

OCENA TECHNICZNO-EKONOMICZNA KASKADOWEGO SYSTEMU CHŁODZENIA OPARTEGO NA UKŁADZIE AMONIAK – DWUTLENEK WĘGLA

Część 3

inż. Daniel BAGIŃSKI

GRASSO Sp. z o.o.

dr inż. Zenon BONCA

Katedra Techniki Ciepłej

Politechnika Gdańska

4. INSTALACJA CHŁODNICZA Z AUTOMATYKĄ STERUJĄCĄ

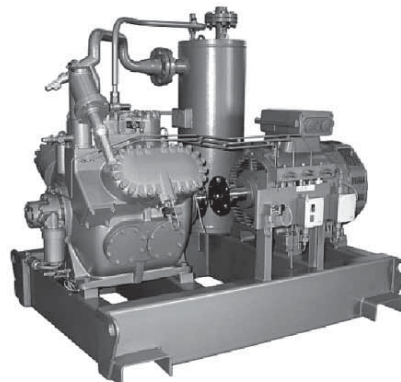
(dla jednej sprężarki):

Pobór mocy:

200,9 kW

Dobór elementów systemu chłodzenia możliwy jest dzięki znajomości wydajności chłodniczej układu chłodzenia, wyznaczonej w bilansie cieplnym pomieszczeń chłodzonych. Ponieważ istnieje niepewność, co do założonych warunków użytkowania obiektu, wyliczoną wydajność chłodniczą urządzenia zwiększa się zwykle o 5 do 20%. W rozpatrywanym obiekcie przyjęto rezerwę mocy chłodniczej na poziomie 6%. W przyjętym do analizy układzie kaskadowym, ciepło skraplania dolnej kaskady stanowi obciążenie cieplne dla kaskady górnej. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla $Q_o = 832 \text{ kW}$, wartość ciepła skraplania, które należy odprowadzić w skraplaczu dolnej kaskady wyniesie około $Q_c = 934 \text{ kW}$.

Czynnik chłodniczy: **R 744**
Temp. parowania: **-38°C**
Temp. skraplania: **-15°C**
Wydajność chłodnicza: **284,5 kW**
Pobór mocy: **48,6 kW**



Rys. 4.1. Agregat sprężarkowy tłokowy na CO_2 typ GRASSO 55HP [10]



Rys. 4.2. Agregat sprężarkowy śrubowy na amoniak typ GRASSO S-52 [10]

4.1 Dobór agregatów sprężarkowych

Na podstawie wyników obliczeń przedstawionych w tabeli 3.3, można określić zapotrzebowanie wydajności chłodniczej sprężarek tłokowych dla dolnego stopnia kaskady pracującego w oparciu o **dwutlenek węgla**. Przy założeniu, że urządzenie pracuje 18 godzin w ciągu doby, wydajność agregatu sprężarkowego wynosi $Q_o = 832 \text{ kW}$, przy parametrach pracy: $t_o = -38^\circ\text{C}$; $t_c = -15^\circ\text{C}$.

Dla powyższej wielkości dobrano trzy jednostopniowe agregaty sprężarkowe tłokowe, model **GRASSO 55HP** (rys. 4.1) dla dolnej kaskady, o następujących parametrach pracy

Znając z powyższego doboru całkowitą rzeczywistą wydajność chłodniczą agregatów niskiego stopnia kaskady oraz ich rzeczywisty pobór mocy, można określić wymaganą wydajność górnego jej stopnia pracującego z wykorzystaniem NH_3 , jako płynu roboczego, wynoszącą $Q_o = 999,3 \text{ kW}$.

Dla powyższej wielkości dobrano dwa jednostopniowe agregaty sprężarkowe oparte na sprężarkach śrubowych, model **GRASSO S-52** (rys. 4.2) dla górnej kaskady, o poniższych parametrach pracy (dla jednej sprężarki):

Czynnik chłodniczy: **R 717**
Temp. parowania: **-20°C**
Temp. skraplania: **+35°C**
Wydajność chłodnicza: **539,6 kW**

4.2 Dobór wymiennika kaskadowego

Znając całkowitą rzeczywistą wydajność chłodniczą agregatów wysokiego stopnia kaskady, wynoszącą $Q_o = 1079,2 \text{ kW}$, można dobrać wymiennik kaskadowy pełniący podwójną rolę: skraplacza dwutlenku węgla i jednocześnie parownika dla układu amoniakalnego.

Dla powyższej wielkości dobrano wymiennik płytowy systemu Q-plate, o wydajności $Q = 1079,2 \text{ kW}$ (rys. 4.3).

4.3 Dobór elementów automatyki i regulacji układu chłodniczego

Aby instalacja chłodnicza mogła działać w pełni automatycznie, musi ona zostać wyposażona w pozostałą, niezbędną automatykę przeznaczoną do regulacji i sterowania parametrami pracy układu. Zalicza się do niej m.in. - pompy czynnika do przetłaczania cieczy,



Rys. 4.3. Kaskadowy wymiennik ciepła firmy GEA Shell [11]

- regulacyjne zawory pływakowe do zasilania chłodnic powietrza,
- zawory stałociśnieniowe,
- zawory elektromagnetyczne,
- przetworniki ciśnienia i czujniki temperatury.

Instalacja chłodnicza dla projektowanego obiektu będzie składała się z dwóch obiegów połączonych kaskadowo ze sobą w jedną całość. Jako czynniki chłodnicze użyte zostaną w niej naturalne i bezpieczne dla środowiska płyny robocze, czyli CO₂ i NH₃. Układ kaskadowy CO₂/NH₃ jest wysoko wydajnym, przemysłowym urządzeniem chłodniczym, mogącym pracować przy niskich temperaturach parowania na poziomie -35°C do -54°C, np. do mrożenia mięsa lub w procesach suszenia.

Posiada on dwa obiegi chłodnicze:

- niskotemperaturowy (-38°C/-15°C) **dwutlenku węgla**,
- w y s o k o t e m p e r a t u r o w y (-20°C/+35°C) **amoniaku**.

Układ kaskadowy jest zbudowany z agregatów sprężarkowych, opartych na sprężarkach tłokowych (dla dolnego stopnia kaskady) CO₂ oraz na sprężarkach śrubowych (dla górnego stopnia kaskady) NH₃. Agregaty sprężarkowe są połączone wymiennikiem kaskadowym i składają się:

- dla obiegu CO₂ z 3 agregatów sprężarkowych tłokowych specjalnie zaprojektowanych do pracy z R 744, 3 odolejaczy, centralnego oddzielacza cieczy wyposażonego

w wężownicę w celu zabezpieczenia przed nadmiernym wzrostem ciśnienia ciekłego CO₂ podczas postępu instalacji (zbiornik wyposażono w wewnętrzną wężownicę w celu podłączenia do niej małego, dodatkowego urządzenia chłodniczego do chłodzenia czynnika) oraz automatyki i armatury chłodniczej, niezbędnej do zapewnienia automatycznego funkcjonowania układu;

- dla obiegu NH₃ z 2 agregatów sprężarkowych śrubowych, 2 odolejaczy, centralnego oddzielacza cieczy, 2 glikolowych chłodnic oleju oraz automatyki i armatury chłodniczej, niezbędnej do zapewnienia automatycznego funkcjonowania układu.

4.4 Rurociągi instalacji chłodniczej

Rurociągi pełnią w każdej instalacji chłodniczej podwójną rolę, a mianowicie:

- łączą poszczególne elementy składowe urządzenia w jedną całość,
- stanowią kanały przepływu płynów roboczych, a tym samym zapewniają ciągłe zasilanie parowników, skraplaczy i innych odbiorników w czynnik chłodniczy. Umożliwiają zarazem właściwy obieg oleju w instalacji, zapewniając tym samym bezpieczną pracę sprężarek.

Powyższe funkcje sprawiają, iż układy chłodnicze działają w obiegach zamkniętych, jak również obrazują jak ogromny wpływ na poprawną pracę instalacji chłodniczej ma prawidłowy ich dobór. Wynika to z tego, że przepływ medium wiąże się z określonym nakładem energii na pokonanie oporów przepływu, który powiększa się wraz z ich wzrostem [5].

4.5 Opis działania instalacji kaskadowej CO₂/NH₃

Układ kaskadowy posiada dwa obiegi chłodnicze: niskotemperaturowy CO₂ i wysokotemperaturowy NH₃. Główne elementy składowe instalacji, to:

- agregaty sprężarkowe tłokowe na **dwutlenek węgla**;
- oddzielacz cieczy CO₂;

- pompy CO₂;
- wymiennik kaskadowy CO₂/NH₃ spinający oba obiegi;
- agregaty sprężarkowe śrubowe NH₃;
- oddzielacz cieczy NH₃;
- skraplacz natryskowo-wyparny NH₃;
- chłodnice powietrza na **dwutlenek węgla**.

4.5.1 Obieg amoniaku

Obieg NH₃ został zaprojektowany w oparciu o agregaty śrubowe, w którym parownik amoniaku służy jako skraplacz dla obiegu niskotemperaturowego.

Sprężarki NH₃ zasysają pary czynnika z oddzielacza cieczy poprzez stronę ssawną wyposażoną w filtr ssawny i wytłaczają sprężone pary poprzez stronę tłoczną wyposażoną w odolejacz i zawór zwrotny do instalacji chłodniczej. Zawór zwrotny strony tłocznej zapobiega kondensacji zwrotnej czynnika chłodniczego do oddzielacza oleju (odolejacza). Filtr ssawny zapobiega dostaniu się do sprężarki zanieczyszczeń porywanych wraz z zasysanym strumieniem czynnika.

W związku z tym, że sprężarki śrubowe podczas pracy, zalewane są olejem, podczas procesu sprężania doprowadzany jest do nich olej chłodniczy, mający na celu smarowanie, uszczelnianie, zmniejszenie poziomu hałasu oraz odprowadzanie nadmiaru ciepła powstającego w wyniku sprężania. Po wytłoczeniu czynnika ze sprężarki mieszanka olejowo-czynnikowa trafia do odolejacza, gdzie następuje oddzielenie oleju od czynnika. Podgrzany w sprężarce olej zanim powróci ponownie do niej z odolejacza musi zostać schłodzony do takiej temperatury, która będzie gwarantowała wystarczającą jego lepkość. Aby to uzyskać, olej przepływa przez chłodnicę oleju i dalej kierowany jest do filtra oleju, który z całego strumienia oleju zatrzymuje cząsteczki stałe, a następnie przy pomocy zaworu regulacyjnego kierowany jest do sprężarki. Chłodnice oleju mogą być chłodzone przy użyciu glikolu etylowego ochładzanego w chłodnicy glikolu (dry cooler), lub w układzie termosyfonowym za po-

średnictwem czynnika chłodniczego (amoniaku).

Po sprężeniu amoniaku do ciśnienia skraplania jest on kierowany do skraplacza natryskowo-wyparnego, gdzie następuje proces skroplenia jego par, skąd ciekły amoniak poprzez zawór regulacyjny trafia do oddzielnika cieczy. W oddzielniku cieczy następuje rozdzielanie cieczy od pary, a następnie ciekły czynnik kierowany jest do parownika (wymennika kaskadowego). Ilość absorbowanego ciepła podczas odparowywania amoniaku w przestrzeni płaszcza jest odbierana od CO₂ wpływającego do wymennika, gdzie następuje skraplanie CO₂ pomiędzy płytami wymennika kaskadowego.

4.5.2 Obieg dwutlenku węgla

Sprężarka obiegu niskotemperaturowego jest specjalnie zaprojektowana do pracy z R 744. Zasysa ona pary tego czynnika przez filtr ssawny z oddzielnika cieczy. Po sprężeniu czynnika chłodniczego (CO₂) do ciśnienia skraplania następuje jego skraplanie w wymienniku kaskadowym. Podczas skraplania CO₂ oddaje ciepło do odparowującego w przestrzeni płaszcza amoniaku. Ciekły CO₂ rozprężany jest w oddzielniku przez elektroniczny zawór wtryskowy typu ICM działający w połączeniu z elektronicznym czujnikiem wysokiego ciśnienia.

W oddzielniku następuje oddzielenie ciekłego czynnika od jego par. Ciekły czynnik za pomocą pomp hermetycznych podawany jest do parowników, w których odbierane jest ciepło od chłodzonego medium. Pompy czynnika chłodniczego mogą być wyłączone oddzielnie i są zabezpieczone przed zanieczyszczeniami filtrami umieszczonymi na wlocie pomp.

Zasilanie chłodnicy w czynnik chłodniczy reguluje wtryskowy zawór regulacyjny, który w odpowiednich ilościach doprowadza czynnik do parownika. Następnie pary czynnika powtórnie wracają do oddzielnika cieczy. W ten sposób obieg chłodniczy zostaje zamknięty.

Olej, który przez skraplacz dostał się do oddzielnika cieczy w czasie pracy sprężarki, wtryskiwany jest ponownie do jej wnętrza. Pomimo nie-

wielkiego przenoszenia oleju przez sprężarkę, po dłuższym okresie olej gromadzi się w ciekłym CO₂ po stronie niskiej. Efektem tego jest fakt, iż podczas startu sprężarki poziom oleju w odolejaczku obniża się, co wymaga jego uzupełnienia. Warto zauważyć, że małe ilości oleju w czynniku chłodniczym nie wywołują negatywnych efektów i są rzeczą normalną.

Maksymalne ciśnienie pracy po niskiej stronie układu CO₂ nie powinno przekraczać 25 bar, wobec czego cały układ został zabezpieczony zaworami bezpieczeństwa. Aby w czasie postoju uniknąć wzrostu ciśnienia do wartości 25 bar i zadziałania zaworów bezpieczeństwa, czynnik jest chłodzony w oddzielniku cieczy za pomocą dodatkowego układu chłodniczego. Jest to mały agregat skraplający, który podłączony jest do węzownicy umieszczonej w oddzielniku i służącej jako parownik. Dodatkowy układ jest włączany i wyłączany w zależności od ciśnienia panującego w oddzielniku cieczy.

Uwaga:

Nie można dopuścić do mieszania nawet małych ilości CO₂ i NH₃ w poszczególnych obiegach; gdyż prowadzi to do powstawania węglanu amonu. Jest to substancja silnie korozyjna powodująca niszczenie elementów instalacji. Wyciek amoniaku do dwutlenku węgla powoduje powstanie białego proszku.

5. OCENA TECHNICZNO-EKONOMICZNA KASKADOWEGO SYSTEMU CHŁODZENIA NA TLE INSTALACJI OPARTYCH NA BEZCHLOROWYCH CZYNNIKACH SYNTETYCZNYCH

Charakter niniejszej publikacji zachęca do dokonania analizy systemu chłodzenia, który został zaprojektowany dla rozpatrywanego obiektu, zarówno ze względu na zastosowane rozwiązania techniczne, jak i szeroko rozumiane aspekty ekonomiczne. Na wstępie należy zaznaczyć, że ocena techniczna rozpatrywanego systemu chłodzenia powinna zawierać szereg elementów, które ujawniają się zwykle dopiero na

etapie realizacji inwestycji lub jeszcze później, czyli w fazie eksploatacji.

W obecnie projektowanych systemach chłodzenia na całym świecie, **dwutlenek węgla** stosowany jest w połączeniu z innymi czynnikami chłodniczymi. Wynika to z relatywnie wysokich ciśnień pracy CO₂ i sprawia, że jest on używany w tych częściach instalacji, w których występują niższe temperatury i ciśnienia (poniżej -10°C). Z uwagi na takie jego wartości i charakterystyczną gęstość gazu, objętość krążącego w instalacji CO₂ jest niższa od wymaganej dla podobnej wydajności systemów napełnionych czynnikami grupy HFC lub amoniakiem. Pozwala to na znaczne zmniejszenie gabarytów strony parowej instalacji, między innymi średnice przewodów są o 50% mniejsze, co oczywiście prowadzi do znacznego obniżenia kosztów inwestycyjnych. Mniejsza objętość gazu pozwala również na zastosowanie mniejszych sprężarek. Mniejsza zawartość czynnika w instalacji kompensuje wyższe, panujące w niej podczas pracy ciśnienie. Przy temperaturze 31°C i ciśnieniu 70 bar, dwutlenek węgla osiąga swój punkt krytyczny. Oznacza to, że powyżej tej temperatury, CO₂ nie występuje w stanie ciekłym. W punkcie tym nie występuje typowa zmiana stanu skupienia i dlatego nie można w tym przypadku zastosować w urządzeniu konwencjonalnego skraplacza. W częściach wysokotemperaturowych, gdzie występują wyższe ciśnienia pracy, stosowane są inne czynniki, np: R 404A lub amoniak (jak w naszym przypadku).

Amoniak (R 717) jest obecnie jednym z najczęściej stosowanych czynników chłodniczych do urządzeń przemysłowych, ze względu na swoją dużą wydajność oraz z racji nie wpływania negatywnie na efekt cieplarniany. Systemy chłodzenia pracujące zarówno na NH₃, jak i CO₂ występują jako układy kaskadowe. CO₂ jest relatywnie bezpiecznym czynnikiem chłodniczym. Jest nietrujący, niepalny i nie wybuchowy. Innymi, ważnymi jego parametrami są: gęstość, ciśnienie pracy, punkt krytyczny i zależność ciśnienia od temperatury. Dwutlenek węgla podobnie jak czynniki syntetyczne, jest cięższy od powietrza. W przypadku jego wydzielania się z instalacji, powietrze jest

Tabela 5.1. Całkowite nominalne zużycie energii obecnie pracującej instalacji amoniakalnej.

	Ilość	Pobór mocy w [kW]		%
sprężarka LP	2	86,5	173	28%
sprężarka HP	2	133,3	267	44%
skraplacz	1	37	37	6%
pompa wody	2	11	22	4%
pompa glikolu	2	5	10	2%
pompa glikolu	3	5	15	2%
pompy amoniaku	2	4	8	1%
wentylator chłodnicy powietrza	24	2,2	53	9%
wentylator chłodnicy powietrza	6	2,2	13	2%
pozostałe	1	10	10	2%
		Całkowity pobór mocy :	608	[kW]

Tabela 5.2. Całkowite nominalne zużycie energii proponowanego układu kaskadowego.

	Ilość	Pobór mocy w [kW]		%
sprężarka LP (CO ₂)	3	48,6	146	24%
sprężarka HP (NH ₃)	2	204,2	408	67%
skraplacz	1	30	30	5%
pompa wody	1	4	4	1%
pompa glikolu	2	7,5	15	2%
pompa glikolu	1	11	11	2%
pompa dwutlenku węgla	2	8,8	18	3%
wentylator chłodnicy powietrza	26	2,2	57	9%
wentylator chłodnicy powietrza	4	2,4	10	2%
pozostałe	1	5	5	1%
		Całkowity pobór mocy :	704	[kW]

Tabela 5.3. Porównanie sprawności energetycznej wybranych agregatów chłodniczych dla przykładowej wydajności chłodniczej Q_o = 300 kW.

Temperatury	-40°C/+35°C (dla freonu -40°C/+45°C)			
Rodzaj urządzenia	Agregat jednostopniowy półhermetyczny	Agregat jednostopniowy	Agregat dwustopniowy	Agregat kaskadowy NH ₃ / CO ₂
Czynnik	R404A	NH ₃	NH ₃	NH ₃ / CO ₂
Wydajność	345	334	339	328
Pobór mocy	388	224	192	204
COP	0,89	1,49	1,77	1,61
Różnica	+42%	0%	-15%	-10%

wypychane w ten sam sposób, jak to się dzieje w przypadku czynników syntetycznych, w związku z tym powstaje ryzyko uduszenia, aczkolwiek maksymalny poziom koncentracji w powietrzu jest dla CO₂ dużo wyższy niż dla czynników syntetycznych, a zatem jest on bardziej bezpieczny.

Powracając jeszcze raz do postawionych wymagań wobec systemów chłodzenia, można stwierdzić, że zaproponowane rozwiązanie spełnia stawiane mu warunki. Podczas kompletacji elementów automatyki systemu chłodniczego, szczególną uwagę zwrócono na zastosowanie urządzeń

sterowanych elektronicznie. W wyścigu o najefektywniejsze wykorzystywanie zużywanej energii zdecydowanie prowadzą **elektroniczne systemy sterowania** pracą urządzeń chłodniczych. Kompleksowe zastosowanie elektronicznych systemów sterowania pracą całej instalacji chłodniczej,

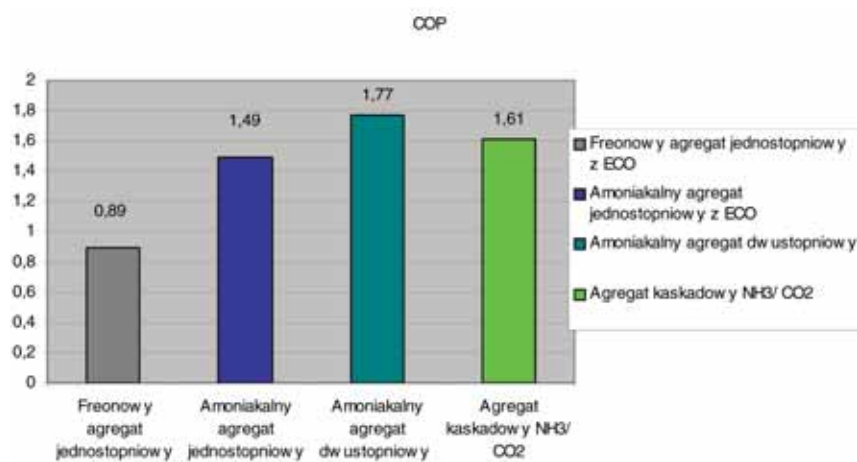
zwiększa możliwość oszczędzania energii i pozwala na optymalne jej zagospodarowywanie.

W każdej instalacji chłodniczej sprężarki są elementem największego zużycia energii. Przez różne źródła fachowe jest ono określane na poziomie ok. 40 do 50% całkowitego zużycia energii przez instalację chłodniczą. Dlatego duże znaczenie dla zużycia energii przez sprężarkę mają warunki jej pracy, czyli poziom ciśnienia skraplania i ciśnienia ssania. Zastosowanie elektronicznego systemu sterowania pracą wszystkich urządzeń chłodniczych, połączonego z systemem transmisji danych i ciągłym monitorowaniem pracy całego obiegu chłodniczego, pozwala nie tylko na optymalizację pracy urządzeń, lecz także na wczesne wykrywanie miejsc, które mogą stać się potencjalnym źródłem zakłóceń pracy. Minimalizuje to ryzyko awarii instalacji chłodniczej, a tym samym eliminuje straty ponoszone w czasie napraw systemu chłodniczego. Kompleksowe sterowanie i monitoring zapewniają ponadto lepszą jakość żywności, podnosząc bezpieczeństwo jej przechowywania.

Kolejnym elementem, który korzystnie wpływa na techniczną ocenę zaproponowanego rozwiązania jest zastosowanie **układu kaskadowego pracującego w dolnym stopniu w oparciu o dwutlenek węgla, a w górnym stopniu w oparciu o amoniak**. W okresie wzmożonego zainteresowania czynnikami naturalnymi, takie połączenie jest coraz częściej stosowane w przemysłowych instalacjach chłodniczych. Zastosowanie amoniaku i dwutlenku węgla znajduje również uzasadnienie ekonomiczne. Są to czynniki naturalne, wielokrotnie tańsze od czynników syntetycznych, ponadto charakteryzują się one korzystniejszymi właściwościami termodynamicznymi.

PRZYKŁAD:

Dla instalacji amoniakalnej pracującej z temperaturą parowania -38°C , spadek ciśnienia o 0,1 bar oznacza spadek temperatury o 2,5 K, a dla CO_2 jedynie 0,15 K. Warto zauważyć, że każdy wzrost różnicy temperatur o 1 K oznacza wzrost zużycia energii napędowej sprężarki o ok. 5%.



Rys. 5.1. Porównanie sprawności wybranych układów

System kaskadowy w porównaniu do instalacji pracującej wyłącznie na amoniaku, charakteryzuje się niższą emisją dwutlenku węgla z uwagi na to, że osiąga on taką samą wydajność do temperatury -35°C . Przy niższych temperaturach parowania jest jeszcze lepiej.

Zastosowanie CO_2 w instalacjach przemysłowych ciągle rośnie. Szacuje się, że za około 5 lat instalacje przemysłowe w znacznej części przejdą na zastosowanie tego czynnika. Obecnie zbudowanych zostało na świecie ponad 25 instalacji przemysłowych z R 744, współfinansowanych przez rządy państw. Ich wydajność chłodnicza wzrosła z 500 do 4500 kW. Instalacje takie znalazły zastosowanie przede wszystkim w chłodniach, tunelach zamrażalniczych i zamrażarkach płytowych. Z uwagi na fakt, że w instalacjach na CO_2 stosuje się elementy o mniejszych wymiarach, zajmują one mniej miejsca. Koszty ich utrzymania i konserwacji są porównywalne z kosztami instalacji amoniakalnych. Zużycie energii jest jednak w nich znacznie niższe niż w instalacjach pracujących w oparciu o czynniki syntetyczne. W porównaniu z instalacją na czynniki syntetyczne, zużycie energii w systemie kaskadowym NH_3/CO_2 jest o ok. 10-15% niższe. Rozważając koszty eksploatacji, powinno się brać pod uwagę całość kosztów związanych z długością życia instalacji. Dlatego roczne zużycie energii i koszty utrzymania ruchu powinny być przedmiotem wnikliwych analiz po-

równawczych. Porównując instalacje na czynniki syntetyczne z instalacjami kaskadowymi NH_3/CO_2 , te ostatnie wymagają znacznie większych kosztów inwestycyjnych. Zależy to jednak od wymaganej wydajności chłodniczej i rodzaju zastosowanego syntetycznego czynnika chłodniczego. Zużycie energii w systemie kaskadowym jest natomiast o ok. 15% niższe, a zatem koszty jego utrzymania są także niższe. Okres zwrotu inwestycji jest zazwyczaj krótszy niż 5 lat. Całkowita długość okresu eksploatacji systemu waha się pomiędzy 20-25 lat. Biorąc pod uwagę powyższe zalety, inwestycje w instalacje kaskadowe NH_3/CO_2 stają się bardzo interesujące.

Wydajność chłodnicza systemów kaskadowych NH_3/CO_2 w porównaniu z systemami pracującymi wyłącznie na amoniaku jest porównywalna w zakresie temperatur od -30°C do -35°C . Przy wyższych temperaturach lepszą wydajność otrzymuje się w instalacjach amoniakalnych. Przy niższych temperaturach, systemy kaskadowe okazują się być wydajniejsze. Koszty eksploatacji obu systemów są porównywalne, co jest niezwykle ważne dla ich użytkowników.

W wybranym do analizy obiekcie istnieje amoniakalna instalacja chłodnicza pracująca w oparciu o dwa dwustopniowe agregaty sprężarkowe śrubowe, każdy o parametrach pracy: $Q_0=418\text{ kW}$; $t_0=-39^{\circ}\text{C}$; $t_c=+35^{\circ}\text{C}$. W tabeli 5.1 przedstawiono wyliczenie nominalnego zużycia energii elektrycznej dla obecnie pracującego ukła-

du chłodniczego.

Tabela 5.2 zawiera szacunkowo określone nominalne zużycie energii elektrycznej przez układ kaskadowy.

Jak wynika z powyższego zestawienia, zużycie energii w układzie kaskadowym jest o 14% większe niż w przypadku dwustopniowej instalacji amoniakalnej. Tak więc dla instalacji mroźniczych nadal najlepszym pod względem energetycznym jest amoniakalny układ dwustopniowy.

Niewątpliwie bardzo ważnym kryterium oceny każdego urządzenia chłodniczego jest jego efektywność energetyczna, dlatego dopełnieniem oceny ekonomiczno - technicznej zaproponowanego systemu chłodzenia jest porównanie sprawności energetycznej powszechnie stosowanych w chłodnictwie rozwiązań technicznych na tle układu kaskadowego NH₃/CO₂ (tabela 5.3).

W tabeli 5.3 można zauważyć, że sprawność układu kaskadowego jest porównywalna z często w praktyce stosowanymi układami jednostopniowymi z ekonomizerem, a zdecydowanie lepsza od układów freonowych ze sprężarką półhermetyczną. Różnice w porównaniu do instalacji freonowych sięgają 30 ÷ 40%, więc powrót do rozwiązań z dwutlenkiem węgla w nowoczesnym wydaniu jest jak najbardziej opłacalny.

6. UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Zapoznając się z historią chłodnictwa zauważamy, że od samego początku technika chłodnicza oparta była na czynnikach naturalnych, takich jak: amoniak, dwutlenek węgla, propan, woda i powietrze. W małych urządzeniach chłodniczych były wówczas w użyciu również takie czynniki, jak np. chlorek metylu i dwutlenek siarki. Z chwilą pojawienia się na rynku w latach 1931-1934 tzw. „freonów” grupy CFC i HCFC, zapanowało powszechne przekonanie o nadejściu ery czynników chłodniczych całkowicie bezpiecznych dla człowieka i jego otoczenia. Przyczyniło się do tego również złe doświadczenie zdobyte podczas wieloletniej eksploatacji urządzeń chłodniczych

domowych i handlowych z chlorkiem metylu i dwutlenkiem siarki. Niestety, wówczas nikt nie zastanawiał się nad ochroną środowiska naturalnego, nadto nikt nie był w stanie przewidzieć, że „freony” dostarczą naszemu środowisku naturalnemu tylu kłopotliwych zagrożeń.

Dwutlenek węgla jest czynnikiem, który po latach zapomnienia ma ogromną szansę powrócić do użytku skutecznie wypierając „freony” z dziedzin dotychczas przez nie zdominowanych oraz wypierając powoli amoniak z chłodnictwa przemysłowego. Jest to efektem obecnych tendencji panujących w technice chłodniczej oraz kreowanych kierunków w projektowaniu i budowie urządzeń chłodniczych, a są to:

- stosowanie komputerowej grafiki i techniki obliczeniowej rurociągów, armatury, sprężarek i wymienników ciepła;
- stosowanie mikroprocesorowego, komputerowego pomiaru, regulacji i kontroli parametrów roboczych, istotnych dla bezpieczeństwa i ekonomii pracy instalacji;
- maksymalizacja bezpieczeństwa eksploatacji instalacji i urządzeń;
- stosowanie systemów wczesnego ostrzegania przed nieszczelnościami;
- stosowanie zaworów bezpieczeństwa chroniących rurociągi przed termohydraulicznym rozerwaniem oraz na wypadek pożaru;
- stosowanie sprawnych instalacji wyciągowo-wentylacyjnych;
- maksymalną hermetyzację i pewność ruchową urządzeń;
- dostarczenie użytkownikowi stosownych instrukcji techniczno-ruchowych wraz z wytycznymi do prowadzenia akcji w przypadku awarii;
- dobór odpowiedniego oleju smarowego;
- staranny montaż, czystość i suchość instalacji.

Ponadto szereg zalet płynących z zastosowania CO₂ jako płynu roboczego przemawia za jego liczniejszym stosowaniem, a są to:

- mniejsze średnice rurociągów w instalacji;
- zmniejszenie wielkości elementów

składowych (np. sprężarek);

- redukcja kosztów eksploatacyjnych przy jednoczesnym wzroście sprawności układu (sprawność sprężarek, wymiana ciepła);
- zmniejszenie kosztów zakupu czynnika chłodniczego;
- z powodu małej objętości par CO₂ system chłodniczy bardziej dynamiczny (szybko reagujący na zmiany);
- aspekt związany z ochroną środowiska, to niskie wskaźniki ekologiczne ODP=0 i GWP=1;
- większe bezpieczeństwo: niepalny i niewybuchowy (wiąże się to z obostrzeniem przepisów dotyczących palnych i wybuchowych czynników chłodniczych wymogi dotyczące instalacji z dużą ilością amoniaku).

Obecnie bardzo ważnym kryterium oceny każdego urządzenia pobierającego energię elektryczną, w tym także urządzenia chłodniczego jest jego efektywność energetyczna, od tego bowiem zależą koszty eksploatacji oraz możliwość stosowania przyjaznych środowisku naturalnym czynników chłodniczych.

Aktualnie obserwowane tendencje w poszukiwaniu możliwych źródeł oszczędzania energii przekonują o konieczności stosowania nowoczesnych rozwiązań obniżających koszty eksploatacji obiektu. Z dokonanych obserwacji można wysnuć wnioski, że najlepsze rezultaty zapewnia kompleksowe podejście do tego zagadnienia. Oszczędności należy poszukiwać zarówno w technologii chłodniczej, jak i w środkach technicznych.

W pierwszym przypadku celowe jest:

- dążenie do minimalizowania obciążenia cieplnego;
 - nie obniżanie temperatury w pomieszczeniach ponad rzeczywiste potrzeby technologiczne;
 - maksymalizowanie sprawności energetycznej i efektywności wykorzystania wytwarzanego „zimna”.
- Z pośród środków technicznych, ograniczających zużycie energii, wyróżnić należy:
- właściwą konstrukcję budynku,
 - kompleksowe stosowanie elektro-

nicznych układów automatycznej regulacji i sterowania wraz z monitoringiem instalacji.

Zastosowanie w instalacjach przemysłowych obiegu zamkniętego, pracującego wyłącznie na CO₂, nie wydaje się być realistyczne w najbliższych kilku latach. Ciśnienie osiągające poziom do 100 bar, wymaga zastosowania w instalacji specjalnych komponentów. Zamiast typowego skraplacza, istnieje potrzeba zastosowania specjalnej chłodnicy gazu oraz innych, nowych elementów pozwalających na przemysłowe zastosowanie takich instalacji. Spadki ciśnienia w instalacjach pracujących z CO₂ ze względu na relacje ciśnienia i temperatury są znacznie mniejsze niż spadki ciśnienia dla porównywalnych instalacji amoniakalnych. Efekt spadku ciśnienia występujący w długich odcinkach przewodów jest z tego powodu mniej istotny dla procesu parowania dwutlenku węgla w parowniku.

Amoniak, propan, izobutan, CO₂, woda i powietrze, znalazły już obszary swoich najkorzystniejszych zastosowań. Osiągnięty dotychczas postęp w badaniach i rozwoju urządzeń chłodniczych, klimatyzacyjnych i pomp ciepła z tymi czynnikami nie stanowi optymistycznej prognozy dla czynników grupy HFC. Mówiąc o naturalnych i syntetycznych czynnikach chłodniczych można pokusić się o stwierdzenie, że w przyszłości **nie będzie czynników syntetycznych – zostaną w użyciu tylko naturalne płyny robocze.**

Przyszłość nie tylko chłodnictwa, klimatyzacji czy pomp ciepła, lecz także wszystkich innych dziedzin, niewątpliwie będzie opierała się na naturalnych nośnikach energii.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Bagiński D.: Projekt systemu chłodzenia dla średniej wielkości chłodni składowej, oparty na dwutlenku węgla (R 744) jako płynie roboczym, na przykładzie wybranego obiektu. Praca dyplomowa inżynierska. Politechnika Gdańska. Gdańsk 2007.
- [2] Bonca Z., Butrymowicz D., Targań-

- ski W, Hajduk T.: Nowe czynniki chłodnicze i nośniki ciepła. Wyd. MASTA, Gdańsk, 2004.
- [3] Bonca Z., Dziubek R.: Zagadnienia obliczeniowe z chłodnictwa i klimatyzacji. Wyd. WSM Gdynia, 1998.
- [4] Czapp M., Charun H.: Bilans cieplny pomieszczeń chłodni. Zasady opracowania. Wyd. WSI Koszalin, 1995.
- [5] Kalinowski K.: Amoniakalne urządzenia chłodnicze. Poradnik. Tom 2. Wyd. MASTA, Gdańsk, 2005.
- [6] Praca zbiorowa: Amoniakalne urządzenia chłodnicze. Poradnik. Tom 1. Wyd. MASTA, Gdańsk, 2000.
- [7] Ullrich H. J.: Technika chłodnicza. Tom 1 – 1998, Tom 2 – 1999. Wyd. MASTA, Gdańsk.
- [8] PN-83/A-07005. Towary żywnościowe. Warunki klimatyczne i okresy przechowywania w chłodniach.
- [9] Katalog firmy BALTIMORE.
- [10] Katalog firmy GEA GRASSO.
- [11] Katalog firmy GEA Shell.
- [12] Cavallini A.: Properties of CO₂ as a refrigerant. "European Seminar - CO₂ as a Refrigerant", Mediolan, 2004.
- [13] Giroto S.: Commercial and Industrial Refrigeration. Application of carbon dioxide as a secondary fluid with phase change, in the low temperature cycle of cascade systems and direct expansion systems with transfer of heat into the environment. "Konferencja w Mediolanie", Listopad, 2004.
- [14] Mosemann D.: CO₂ – Ammonia Cascade Refrigeration Plant. A Solution for Industrial Refrigeration. GEA GRASSO Press Information.
- [15] Gillies A.: Design Considerations when Using Carbon Dioxide in Industrial Refrigeration Systems. "6th IIR Gustav Lorentzen. Natural Working Fluids Conference", Glasgow, 29 Sierpień – 1 Wrzesień, 2004.
- [16] Kruse H, Heidelck R, Süß.: The application of CO₂ as a refrigerant.
- [17] Charles R, Taylor P.E.: Carbon dioxide-based refrigerant systems. "ASHRAE Journal", 2002
- [18] Danfoss.: CO₂ Refrigerant for Industrial Refrigeration.
- [19] Wykres termodynamiczny w układzie współrzędnych p – h dla amoniaku.
- [20] Wykres termodynamiczny w układzie współrzędnych p – h dla dwutlenku węgla.

Strony internetowe

- [21] www.grasso.nl
- [22] www.wijbenga.nl
- [23] www.th-witt.de
- [24] www.danfoss.com
- [25] www.kueba.com



KWIDZYN
ul. Toruńska 41
Tel./Fax. (055) 279 33 43
kwidzyn@iglotech.com.pl

GRUZIADZ
ul. Chelmińska 101
Tel./Fax. (056) 451 73 55
gruziadz@iglotech.com.pl

TORUŃ
ul. Olsztynska 53
Tel./Fax. (056) 622 11 04
torun@iglotech.com.pl

POZNAŃ-PLEWISKA
ul. Północna 5/7
Tel./Fax. (061) 863 84 54
poznan@iglotech.com.pl

BYDGOSZCZ-OSIELSKO
ul. Szosa Gdańska 25
Tel./Fax. (052) 348 63 47
bydgoszcz@iglotech.com.pl

KATOWICE
Al. Rodzińskiego 190B
Tel./Fax. (032) 228 73 00
katowice@iglotech.com.pl

WARSZAWA-JANKI
Al. Krakowska 1D
Tel./Fax. (022) 720 76 80
warszawa@iglotech.com.pl

WROCLAW
ul. Stargardzka 7-9
Tel./Fax. (071) 352 11 21
wroclaw@iglotech.com.pl

