

SPOSÓB NA ZASTĄPIENIE KOTŁÓW OLEJOWO-GAZOWYCH W INSTALACJACH NOWYCH I MODERNIZOWANYCH

Robert GREJCZ

Emerson Climate Technologies

WZROST POPYTU NA SPECJALNE POMPY CIEPŁA

Sprężarki chłodnicze są od lat stosowane w urządzeniach chłodniczych i klimatyzacyjnych. Nowym obszarem zastosowań sprężarek spiralnych okazały się pompy ciepła, które stały się bardzo konkurencyjną alternatywą dla tradycyjnych kotłów olejowych czy gazowych. Obecnie, każdego roku niezmiennie od wielu lat, montuje się w Europie prawie 16 mln kotłów gazowych i olejowych. Rynek pomp ciepła, to obecnie około 100 tys. urządzeń rocznie, którego wzrost oceniany jest na 20% rocznie przez następną dekadę. Po pomyślnym zastosowaniu sprężarek serii ZR w klimatyzacji bytowej w nowych budynkach, firma Copeland uruchomiła kilka lat temu produkcję sprężarek serii ZH przeznaczonych do zastosowań komercyjnych w nowych budynkach oraz nowej sprężarki spiralnej typu ZH z wtryskiem par (EVI) do modernizacji kotłowni. Nowy typoszereg sprężarek spiralnych ZH, umożliwił wytwarzanie wody gorącej nawet przy niskich temperaturach otoczenia.

Zamiast spalać paliwa kopalne w celu wytwarzania ciepła, a co za tym idzie również dwutlenku węgla, pompy ciepła wykorzystują energię w znacznym stopniu odnawialną i swobodną, pochodzącą ze środowiska, np. powietrza, ziemi i wody. Zużywają one do 70 % mniej energii pierwotnej, a zatem powodują radykalne zmniejszenie zanieczyszczenia w porównaniu z wykorzystywanymi tradycyjnymi paliwami kopalnymi. Wzrost kosztów energii tradycyjnych systemów grzewczych w połączeniu z koniecznością zmniejszenia emisji dwutlenku węgla do wartości docelowych spowodował wzrost zainteresowania specjalnymi sprężarkowymi pompami ciepła.

Pompa ciepła musi charakteryzować się wysoką sprawnością, aby pod względem ekonomicznym stanowić alternatywę dla tradycyjnego systemu grzewczego. Wymagania odnośnie sprężarki chłodniczej wynikają bezpośrednio z założeń projektowych pomp ciepła i temperatur zewnętrznych. Specyfika pomp ciepła wymaga od sprężarek pewnych adaptacji. Głównym czynnikiem jest dopuszczalny zakres ich pracy, który ma bezpośredni wpływ na aspekt ekonomiczny. Wybór czynnika chłodniczego jest również ważny.

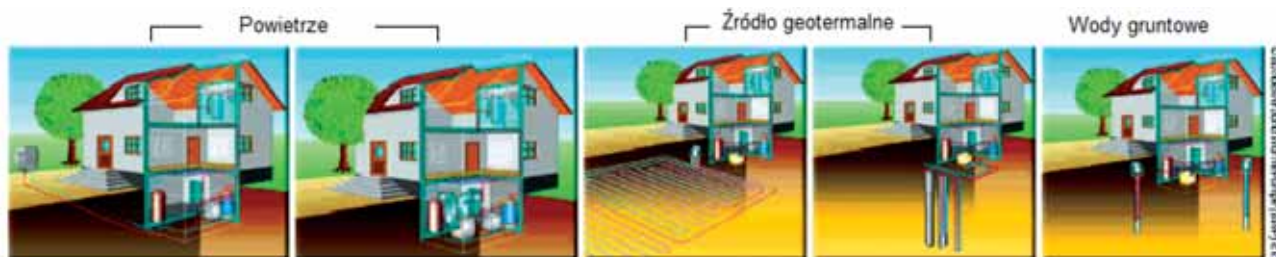
KRYTERIUM CZYNNIKA CHŁODNICZEGO

Tabela poniżej przedstawia trzy grupy czynników chłodniczych, najczęściej branych pod uwagę do stosowania w pompach ciepła, a są to:

- węglodwulfuorowodory grupy HFC: R 407C, R 134a, R 410A i R 404A,
- węglowodory HC: propan (R 290), izobutan (R600a),
- substancje naturalne: amoniak (R 717), dwutlenek węgla (R744).

Węglowodory i substancje naturalne posiadają pomijalny wskaźnik GWP, co podnosi ich atrakcyjność w aspekcie ochrony środowiska. Z drugiej strony, węglowodory są palne i stwarzają potencjalne zagrożenia, które obecnie nie są akceptowane dla pomp ciepła.

Amoniak jest toksyczny i nie wolno go używać w urządzeniach powszechnego użytku (domowych) i handlowych. Z drugiej strony właściwości fizyczne (niska temperatura krytyczna i wysoka gęstość) spr-



Rys.1 Przykłady źródeł termicznych pomp ciepła

	R407C	R134a	R410A	R404A	R290	R600a	R717	R744
Mixture/Single Substance	Mixture	Single	Mixture	Mixture	Single	Single	Single	Single
GWP(100y) ¹	1520	1300	1725	3260	3	3	~0	1
Toxicity	No	No	No	No	No	No	Yes	No
Flammable	No	No	No	No	Yes	Yes	Slight	No
Cost Relationship R22 = 1	1.5	1	4	1.5	0.3	0.3	0.2	0.1
Boiling Temp, °C ²	-44.1	-26.1	-51.8	-47	-41.2	-12.2	-33.6	/
Critical Temp, °C	87	101	72	73	97	135	133	31
Condensing Temp @ 26 bar abs, °C	58	80	43	55	70	114	60	-11
Refrigeration Effect @ 0°C, MJ/m ³	4.2	2.9	6.9	5.1	3.9	1.5	4.3	23

¹ GWP – wskaźnik efektu cieplarnianego (okres 100 lat),
² przy ciśnieniu absolutnym 1 bar.

wiają, że jest on trudny do zastosowania przy obecnie wykorzystywanej technologii.

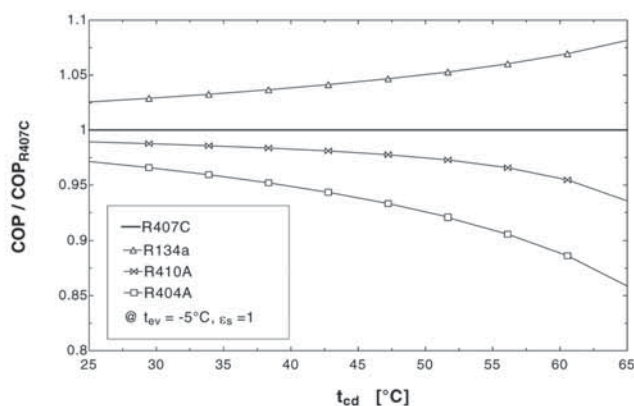
Czynnik R 134a charakteryzuje najniższy wskaźnik GWP i najwyższa temperatura krytyczna, ale również niska wydajność chłodnicza i wysoka temperatura wrzenia, przez co nie jest dobrym rozwiązaniem pod względem kosztu komponentów i pomp ciepła powietrze/ woda mogących pracować w niskich temperaturach otoczenia.

Czynnik R 410A charakteryzuje najwyższą wydajność chłodniczą i niską temperaturę krytyczną. Jego wysokie ciśnienie robocze wymaga stosowania innych komponentów i zmian konstrukcyjnych. Jednocześnie jest to najdroższy obecnie na rynku czynnik chłodniczy. Właściwości termodynamiczne R 410A ograniczają pracę przy wysokim sprężu, ze względu na wysoką temperaturę tłoczenia.

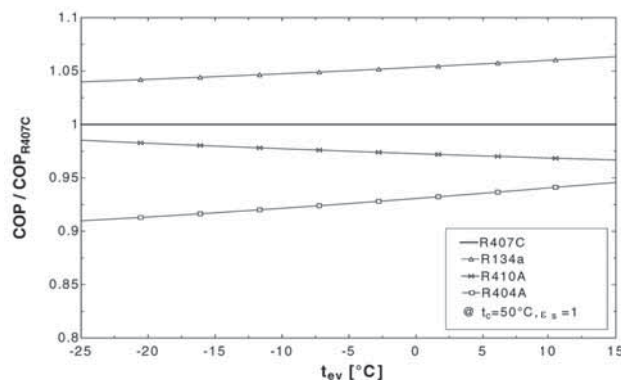
Czynnik R 404A jest szeroko stosowany w chłodnictwie dzięki wysokiej gęstości, niskiej temperaturze wrzenia i niskiej temperaturze tłoczenia przy wysokich sprężach. Jednak jest mało atrakcyjny do zastosowań w pompach ciepła ze względu na najwyższy wskaźnik GWP spośród przedstawionych węglodwufuorowodorów oraz niską temperaturę krytyczną.

W związku z powyższym wybór **czynnika R 407C** wydaje się być najlepszym kompromisem. Na rysunkach 2 i 3 porównano analizowane czynniki chłodnicze pod względem współczynnika wydajności chłodniczej COP. Rysunek 1 przedstawia wpływ temperatury skraplania na ten współczynnik przy stałej temperaturze parowania -5°C. Jest to typowa sytuacja dla pompy ciepła solanka/woda. Rysunek 2 przedstawia wpływ na COP zmieniającej się temperatur parowania przy stałej temperaturze skraplania. Są to warunki typowe dla pompy ciepła powietrze/woda. Wnioski są podobne dla obu sytuacji. Przy temperaturach skra-

plania do 50°C, czynnik R 134a posiada wyższą wydajność chłodniczą w porównaniu z R 407C, podczas gdy R 410A ma o kilka procent, a R 404A o blisko 10% niższą.



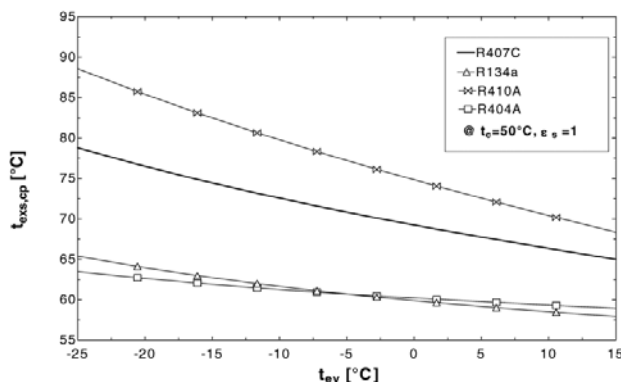
Rys. 2 Współczynnik COP przy różnych temperaturach skraplania



Rys. 3 Współczynnik COP przy różnych temperaturach parowania

Rysunek 4 przedstawia izentropową temperaturę tłoczenia, za pomocą której można prześledzić jej

zmianę dla poszczególnych czynników, w zależności od sprężu. Z wykresu można odczytać, że R 404A i R 134a są czynnikami charakteryzującymi się niskimi temperaturami tłoczenia, a dla R 410A jest ona najwyższa spośród porównywanych.



Rys. 4 Temperatura tłoczenia dla sprężania izentropowego

Sprawność izentropowa sprężarki zależy od strat elektromechanicznych (silnik i tarcie) i termiczno-fluidalnych (dławienie i przegrzanie). Ogólnie rzecz ujmując, sprężarka jest optymalizowana do konkretnego czynnika chłodniczego, a straty będą różne dla każdego z czynników chłodniczych. Mimo wszystko można pokusić się o generalną ich analizę. Straty mechaniczne w sprężarce są najbardziej zależne od rodzaju czynnika chłodniczego, gdyż ma on decydujący wpływ na wydajność objętościową i powierzchnię tarcia. W związku z tym można oczekiwać niższej sprawności izentropowej czynnika R 134a, a wyższych dla R 404A i R 410A w porównaniu z R 407C.

Istotnym czynnikiem jest także osiągany współczynnik przejmowania ciepła, który znacząco różni się w zależności od rodzaju czynnika chłodniczego. Czynniki R 134a będzie wymagał dodatkowej powierzchni wymiany ciepła, aby uzyskać ΔT porównywalne do R 407C, podczas gdy zastosowanie R 410A redukuje ΔT w wymienniku o kilka stopni K.

W oparciu o powyższą analizę zastosowanie R134a wymusza zastosowanie sprężarki o wyższej wydajności objętościowej (o ponad 40%). Oznacza to wyższy o 25% koszt w porównaniu z czynnikiem R 407C. Także konieczna większa powierzchnia wymiany ciepła spowoduje wzrost kosztu wymiennika o około 10%.

Czynnik R 410A jest jak dotąd droższy od pozostałych czynników, ale również, ze względu na wyższe ciśnienia pracy, przekładające się na stosowane w jego przypadku sprężarki i wymienniki ciepła. Z powyższego można wnioskować, że zastosowanie R 407C będzie optymalnym wyborem pod względem kosztu i gabarytu urządzenia. Dla pomp ciepła solanka/woda dobrym wydaje się także czynnik R 410A. Jakkolwiek niższe wartości jego współczynnika COP wymagają wydajniejszej sprężarki i dobrego projektu

pompy. Do specjalnych pomp ciepła wymagających wysokich temperatur skraplania, pomijając aspekt kosztowy, czynnik R 134a jest jedynym wyborem.

KRYTERIUM WARUNKÓW PRACY SPRĘŻARKI

Ze względu na klimat i zmienne warunki pogodowe sprężarka pompy ciepła musi pracować w szerokim zakresie temperatur parowania. Ocena efektywności działania pompy ciepła jest zależna od współczynnika sezonowej wydajności, średniego za okres jednego roku. Do oceny zostały wybrane dwie miejscowości. Jedna w Europie Środkowej (Czechy), reprezentatywna pod pewnymi względami również dla Polski, oraz druga w Skandynawii.

Ocena pracy pompy ciepła w zależności od zastosowanego czynnika chłodniczego została przeprowadzona dla pompy powietrze/woda. Typowy system grzewczy w naszej szerokości geograficznej, to obieg wodny, gdzie pomieszczenia ogrzewane są kaloryferami. Obecnie systemy te mają możliwość regulacji temperatury wody na zasilaniu, która jest zależna od temperatury zewnętrznej. Tego typu system grzewczy wykorzystujący piec olejowy lub gazowy jest powszechny w Polsce i reprezentuje najbardziej interesujący segment rynku do wymiany na pompę ciepła. Taki system jest natomiast rzadkością w Skandynawii. Prezentowane poniżej wyniki dotyczą pompy ciepła dla następujących warunków jej pracy:

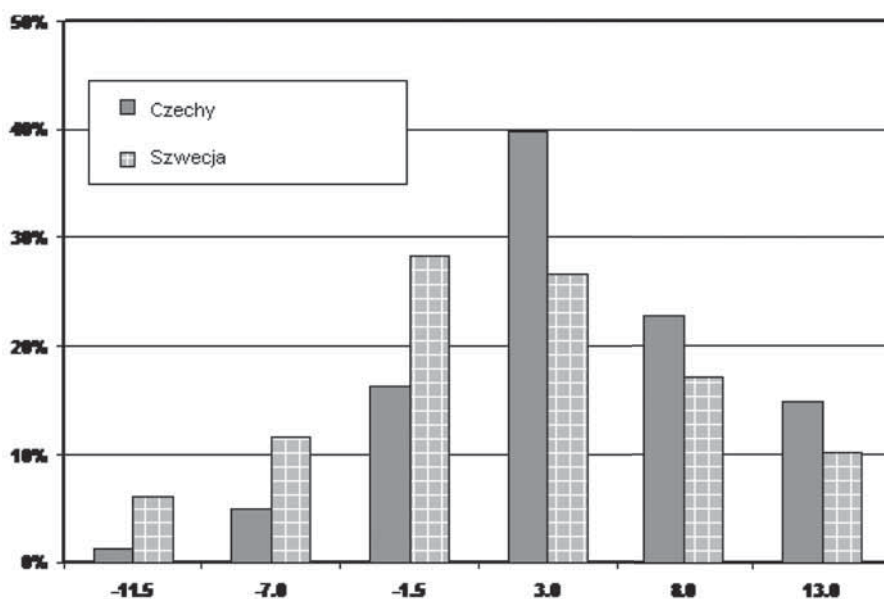
- projektowa temperatura otoczenia -15°C ,
- temperatura wody na zasilaniu 60°C , na powrocie 50°C ,
- punkt biwalentny -7°C ,
- różnica temperatur na parowniku 8 K przy temperaturze otoczenia $+3^{\circ}\text{C}$,
- różnica temperatur na skraplaczu 1 K,
- wymagana moc grzewcza 16 kW.

Porównania dokonano dla następujących typów sprężarek:

- ZH sprężarka spiralna dedykowana do pomp ciepła,
- ZR sprężarka spiralna do systemów klimatyzacji,
- ZP sprężarka spiralna do czynnika R 410A,
- ZH z wtryskiem pary (ekonomizer) do pomp ciepła.

Czynniki użyte w analizie, to: R 407C, R 134a i R 410A. W oparciu o dane pogodowe dla wybranych lokalizacji, określono godzinowe zapotrzebowanie na grzanie w danej temperaturze otoczenia w okresie roku (Rys. 5).

Dla lokalizacji w Czechach najwięcej godzin grzewczych reprezentujących około 40% występuje przy temperaturze $+3^{\circ}\text{C}$. Dni, w których temperatura spada poniżej 10°C , to około 1,5% okresu grzewcze-



Rys. 5 Zapotrzebowanie na grzanie w zależności od warunków pogodowych

ZALETY SPRĘŻAREK SPIRALNYCH ZH W PORÓWNANIU DO STANDARDOWYCH SPRĘŻAREK SPIRALNYCH I TŁOKOWYCH STOSOWANYCH W KLIMATYZACJI

Większa wydajność grzewcza (Rys. 7)

Wyższa wydajność typosze-regu sprężarek spiralnych dedykowanych do pomp ciepła przy niskich temperaturach parowania (źródło ciepła), lepiej zaspokaja zapotrzebowanie na ciepło w porównaniu do klimatyzacyjnej sprężarki spiralnej. W przypadku sprężarki ZH jest to 10%, a dla sprężarki

ZH EVI jest to 45%. W porównaniu ze sprężarką tłokową wskaźniki są jeszcze wyższe, czego rezultatem jest zmniejszenie potrzeby ewentualnego suplementarnego dogrzewania po przekroczeniu punktu biwalentnego.

Wysoka sprawność (Rys. 7)

Sprężarka spiralna ZH posiada spiralę o specjalnej konstrukcji, która pozwala na osiągnięcie wysokiej sprawności pompy ciepła, szczególnie przy niskiej temperaturze źródła ciepła. Podobnie jak we wszystkich sprężarkach spiralnych firmy Copeland sprawność sprężarki ZH wzrasta z upływem czasu, podczas gdy większość sprężarek tłokowych ma tendencję do obniżania sprawności.

Wyższa temperatura wody

Sprężarka spiralna ZH jest optymalnie dostosowana do urządzeń pracujących w nowych budynkach, w których maksymalne zapotrzebowanie na temperaturę wody do ogrzewania pomieszczeń wynosi 50°C. Natomiast sprężarka spiralna ZH EVI pozwala w okresie zimy na skuteczne wytwarzanie przez pompę ciepła, wody gorącej o temperaturze 65°C. Tradycyjne kotły można podczas modernizacji zastępować pompami ciepła ze sprężarkami ZH bez wymiany kaloryferów.

Cicha praca

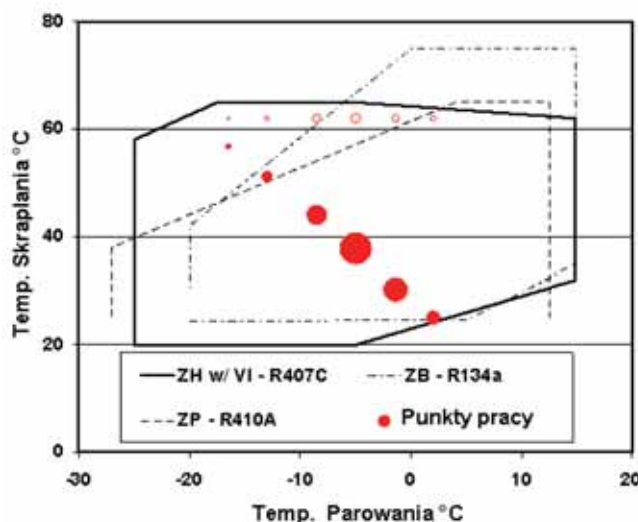
Sprężarka ZH charakteryzuje się cichą pracą, co jest szczególnym wymogiem stawianym pompom ciepła pracującym w pomieszczeniach.

Trwałość i niezawodność

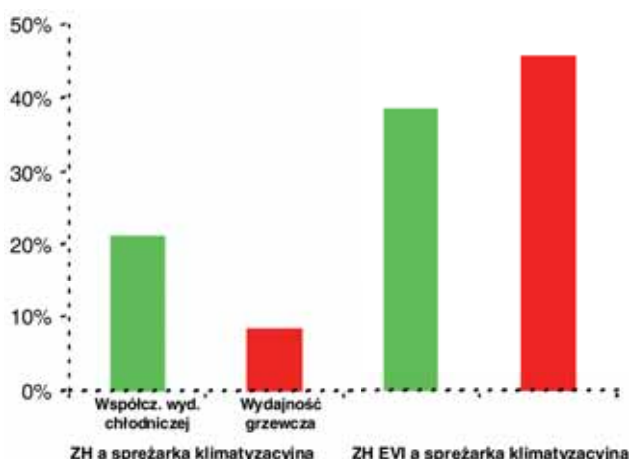
Sprężarka spiralna ZH posiada taką samą wysoką trwałość i niezawodność jak inne sprężarki spiral-

go. W Szwecji 3 słupki reprezentujące niższe temperatury otoczenia, obrazują wyższe zapotrzebowanie na pracę sprężarki przy wyższych sprężach. Rozpatrywane sprężarki posiadają różne zakresy pracy, jak to pokazano na rysunku 6. Punkty wypełnione reprezentują warunki dla pracy sprężarki określone wymogami grzewczymi. Z kolei punkty niewypełnione warunki pracy określone zapotrzebowaniem na ciepłą wodę użytkową.

Zakłada się, że 10% rocznego zapotrzebowania na grzanie potrzebne jest do podgrzewania wody. Wykres pokazuje, że ogrzewanie w pełnym zakresie temperatur możliwe jest tylko ze sprężarką ZH z wtryskiem pary. Pozostałe modele nie mogą pracować w niskich temperaturach otoczenia. Dla celów podgrzewania wody tych punktów pracy, dla których warunki nie mogą być spełnione jest więcej.



Rys. 6 Zakresy pracy sprężarek i punkty pracy



Rys. 7 Porównanie sprężarki ZH i ZH EVI ze sprężarką klimatyzacyjną

ne firmy Copeland. Dotyczy to również jej zdolności do pracy ze stosunkowo dużymi ilościami ciekłego czynnika chłodniczego, który jak wiadomo powoduje uszkodzenia lub awarie napędu sprężarek tłokowych. Mała ilość elementów ruchomych, masywny napęd oraz niski poziom drgań dzięki wyważonemu mechanizmowi sprężania sprawiają, że sprężarka spiralna ZH stanowi najbardziej niezawodne rozwiązanie na rynku pomp ciepła.

SPOSÓB DZIAŁANIA SPRĘŻAREK ZH EVI

Cykl pracy sprężarki ZH EVI jest podobny do cyklu dwustopniowego z chłodzeniem międzystopniowym, tyle tylko, że uzyskuje się go przy pomocy sprężarki pojedynczej (Rys.8). Polega on na pobraniu pewnej ilości cieczy ze skraplacza i rozprężeniu jej, a następnie wprowadzeniu do wymiennika ciepła działającego jako dochładzacz. Przegrzana para zostaje następnie wprowadzona do króćca pośredniego w sprężarce spiralnej. Dodatkowy wtrysk pary powoduje zwiększenie wydajności skraplacza przez zwiększenie przepływu masywnego czynnika.

SZCZEGÓLNE ZALETY ZH EVI

Niższe koszty inwestycyjne (Rys.7)

Wzrost wydajności grzewczej pozwala na zastosowanie sprężarek o mniejszej wydajności skokowej lub też mniejszej ich liczby.

Niższe koszty eksploatacji (Rys.7)

Wyższy współczynnik wydajności chłodniczej powoduje, że nowe sprężarki ZH EVI przewyższają w działaniu standardowe sprężarki spiralne i znacznie obniżają koszty energii. Wysoką efektywność

uzyskuje się bez potrzeby stosowania dwóch sprężarek.

Dbalność o środowisko

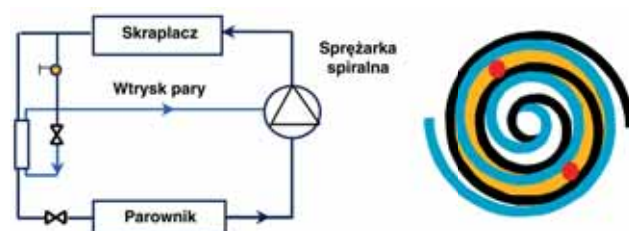
Dzięki poprawie efektywności sezonowej uzyskuje się oszczędności energii, a zastosowanie mniejszych sprężarek lub mniejszej ich liczby powoduje obniżenie poziomu wytwarzanego hałasu.

Zwarta budowa

Zmniejszenie ciężaru i wymiarów urządzeń chłodniczych przy jednoczesnym wzroście wydajności sprężarek.

Stabilność systemu

Zwiększenie wpływu wtrysku par jest proporcjonalne do stosunku sprężania, dlatego też wydajność użyteczna jest lepiej dopasowana do obciążenia w zimie i w lecie. Kierowanie powrotem oleju jest prostsze ze względu na mniejszą pracę cykliczną sprężarek.



Rys. 8 Schemat obiegu pompy ciepła ze sprężarką ZH EVI z wtryskiem pary i dochłodzeniem ciekłego czynnika



Rys. 9 Widok sprężarki serii ZH

