienie układu olejem zawierającym wodę
5. Napełnienie układu dwutlenkiem węgla zawierającym wodę

Z oczywistych względów należy unikać lub minimalizować wymienione problemy.

W celu zobrazowania scenariusza, w którym woda może zanieczyścić układ, pomyślmy o pracowniku serwisu, który mając pewność, że CO₂ jest bardzo bezpiecznym czynnikiem chłodniczym, postępuje niezgodnie z zasadami bezpieczeństwa, jakie obowiązują normalnie dla amoniaku. Może otworzyć układ w celu wykonania naprawy. Po otwarciu układu do jego wnętrza wnika powietrze, a wilgoć występująca w powietrzu skrapla się wewnątrz rur. Jeśli pracownik nie oczyści układu bardzo dokładnie, pewna ilość wody może pozostać we wnętrzu układu.

W innym scenariuszu pracownik zapomina, że olej POE, używany w tym układzie, charakteryzuje się dużym powinowactwem z wodą, i pozostawia odkręcony pojemnik z olejem. Po napełnieniu tym olejem układu chłodniczego, woda może zacząć sprawiać problemy.

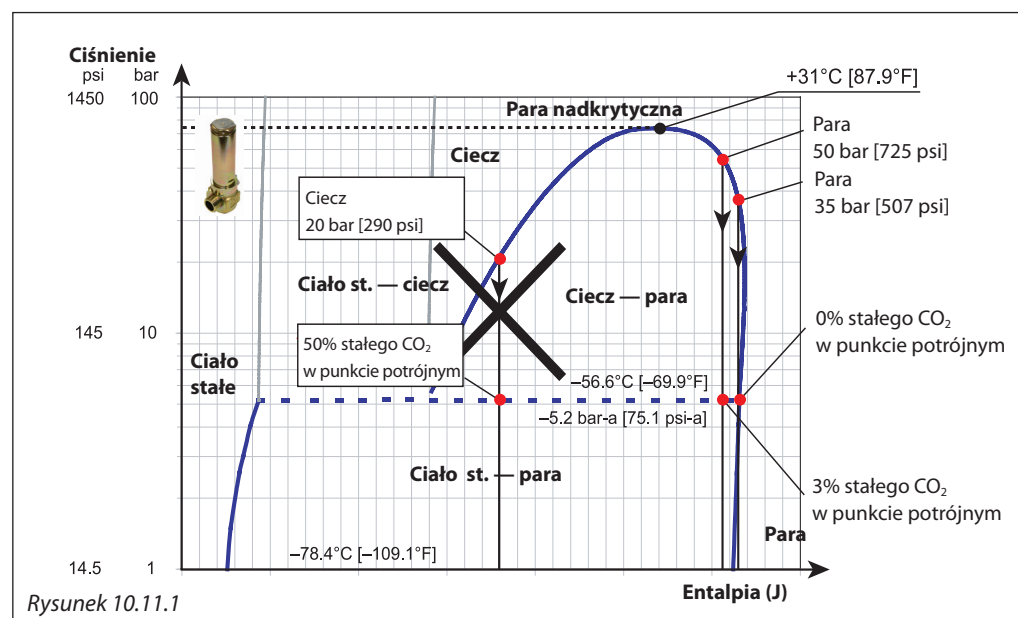
10.11 Różne zagadnienia, które należy wziąć pod uwagę w układach chłodniczych z CO₂

Zawór bezpieczeństwa

Szczególnie wysoki punkt potrójny CO₂ może prowadzić do wytworzenia się stałego CO₂ w określonych warunkach. Na rysunku 10.11.1 przedstawiono procesy rozprężania występujące w zaworach bezpieczeństwa, rozpoczynające się w trzech odmiennych warunkach. Jeśli nastawa

zaworu bezpieczeństwa w fazie gazowej wynosi przykładowo 35 bar [507 psi] lub mniej, linia najbardziej po prawej, ciśnienie w rurociągu wylotowym przejdzie przez punkt potrójny przy ciśnieniu 5,2 bar [75,1 psi]. Poniżej punktu potrójnego CO₂ będzie czystym gazem.

Rozprężanie CO₂ — zmiany fazy
Zawory bezpieczeństwa



Jeśli nastawa ciśnienia zaworu bezpieczeństwa w fazie gazowej wynosi przykładowo 50 bar [725 psi], środkowa linia, ciśnienie w rurociągu wylotowym przejdzie przez punkt potrójny, a 3% CO₂ zmieni się w ciało stałe w trakcie rozprężania. W najgorszym przypadku (np. długi rurociąg wylotowy z dużą ilością kolan) stałe CO₂ może zablokować rurociąg. Najskuteczniejszym rozwiązaniem tego problemu byłoby zamontowanie zaworu bezpieczeństwa bez rurociągu wylotowego i wyrzut z układu bezpośrednio do atmosfery. Zmiana fazy CO₂ nie zachodzi w zaworze, ale zaraz za nim, a w tym przypadku byłoby to w atmosferze.

Jeśli zawór bezpieczeństwa byłby ustawiony na wyrzut cieczy przy ciśnieniu 20 bar [290 psi], produkty wyrzucane przechodziłyby przez punkt potrójny, przy którym 50% CO₂ zmienia się w ciało stałe przy wurzucie, co wiązałoby się z dużym prawdopodobieństwem zablokowania rurociągu wyrzutowego. Z tego względu, aby skutecznie chronić rurociągi cieczowe przed tworzeniem się suchego lodu, zawory bezpieczeństwa należy montować w punktach układu, gdzie ciśnienie jest wyższe niż ciśnienie punktu potrójnego wynoszące 5,2 bar [75,1 psi].

Napełnianie CO₂

Ważne jest, aby układ napełniać fazą gazową CO₂ do momentu aż ciśnienie osiągnie 5,2 bar [75,1 psi]. Z tego powodu stanowczo zaleca się spisanie procedury napełniania układu CO₂. Podczas napełniania układu chłodniczego należy mieć świadomość, że do momentu, w którym ciśnienie w układzie osiągnie wartość odpowiednią dla

punktu potrójnego, CO₂ może występować wyłącznie jako ciało stałe lub gaz. Dodatkowo układ będzie poddawany bardzo niskim temperaturom do momentu podniesienia ciśnienia do odpowiedniego poziomu (rysunek 10.11.1). Na przykład, przy ciśnieniu 1 bar [14,5 psi] temperatura sublimacji wynosi -78,4°C [-109°F].

Czyszczenie filtra

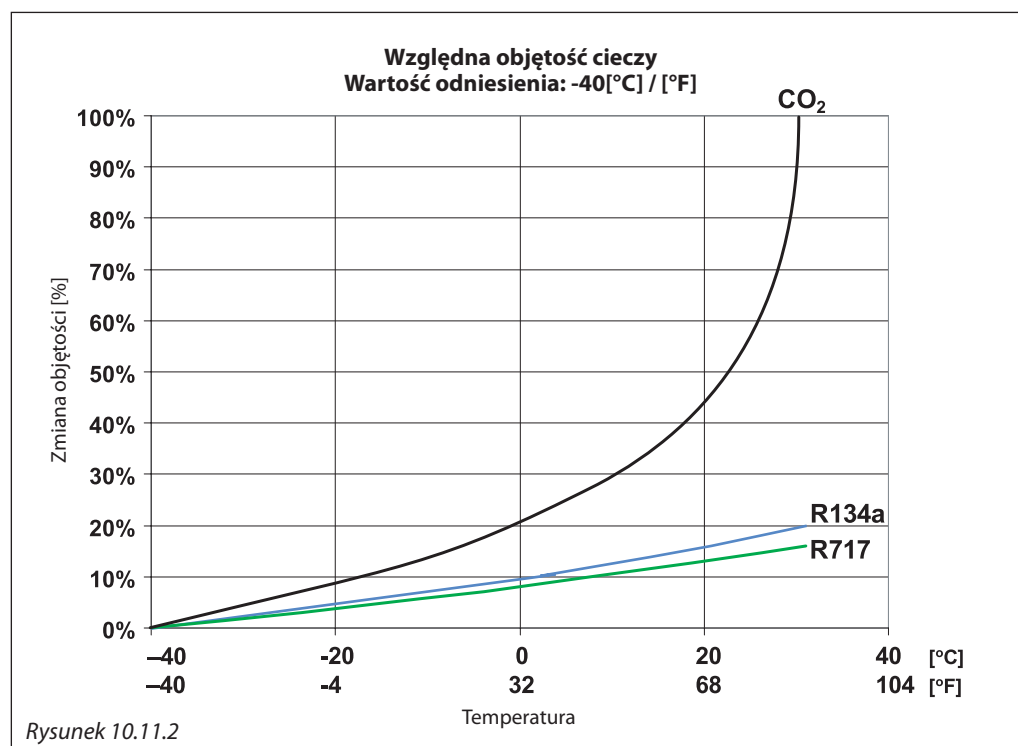
Takie same zasady dotyczą czyszczenia filtrów. Mimo że CO₂ jest nietoksyczny, nie można po prostu spuszczać płynów chłodniczych do atmosfery. W momencie kontaktu płynnego CO₂ z atmosferą faza ciekła częściowo przejdzie w fazę stałą, a temperatura drastycznie spadnie. Tak nagły spadek temperatury to wstrząs cieplny dla

materiałów użytych w układzie, który może doprowadzić do ich mechanicznego uszkodzenia. Takie działanie powinno być uznawane za naruszenie zasad postępowania ponieważ tych układów nie projektuje się z myślą o tak niskich temperaturach.

Uwięziona ciecz

Zamknięcie przechłodzonej cieczy stanowi potencjalne zagrożenie bezpieczeństwa w układach chłodniczych i zawsze należy unikać tego zjawiska. Ryzyko w przypadku układów z CO₂ jest jeszcze większe niż w układach wykorzystujących amoniak czy R134a. Wykres

na rysunku 10.11.2 przedstawia względną zmianę objętości cieczy dla trzech omawianych czynników chłodniczych. Jak widać, ciekły CO₂ zwiększa swoją objętość znacząco bardziej niż amoniak i R134a, zwłaszcza gdy temperatura zbliża się do punktu krytycznego CO₂.



Wycieki w układach kaskadowych CO₂-NH₃

Najbardziej krytycznym wyciekem w układach kaskadowych CO₂-NH₃ jest wyciek w wymiennikach ciepła pomiędzy częściami CO₂ i NH₃. Ciśnienie CO₂ będzie wyższe niż NH₃, więc przy wycieku zanieczyszczony zostanie układ NH₃.

W przypadku kontaktu CO₂ z NH₃ natychmiast tworzy się karbaminian amonu, który jest substancją stałą. Karbaminian amonu jest żrący (źródło [5]).



Kompatybilność materiałowa

Inaczej niż NH₃, CO₂ jest kompatybilny prawie z wszystkimi powszechnie stosowanymi materiałami metalicznymi. Z punktu widzenia kompatybilności nie ma ograniczeń w zakresie stosowania miedzi czy mosiądzu. Kompatybilność CO₂ z polimerami to dużo bardziej skomplikowana kwestia. Ponieważ CO₂ jest substancją bardzo stabilną i obojętną, problemem nie są reakcje chemiczne z polimerami. Głównym problemem związanym z CO₂ są oddziaływania fizykochemiczne, takie jak przenikanie, pęcznienie i tworzenie wgłębień oraz wewnętrznych pęknięć. Oddziaływania te są powiązane z rozpuszczalnością i dyfuzyjnością CO₂ w tych materiałach.

Firma Danfoss przeprowadziła szereg badań, aby upewnić się, że podzespoły dopuszczone do współpracy z CO₂ wytrzymują działanie CO₂ we wszystkich aspektach.

Badania te ujawniły, że CO₂ zachowuje się inaczej niż pozostałe czynniki, a niektóre produkty musiały zostać zmodyfikowane. Należy wziąć pod uwagę dużą objętość CO₂, która może rozpuszczać się w polimerach. Niektóre powszechnie stosowane polimery nie są kompatybilne z CO₂, a inne wymagają specjalnych metod montażu, np. określonych materiałów uszczelnień. Gdy ciśnienie jest bliskie wartości krytycznej, a temperatura jest wysoka, oddziaływanie na polimery jest dużo silniejsze. Jednakże takie warunki nie są istotne w przypadku chłodnictwa przemysłowego ponieważ ciśnienie i temperatury w tych układach są niskie.

Wniosek

CO₂ ma dobre właściwości termodynamiczne, szczególnie w niskich temperaturach, jednak nie jest zamiennikiem amoniaku. Najczęściej spotykane przemysłowe układy chłodnicze z CO₂ to układy kaskadowe z obiegiem amoniakalnym na górnym stopniu.

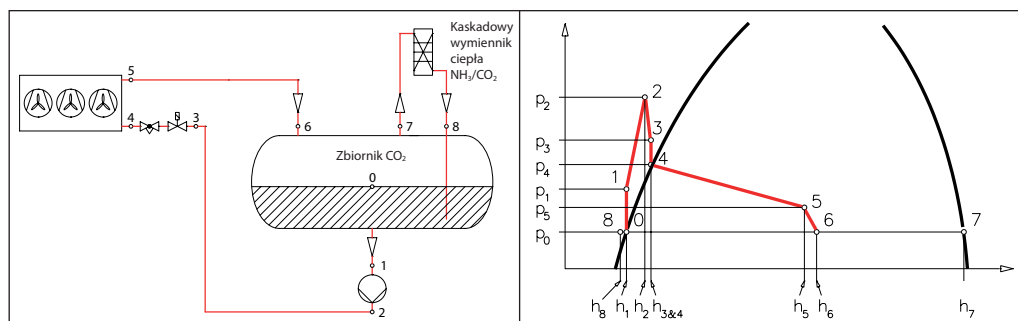
Pod wieloma względami CO₂ nie stwarza problemów eksploatacyjnych w układzie, jednak należy pamiętać, że w porównaniu do innych popularnych czynników chłodniczych, CO₂ odznacza się pewnymi specyficznymi właściwościami. Poznanie tych różnic i pamiętanie o nich w trakcie projektowania, montażu, rozruchu technologicznego i eksploatacji pomoże uniknąć problemów.

Dostępność podzespołów do przemysłowych układów chłodniczych z CO₂ o ciśnieniach do około 40 bar jest dobra. Kilku producentów urządzeń do tradycyjnych układów chłodniczych ma w ofercie również podzespoły do układów CO₂. Dostępność podzespołów do wysokociśnieniowych przemysłowych układów chłodniczych z CO₂ jest ograniczona, a dostępność najważniejszych podzespołów jest istotnym czynnikiem mającym wpływ na wzrost stosowania CO₂.

Materiał źródłowy:

- | | | |
|-----|---|--|
| [1] | Bondinus, William S | ASHRAE Journal, kwiecień 1999 |
| [2] | Lorentzen, Gustav, | Przedruk materiałów z konferencji IIR w 1994 r. „New Applications of Natural Working Fluids in Refrigeration and Air Condition” |
| [3] | P.S Nielsen i T.Lund | IIR - Albuquerque, st. Nowy Meksyk 2003, Introducing a New Ammonia/CO ₂ Cascade Concept for Large Fishing Vessels |
| [4] | Broesby-Olsen, Finn | Laboratorium chemii fizycznej, Danfoss A/S
Międzynarodowe sympozjum poświęcone czynnikom chłodniczym alternatywnym dla HCFC. Kobe 1998
IIF — IIR, komisja B1, B2 i E2, Purdue University |
| [5] | Broesby-Olsen, Finn | Laboratorium chemii fizycznej, Danfoss A/S
IIF — IIR komisja B1, B2, E1 i E2, Aarhus, Dania 1996 |
| [6] | IoR. Safety Code for Refrigeration Systems Utilizing Carbon Dioxide | The Institute of Refrigeration. 2003. |
| [7] | Vestergaard N.P. | IIR — Orlando 2004. CO ₂ in subcritical Refrigeration Systems |
| [8] | Vestergaard N.P. | RAC — magazyn poświęcony chłodnictwu i klimatyzacji, styczeń 2004. Getting to grips with carbon dioxide. |

11. Pośrednie układy pompowe oparte na CO₂ jako czynniku chłodniczym



Rysunek 11.1 — Ogólny schemat obiegu CO₂ z zasilaniem pompowym.

Ogólny opis układów

Typowy schemat układu NH₃/CO₂ o niskiej/średniej temperaturze (rys. 11.1) składa się z następujących elementów:

- standardowy układ chłodniczy z NH₃ z kaskadowym wymiennikiem ciepła pełniącym rolę parownika/skraplacza
- CO₂ występuje jako ciecz łatwo wrząca w parownikach (układy zalne (1-6))

CO₂ grawitacyjnie krąży w kaskadowym wymienniku ciepła, co zapewnia dobrą kontrolę nad temperaturą CO₂ w zbiorniku.

CO₂ w fazie gazowej unosi się do góry (7) do kaskadowego wymiennika ciepła, gdzie jest schładzany przez NH₃, skrapla się i spływa z powrotem do zbiornika CO₂ jako ciekły CO₂ (8). Po stronie amoniaku obieg chłodniczy może być kontrolowany przez wysokociśnieniowy zawór pływakowy (HFI) lub przez bezpośrednie rozprężanie w parowniku (np. za pomocą elektronicznie sterowanego zaworu rozprężnego typu ICM i regulatora kaskadowego typu EKC 313).

Porównanie układów pośrednich NH₃/glikol i NH₃/CO₂ jako medium pośrednie.

Wydajność układu:

Układy cieczowe NH₃/CO₂ charakteryzują się znacznie niższym zużyciem energii w porównaniu z tradycyjnymi układami z NH₃ i glikolem. Współczynnik COP układu jest wyższy z następujących powodów:

- **Temperatura parowania i wydajność wymiennika ciepła (PHE)** Zazwyczaj temperatura parowania po stronie wysokiego ciśnienia w układzie NH₃ jest kilka stopni wyższa. Wynika to z lepszego współczynnika wymiany ciepła CO₂ w chłodnicach powietrza i w PHE, co skutkuje mniejszą różnicą temperatur w wymiennikach. To bezpośrednio przekłada się na zmniejszenie zużycia energii przez sprężarki NH₃. Współczynnik COP dla układów NH₃/CO₂ jest bliski wartościom dotyczących układów z NH₃.

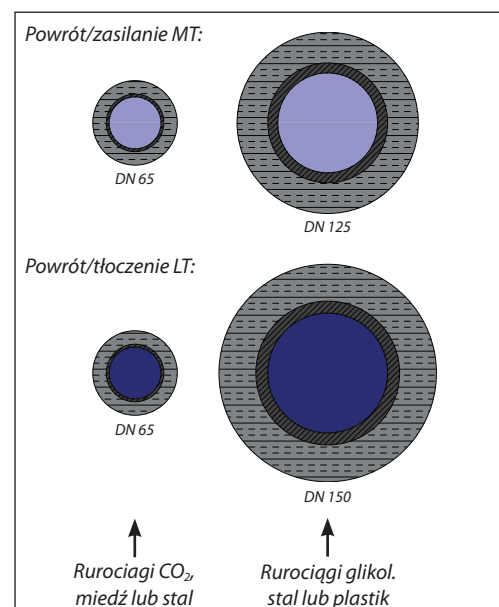
- **Zużycie energii przez pompy** Energia wymagana przez pompy do cyrkulacji CO₂ przez chłodnice powietrza jest znacznie niższa, ze względu na fakt, że może być pompowana mniejsza ilość CO₂, a także dzięki niższej gęstości CO₂. Współczynnik recyrkulacji pompy CO₂ również jest względnie niski (zazwyczaj między 1,1 a 2), a to umożliwia zastosowanie mniejszej pompy.

Średnice rurociągów i wielkość pomp dla mediów pośrednich:

Ze względu na duże ciepło właściwe CO₂ i jego mniejszą gęstość, można stosować mniejsze rurociągi i akcesoria w porównaniu do tradycyjnych układów pośrednich, zarówno w przypadku rurociągów tłocznych, jak i powrotnych.

Mniejsza objętość krążącego CO₂ oznacza, że można zastosować mniejsze pompy, które zużywają mniej energii w celu uzyskania takiej samej wydajności chłodniczej.

Mniejsze rurociągi CO₂ mają mniejszą powierzchnię zewnętrzną, a tym samym występują mniejsze straty ciepła niż w przypadku dużych rur z glikolem.



Rysunek 11.2 — Porównanie rozmiaru przewodów

Porównanie układów pośrednich NH₃/glikol i NH₃/CO₂ jako medium pośrednie.
(ciąg dalszy)

Optymalizacja zużycia energii:

Dalsze ograniczenie zużycia energii przez układy NH₃/CO₂ jest możliwe dzięki zastosowaniu zaawansowanych algorytmów regulacji. Dobrym sposobem na poprawienie wydajności (COP) układu jest zmniejszenie stosunku ciśnień w sprężarce NH₃. Można to osiągnąć na dwa sposoby:

- Utrzymywanie najniższego możliwego ciśnienia na skraplaczu.
- Utrzymywanie najwyższego możliwego ciśnienia parowania

Regulacja pracy skraplacza jest podobna jak w układach tradycyjnych. Wentylatory skraplacza mogą być regulowane przez sterownik i falownik AKD102, a ciśnienie skraplania może zmieniać się zależnie od temperatury otoczenia.

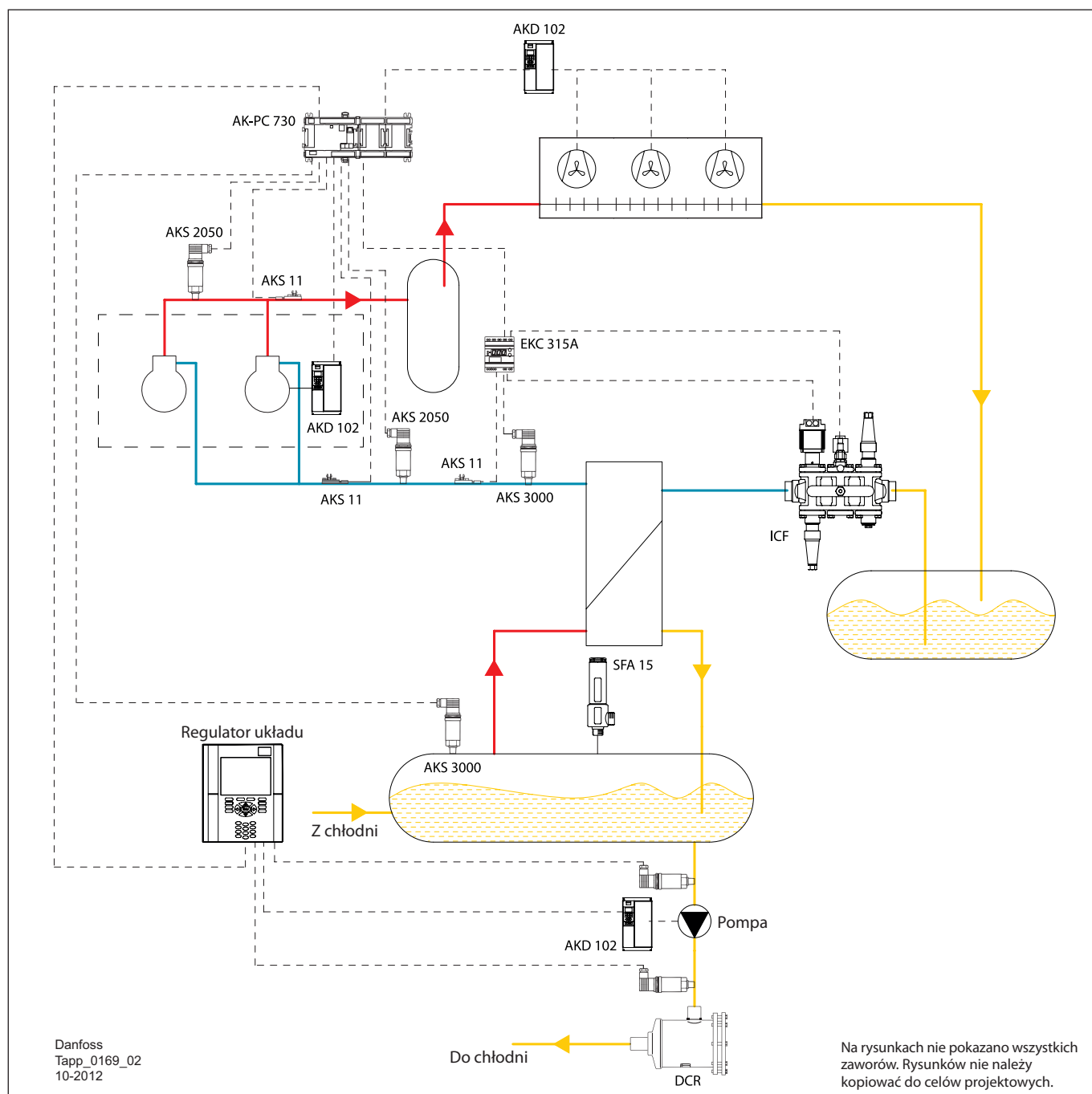
Można to zrealizować poprzez zastosowanie sterownika AK-PC 730/840 firmy Danfoss.

Regulacja ciśnienia ssania jest kolejnym elementem, w którym występują różnice pomiędzy kaskadowymi układami CO₂ a układami pośrednimi.

Przyjmując budowę układu jak na rys. 11.3, sygnał ciśnienia ze zbiornika CO₂ może być wykorzystywany do regulacji wydajności sprężarek kaskadowych (układu NH₃).

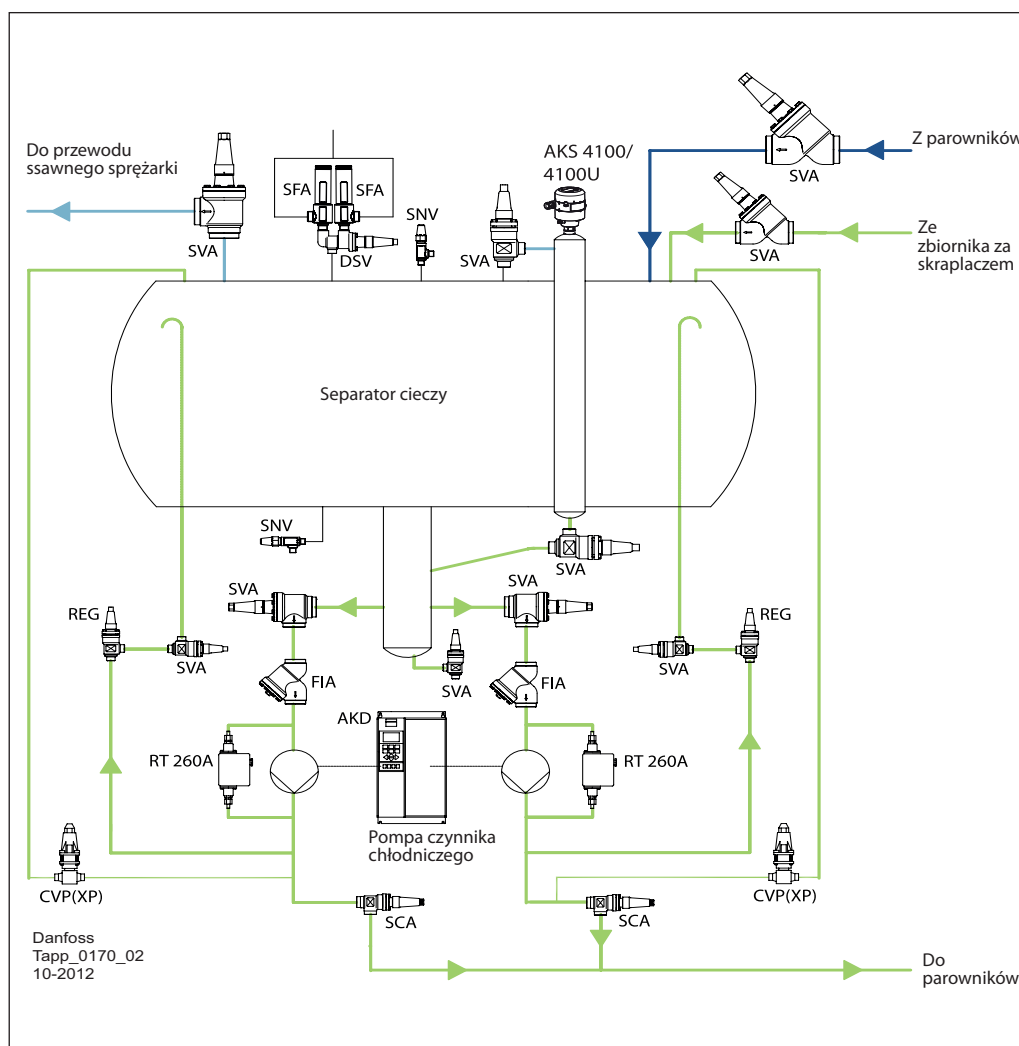
Gdy ciśnienie w zbiorniku CO₂ spada, prędkość sprężarek kaskadowych również spada w celu utrzymania stałego ciśnienia CO₂.

Tę funkcję może zapewnić zespół regulacyjny AK-PC 730 / 840.



Rysunek 11.3 — Zintegrowana regulacja układów CO₂ zasilanych pompowo

Regulacja prędkości
obrotowej pomp CO₂



Rysunek 11.4 — Pompy cyrkulacyjne CO₂ z przetwornicą AKD i wymaganymi zaworami oraz regulatorami

Występują dwa sposoby regulacji pracy pomp ciekłego CO₂: użycie prostej regulacji stopniowej ON/OFF lub użycie przetwornicy częstotliwości (typu AKD).

Regulacja z wykorzystaniem przetwornicy częstotliwości staje się coraz bardziej popularna z dwóch powodów: oszczędności energii i lepsze rozprowadzenie cieczy w węzłach parowników.

Oszczędność energii

Regulacja pomp CO₂ polega na utrzymaniu stałej różnicy ciśnień ssanie/tłoczenie. Przy pełnym obciążeniu zużycie energii przez pompę z falownikiem jest takie same lub nieznacznie wyższe niż w przypadku pompy o stałej prędkości. Podczas pracy w warunkach częściowego obciążenia pompa o stałej prędkości zużywa taką samą ilość energii ze względu na większą różnicę ciśnień. Pompa ciekłego CO₂ regulowana przetwornicą częstotliwości będzie pracować z mniejszą prędkością i zużywać mniej energii.

Oszczędności będą uzależnione od czasu działania i bieżących warunków pracy. Oszczędności mogą sięgać nawet 50%

w porównaniu z pompami pracującymi z normalną prędkością (ON/OFF).

Lepsze rozprowadzenie cieczy w parownikach
Wymogiem dobrej wydajności parowników / chłodnic powietrza jest prawidłowe rozprowadzenie ciekłego czynnika wymienniku.

Warunkiem wstępnym dla dobrego rozprowadzenia ciekłego czynnika jest stabilna różnica ciśnień na parownikach.

Pompy regulowane przetwornicami częstotliwości mogą zapewniać stabilny poziom ciśnienia przy wszystkich warunkach obciążenia. Przy niskiej wydajności zużycie energii będzie niskie, a przy wysokiej wydajności przepływ CO₂ będzie odpowiedni.

Typowy układ armatury i automatyki przy pompach CO₂ współpracujących z przetwornicą częstotliwości (typu AKD 102) przedstawiono na rysunku 11.4. Kolejną korzyścią wynikającą z zastosowania przetwornicy częstotliwości do sterowania pomp jest możliwość pominięcia dyszy upustowej (Q-max.)

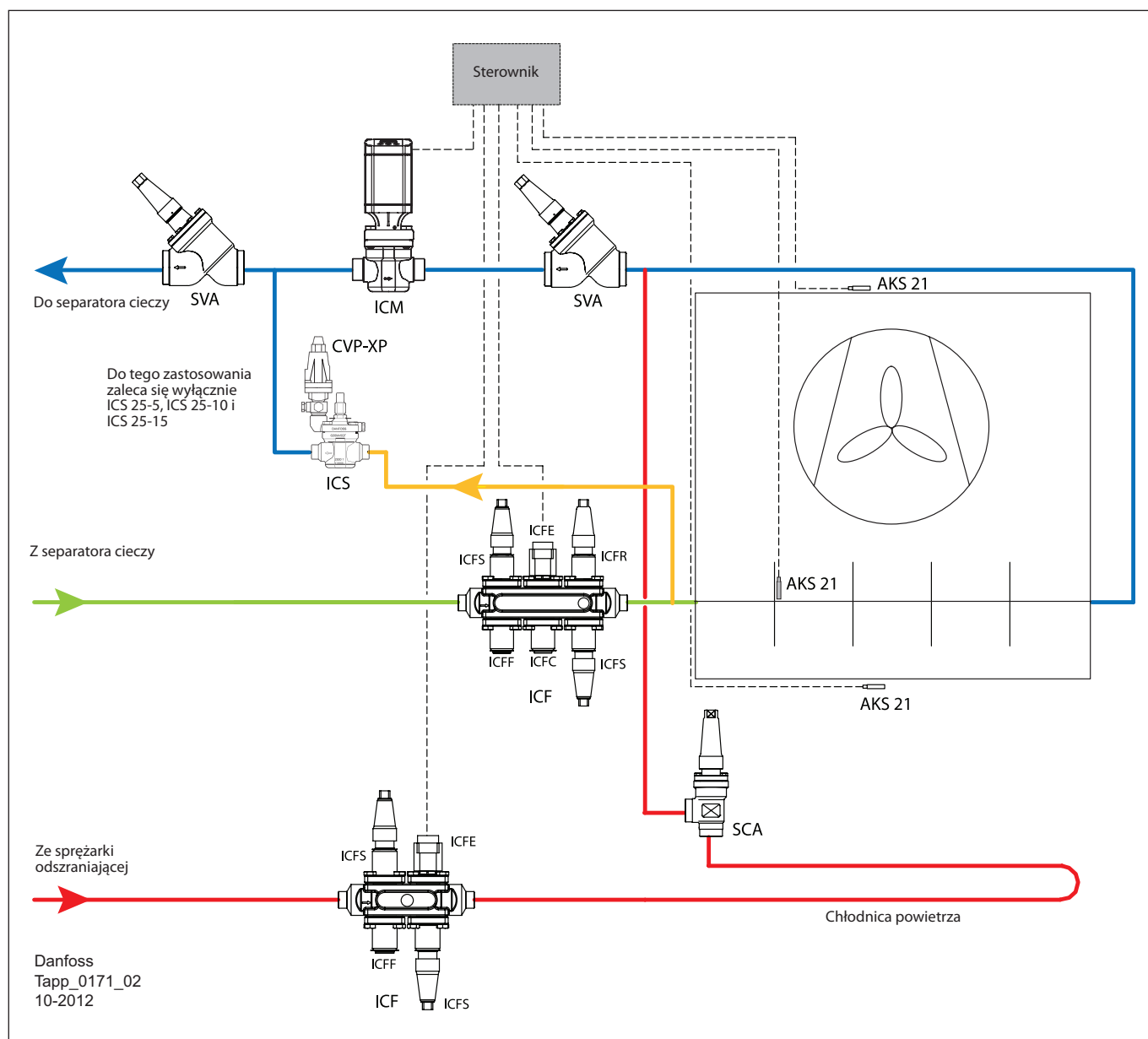
Odszranianie układów CO₂ zasilanych pompowo

Występuje kilka sposobów odszraniania chłdnic powietrza zasilanych pompowo CO₂.

- **Odszranianie elektryczne.** Jest to najprostsza i najmniej sprawna energetycznie metoda odszraniania. W niektórych przypadkach dodatkowe zapotrzebowanie na energię do odszraniania może być całkiem duże.
- **Odszranianie gorącym gazem.** Odszranianie gorącym gazem CO₂ może być stosowane, jeśli będzie wspomagane przez sprężarkę wbudowaną w układ. Sprężarka ta, działa wyłącznie wtedy, gdy konieczne jest odszranianie. Ta metoda jest bardziej ekonomiczna niż odszranianie elektryczne.

Proces jest podobny do tego, jaki stosuje się przy odszranianiu tradycyjnych układów NH₃.

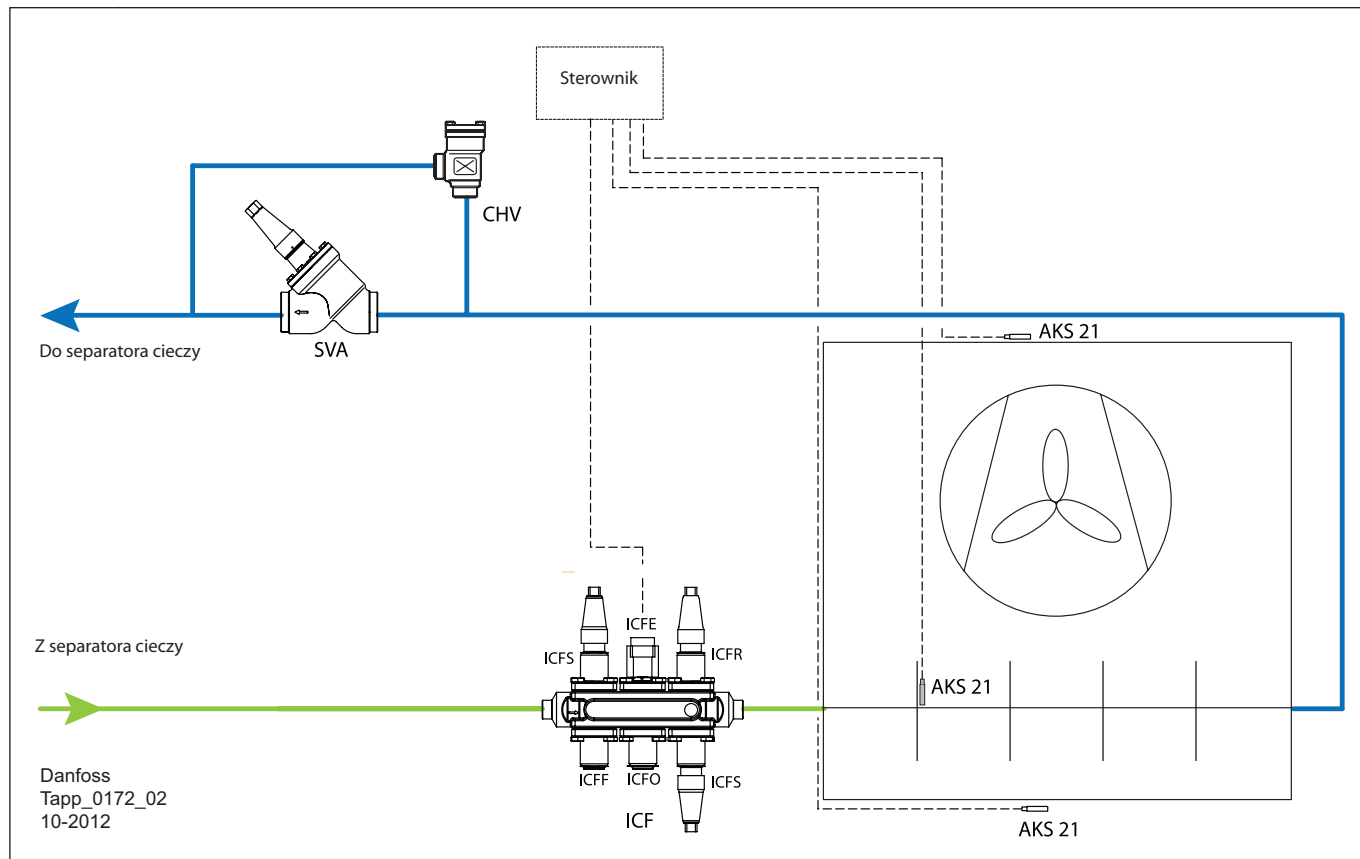
- **Odszranianie glikolem.** Przez użycie glikolu możliwe jest wykorzystanie ciepła odpadowego z układu kaskadowego do odszraniania parowników CO₂. Ta metoda jest szczególnie korzystna, jeśli skraplacz amoniaku jest chłodzony wodą.
- **Odszranianie wodą.** W niektórych przypadkach (zwłaszcza w pomieszczeniach, gdzie temperatura jest powyżej zera) chłdnice powietrza można odszraniać natryskiem wody.



Rysunek 11.5 — Odszranianie gorącym gazem CO₂

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Odszranianie układów CO₂
zasilanych pompowo
(ciąg dalszy)



Rysunek 11.6 — Odszranianie elektryczne lub glikolowe układów CO₂

Regulacja pracy chłodnicy
w układach CO₂ zasilanej
pompowo

Tradycyjne przemysłowe układy chłodnicze są układami zasilanymi (zasilanymi pompowo). W obiegu pompowym do parowników dostarcza się więcej cieczy, niż może jej odparować. Ilość cieczy dostarczanej do parowników jest określona przez współczynnik krotności cyrkulacji.

Współczynnik cyrkulacji wynosi 1, gdy do wymiennika ciepła dostarczana jest dokładnie taka ilość cieczy, jak może być w pełni odparowana. Jeśli natomiast wtryskiwane jest dwa razy więcej cieczy, współczynnik krotności cyrkulacji wynosi 2. Patrz tabela poniżej.

Współczynnik cyrkulacji n	Wytworzone masowe natężenie przepływu gazu	Zapewnione masowe natężenie przepływu cieczy	Masowe natężenie przepływu cieczy na wylocie
1	x	x	0

Korzyści wynikające z nadmiernego zasilania cieczą to zwiększona wydajność chłodnic w wyniku lepszego wykorzystania powierzchni parownika, a także lepsza wymiana ciepła w wyniku wyższego współczynnika wymiany ciepła. Dodatkowo układy zalne są względnie łatwe do sterowania.

Wtryskiwana ciecz przy właściwej temperaturze jest przepompowywana z separatora do parowników.

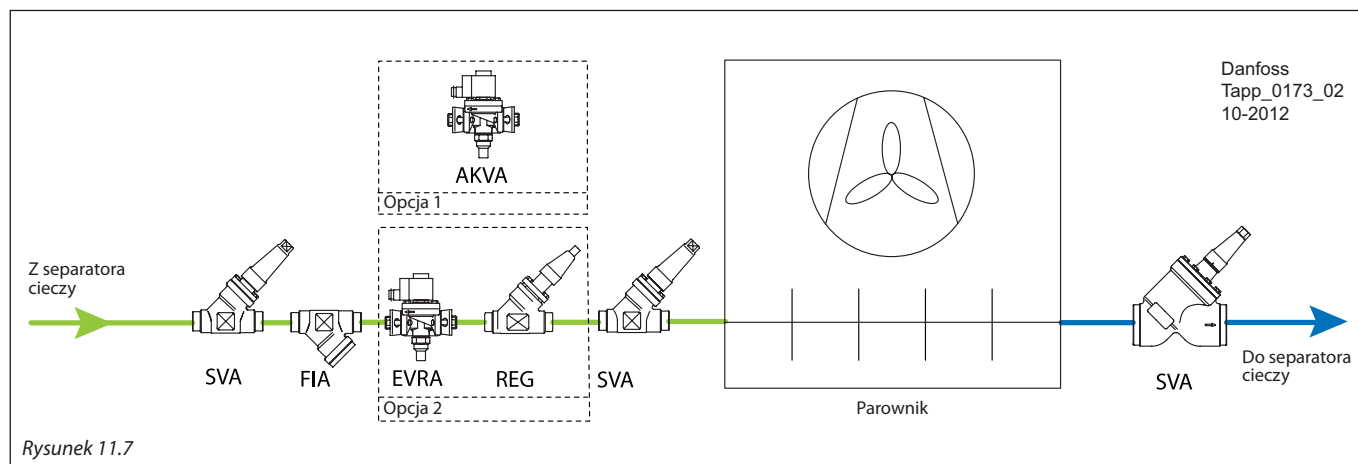
Gdy potrzebna jest ciecz, otwierany jest zawór elektromagnetyczny przed parownikiem. Ręczny zawór regulacyjny jest zazwyczaj zamontowany za zaworem elektromagnetycznym, aby możliwe było ustawienie wymaganego współczynnika cyrkulacji i osiągnięcie równowagi hydraulicznej w układzie.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

Regulacja pracy parownika w układach CO₂ zasilanych pompowo (ciąg dalszy)

Regulacja temperatury w parownikach może być prowadzona w następujący sposób:

- Zawór regulacji cyrkulacji + zawór elektromagnetyczny ON-OFF do regulacji temperatury
- Zawór regulacji cyrkulacji + zawór elektromagnetyczny sterowany przez modulację szerokości impulsu (PWM) do regulacji temperatury
- Zawory AKV zarówno do regulacji rozpraszania (rozmiar dyszy), jak i regulacji temperatury przez modulację szerokości impulsu (PWM)



Tradycyjne zawory wtryskowe w układach CO₂ zasilanych pompowo

W tradycyjnych układach zasilanie cieczą jest regulowane przez termostat, który stale mierzy temperaturę powietrza.

Zawór elektromagnetyczny jest otwierany na kilka minut lub dłużej, do momentu aż temperatura powietrza zrówna się z nastawą. W trakcie zasilania masa przepływającego czynnika jest stała.

Jest to bardzo prosty sposób regulacji temperatury powietrza, ale wahania temperatury wywołane różnicową pracą termostatu mogą w przypadku niektórych zastosowania powodować niepożądane skutki uboczne, takie jak osuszanie i niedokładna regulacja.

Wydajność chłodnicy powietrza

Wydajność chłodnicy powietrza opisuje się następującymi równaniami:

Strona czynnika chłodniczego:

$$Q_{\text{chłodnicy}} = \text{masowe natężenie przepływu} \times \Delta h \quad (1)$$

Masowe natężenie przepływu [kg/s czynnika]
różnica entalpii Δh [kJ/K]

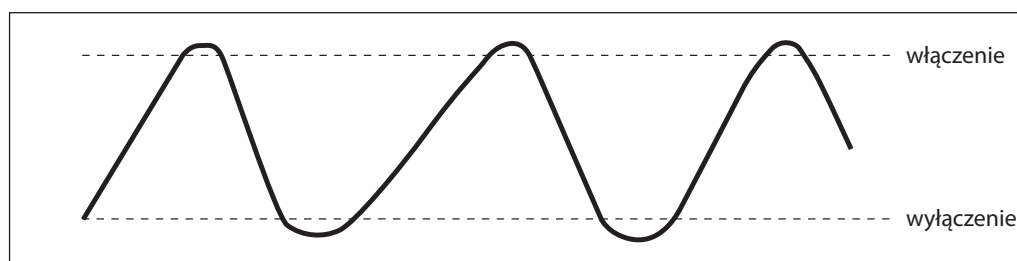
Strona czynnika/powietrza:

$$Q_{\text{chłodnicy}} = k \times A \times \Delta T \quad (2)$$

k [W/(m².K)]: całkowity współczynnik wymiany ciepła (zależnie od współczynnika wymiany ciepła powietrza i czynnika chłodniczego, który jest uzależniony od przepływu powietrza/czynnika) i przewodność cieplna materiałów użytych w chłodnicach.

A [m²]: powierzchnia chłodnicy

ΔT [K]: różnica między temperaturą parowania i średnią temperaturą powietrza.



Wtrysk do chłodnicy powietrza przy użyciu zaworu AKV(A) sterowanego modulowaną szerokością impulsu

Zamiast wtrysku okresowego, jak to opisano powyżej, można również stale dostosowywać natężenie wtrysku cieczy do bieżącego zapotrzebowania. Można to osiągnąć za pomocą zaworu PWM AKV(A) typu sterowanego przez regulator AK-CC 450.

Temperatura powietrza jest stale mierzona i porównywana z wartością odniesienia. Gdy temperatura powietrza osiąga wartość nastawy, zmniejszane jest otwarcie zaworu AKV(S), co daje mniejszy stopień otwarcia w trakcie cyklu, wskutek czego wydajność jest mniejsza i na odwrót. Czas trwania cyklu można ustawiać w przedziale od 30 do 900 s.

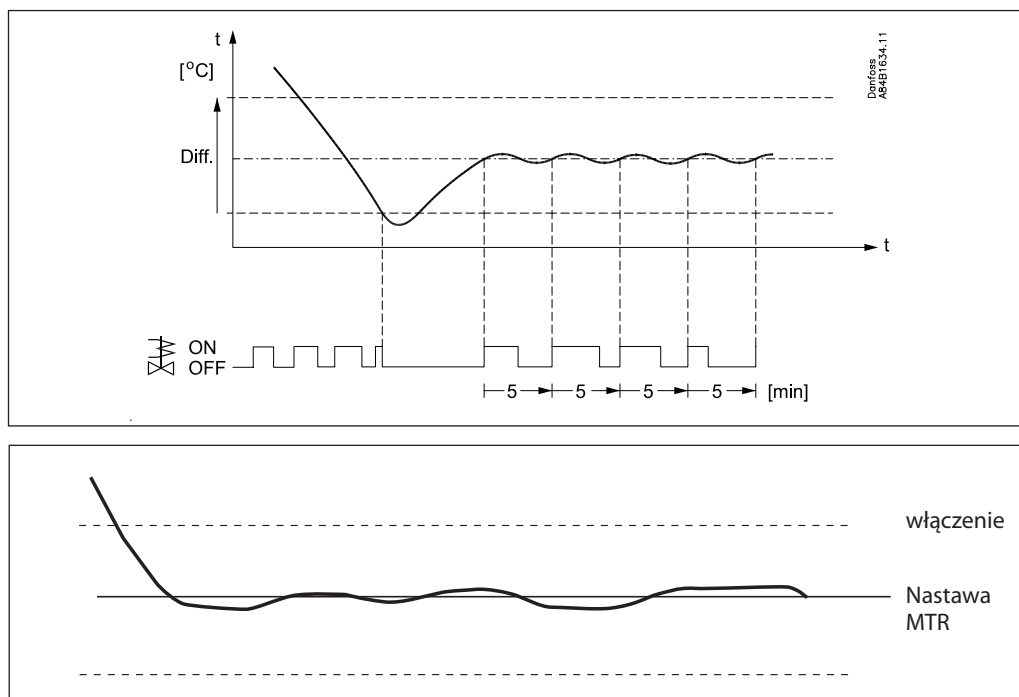
Regulacja w tym układzie jest wykonywana co do zasady przez funkcję PI. Skutkuje to zmniejszeniem wahań regulowanej temperatury powietrza przy stabilnych obciążeniach, co zapewnia większą stałość wilgotności powietrza.

Funkcja zapewnia stałą regulację temperatury z wartością temperatury leżącą w połowie zakresu między wartościami włączenia i wyłączenia termostatu.

Parametry eksploatacyjne regulacji PI są automatycznie optymalizowane za pomocą wstępnie ustawionych wartości włączenia i wyłączenia oraz stopnia otwarcia zaworu. Różnica wpływa na wzmocnienie regulatora, przez co w celu zapewnienia stabilności regulacji nie można jej ustawiać na wartość mniejszą niż 2000.

W układzie zasilanym oznacza to, że średnie natężenie przepływu czynnika jest stale kontrolowane i dostosowywane do zapotrzebowania, a współczynnik cyrkulacji obniża się, gdy wtryskiwana jest mniejsza ilość czynnika.

Takie podejście do zagadnienia wtrysku cieczy w układach pompowych jest bardzo uniwersalne. Można dokładnie kontrolować ilość wtryskiwanej cieczy. Bezpośrednim tego skutkiem jest niższa średnia temperatura powierzchni roboczej chłodnicy powietrza, co daje niższą wartość ΔT pomiędzy czynnikiem chłodniczym a powietrzem. To zwiększa precyzję działania i sprawność energetyczną układu.



Przyglądając się równaniom (1) i (2), można wywnioskować, że ograniczanie wtrysku prowadzi do:

- obniżenia ΔT (temperatura parowania zbliża się do temperatury otoczenia)
- obniżenia wartości k

- ograniczenia powierzchni wymiany ciepła na chłodnicy powietrza (mniej zawilgocona powierzchnia)

Wszystko to prowadzi do zmniejszenia wydajności chłodnicy.

Taka regulacja wtrysku cieczy w układach zasilanych zapewnia duży stopień elastyczności. Można dokładnie kontrolować ilość wtryskiwanej cieczy, co zwiększa precyzję działania i sprawność energetyczną układu.

Typowe zastosowania to chłodnie na owoce/warzywa, gdzie często wymagane jest dostosowywanie do bieżącego obciążenia cieplnego. Cykl chłodzenia (zawór AKV całkowicie

otwarty) wymaga dużo większej wydajności niż cykl przechowywania (zawory AKV w trybie PWM). Dodatkowo chłodnie tego typu są często wykorzystywane do przechowywania zmiennych ilości różnego rodzaju owoców, więc dostosowywanie wydajności jest koniecznością.

Więcej informacji znajduje się w instrukcji obsługi sterownika AK-CC 450 firmy Danfoss.

Jak dobrać zawór AKV(A) do układu pompowego CO₂?

Podczas doboru zaworu do układu pompowego musimy znać maksymalną wymaganą wydajność chłodnicy z uwzględnieniem najwyższego współczynnika cyrkulacji, co w zasadzie oznacza maksymalną ilość cieczy do wtrysku. Następnie musimy określić dostępny spadek ciśnienia netto na zaworze AKV(A). Wybór można sobie ułatwić, korzystając z programu CoolSelector.

Jak pokazano, w praktyce minimalny spadek ciśnienia przy wymaganym ciśnieniu dla samego zaworu AKV(A) w układzie zasilanym, umożliwiający zadowalające działanie, wynosi 1 bar (lub więcej, jeśli dostępne jest dostateczne ciśnienie pompy).

Należy pamiętać, że całkowite wymagane ciśnienie pompy zależy od kilku czynników, takich jak spadek ciśnienia w układzie (rozdzielacze/dysze chłodnicy powietrza, podzespoły, przewody, zgięcia, wysokość statyczna itd.)

Przykład:

- Czynnik chłodniczy: CO₂
- N = 1,5
- T₀ = -8°C
- Dostępny spadek ciśnienia na zaworze: 1 bar
- Wydajność chłodnicy: 30 kW

Coolselector® Version 1.0.1.26 Database Version 1.0.0.1

File Menu Preferences Code No Search Help

Component Selector Line Design

Industrial Refrigeration Controls

Flooded evaporator, pump / Liquid line without phase change
Expansion Valves / AKVA

Search Criteria

Search Criteria

Refrigerant R744 Temperature -8 °C
Cooling Capacity 30 kW Pressure 27,98 bar
Mass Flow 637 Kg/h Circ. Rate 1,5
Pressure Drop 2 bar Pump Pres. Lift 2 bar
Design size, mm(in) Calculation basis Pressure Drop Calculation value 1 bar

Errors and omission expected the data are subject to change without notice

Type	Product	Feedback	Size DN	Size in	Dp. Actual Load (bar)	Dt. Actual Load (K)	Vel. Actual load (m/s)
AKVA	AKVA 15-3	⚠	DN25	1	1,05	1,29	0,285
AKVA	AKVA 15-4	⚠	DN25	1	0,417	0,508	0,285
AKVA	AKVA 15-2	⚠	DN20	3/4	2,61	3,27	0,466

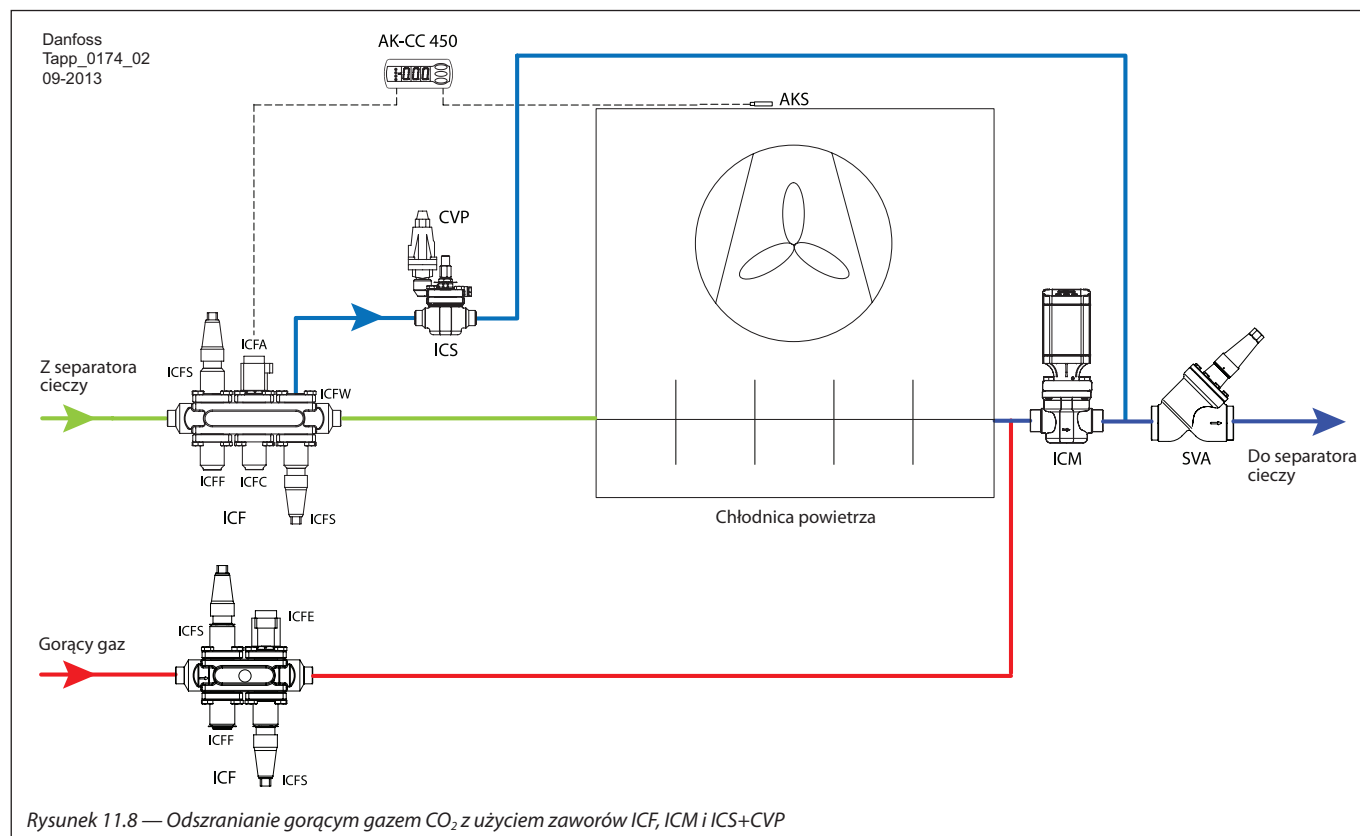
Program CoolSelector zaleca zawór AKVA 15-3, (kV = 0,63 m³/h), który zapewni 30 kW przy współczynniku cyrkulacji wynoszącym 1,5 oraz 1 bar spadku ciśnienia na zaworze. Jeśli konieczna jest większa wydajność, należy wybrać większy zawór lub zapewnić większy spadek ciśnienia na zaworze.

Należy pamiętać, że wszystkie wersje zaworu AKVA mają PS wynoszące 42 bar, a zawory AKV mają PS wynoszące 42 bar tylko w serii AKV10 i AKV15-1,2,3

Układy zasilane pompowo
z zaworami blokowymi ICF

W przykładzie przedstawionym na poprzedniej stronie wykorzystano standardowy zawór AKVA. W tym zastosowaniu dobrym wyborem byłby również wielomodułowy zawór typu ICF.

Jeśli chłodnice są odszraniane przy użyciu CO₂, wymagana jest wersja z zaworem zwrotnym.



Należy zwrócić uwagę na dobór zaworu elektromagnetycznego w przewodzie ssawnym pary mokrej. Powszechnie stosowana temperatura odszraniania wynosi około 9–10°C, co odpowiada ciśnieniu 44–45 bar (a) za tym zaworem elektromagnetycznym.

W zależności od ciśnienia w separatorze, wartość MOPD tego zaworu może być zbyt mała, aby następowało jego otwarcie. Dobrą zasadą jest stosowanie małego zaworu obejściowego, jak np. EVRST (PS = 50 bar), do wstępnego wyrównania ciśnień przed otwarciem głównego zaworu. Wartość MOPD zaworu ICM 20-32 wynosi 52 bar, więc zawsze będzie zdolny do otwarcia się po cyklu odszraniania, nawet gdy ciśnienie separatora jest bliskie punktowi potrójnemu wynoszącemu 5,2 bar a.

Zaletą wykorzystania zaworu ICM jest możliwość wyrównania ciśnienia odszraniania poprzez powolne otwieranie zaworu. Opłacalnym sposobem realizacji tego założenia jest użycie trybu dwustanowego zaworu ICM (ON/OFF) i wybranie bardzo niskiej prędkości (I04), ale można to również osiągnąć, korzystając z trybu modulacji i pozostawiając stopień oraz prędkość otwarcia całkowicie pod kontrolą sterownika PLC.

Alfabetyczny spis wszystkich dokumentów źródłowych znajduje się na stronie 146

Karty katalogowe / Instrukcje

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AK-CC 450	RS8EU	EKC 347	PS.G00.A
AKD 102	PD.R1.B	EVM	PD.HN0.A
AK-PC 730	RS8EG	EVRA / T	PD.BM0.B
AKS 21	RK0YG	FIA	PD.FN1.A
AKS 33	RD5GH	ICF	PD.FT1.A
AKS 4100/4100U	PD.SC0.C	ICM / ICAD	PD.HT0.B
		ICS	PD.HS2.A
AKVA	PD.VA1.B	NRV	PD.FE0.A
CVC-XP	PD.HN0.A	OFV	PD.HQ0.A
CVC-LP	PD.HN0.A	REG	PD.KM1.A
CVP	PD.HN0.A	RT 260A	PD.CB0.A
CVPP	PD.HN0.A	SCA	PD.FL1.A
DCR	PD.EJ0.A	SGR	PD.EK0.A
EKC 315A	RS8CS	SNV	PD.KB0.A
		SVA-S/L	PD.KD1.A

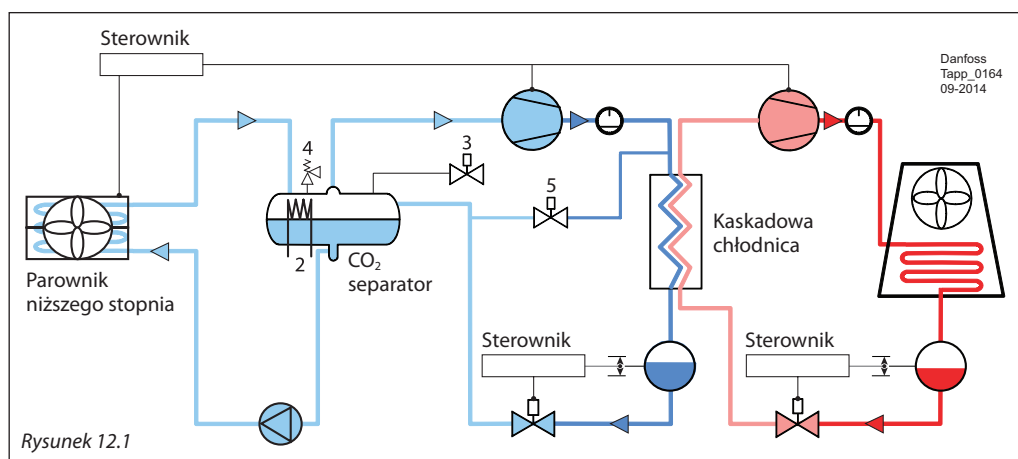
Instrukcje obsługi

Typ	Materiał źródłowy	Typ	Materiał źródłowy
AKD 102	MG11L	EVRA / T	PI.BN0.L
AKS 21	RI14D	FIA	PI.FN1.A
AKS 32R	PI.SB0.A	ICF	PI.FT0.C
AKS 33	PI.SB0.A	ICM / ICAD	PI.HT0.A (ICM) PI.HT0.B (ICAD)
AKS 4100/4100U	PI.SC0.D / PI.SC0.E	ICS	PI.HS0.A / PI.HS0.B
AKVA	PI.VA1.B PI.VA1.C	NRV	PI.FE0.A
CVC-XP	PI.HN0.A	OFV	PI.HX0.B
CVC-LP	PI.HN0.M	REG	PI.KM1.A
CVP	PI.HN0.C	RT 260A	RI5BB
CVPP	PI.HN0.C	SCA	PI.FL1.A
DCR	PI.EJ0.B	SGR	PI.EK0.A
EKC 347	PI.RP0.A	SNV	PI.KB0.A
EVM	PI.HN0.N	SVA-S/L	PI.KD1.A

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.

12. Metody regulacji układów CO₂

- 2 Układ chłodniczy podtrzymujący ciśnienie
- 3 Zawór elektromagnetyczny
- 4 Zawór bezpieczeństwa
- 5 Zawór obejściowy



Regulacja pracy sprężarki

Sposób regulacji pracy sprężarki w układach CO₂ nie różni się w porównaniu do normalnych przemysłowych instalacji chłodniczych, ale w przypadku układów kaskadowych, należy mieć pewność, że sprężarka NH₃ jest uruchomiona / gotowa do uruchomienia przed przesłaniem sygnału rozruchu do sprężarki CO₂ (patrz rozdział dotyczący regulacji pracy sprężarki).

Regulacja poziomu cieczy

Sposób regulacji poziomu cieczy w układach CO₂ nie różni się w porównaniu do normalnych przemysłowych instalacji chłodniczych (patrz rozdział dotyczący regulacji poziomu cieczy).

Dozwolone urządzenia regulacyjne w przypadku wysokiego ciśnienia w separatorze CO₂

Jeśli ciśnienie w separatorze CO₂ wykracza ponad normalny zakres, można podjąć następujące działania w celu zminimalizowania wyrzutu CO₂:

1. Można wymusić uruchomienie sprężarki CO₂ oraz zatrzymanie pompy ciepłego CO₂, aby zapobiec powrotowi względnie ciepłej cieczy do separatora CO₂.
2. Jeśli występuje awaria uniemożliwiająca rozruch sprężarki CO₂, ciśnienie nadal będzie wzrastać. To wymusi rozruch zespołu podtrzymującego ciśnienie.
3. Jeśli ciśnienie ciągle wzrasta, można wymusić otwarcie zaworu elektromagnetycznego, aby umożliwić kontrolowane obniżenie ciśnienia CO₂ do określonego poziomu.
4. Ostatnim urządzeniem jest zawór bezpieczeństwa, który otwiera się przy ustalonym ciśnieniu.

Możliwe sposoby/czynności w przypadku niskiego ciśnienia w separatorze CO₂

Jeśli ciśnienie w separatorze CO₂ spada poniżej normalnego zakresu roboczego, można podjąć następujące działania w celu zminimalizowania ryzyka wytworzenia suchego lodu:

5. Otworzenie zaworu obejściowego umożliwia utrzymanie w układzie odpowiednio wysokiego ciśnienia ssania w separatorze CO₂. To zapobiega również zatrzymaniu sprężarki w przypadku nagłego spadku obciążenia cieplnego, np. w trakcie procesu zamrażania ze zmianami obciążenia cieplnego. Dzięki temu sprężarka stale pracuje i utrzymuje układ w gotowości na nagły wzrost obciążenia cieplnego.
6. Można wymusić zatrzymanie sprężarki CO₂, a w ten sposób uniknąć wytworzenia się suchego lodu.

Z tego względu przykłady podane we wcześniejszych rozdziałach tego dokumentu są prawidłowe również w odniesieniu do CO₂. Jednakże, ogólnie rzecz ujmując, w układach CO₂ zaleca się unikać połączeń kolnierzowych, o ile jest to możliwe.

Regulator poziomu cieczy EKC 347 ⑥ posiada także wyjścia przekąźnikowe do sygnalizacji poziomu minimalnego i maksymalnego oraz alarmowego.

To rozwiązanie funkcjonuje w taki sam sposób jak w przykładzie 13.1.1. Dalsze informacje można znaleźć w materiałach źródłowych na temat zaworów blokowych ICF.

© Danfoss A/S (RC-MDP/MWA). 2014-10

13.2 Odszranianie gorącymi parami chłodnic powietrza zasilanych pompowo

Przykład zastosowania 13.2.1:
Parownik zasilany pompowo,
z odszranianiem gorącymi parami

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanka cieczy i pary
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

Przewód cieczowy

- ① Zawór odcinający
- ② Filtr
- ③ Zawór elektromagnetyczny
- ④ Zawór zwrotny
- ⑤ Ręczny zawór rozprężny
- ⑥ Zawór odcinający

Przewód ssawny

- ⑦ Zawór odcinający
- ⑧ Zawór silnikowy
- ⑨ Zawór odcinający

Przewód gorących par

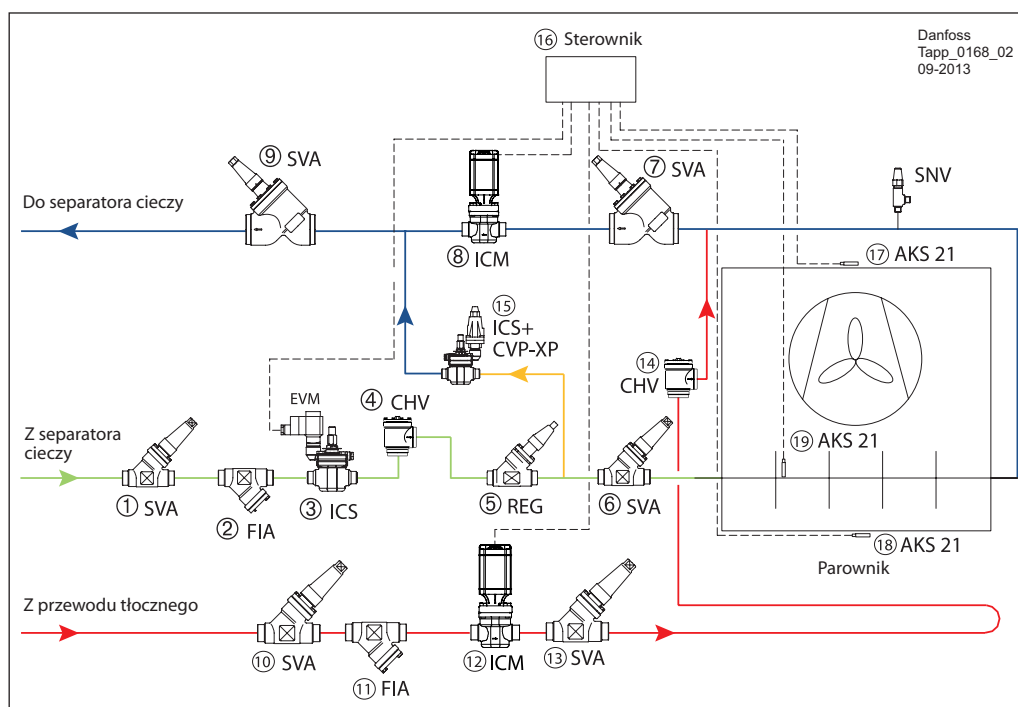
- ⑩ Zawór odcinający
- ⑪ Filtr
- ⑫ Zawór z siłownikiem
- ⑬ Zawór odcinający
- ⑭ Zawór zwrotny

Przewód wyrównawczy

- ⑮ Zawór upustowy

Elementy sterujące

- ⑯ Sterownik
- ⑰ Sterownik
- ⑱ Sterownik
- ⑲ Sterownik



Przykład 13.2.1 pokazuje układ pompowego zasilania parownika i odszraniania gorącymi parami, wykorzystujący zawory ICV.

Tryb chłodzenia

Zawór elektromagnetyczny ICS ③ w przewodzie cieczowym jest otwarty. Regulację zasilania parownika czynnikiem chłodniczym zapewnia ręczny zawór regulacyjny REG ⑤. Zawór z siłownikiem ICM ⑧ w przewodzie ssawnym znajduje się w pozycji otwartej, a zawór odszraniający z siłownikiem ICM ⑫ jest w położeniu zamkniętym.

Tryb odtajania

Z rozpoczęciem procesu odszraniania, zawór elektromagnetyczny ICS ③ zostaje zamknięty, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika obecnego w chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór ICM ⑫ zamyka się.

Zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Wtedy zawór silnikowy ICM ⑫ zostaje otwarty, co umożliwia dopływ gorącej pary czynnika do chłodnicy.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, zalecane jest powolne zwiększanie ciśnienia, tak aby ciśnienie wyrównało się przed całkowitym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie parownika.

Zaletą wykorzystania zaworu silnikowego ICM ⑫ jest możliwość wyrównywania ciśnienia odszraniania poprzez powolne otwieranie zaworu. Optymalnym sposobem realizacji tego założenia jest użycie trybu dwustanowego zaworu ICM (ON/OFF) i wybranie bardzo niskiej prędkości, ale można to również osiągnąć, korzystając z trybu modulacji i pozostawiając stopień oraz prędkość otwarcia całkowicie pod kontrolą sterownika PLC.

W trakcie cyklu odszraniania skroplona gorąca para z parownika jest odprowadzana na stronę niskiego ciśnienia. Ciśnienie odszraniania jest regulowane przez zespół ICS+CVP ⑮.

Gdy temperatura parownika (mierzona czujnikiem AKS 21) osiągnie nastawioną wartość, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu silnikowego ICM ⑫ oraz otwarcie z niewielką zwłoką zaworu silnikowego ICM ⑧.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, konieczne jest powolne upuszczanie ciśnienia, tak aby ciśnienie wyrównało się przed całkowitym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Zaletą wykorzystania zaworu silnikowego ICM ⑧ jest możliwość wyrównywania ciśnienia odszraniania poprzez powolne otwieranie zaworu. Optymalnym sposobem realizacji tego założenia jest użycie trybu dwustanowego zaworu ICM (ON/OFF) i wybranie bardzo niskiej prędkości, ale można to również osiągnąć, korzystając z trybu modulacji i pozostawiając stopień oraz prędkość otwarcia całkowicie pod kontrolą sterownika PLC.

Gdy już zawór ICM otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu ICS ③ i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przymarzły do powierzchni parownika.

W filtrach FIA, poz. 2 i 11 (i ogólnie w układach z CO₂), zaleca się stosowanie wkładów harmonijkowych o szczególnie dużej powierzchni i bardziej wytrzymałej budowie.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

13.2 Odszranianie gorącymi parami chłodnic powietrza zasilanych pompowo

Przykład zastosowania 13.2.2: Parownik zasilany pompowo, odszraniany gorącymi parami, całkowicie zespawany, z zespołem zaworów ICF do sterowania odszranianiem parownika

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem

① Zespół ICF w przewodzie cieczowym wyposażony w:



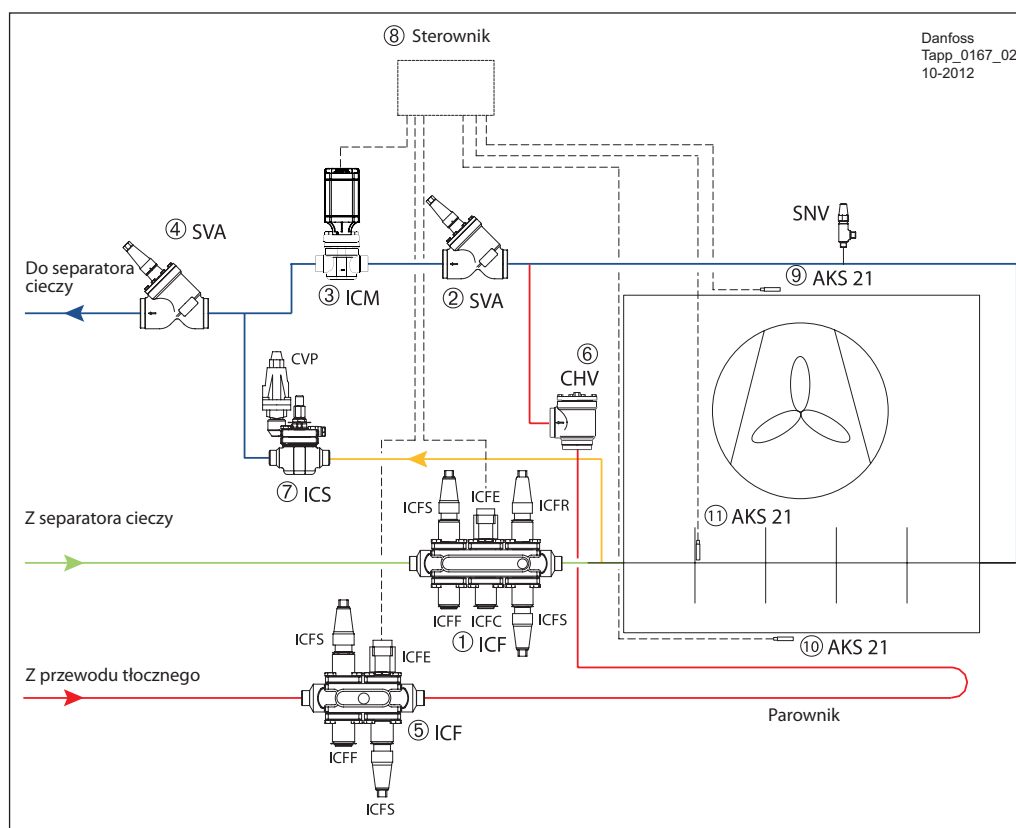
Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór zwrotny
Ręczny zawór rozprężny
Zawór odcinający

② Zawór odcinający
③ Regulator ciśnienia (zawór silnikowy)
④ Zawór odcinający
⑤ Zespół ICF w przewodzie gorących par wyposażony w:



Zawór odcinający
Filtr
Zawór elektromagnetyczny
Zawór odcinający

⑥ Zawór zwrotny
⑦ Regulator ciśnienia
⑧ Sterownik
⑨ Czujniki temperatury
⑩ Czujniki temperatury
⑪ Czujniki temperatury



Przykład 13.2.2 pokazuje układ pompowego zasilania parownika i odszraniania gorącymi parami, oparty o zawory blokowe ICF.

W zaworze blokowym ICF można zastosować do sześciu różnych elementów automatyki, stanowiących jednocześnie rozwiązanie zwarte i łatwe do montażu.

Tryb chłodzenia

Zawór elektromagnetyczny ICFF zamontowany w zaworze blokowym ICF ① jest otwarty. Zasilanie cieczą parownika jest regulowane zaworem ręcznym ICFR w zaworze blokowym ICF ①.

Zawór silnikowy ICM ③ w przewodzie ssawnym znajduje się w pozycji otwartej, a elektromagnetyczny zawór odszraniania ICFF w zaworze blokowym ICF ⑤ jest w położeniu zamkniętym.

Tryb odtajania

Z rozpoczęciem procesu odszraniania, zawór elektromagnetyczny ICFF w zaworze blokowym ICF ① zostaje zamknięty, odcinając dopływ cieczy. W celu odparowania ciekłego czynnika obecnego w chłodnicy, wentylatory pozostają w ruchu przez 120 do 600 sekund, w zależności od wielkości parownika.

Wentylatory zostają zatrzymane, a zawór ICM zamyka się.

Zwłoka 10 do 20 sekund jest konieczna, aby resztki cieczy spłynęły do dolnej części parownika. Dopiero wtedy zawór elektromagnetyczny ICFF w zaworze blokowym ICF ⑤ zostaje otwarty, co umożliwia dopływ gorącej pary do parownika.

W trakcie cyklu odszraniania skroplona gorąca para z parownika jest odprowadzana na stronę niskiego ciśnienia. Ciśnienie odszraniania jest regulowane przez zawór ICS+CVP ⑦.

Gdy temperatura parownika (mierzona czujnikiem AKS 21) osiągnie nastawioną wartość, proces odtajania zostanie zakończony przez zamknięcie zaworu elektromagnetycznego ICFF w zaworze blokowym ICF ⑤ oraz otwarcie z niewielką zwłoką zaworu silnikowego ICM ③.

Z uwagi na dużą różnicę ciśnień panujących w parowniku i w przewodzie ssawnym, konieczne jest powolne upuszczanie ciśnienia, tak aby ciśnienie wyrównało się przed całkowitym otwarciem, dzięki czemu zapewniona będzie płynna praca i nie nastąpi zalanie przewodu ssawnego.

Zaletą wykorzystania zaworu silnikowego ICM ③ jest możliwość wyrównania ciśnienia odszraniania poprzez powolne otwieranie zaworu. Optycznym sposobem realizacji tego założenia jest użycie trybu dwustanowego zaworu ICM (ON/OFF) i wybranie bardzo niskiej prędkości. Można to również osiągnąć, korzystając z trybu modulacji i pozostawiając stopień oraz prędkość otwarcia całkowicie pod kontrolą sterownika PLC.

Gdy zawór ICM otworzy się całkowicie, następuje otwarcie zaworu ICFF w zaworze blokowym ICF ① i przywrócenie trybu chłodzenia. Wentylatory są uruchamiane z pewnym opóźnieniem, aby pozostałe na chłodnicy krople wody przymarzły do powierzchni parownika.

Na rysunkach nie pokazano wszystkich zaworów. Rysunków nie należy kopiować do celów projektowych.

14. Produkty Danfoss do układów podkrytycznych z CO₂



Obecnie firma Danfoss posiada w swojej ofercie duży wybór produktów możliwych do zastosowań w obiegach CO₂.

Większość wymienionych poniżej podzespołów została przetestowana oraz zmodernizowana i dlatego nadaje się do stosowania w układach z CO₂ w zakresach ciśnień i temperatur określonych w dokumentacji technicznej. W tej grupie podzespołów szczególnie ważnym ograniczającym czynnikiem jest ciśnienie.

Opracowano specjalne podzespoły do zastosowania wysokociśnieniowych z wykorzystaniem CO₂. Na

kolejnych stronach zestawiono najbardziej rozpowszechnione typy zaworów.

Prosimy mieć na uwadze, że specjalne, wysokociśnieniowe wersje są zazwyczaj dostępne na zamówienie i mogą dla nich obowiązywać wydłużone czasy dostaw.

Dyrektywa ciśnieniowa (PED)

Przemysłowe zawory chłodnicze są dopuszczone do stosowania na podstawie normy europejskiej określonej w Dyrektywie Ciśnieniowej (PED) i oznaczone znakiem CE.

Przemysłowe produkty chłodnicze

Produkty Danfoss do układów podkrytycznych z CO ₂ Przemysłowe wyroby chłodnicze			DN	PS 40 bar [580 psi]	PS 52 bar [754 psi]
Zawory główne, zawory elektromagnetyczne	ICS 1 ICS 3	wszystkie	20–150		
Zawór wielofunkcyjny	ICF	wszystkie	20–40		
Zawory pilotowe do zaworów ICS	CVP-XP				
	CVP-XP				
	CVC-XP				
	CVP-HP				
	CVPP-HP				
	EVM (NC)				65 bar
Zawory odcinające	EVM (NO)				
	SVA-S	wszystkie	6–200		
	SVA-L	wszystkie	15–40		
Zawory regulacyjne	REG-SA/SB	wszystkie	15–65		
Zawory odcinająco-zwrotne	SCA-X	wszystkie	15–125		
Filtry	FIA	wszystkie	15–200		
Zawory zwrotne	CHV-X	wszystkie	15–125		
Zawory elektromagnetyczne	EVRS/EVRST	wszystkie	3–20		
	ICS + EVM	wszystkie	20–150		
Elektrycznie sterowany zawór rozprężny	AKVA	wszystkie	10–20		
	ICM	wszystkie	20–65		
	ICMTS	wszystkie	25		140 bar
	CCMT	wszystkie	15		140 bar
	CCM	wszystkie	15–25		90 bar
Zawory bezpieczeństwa i zawory przełączające	SFA	15	-		
	DSV	1, 2	20–32		
	POV	40, 50, 80	40–80		
Filtr odwadniacz	DCRH	Wersja wysokociśnieniowa			46 bar
Elektroniczny przetwornik poziomu	AKS 4100/4100U	-	-		
Detektory gazu	GD				

 Wyrób może być używany w wersji standardowej. Wszystkie produkty posiadają certyfikat CE

 Wyrób musi być produkowany w specjalnej wersji (wyższe ciśnienia próbne, inne oznaczenia i dokumentacja). Wszystkie produkty posiadają certyfikat CE

14.1

Produkty Danfoss do układów podkrytycznych z CO₂ (ciąg dalszy)

Komercyjne produkty chłodnicze

Produkty Danfoss do układów podkrytycznych z CO ₂ Wyroby chłodnicze		PS 42 bar [609 psi]	PS 46 bar [667 psi]	PS 52 bar [754 psi]	PS 90 bar [1305 psi]	PS 140 bar [2031 psi]
Zawory elektromagnetyczne	EVR 2–EVR 15					
	EVUL					
	EVUB					
Zawory odcinające (zawory kulowe)	GBC do CO ₂					
Zawory zwrotne	NRV do CO ₂					
Elektronicznie sterowany zawór rozprężny	AKVH 10					
	AKV 15					
	ETS 12,5–100					
	CCM10–40					
	CCMT2–8					
	ICMTS					
Automatyczne regulatory ciśnienia	ICV					
	MBR					
Filtr odwadniacze	DCR					
	DML					
	DMT					
Wskaźnik wilgoci	SG (wbudowany)					
	SG (gniazdowy)					

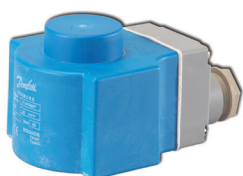
 Produkt może być używany w wersji standardowej.
Wszystkie produkty posiadają certyfikat CE

 Produkt musi być wykonany w specjalnej wersji
(wyższe ciśnienia próbne, inne oznaczenia i dokumentacja). Wszystkie produkty posiadają certyfikat CE

Regulatory elektroniczne do CO₂

Sterowniki chłodnic powietrza:	AK-CC 550A, AK-CC 750
Sterowniki zaworu rozprężnego:	EKC 315A, AKC 316, EKD 316, EKC 312
Sterowniki sprężarkowe:	EKC 331T, AK-PC 530, AK-PC 420, AK-PC 781, AK-PC 840
Sterowniki agregatu chłodniczego:	AK-CH 650, AK-CH 650A
Sterownik obiegów kaskadowych:	EKC 313
Sterownik obiegów transkrytycznych:	EKC 326A

Cewki do zaworów elektromagnetycznych



Ze względu na wysoką różnicę ciśnień między skraplaczem i parownikiem wymagana maksymalna różnica ciśnień otwarcia (MOPD) dla zaworu elektromagnetycznego w niektórych aplikacjach może przekraczać możliwości standardowej cewki.

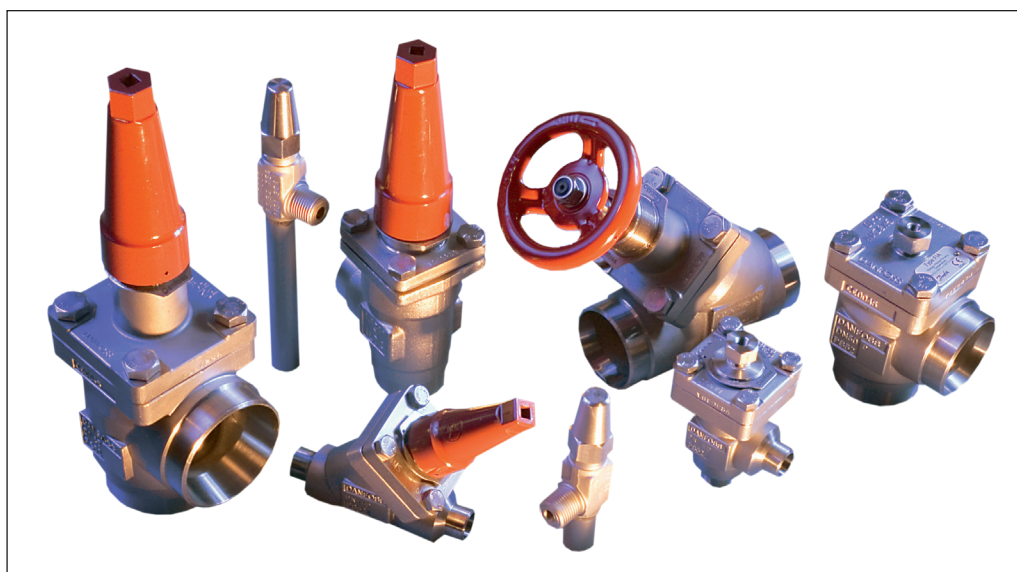
Przykłady typowych zastosowań:

- Wtrysk cieczy do chłodzenia sprężarki
- Odszranianie gorącymi parami czynnika
- Zawór odcinający przed zaworem rozprężnym

W związku z tym firma Danfoss posiada w ofercie cewki o mocy 20 W, które pokrywają zakres wartości MOPD do 40 bar.

Cewki o mocy 20 W są dostępne w wersjach zasilanych napięciem 24, 110 i 230 V AC 50 Hz.

15. Pełna oferta produktów ze stali nierdzewnej



Zabezpieczenie powierzchni staje się coraz ważniejszą kwestią, zwłaszcza w przypadku układów chłodniczych w przemyśle spożywczym, gdzie powszechnie stosuje się silne środki myjące.

W związku z tym firma Danfoss oferuje zawory ze stali nierdzewnej kątowe i proste w rozmiarach od DN 15 mm (1/2") do DN 125 mm (5").

- Zawory odcinające SVA-SS
- Ręczne zawory regulacyjne REG-SS
- Zawory odcinająco-zwrotne SCA-SS (tylko kątowe)
- Zawory zwrotne CHV-SS (tylko kątowe)
- Filtry FIA-SS
- Zawory upustowe OFV-SS (tylko kątowe)
- Zawory iglicowe SNV-SS

Ta seria zaworów spełnia bardziej rygorystyczne wymogi wynikające z:

1. Konieczności lepszego zabezpieczenia powierzchni zewnętrznych na zaworach i elementach połączeniowych
2. Konieczności dostosowania do obecnych trendów w projektowaniu instalacji.

W określonych warunkach, np. przy zastosowaniach na zewnątrz pomieszczeń i w warunkach powodujących korozję, jakie występują w instalacjach nadmorskich, występuje konieczność pewnego zabezpieczenia powierzchni w celu ochrony przed awariami w wyniku korozji.

Współczesne normy bezpieczeństwa żywności często wymagają codziennego mycia za pomocą detergentów w celu ochrony przed namnażaniem się bakterii, co ponownie tworzy potrzebę właściwego zabezpieczenia powierzchni.

- Przeznaczone do stosowania z wszystkimi powszechnymi, niepalnymi czynnikami chłodniczymi, w tym R717 i niepowodującymi korozji gazami/płynami (w zależności od materiału uszczelniającego).
- Akcesoria opcjonalne:

	Wentylowany kołpak	Pokrętko
SVA-SS	X	X
REG-SS	X	
SCA-SS	X	
CHV-SS		
FIA-SS		
OFV-SS	X	

- Opracowane tak, aby zapewniały korzystne warunki przepływu.
- Uszczelnienie wewnętrzne umożliwia wymianę dławnicy wrzeczona, podczas pracy gdy zawór jest pod ciśnieniem (SVA-SS, REG-SS, SCA-SS, OFV-SS).

- Korpus wykonany ze specjalnej niskotemperaturowej stali nierdzewnej.
- Łatwy do demontażu w celu przeglądu lub ewentualnej naprawy.
- Zawory odcinające SVA-SS dopuszczają przepływ w obu kierunkach.
- Króćce spawane doczołowo wg. DIN.
- Maks. ciśnienie robocze: 52 bar g (754 psig)
- Zakres temperatur: Od -60 do +150°C (od -76 do 302°F).
- Lekkie zawory o zwartej budowie zapewniające łatwą obsługę i montaż.
- Certyfikacja: w celu uzyskania bieżącej listy certyfikatów produktów prosimy o kontakt z firmą Danfoss.

Zawory elektromagnetyczne
EVRs i EVRST ze stali
nierdzewnej



EVRs 3 to zawór bezpośredniego działania. EVRS 10, 15 i 20 to zawory serwo sterowane. EVRST 10, 15 i 20 to zawory serwo sterowe ze wspomaganie otwarcia. Wszystkie te zawory mogą być stosowane w przewodach cieczowych, ssawnych, gorącego gazu i powrotu oleju w instalacjach napełnionych fluorowcopochodnymi czynnikami chłodniczymi lub amoniakiem.

Zawory EVRS 3 i EVRST opracowano tak, aby pozostawały otwarte przy spadku ciśnienia wynoszącym 0 bar. Zawory EVRS/EVRST 10, 15 i 20 są wyposażone we wrzeciono ręcznego otwierania. EVRS i EVRST należy zamawiać jako elementy, tj. osobno korpus zaworu i osobno cewkę.

Charakterystyka:

- Korpus zaworu i złączki ze stali nierdzewnej
- Maks. ciśnienie robocze 50 barg
- Używane do amoniaku i wszystkich czynników fluorowcopochodnych
- Wartość MOPD do 38 bar przy zastosowaniu cewki 20 W prądu przemiennego
- Szeroki wybór cewek prądu przemiennego i stałego
- Przeznaczone dla temperatur medium do 105°C.
- Wrzeciono ręcznego otwierania w EVRS i EVRST 10, EVRST 15 i EVRST 20

16. Dodatek

16.1 Typowe układy chłodnicze

Układy chłodnicze dzieli się ze względu na realizowany w nich obieg termodynamiczny oraz sposobu zasilania parownika czynnikiem chłodniczym. W zależności od obiegu chłodniczego, układy przemysłowe można przypisać do jednego z trzech rodzajów:

Układ jednostopniowy

Realizuje najprostszy obieg chłodniczy: sprężanie — skraplanie — dławienie — parowanie.

Układ dwustopniowy

W tym układzie zawsze występuje dwustopniowe sprężanie czynnika chłodniczego (przeważnie przez dwie sprężarki). System chłodzenia międzystopniowego służy do optymalizacji wydajności układu chłodniczego.

Układ kaskadowy

Układ ten stanowi kaskadowe połączenie dwóch jednostopniowych obiegów chłodniczych. Parownik wysokotemperaturowego stopnia kaskady jest jednocześnie skraplaczem stopnia niskotemperaturowego.

Pod względem sposobu zasilania parownika czynnikiem chłodniczym, układy można podzielić na dwa podstawowe rodzaje:

Układ z zasilaniem ciśnieniowym

Po zdławieniu, mieszanina cieczy i pary czynnika chłodniczego jest kierowana bezpośrednio do parownika.

Układ z zasilaniem pompowym

Po zdławieniu, mieszanina cieczy i pary czynnika chłodniczego jest rozdzielana w osuszaczu (oddzielaczu cieczy) i tylko faza ciekła jest kierowana do parownika. Cyrkulacja czynnika odbywa się pod działaniem siły grawitacji, albo wymusza ją praca pompy.

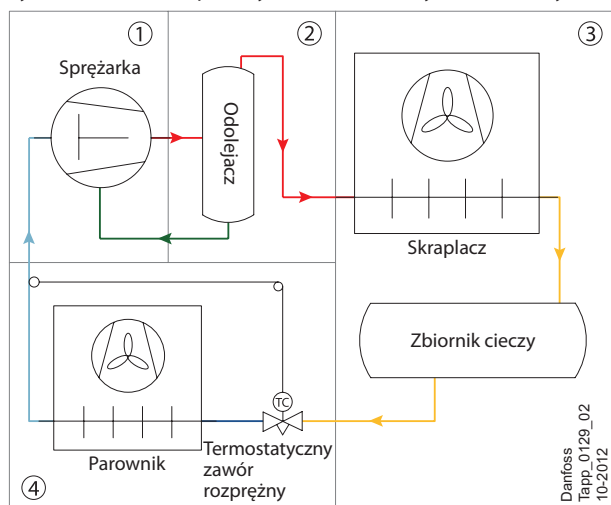
Przytoczone rodzaje układów chłodniczych zostaną omówione w kilku przykładach:

Układ jednostopniowy z zasilaniem ciśnieniowym

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanka cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Strefa regulacji pracy sprężarki
- ② Strefa regulacji krążenia oleju
- ③ Strefa regulacji pracy skraplacza
- ④ Strefa regulacji pracy parownika

Rys. 16.1.1 Jednostopniowy układ chłodniczy z ciśnieniowym zasilaniem parownika



Jednostopniowy układ chłodniczy z ciśnieniowym zasilaniem parownika stanowi najprostszą konfigurację, bardzo popularną w urządzeniach klimatyzacyjnych i w małych instalacjach chłodniczych (rys. 16.1.1). Obieg chłodniczy przebiega następująco: para o niskim ciśnieniu jest sprężana w sprężarce i wtłaczana do skraplacza, gdzie para o wysokim ciśnieniu zamienia się w ciecz. Ta wysokociśnieniowa ciecz ulega zdławieniu do niskiego ciśnienia w termostatycznym zaworze rozprężnym i dalej w parowniku powstaje z niej niskociśnieniowa para, zasysana następnie przez sprężarkę.

W odolejacz i w zbiorniku ciekłego czynnika nie zachodzą przemiany termodynamiczne obiegu chłodniczego, jednak ich obecność w układzie jest istotna ze względów eksploatacyjnych: Odolejacz wyłapuje krople oleju ze strumienia wytłaczanej pary i zwraca olej do sprężarki. Prawidłowy obieg oleju ma kluczowe znaczenie dla niezawodnej i efektywnej pracy sprężarki, zapewniając dobre smarowanie jej podzespołów. Regulacja parametrów oleju (rozdział 6) polega na utrzymywaniu temperatury i ciśnienia środka smarnego na dopuszczalnym poziomie.

Zbiornik cieczy służy do gromadzenia czynnika chłodniczego. Ilość cieczy zależy od zmian wypełnienia czynnikiem poszczególnych elementów układu. Zmiany te zależą od obciążenia cieplnego, lub bieżącej obsługi technicznej. Ponadto, zbiornik zapewnia nieprzerwane zasilanie zaworu dławiącego cieczą o stabilnym ciśnieniu.

Działanie termostatycznego zaworu rozprężnego jest uzależnione od przegrzania. Ma to ogromne znaczenie dla pracy parownika i sprężarki:

- Utrzymując stałe przegrzanie na wylocie z parownika, termostatyczny zawór rozprężny dostarcza do tego wymiennika ciepła odpowiednią ilość czynnika chłodniczego, zgodnie z bieżącym obciążeniem cieplnym.
- Istnienie pewnego przegrzania gwarantuje, że sprężarka zasysa jedynie pary suche czynnika chłodniczego. Zassanie kropeł cieczy do przestrzeni roboczej powoduje możliwość uszkodzenia sprężarki.

Należy zauważyć, że termostatyczny zawór rozprężny utrzymuje stałe przegrzanie, ale nie reguluje temperatury parowania. Jeśli nie ma regulacji temperatury parowania, to rośnie ona wraz ze zwiększającym się obciążeniem cieplnym, a gdy obciążenie maleje, temperatura parowania spada. Ponieważ temperatura parowania musi być utrzymywana w pewnych granicach, potrzebne są jeszcze inne elementy automatyki, np. sterujące pracą sprężarki lub parownika.

Regulacja pracy sprężarki polega na dostosowaniu wydajności do bieżącego obciążenia, a **regulacja pracy parownika** opiera się na zapewnieniu odpowiedniego natężenia przepływu czynnika chłodniczego przez ten wymiennik ciepła. Oba zagadnienia omówiono szczegółowo, odpowiednio w rozdziałach 2 i 5.

Teoretycznie, im niższa jest temperatura skraplania, tym wyższy jest współczynnik wydajności chłodniczej, a więc lepsza efektywność pracy układu. Jednak w przypadku ciśnieniowego zasilania parownika, zbyt niskie ciśnienie czynnika w zbiorniku pociąga za sobą zbyt małą różnicę ciśnienia w zaworze dławiącym, co może skutkować niewystarczającym natężeniem przepływu czynnika chłodniczego. Z tego względu, jeśli możliwe są duże wahania wydajności cieplnej skraplacza w układzie z zasilaniem ciśnieniowym, zachodzi konieczność utrzymywania temperatury skraplania na odpowiednim poziomie. **Regulacja pracy skraplacza** jest tematem rozdziału 3.

Główną wadą ciśnieniowego zasilania parownika czynnikiem chłodniczym jest niska efektywność. Konieczność istnienia w obiegu pewnego przegrzania pociąga za sobą następujące skutki:

- Część powierzchni wymiany ciepła parownika służy do przegrzania par a wymiana ciepła w tym przypadku charakteryzuje się niską efektywnością.
- Podczas sprężania pary przegrzanej sprężarka zużywa więcej energii, niż w przypadku pary nasyconej suchej.

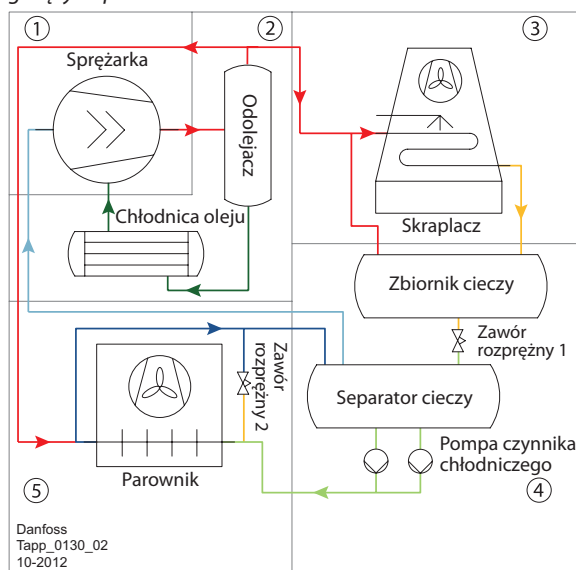
Ta wada staje się dotkliwa w przypadku instalacji o dużej wydajności lub układów chłodniczych niskotemperaturowych. W celu zmniejszenia energochłonności, w układach tych wykorzystuje się zasilanie pompowe lub grawitacyjne.

Układ jednostopniowy z zasilaniem pompowym

- Czynnik w fazie gazowej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Mieszanina cieczy i pary
- Czynnik w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem
- Olej

- ① Strefa regulacji pracy sprężarki
- ② Strefa regulacji krążenia oleju
- ③ Strefa regulacji pracy skraplacza
- ④ Strefa regulacji poziomu cieczy
- ⑤ Strefa regulacji pracy parownika

Rys. 16.1.2 Jednostopniowy układ chłodniczy z pompowym zasilaniem parownika i odszranianiem gorącymi parami



Obieg chłodniczy realizowany w układzie jednostopniowym z zasilaniem pompowym (rys. 16.1.2) jest bardzo zbliżony do obiegu w układzie z zasilaniem ciśnieniowym (rys. 16.1.1). Zasadniczą różnicą jest to, że sprężarka zasysa parę nasyconą suchą, a nie parę przegrzaną.

Dzieje się tak dzięki zainstalowaniu oddzielacza cieczy pomiędzy parownikiem i sprężarką. W separatorze oddzielona ciecz pochodzi częściowo z mieszaniny cieczy i pary powracającej z parownika i częściowo z zaworu rozprężnego 1. Do przewodu ssawnego trafia tylko para, a ciecz pompowo zasila parownik.

Ponieważ w układzie nie występuje przegrzanie, temperatura parowania będzie wyższa niż w układzie zasilanym ciśnieniowo. Ze względu na wyższą temperaturę sprężarka będzie działać wydajniej. Ponadto w całym parowniku zachodzi wrzenie ciekłego czynnika, co poprawia warunki wymiany ciepła. Zatem układ z zasilaniem pompowym jest bardziej efektywny energetycznie, w porównaniu do analogicznego układu z zasilaniem ciśnieniowym.

Rura łącząca zbiornik cieczy z rurociągiem tłocznym sprężarka-skraplacz ma za zadanie wyrównanie ciśnienia, w celu zapewnienia efektywnego spływu ciekłego czynnika chłodniczego ze skraplacza do zbiornika.

W układach z zasilaniem pompowym ogromne znaczenie ma zapewnienie prawidłowej pracy pompy. Jej regulacja polega na utrzymywaniu odpowiedniej różnicy ciśnień, przepływu czynnika, jego czystości oraz kontroli działania pompy. Zagadnienia te poruszono w rozdziale 8.

W przypadku zasilania pompowego, zawór dławiący nie może być sterowany sygnałem przegrzania, z uwagi na jego brak.

Sygnałem sterującym w procesie dławienia jest zwykle informacja o poziomie ciekłego czynnika chłodniczego w oddzielaczu cieczy, albo niekiedy w skraplaczu lub w zbiorniku. O regulacji poziomu cieczy traktuje rozdział 4.

Jeśli parownikami są chłodnice powietrza, a temperatura parowania jest niższa od 0°C, na powierzchni wymiany ciepła tworzy się szron. Musi on być okresowo usuwany, gdyż ogranicza przepływ powietrza przez chłodnicę oraz zwiększa opór przekazywania ciepła.

Najpopularniejsze w chłodnictwie przemysłowym metody odszraniania wykorzystują: powietrze, wodę, energię elektryczną, lub gorące pary czynnika chłodniczego. Parownik w układzie z rys. 16.1.2 jest odszraniany gorącymi parami. W tym celu, część strumienia gorących par ze sprężarki kierowana jest do chłodnicy powietrza.

Para ogrzewa chłodnicę, skutkiem czego ulega skropleniu. Powstała w ten sposób ciecz o wysokim ciśnieniu jest kierowana do oddzielacza cieczy za pośrednictwem zaworu dławiącego.

Odszranianie gorącymi parami czynnika chłodniczego może być wykorzystane w układach posiadających przynajmniej trzy równolegle połączone parowniki.

Podczas odtajania, przynajmniej dwie trzecie parowników (licząc pod względem wydajności chłodniczej) musi pracować w trybie chłodzenia, a nie więcej niż jedna trzecia może być odszraniana. W innym przypadku ilość gorącej pary może być niewystarczająca.

Sposób zmiany trybu pracy parownika chłodzenie/odszranianie jest jednym z tematów w rozdziale o regulacji pracy parowników (rozdział 5).

Układ dwustopniowy

Przykładowa konfiguracja przedstawiona jest na rys. 16.1.3. Część strumienia ciekłego czynnika chłodniczego ze zbiornika cieczy ulega zdławieniu do ciśnienia międzystopniowego i odparowuje chłodząc pozostałą część strumienia cieczy w chłodnicy międzystopniowej.

Powstała w ten sposób para o ciśnieniu międzystopniowym mieszająca się z parami wytłaczanymi ze sprężarki niskiego stopnia, które dzięki temu są ochładzane. Po zmieszaniu pary są zasysane przez sprężarkę wysokiego stopnia.

Oszczędza się w ten sposób moc, która byłaby potrzebna do sprężenia tej pary od ciśnienia parowania do ciśnienia międzystopniowego oraz obniża się temperaturę tłoczenia sprężarki wysokiego stopnia.

Dlatego układy dwustopniowe nadają się szczególnie do niskotemperaturowych instalacji chłodniczych, pozwalając na zwiększenie ich sprawności oraz obniżenie temperatury tłoczenia.

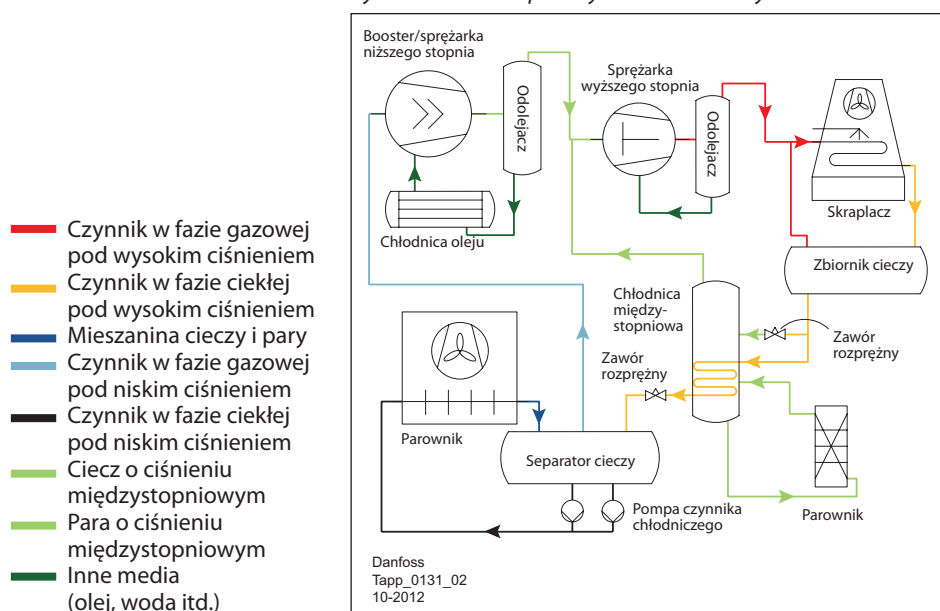
Chłodnica międzystopniowa może także zasilać parowniki o międzystopniowej temperaturze parowania. Na rys. 16.1.3 przedstawiono grawitacyjne zasilanie parownika płytowego z chłodnicy międzystopniowej.

W odróżnieniu od zasilania pompowego, gdzie czynnik jest tłoczony do parownika przez pompę, w układzie grawitacyjnym cyrkulację czynnika chłodniczego wymusza efekt termosyfonowy. Układy z zasilaniem grawitacyjnym są prostsze i bardziej niezawodne (brak możliwości awarii pompy), ale zwykle charakteryzują się mniej intensywną wymianą ciepła niż w przypadku zasilania pompowego.

Układy dwustopniowe odznaczają się wysoką sprawnością teoretyczną. W praktyce jednak, nieraz trudno jest znaleźć czynnik chłodniczy odpowiedni jednocześnie do zakresu temperatury w górnym i w dolnym stopniu niskotemperaturowego układu chłodniczego.

W wyższym zakresie temperatury, ciśnienie czynnika chłodniczego może być bardzo duże, stawiając wysokie wymagania przed elementami konstrukcji sprężarek. Z kolei w niskotemperaturowej części układu może panować podciśnienie, ułatwiające migrację powietrza do instalacji (obecność powietrza w układzie chłodniczym prowadzi do pogorszenia warunków wymiany ciepła w skraplaczu — patrz podrozdział 9.3). Dlatego lepszym rozwiązaniem niskotemperaturowej instalacji chłodniczej może się okazać układ kaskadowy.

Rys. 16.1.3 Dwustopniowy układ chłodniczy



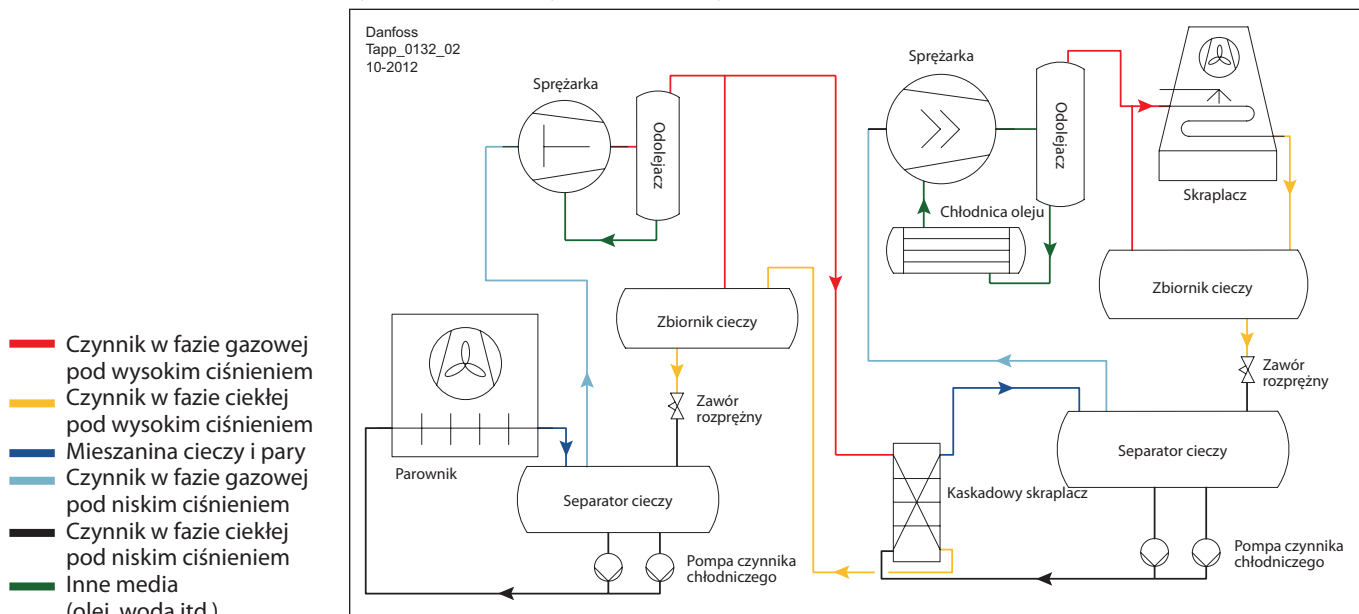
Układ kaskadowy

Instalacja kaskadowa składa się z dwóch osobnych układów chłodniczych (rys. 16.1.4). Łączą się one za pośrednictwem wymiennika ciepła, który jednocześnie pełni rolę skraplacza w niskim stopniu kaskady i parownika w stopniu wysokim.

Oba układy mogą być napełnione różnymi czynnikami chłodniczymi, optymalnymi z punktu widzenia parametrów pracy poszczególnych stopni. Na przykład w górnym stopniu kaskady może krążyć NH₃, a w dolnym CO₂.

Układ kaskadowy CO₂/NH₃ charakteryzuje się mniejszą ilością amoniaku w instalacji i lepszą sprawnością w zastosowaniach niskotemperaturowych, w porównaniu do analogicznego dwustopniowego układu amoniakalnego.

Rys. 16.1.4 Kaskadowy układ chłodniczy



17. Regulatory dwustanowe i o ciągłym sygnale wyjściowym

Poniżej przedstawiono zarys teorii regulacji dwustanowej (ON/OFF) i z ciągłym sygnałem sterującym. Ma to na celu ułatwienia zrozumienia

metod regulacji i terminów, wykorzystywanych w niniejszym poradniku. Załączono także pewne uwagi praktyczne.

Skróty i definicje

P	Proporcjonalny
I	Całkujący
D	Różniczkujący
PB	Zakres proporcjonalności [%] w regulatorze typu P, PI, PID. Wartość podana w procentach oznacza, jak musi się zmienić wielkość regulowana (PV), aby sygnał wyjściowy regulatora (y) zmienił się od 0 do 100%
K_p	Współczynnik wzmocnienia w regulatorze typu P, PI, PID
T_i	Czas całkowania [s] w regulatorze typu PI lub PID
T_d	Czas różniczkowania [s] w regulatorze typu PID
PID	Regulator proporcjonalno-całkująco-różniczkujący (posiadający funkcje P, I i D)
SP	Sygnał zadający, nastawa
PV	Wielkość regulowana (regulowany parametr: temperatura, ciśnienie, poziom cieczy itp.)
offset (x)	Uchyb — różnica pomiędzy wartością zadaną (SP), a wartością wielkości regulowanej (PV)
y	Obliczony sygnał wyjściowy regulatora.
opóźnienie	Jeśli wielkość regulowana (PV) jest mierzona zdalnie, to sygnał ten zawsze posiada pewne opóźnienie, w porównaniu do pomiaru miejscowego.

Materiał źródłowy:

[1] Thomas Heilmann, Alfred L. Hansen: „Reguleringsteknik“

17.1 Regulacja dwustanowa (ON/OFF)

W pewnych przypadkach wystarczające jest zastosowanie układu regulacji dwustanowej. Regulator (zawór, termostat itp.) posiada tylko dwa położenia: styki zamknięte albo otwarte. Metoda ta nosi nazwę regulacji dwustanowej lub ON/OFF. Regulacja dwustanowa jest szeroko wykorzystywana w chłodnictwie, szczególnie dotyczy to chłodziarek wyposażonych w termostaty.

Regulatory ON/OFF mogą też występować w zaawansowanych układach regulacji, wyposażonych w regulatory typu PID. Przykładem jest dwustanowy zawór elektromagnetyczny (AKV/A firmy Danfoss), wykorzystywany do regulacji przegrzania, a sterowany specjalnym regulatorem elektronicznym typu PID (EKC 315A firmy Danfoss)

Regulator dwustanowy zmienia swoje położenie tylko w określonym zakresie parametru regulowanego. Poza tym przedziałem regulator ON/OFF nie podejmuje żadnej akcji.

Regulację dwustanową wykorzystuje się zazwyczaj z następujących względów:

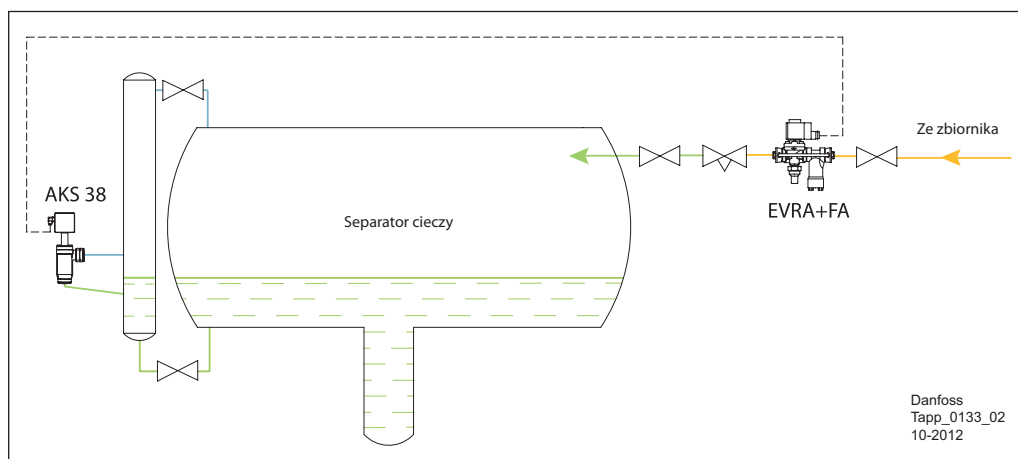
- Niski koszt, niski stopień skomplikowania.
- Dopuszczalne są niewielkie odstępstwa wartości wielkości regulowanej (PV) od wartości zadanej (SP), w granicach zakresu regulacji urządzenia ON/OFF.
- Obiekt sterowania ma tak dużą pojemność, że regulacja typu ON/OFF nie ma szkodliwego wpływu na wielkość regulowaną.
- W układach z opóźnieniem regulacja dwustanowa może mieć pewne zalety.

W układzie regulacji dwustanowej istnieje sprzężenie zwrotne, podobnie jak dla regulacji z ciągłym sygnałem sterującym, jednak dla sterowania ON/OFF charakterystyczne są wahania wartości wielkości regulowanej i brak możliwości całkowitego zlikwidowania uchybu regulacji.

Przykład zastosowania 17.1.1
Regulacja dwustanowa
(ON/OFF)

W celu regulacji poziomu ciekłego czynnika pomiędzy wartością minimalną i maksymalną, można wykorzystać regulator dwustanowy, jak np. AKS 38 firmy Danfoss. AKS 38, to wyłącznik pływakowy, mogący sterować pracą dwustanowego zaworu elektromagnetycznego.

- Czynniki w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynniki w fazie gazowej pod niskim ciśnieniem
- Czynniki w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem



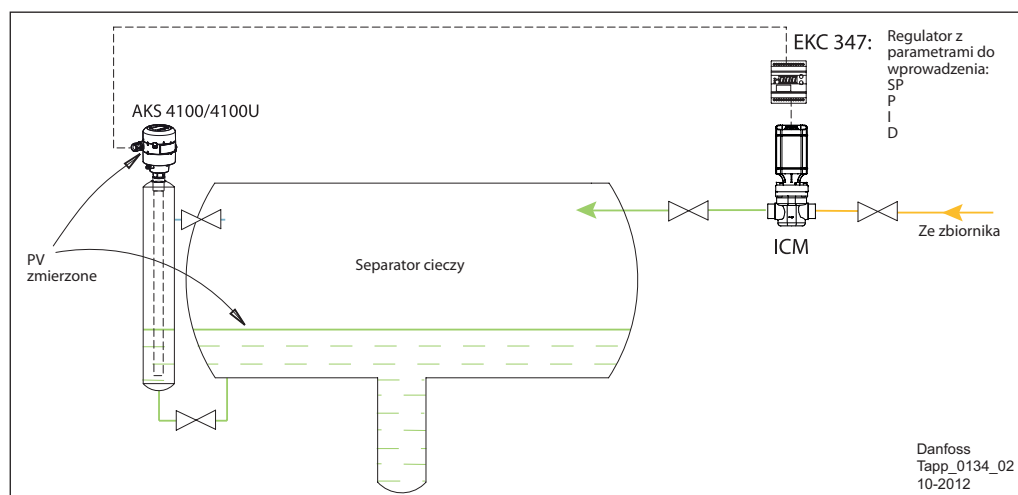
17.2 Regulacja ciągła

Zasadniczą różnicą pomiędzy regulacją ciągłą, a regulacją dwustanową jest to, że regulator o ciągłym sygnale wyjściowym reaguje na każdą zmianę wartości wielkości regulowanej.

Ponadto, regulatory elektroniczne oferują możliwość korygowania poszczególnych parametrów regulacji P, I oraz D. Ta elastyczność jest bardzo użyteczna, gdyż regulator może zostać dostosowany do konkretnego zadania.

Przykład zastosowania 18.2.1 Regulacja ciągła

- Czynnik w fazie ciekłej pod wysokim ciśnieniem
- Czynnik w fazie ciekłej pod niskim ciśnieniem



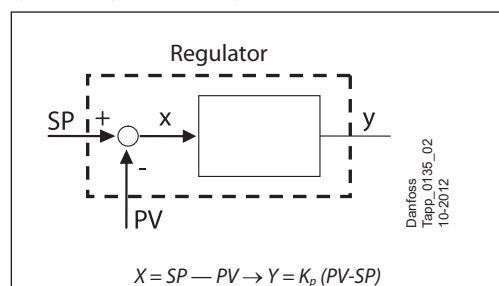
Podstawy regulacji typu P, I oraz D

Zazwyczaj, w typowych regulatorach istnieje możliwość nastawy parametrów regulacji typu P, PI i PID:

- W regulatorach proporcjonalnych (P) nastawia się: zakres proporcjonalności (PB) lub współczynnik wzmocnienia K_p ;
- W regulatorach proporcjonalno-całkujących (PI) nastawia się: zakres proporcjonalności (PB) lub współczynnik wzmocnienia (K_p) oraz czas całkowania (T_i);
- W regulatorach proporcjonalno-całkująco-różniczkujących (PID) nastawia się: zakres proporcjonalności (PB) lub współczynnik wzmocnienia (K_p) oraz czas całkowania (T_i) i czas różniczkowania (T_d).

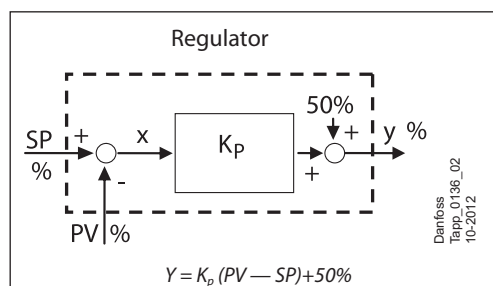
Regulator typu P

Element proporcjonalny występuje w każdym regulatorze o ciągłym sygnale wyjściowym. Regulator typu P posiada liniową zależność sygnału wyjściowego (y) od wejściowego (PV).



Regulator typu P jest skonfigurowany tak, że jeśli $SP = PV$, to jego sygnał wyjściowy (sterujący) przyjmuje wartość odpowiadającą normalnemu obciążeniu układu.

Oznacza to zazwyczaj, że wartość sygnału wyjściowego wynosi 50% wartości maksymalnej. Przykładowo, dla utrzymania wartości nastawionej (SP) zawór silnikowy w stanie ustalonym będzie otwarty na 50%.



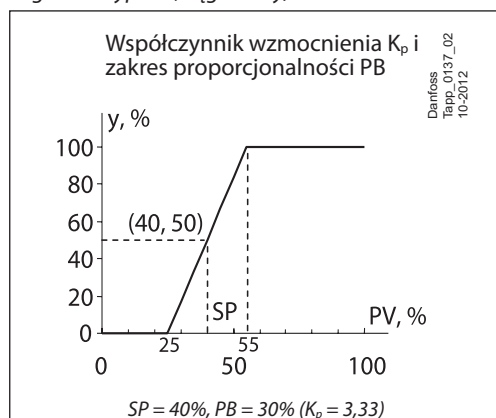
W niektórych regulatorach, zamiast zakresu proporcjonalności (PB) nastawia się współczynnik wzmocnienia (K_p). Zależność między parametrami PB i K_p jest następująca:
 $PB[\%] = 100/K_p$

Należy zauważyć, że zakres proporcjonalności PB może przekraczać 100%, co odpowiada współczynnikowi wzmocnienia K_p mniejszemu od jedności.

17.2

Regulacja ciągła (ciąg dalszy)

Regulator typu P (ciąg dalszy)



Gdy PV = SP = 40%, sygnał wyjściowy regulatora (y) wynosi 50%. (oznacza to, że stopień otwarcia zaworu wynosi 50%).

Gdy PV wzrasta do 46%, przyjmuje się uchyb 6% między PV i SP. Ponieważ przyjęto K_p o wartości 3,33, uchyb 6% oznacza, że sygnał wyjściowy zwiększa się o $6\% \times 3,33 = 20\%$, tj. jeśli PV wzrasta do 46%, sygnał wyjściowy wzrasta do $50\% + 20\% = 70\%$.

Uchyb w wymiarze 6% jest uchybem, którego regulator typu P nie może zniwelować. Wynika to z zasady działania regulatora proporcjonalnego.

Aby uchyb ustalony był jak najmniejszy, element wykonawczy (zawór) powinien być zaprojektowany tak, aby sygnał wyjściowy z regulatora (y) sterującego procesem był zbliżony do normalnego średniego obciążenia. Wtedy uchyb regulacji w każdej chwili będzie minimalny, a po upływie długiego czasu zbliży się do zera.

Zmiana parametrów regulatora typu P

Element typu P jest podstawowym składnikiem regulatora. W większości przypadków, działanie typu P powoduje istnienie uchybu ustalonego, który może być zarówno pomijalnie mały, jak i niedopuszczalnie duży. Jednakże regulacja typu P jest lepsza niż brak regulacji (brak sprzężenia zwrotnego, otwarty układ sterowania).

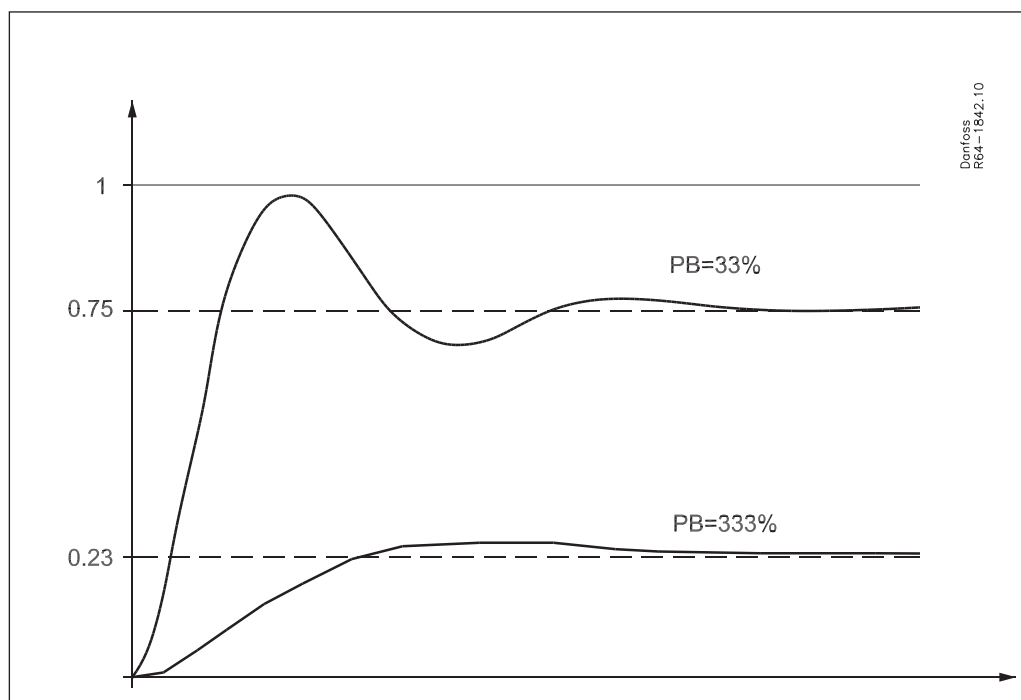
Zmiana zakresu proporcjonalności (PB) wywołuje następujące efekty:

- Mniejszy PB (większy współczynnik wzmocnienia) skutkuje mniejszym uchybem ustalonym, czyli lepszą reakcją na zmiany obciążenia, ale jednocześnie zwiększa tendencję układu do oscylacji.

- Większy PB (mniejszy współczynnik wzmocnienia) powoduje większy uchyb ustalony, ale mniejszą tendencję do oscylacji.
- Zmniejszanie PB sprawia, że regulator teoretycznie dąży do działania dwustanowego (ON/OFF).

Poniższa charakterystyka dynamiczna jest ważna dla układów regulacji proporcjonalnej.

Rysunek ukazuje odpowiedzi układów regulacji o zakresie proporcjonalności PB = 33% i PB = 333%, na zmianę wartości ustawionej (SP) o jednostkę.



17.2

Regulacja ciągła (ciąg dalszy)

Regulator typu I

Najważniejszą cechą regulatora całkującego (typu I) jest sprowadzanie uchybu ustalonego do zera i jest to powód stosowania tego typu regulacji. Regulator typu I zmienia wartość swojego sygnału wyjściowego dopóty, dopóki istnieje uchyb regulacji. Jednakże zdolność do całkowitej likwidacji uchybu ustalonego jest powiązana z tym, że w praktyce dozowanie odbywa się prawidłowo.

Zdolność regulatora całkującego do likwidacji uchybu ustalonego idzie w parze z niekorzystną cechą: zwiększa tendencję do pojawiania się oscylacji w pętli sterowania. Tendencja do oscylacji jest silniejsza w przypadku regulatora typu I niż dla typu P.

Reakcja regulatora całkującego na zmianę obciążenia jest wolniejsza niż regulatora proporcjonalnego.

Regulator typu PI

Połączenie zalet i wad regulacji typu P oraz I przynosi korzyść w postaci regulacji proporcjonalno-całkującej (PI).

Nastawa T_i stanowi kompromis pomiędzy stabilnością układu regulacji i szybkością likwidacją uchybu.

W regulatorze typu PI nastawia się: zakres proporcjonalności (PB) i czas całkowania (T_i). Wartość T_i podaje się w sekundach lub minutach.

Obniżając T_i (większy wpływ działania całkującego) uzyskuje się szybsze zmniejszanie uchybu, kosztem większej tendencji do wystąpienia oscylacji.

Regulator typu D

Najważniejszą cechą regulatora różniczkującego (typu D) jest jego reakcja na zmiany. Oznacza to między innymi, że jeśli uchyb regulacji jest stały, to regulator typu D nie podejmie żadnego działania w celu jego likwidacji. Działanie różniczkujące jednak przyspiesza reakcję układu regulacji na zmianę obciążenia.

W regulatorach z działaniem różniczkującym nastawia się czas różniczkowania (T_d). Wartość T_d podaje się w sekundach lub minutach.

Działanie różniczkujące polepsza stabilność układu regulacji i przyspiesza jego reakcję. Nie wpływa ono na uchyb ustalony, ale zmniejsza tendencję do wystąpienia oscylacji. Regulator typu D reaguje na zmiany w wyniku błędu, a pętla na zmiany obciążenia reaguje szybciej niż układ bez funkcji D. Szybsza reakcja na zmiany oznacza tłumienie oscylacji.

Należy zauważyć, że zbyt wysoka nastawa T_d pociągnie za sobą zbyt ostrą reakcję układu regulacji na np. zmianę wartości nastawionej (SP). W czasie rozruchu urządzenia może się okazać pożyteczne wyłączenie działania różniczkującego. ($T_d=0$)

Działania różniczkującego nigdy nie wykorzystuje się osobno. Jego typowym zastosowaniem jest tłumienie oscylacji w regulatorach typu PD i PID.

Regulator typu PID

Połączenie wymienionych typów regulacji w regulatorze typu PID znalazło powszechne zastosowanie.

Zasadnicze własności regulatora typu PID i wytyczne do jego nastawiania są następujące:

- Zmniejszenie zakresu proporcjonalności (PB) zmniejsza uchyb ustalony, ale pogarsza stabilność układu;
- Działanie typu I likwiduje uchyb ustalony. Im krótszy czas całkowania (T_i), tym szybsza redukcja uchybu.

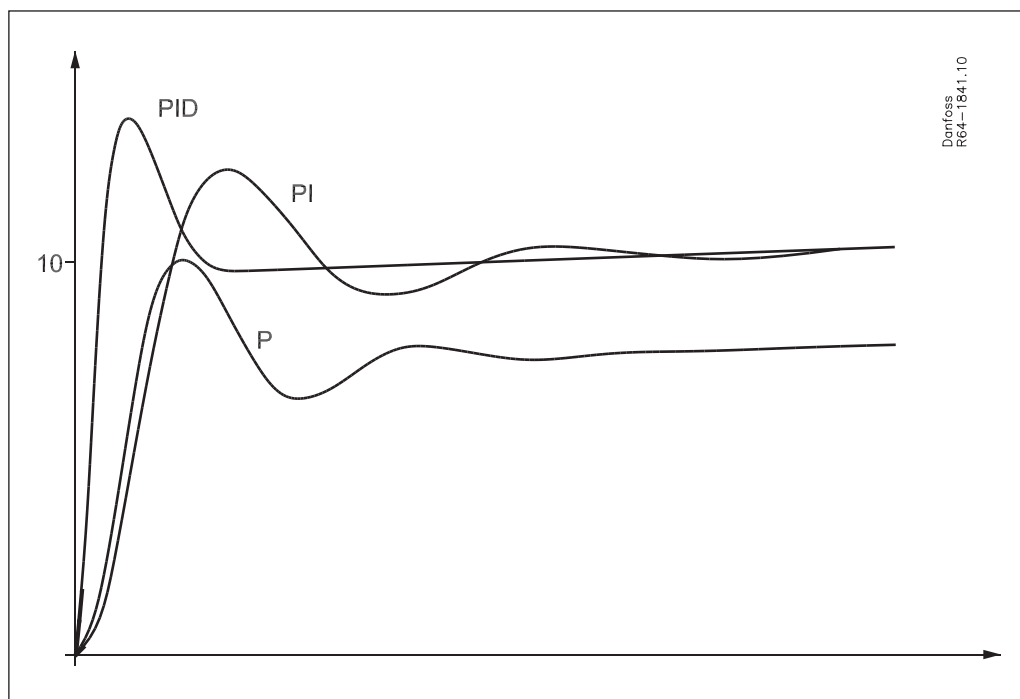
- Działanie typu I zwiększa tendencję do wystąpienia oscylacji;
- Działanie typu D tłumie oscylacje i przyspiesza reakcję układu na zmiany. Im dłuższy czas różniczkowania (T_d), tym silniejszy jest to wpływ, jednak do pewnego stopnia. Zbyt duża nastawa T_d przyczynia się do zbyt silnych reakcji układu na nagłe wymuszenia i staje się powodem wystąpienia niestabilności.

17.2 Regulacja ciągła (ciąg dalszy)

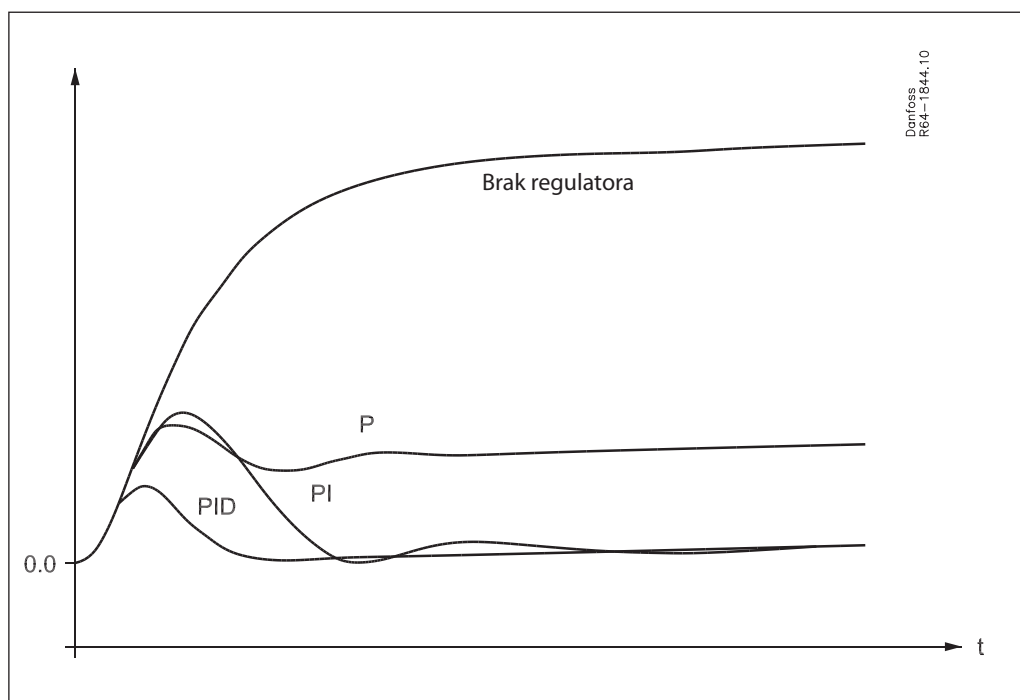
Typowe charakterystyki dynamiczne regulatora typu PID — 1: nastawa optymalna

Ustawienia:

	PB	T _i	T _d
P	66,7%	-	-
PI	100%	60 s	-
PID	41,7%	40 s	12 s



Powyższa charakterystyka obrazuje odpowiedzi poszczególnych regulatorów na zmianę wartości nastawionej (SP) o jednostkę.



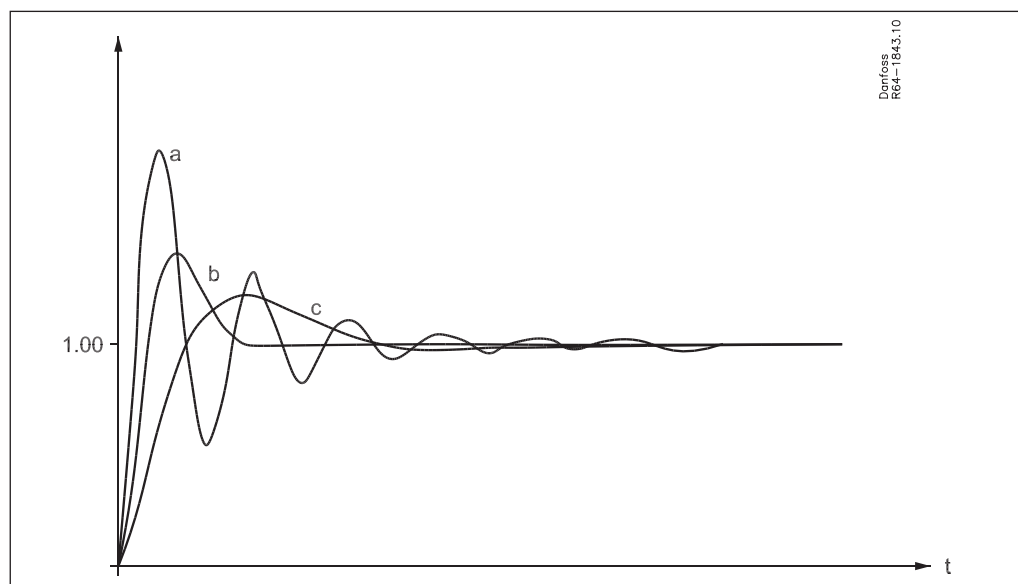
Odpowiedzi regulatorów na zmianę obciążenia, przy ustawieniach jak poprzednio. Zmiana obciążenia o 1.

17.2 Regulacja ciągła (ciąg dalszy)

Typowe charakterystyki dynamiczne regulatora typu PID — 2: zmiana PB

Ustawienia:

	PB	T _i	T _d
PID-a	25,0%	40 s	12 s
PID-b	41,7%	40 s	12 s
PID-c	83,3%	40 s	12 s



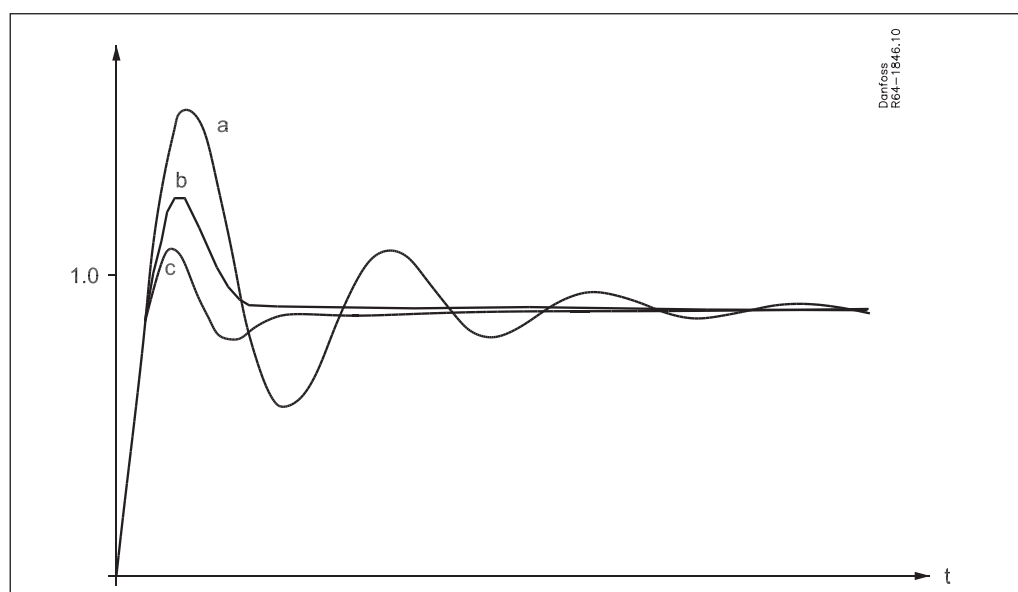
Powyższa charakterystyka pokazuje odpowiedź regulatora typu PID na zmianę wartości nastawionej (SP) o jednostkę, dla różnych nastaw PB. Zbyt

mały zakres proporcjonalności wywołuje w układzie oscylacje (zwiększa niestabilność). Przy zbyt dużym PB czas reakcji układu wydłuża się.

Typowe charakterystyki dynamiczne regulatora typu PID — 3: zmiana T_i

Ustawienia:

	PB	T _i	T _d
PID-a	41,7%	20 s	12 s
PID-b	41,7%	40 s	12 s
PID-c	41,7%	120 s	12 s



Powyższa charakterystyka ukazuje odpowiedź regulatora typu PID na zmianę wartości nastawionej (SP) o jednostkę, dla różnych nastaw

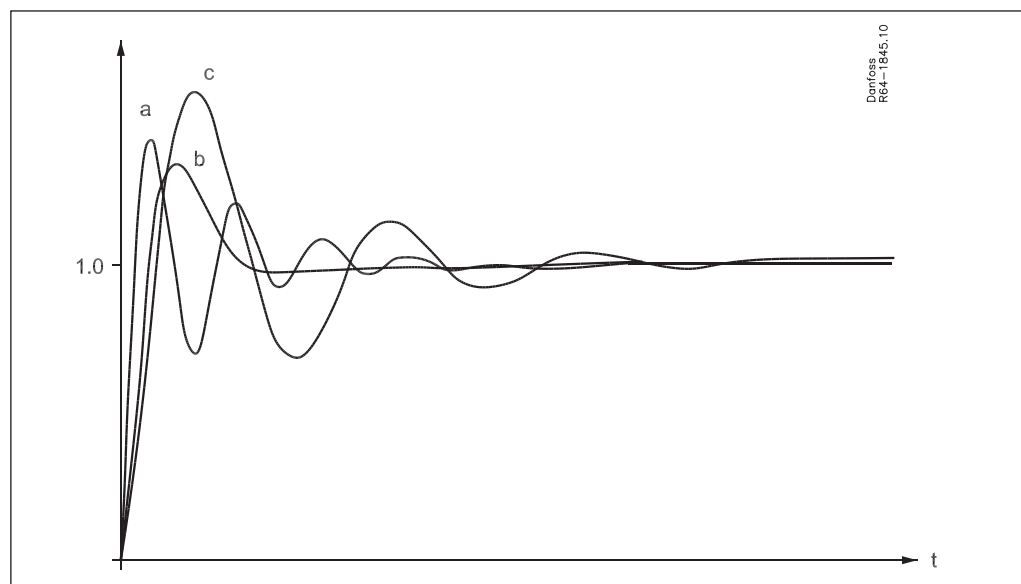
T_i. Zbyt krótki czas całkowania T_i wywołuje oscylacje w układzie (zwiększa niestabilność). Przy zbyt długim czasie T_i likwidacja uchybu zajmuje dużo czasu.

17.2 Regulacja ciągła (ciąg dalszy)

Typowe charakterystyki dynamiczne regulatora typu PID — 4: zmiana T_d

Ustawienia:

	PB	T_i	T_d
PID-a	41,7%	40 s	24 s
PID-b	41,7%	40 s	12 s
PID-c	41,7%	40 s	6 s



Powyższa charakterystyka ukazuje odpowiedź regulatora typu PID na zmianę wartości nastawionej (SP) o jednostkę, dla różnych nastaw T_d . Jeśli czas

różniczkowania T_d jest zbyt krótki lub zbyt długi w porównaniu do optymalnego ($T_d = 12$ s), układ staje się bardziej niestabilny (większe oscylacje).

Spis materiałów źródłowych w porządku alfabetycznym

Typ	Tytuł	Karty katalogowe / Instrukcje	Instrukcje obsługi	
AKD 102	Przetwornica częstotliwości	PD.R1.B	MG11L	
AKS 21	Czujnik temperatury	RK0YG	RI14D	
AKS 32R	Przetwornik ciśnienia		PI.SB0.A	
AKS 33	Przetwornik ciśnienia	RD5GH	PI.SB0.A	
AKS 38	Czujnik poziomu cieczy.	PD.GD0.A	PI.GD0.A	
AKS 4100/4100U	Przetwornik poziomu cieczy	PD.SC0.C	PI.SC0.D	PI.SC0.E
AKVA	Elektronicznie sterowany zawór rozprężny	PD.VA1.B	PI.VA1.C	PI.VA1.B
AMV 20	Siłownik sterowany sygnałem 3-punktowym	ED95N	EI96A	
BSV	Zawór bezpieczeństwa	PD.IC0.A	PI.IC0.A	
CVC-XP	Zawory pilotowe dla serwowłokowego zaworu głównego	PD.HN0.A	PI.HN0.A	
CVC-LP	Zawory pilotowe dla serwowłokowego zaworu głównego	PD.HN0.A	PI.HN0.M	
CVP	Zawory pilotowe dla serwowłokowego zaworu głównego	PD.HN0.A	PI.HN0.C	
CVPP	Zawory pilotowe dla serwowłokowego zaworu głównego	PD.HN0.A	PI.HN0.C	
CVQ	Zawory pilotowe dla serwowłokowego zaworu głównego	PD.HN0.A	PI.VH1.A	
DCR	Filtr odwadniacz	PD.EJ0.A	PI.EJ0.B	
DSV	Dwupołożeniowy zawór odcinający	PD.IE0.A	PI.IE0.A	RI.7D.A
EKC 202	Sterownik urządzenia chłodniczego	RS8DZ	RI8JV	
EKC 315A	Sterownik parownikowy	RS8CS		
EKC 331	Regulator wydajności	RS8AG	RI8BE	
EKC 347	Regulator poziomu czynnika	PS.G00.A	PI.RP0.A	
EKC 361	Sterownik do precyzyjnej regulacji temperatury	RS8AE	RI8BF	
EVM	Zawory pilotowe dla serwowłokowego zaworu głównego	PD.HN0.A	PI.HN0.N	
EVRA / EVRAT	Zawór elektromagnetyczny	PD.BM0.B	PI.BN0.L	
FA	Filtr siatkowy	PD.FM0.A	PI.FM0.A	
FIA	Filtr	PD.FN1.A	PI.FN1.A	
GD	Czujniki gazu	PD.S00.A	PI.S00.A	
GPLX	Dwustopniowy zawór elektromagnet. sterowany gazem	PD.BO0.A	PI.BO0.A	
HE	Wymiennik ciepła	PD.FD0.A	PI.FD0.A	
ICF	Zawór blokowy	PD.FT1.A	PI.FT0.C	
ICM / ICAD	Zawór silnikowy/silnik krokowy	PD.HT0.B	PI.HT0.A	PI.HT0.B
ICS	Zawór serwoosterowany	PD.HS2.A	PI.HS0.A	PI.HS0.B
KDC	Zawór regulacyjny ciśnienia tłoczenia	PD.FQ0.A	PI.FQ0.A	
LLG	Poziomowskaz	PD.GG0.A	PI.GG0.A	
MLI	Wziernik	PD.GH0.A	PI.GH0.A	
MP 55 A	Presostat różnicowy	PD.CG0.B	PI.CG0.E	
NRVA	Zawór zwrotny	PD.FK0.A	PI.FK0.A	
OFV	Zawór upustowy	PD.HQ0.A	PI.HX0.B	
ORV	Zawór do regulacji temperatury oleju	PD.HP0.B	PI.HP0.A	
PMFL / PMFH	Serwoosterowany regulator poziomu cieczy	PD.GE0.C	PI.GE0.D	PI.GE0.A
ICLX	Dwustopniowy zawór elektromagnet. sterowany gazem	PD.HS1.A	PI.HS1.A/B	
POV	Serwoosterowany wewnętrzny zawór bezpieczeństwa	PD.ID0.A	PI.ID0.A	
QDV	Szybko zamykający się zawór spustowy oleju	PD.KL0.A	PI.KL0.A	
REG-SA/SB	Ręczny zawór regulacyjny	PD.KM1.A	PI.KM1.A	
RT 107	Termostat	PD.CB0.A		
RT 1A	Presostat, regulacja ciśnienia	PD.CB0.A	RI5BC	
RT 260A	Presostat, regulacja różnicy ciśnień	PD.CB0.A	RI5BB	
RT 5A	Presostat, regulacja ciśnienia	PD.CB0.A	RI5BC	
SCA-X	Zawór odcinający zwrotny	PD.FL1.A	PI.FL1.A	
SFA	Zawór bezpieczeństwa	PD.IF0.A	PI.IB0.A	
SGR	Wziernik	PD.EK0.A	PI.EK0.A	
SNV	Zawór iglicowy	PD.KB0.A	PI.KB0.A	
SV 1-3	Regulator poziomu cieczy bezpośredniego działania	PD.GE0.B	PI.GE0.C	
SV 4-6		PD.GE0.D	PI.GE0.B	
SVA-S/L	Zawór odcinający	PD.KD1.A	PI.KD1.A	
TEA	Termostatyczny zawór rozprężny	PD.AJ0.A	PI.AJ0.A	
TEAT		PD.AU0.A	PI.AU0.A	
VM 2	Zawór regulacyjny, odciążony hydraulicznie	ED97K	VIHBC	
WVS	Zawór wodny	PD.DA0.A	PI.DA0.A	

Najnowsze wersje materiałów źródłowych można pobrać z witryny internetowej firmy Danfoss.



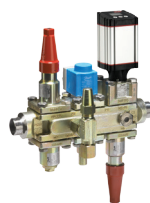
Danfoss Flexline™

Proste. Skuteczne. Elastyczne.

Zaprojektowana z myślą o inteligentnej prostocie, ekonomicznej skuteczności oraz zaawansowanej elastyczności seria Flexline™ obejmuje trzy popularne kategorie produktów:



ICV Flexline™
zawory regulacyjne



ICF Flexline™
kompletne zawory blokowe



SVL Flexline™
komponenty armatury

Wszystkie produkty oparto na konstrukcji modułowej, przy czym korpus nie pełni żadnej szczególnej funkcji. Takie rozwiązanie ogranicza złożoność procesów począwszy od etapu projektowania po montaż, uruchomienie i serwis. Wszystko to prowadzi do obniżenia całkowitych kosztów użytkowania i w konsekwencji zapewnia znaczne oszczędności.

Odwiedź stronę www.danfoss.com/flexline, aby uzyskać dodatkowe informacje na temat platformy Flexline™.

Globalne know-how Lokalne wsparcie

Mając za sobą ponad 60 lat doświadczenia w produkcji zaworów i regulatorów na potrzeby przemysłowych instalacji chłodniczych, firma Danfoss jest solidnym partnerem, do którego można się zwrócić, gdy potrzebne są wysokiej jakości wyroby.

Nasze globalne know-how połączone z lokalnym wsparciem zapewnia możliwie najlepsze produkty i usługi.