

## SPRĘŻARKI SPIRALNE Z WTRYSKIEM PAR PROPOZYCJA COPELAND DLA NOWOCZESNYCH POMP CIEPŁA



mgr inż. Adam GŁOWALA  
Emerson Climate Technologies

Pomimo, że pompy ciepła to urządzenia znane od dawna, dopiero w ostatnich latach zagadnienia z nimi związane stały się bardzo popularne. Pompy ciepła są obecnie jednym z najszybciej rozwijających się produktów segmentu chłodniczego (grzewczego). Chociaż głównym ich zadaniem jest ogrzewanie pomieszczeń lub/i podgrzewanie ciepłej wody użytkowej, podobnie jak inne urządzenia chłodnicze, ich działanie oparte jest na lewobieżnym obiegu Lindego, zatem możemy je zakwalifikować do urządzeń chłodniczych. Z uwagi na budowę pompy ciepła i specyfikę systemu, urządzenie to w okresie letnim może również spełniać rolę klimatyzatora.

Ponieważ popularność sprężarkowych pomp ciepła jako alternatywy dla konwencjonalnych systemów grzewczych rośnie, podobną tendencję obserwuje się na rynku sprężarek. Widoczny jest znaczący wzrost sprzedaży sprężarek przeznaczonych dla zastosowań w tych urządzeniach.

Energetyka konwencjonalna, oparta na spalaniu paliw kopalnych, takich jak węgiel kamienny i brunatny, ropa naftowa czy gaz ziemny, nie jest w stanie w dłuższej perspektywie zaspokoić stale rosnącego zapotrzebowania, co wynika przede wszystkim z ograniczonej ilości zasobów tychże paliw oraz degradacji środowiska naturalnego spowodowanego wzrostem zawartości dwutlenku węgla w atmosferze [1].

Kolejnym czynnikiem mającym pozytywny wpływ na rozwój i wzrost popularności pomp ciepła jest niewątpliwie przychylna polityka energetyczna niektórych państw, które popierają i wspierają projekty i instalacje grzewcze wykorzystujące niekonwencjonalne, odnawialne źródła energii, do których należą między innymi: promieniowanie słoneczne, wiatr, źródła geotermiczne, biomasa czy energia odpadowa, a które z powodzeniem mogą być wykorzystane jako dolne źródła ciepła sprężarkowych pomp ciepła.

Ponieważ pompy ciepła są urządzeniami efektywnie wykorzystującymi energię cieplną odnawialnych i sztucznych źródeł ciepła, zapewniają wysoki komfort użytkownika, nie wymagają obsługi, pracują cicho, ich negatywny wpływ na środowisko jest zminimalizowany i cieszą się przychylnością władz, szybki i znaczny wzrost ich popularności wydaje się być uzasadniony.

Zagadnienia opisane powyżej przyczyniły się do

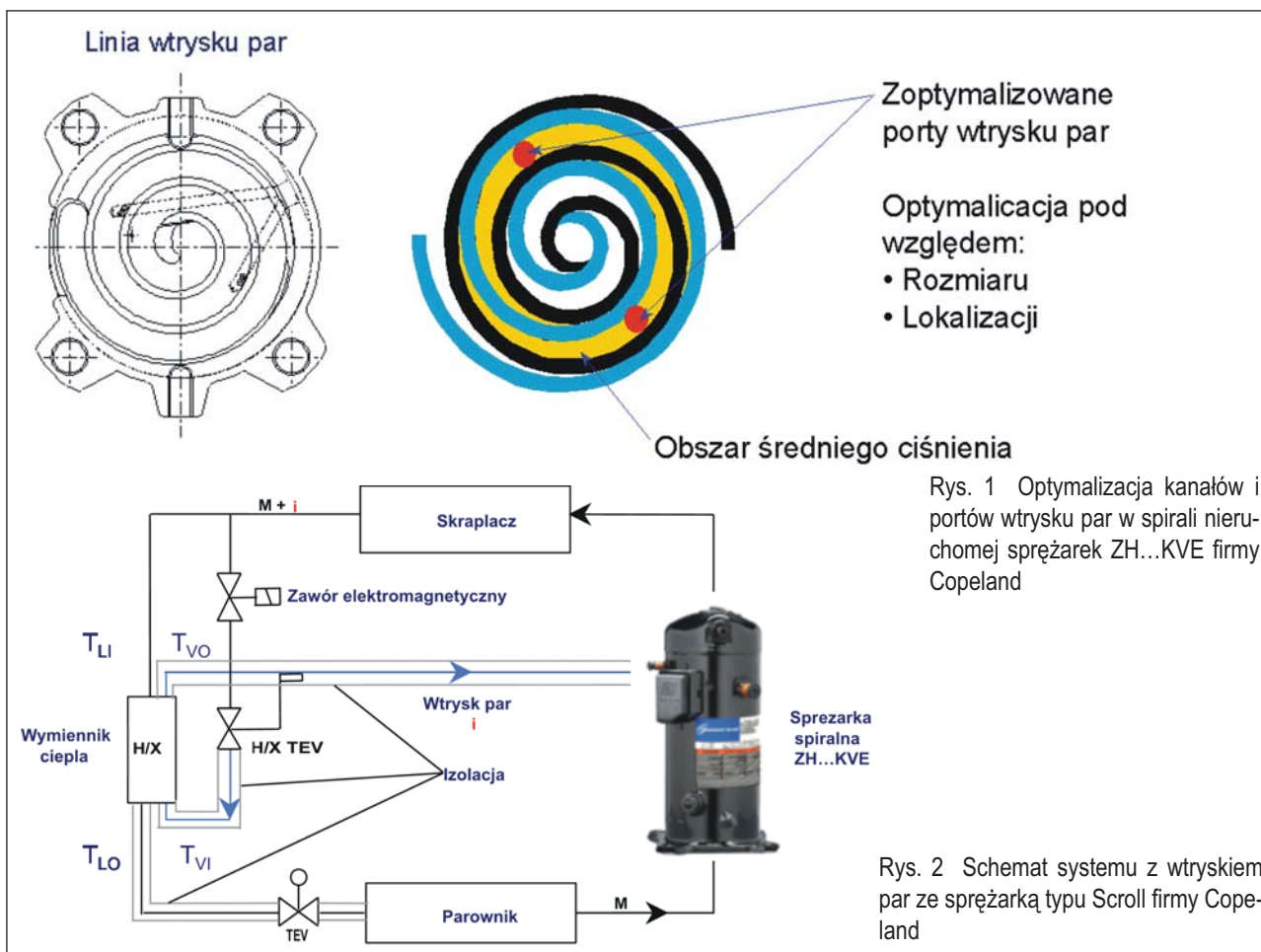
opracowania przez firmę **Copeland** sprężarek spiralnych zoptymalizowanych i przeznaczonych dla pracy w pompach ciepła. Typoszereg ten nosi oznaczenie ZH i zawiera dwie grupy sprężarek typu Scroll. Pierwszą stanowią wydajne sprężarki spiralne typu ZH...K4\*. Druga grupa, to sprężarki typu ZH...KVE, w których zastosowano wysoce efektywną technologię wtrysku par.

W dalszej części niniejszego artykułu szerzej omówiono szczegóły techniczne technologii wtrysku par w sprężarkach spiralnych Copeland Scroll typoszeregu ZH...KVE, różnice konstrukcyjne w odniesieniu do rozwiązania standardowego oraz niektóre korzyści wynikające z zastosowania wtrysku par zarówno dla producentów pomp ciepła, jak i użytkowników końcowych tychże urządzeń.

Na początku, technologia wtrysku par w sprężarkach spiralnych firmy Copeland przeznaczona była dla niskotemperaturowych systemów chłodniczych i czynnika R 404A. Następnie, firma Copeland rozszerzyła swój asortyment sprężarek spiralnych z wtryskiem par o kolejne modele przeznaczone dla zastosowań w pompach ciepła, które współpracują z czynnikiem R 407C. Technologia wtrysku par nosi również nazwę technologii **EVI**, co jest skrótem od zwrotu pochodzącego z języka angielskiego *Enchanced Vapour Injection*, oznaczającego w dosłownym tłumaczeniu "zoptymalizowany wtrysk par".

Sprężarki typoszeregu ZH posiadają odpowiednio zmodyfikowany geometrycznie zestaw spiral gwarantujący ich optymalną pracę przy warunkach typowych dla pomp ciepła, szczególnie przy niskich temperaturach odparowania i wysokich temperaturach skraplania (powietrzne pompy ciepła). Zoptymalizowany wtrysk par w sprężarkach spiralnych Copeland realizowany jest do wnętrza zestawu spiral w obszarze średniego ciśnienia, zgodnie z rysunkiem 1.

W sprężarkach z wtryskiem par, w odróżnieniu od standardowych sprężarek spiralnych, oprócz geometrii zestawu spiral, optymalizacji poddano również kilka dodatkowych wewnętrznych elementów konstrukcyjnych. Zwiększeniu uległy porty wtryskowe (umieszczone w spirali nieruchomej symetrycznie względem centralnego punktu tłoczenia); centralny port tłoczny, dzięki czemu ograniczono nadwyżkę ciśnienia nad ciśnieniem tłoczenia niezbędną do wytłoczenia sprę-



żonego czynnika chłodniczego ze sprężarki (zmniejszenie zużycia energii elektrycznej); zmodyfikowano linię wtryskową dzieląc ją na dwa odrębne kanały oraz dynamiczny zawór tłoczny.

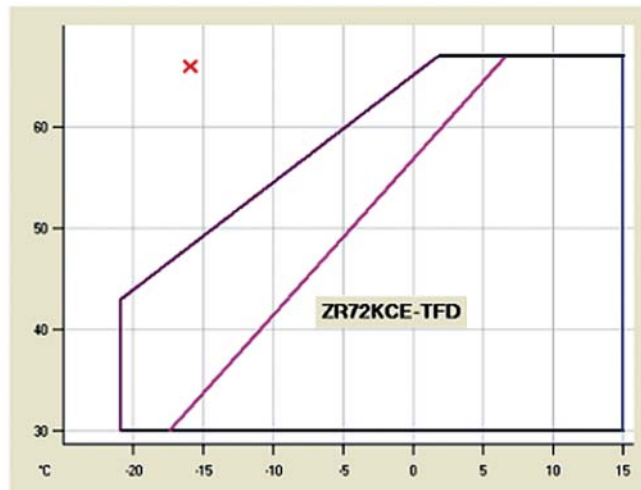
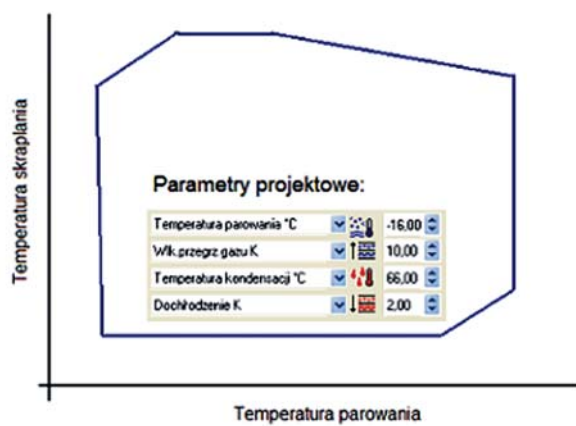
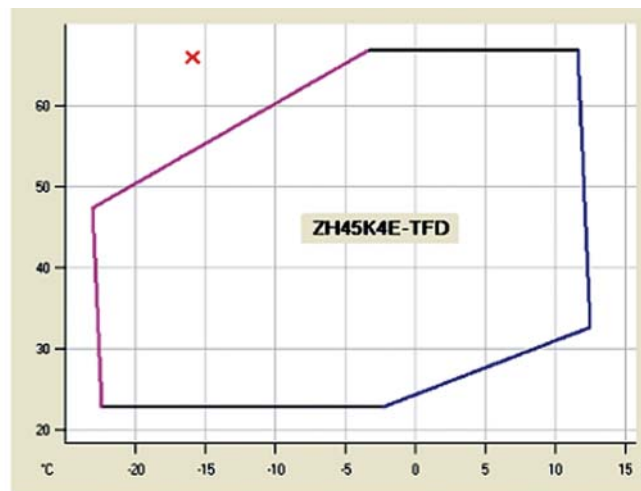
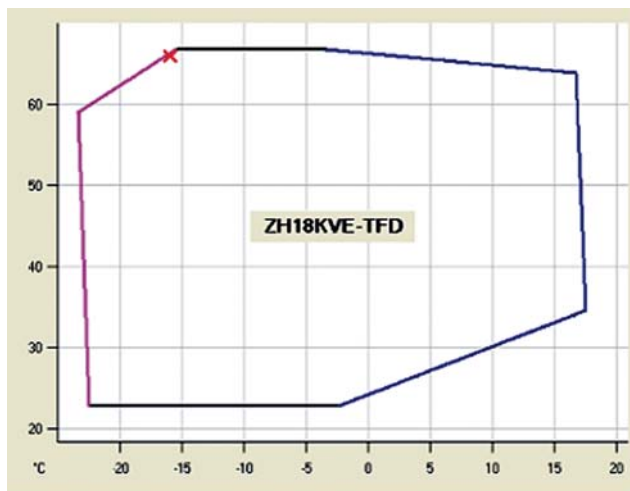
Sprężarki spiralne z wtryskiem par wyposażone są w przyłączy wtryskowe dla potrzeb ekonomizera, który jest niezbędnym elementem systemu EVI, którego schemat przedstawiono na rysunku 2.

Dzięki zastosowaniu ekonomizera realizowane są trzy podstawowe zadania. Zgodnie z rysunkiem 2, z jednej strony ciekły czynnik chłodniczy ze skraplacza przepływa przez ekonomizer, gdzie ulega znacznemu dochłodzeniu (wzrost różnicy entalpii powoduje wzrost wydajności chłodniczej), co jest szalenie istotne w przypadku systemów chłodniczych, z drugiej strony pobrany za skraplaczem ciekły czynnik chłodniczy po przejściu przez zawór rozprężny rozpręża się do określonej wartości ciśnienia średniego, zostaje następnie podany na ekonomizer, gdzie ulega odparowaniu, a powstałe w ten sposób pary poprzez króciec wtryskowy sprężarki wtryskiwane są do obszaru średniego ciśnienia występującego wewnątrz zestawu spiral. Wtryskiwane pary (podobnie jak wtrysk cieczy w niskotemperaturowych systemach chłodniczych z R22) obniżają temperaturę na tłoczeniu, chroniąc tym samym sprężarkę przed zbyt wysokimi temperaturami prowadzącymi do rozkładu chemicznego oleju,

powstawaniu zanieczyszczeń, utraty smarowania i zużycia mechanicznego wskutek tarcia.

Dwie powyższe funkcje nie mają bezpośrednio wpływu na poprawę parametrów energetycznych pompy ciepła. Należy jednak pamiętać, że oprócz odpowiednio przystosowanej geometrii spiral, dzięki wtryskowi par, zwiększa się przepływ masy przez skraplacz o wartość  $i$  (zgodnie z rys. 2), co podnosi wydajność grzewczą i współczynnik COP w odróżnieniu od konfiguracji standardowej (sprężarki typu ZH dedykowane dla pomp ciepła). Ograniczenie temperatury na tłoczeniu zwiększa kopertę pracy sprężarki na tyle, że umożliwi uzyskanie wyższych temperatur skraplania, czyli możliwość podgrzania ciepłej wody użytkowej do temperatury 65°C nawet przy niskich temperaturach odparowania czynnika chłodniczego równych -16°C. Porównanie kopert pracy sprężarek z wtryskiem par typu ZH...KVE ze standardowymi sprężarkami spiralnymi dla pomp ciepła typu ZH oraz standardowymi klimatyzacyjnymi sprężarkami typu Scroll wykorzystywanymi często przez producentów do produkcji pomp ciepła typu ZR wraz z zaznaczonym punktem pracy (dla warunków projektowych -16°C parowanie/+66°C skraplanie/10K przegrzanie/2K dochłodzenie) przedstawia rysunek 3.

Z rysunku tego wynika, że sprężarka z wtryskiem par charakteryzuje się najszerszą kopertą pracy. Je-



Rys. 3 Porównanie kopert pracy sprężarek ZH18KVE (z wtryskiem par); ZH45K4E oraz ZR72KCE firmy Copeland

dy nie przy zastosowaniu technologii EVI punkt pracy sprężarki dla założonych powyżej parametrów projektowych mieści się nadal w kopercie pracy. Pozostałe typy sprężarek nie mogą zatem być zastosowane w projektowanej pompie ciepła. Powyższe modele sprężarek posiadają podobne charakterystyki wydajnościowe, zatem teoretycznie można je stosować zamiennie (uwzględniając oczywiście warunki robocze) pamiętając, aby punkt pracy znajdował się zawsze wewnątrz koperty pracy dla całego zakresu roboczego uwzględniającego zmiany wywołane sezonowością i zmianą obciążenia cieplnego. Warto przy tym wspomnieć, że sprężarki typu ZH w odróżnieniu od sprężarek typu ZR przy bardzo zbliżonej wydajności grzewczej charakteryzują się wyższym współczynnikiem COP. Sprężarki typu ZH...KVE z wtryskiem par w odróżnieniu od standardowych sprężarek typu ZH przy tej samej mocy silnika elektrycznego generują wydajność grzewczą większą o około 25% i posiadają wyższy współczynnik COP średnio o 10% (w zależności od modelu z danego typoszeregu). Sprężarki z wtryskiem par są również mniej czułe na zmiany temperatur parowania (ze względu na zastosowany ekonomizer). Oznacza to, że wahania np. dolnego

źródła ciepła wywołane obniżeniem się temperatury w okresach późnozimowych i wczesnojesiennych nie wywołują praktycznie większych zmian zarówno w wydajności chłodniczej, jak i grzewczej sprężarki. A to ponadto oznacza, że dla uzyskania tej samej wydajności grzewczej można wybrać sprężarkę o mniejszej mocy silnika elektrycznego, która z założenia pobiera mniej energii elektrycznej, jest lżejsza, pracuje ciszej i wywołuje znacznie mniejsze wibracje, co jest istotne zarówno dla producentów pomp ciepła, jak i ich użytkowników.

Z rysunku 4 wynika, że dla dwóch różnych pomp ciepła o tej samej wydajności projektowej, około 9 kW, dobieranych dla temperatury zewnętrznej równej 0°C, bazujących na różnych sprężarkach przy obniżającej się temperaturze parowania wykazują różnice w charakterystyce wydajnościowej. Sprężarka z wtryskiem par przy temperaturze zewnętrznej równej -5°C jest w stanie w 100% zagwarantować wydajność grzewczą, podczas gdy przy sprężarce klimatyzacyjnej istnieje konieczność zastosowania dogrzewania bezpośredniego za pomocą grzałki elektrycznej. Przy temperaturze zewnętrznej równej -10°C, różnice w wydajności grzewczej sięgają około 30% na korzyść wtrysku



par. Nawet przy bardzo niskich temperaturach zewnętrznych ( $-15^{\circ}\text{C}$ ) sprężarka z wtryskiem par jest w stanie wygenerować wydajność chłodniczą na poziomie projektowym, podczas gdy punkt pracy sprężarki typowo klimatyzacyjnej, która jest najczęściej montowana w pompach ciepła (prawdopodobnie ze względu na

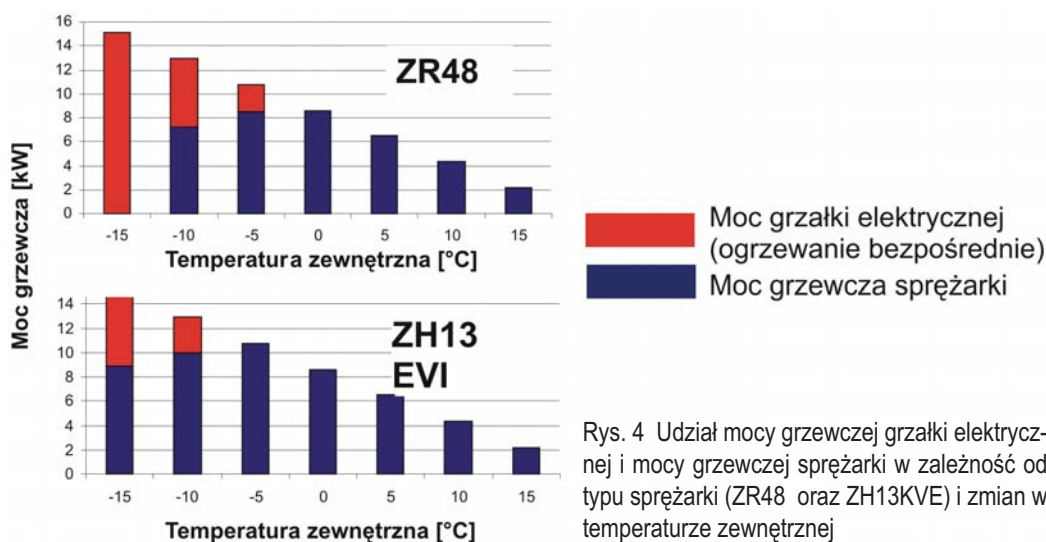
niższą cenę) leży już poza obszarem zastosowania i sprężarka ta nie może generować wydajności grzewczej. Dla celów grzewczych użytkownik jest zmuszony użyć grzałki elektrycznej. Oczywiście ogrzewanie bezpośrednie jest rozwiązaniem o wiele droższym.

Wszystko to sprawia, że sprężarki z wtryskiem par posiadają najwyższy współczynnik sezonowej efektywności energetycznej, który bezpośrednio przekłada się na znaczne obniżenie kosztów energii elektrycznej, co docenią z pewnością użytkownicy końcowi analizując koszty ogrzewania po zakończonym sezonie grzewczym.

Wtrysk par posiada jeszcze jedną specyficzną zaletę. W przypadku, gdy mamy do czynienia z systemem bardziej skomplikowanym, w którym występują np. dwa poziomy temperatur, wtrysk par można traktować wtedy jako regulację wydajności, jako zabezpieczenie sprężarki i może być uruchamiany w przypadku, gdy zachodzi potrzeba uzyskania np. ciepłej wody użytkowej o wysokiej temperaturze, która następnie trafia do bufora. Pozostałą część czasu, sprężarka może pracować na niższych parametrach skraplania i bez wtrysku par, gdzie nie występuje ryzyko powstawania zbyt wysokich temperatur na tłoczeniu, np. ogrzewanie podłogowe czy ściennie, a co z racji niższych ciśnień skraplania dodatkowo obniża pobór energii elektrycznej.

Pompa ciepła wykorzystująca technologię EVI w odróżnieniu od pompy ciepła opartej na konwencjonalnym układzie chłodniczym, oprócz sprężarki z wtryskiem par wymaga dodatkowo małego płytowego wymiennika ciepła, zaworu rozprężnego oraz zaworu elektromagnetycznego, co niewątpliwie podnosi koszty wytworzenia urządzenia. Jeżeli jednak dodatkowe elementy zestawimy z możliwością wyboru mniejszej sprężarki z typoszeregu dla uzyskania tej samej wydajności grzewczej (co jest niewątpliwie rozwiązaniem tańszym) oraz pozostałe właściwości omówione powyżej, różnice w kosztach inwestycyjnych zacierają się.

Korzyści wynikające z zastosowania technologii EVI są natomiast ogromne. Szczególnie ważne jest



Rys. 4 Udział mocy grzewczej grzałki elektrycznej i mocy grzewczej sprężarki w zależności od typu sprężarki (ZR48 oraz ZH13KVE) i zmian w temperaturze zewnętrznej

to dla powietrznych pomp ciepła oraz rynku wymian boilerów gazowych czy olejowych, które z uwagi na parametry pracy wymagają wysokich wartości temperatur na poziomie  $65^{\circ}\text{C}$  i które stanowią znaczną część rynku europejskiego.

Podsumowując technologię EVI, należy zwrócić uwagę na następujące aspekty wynikające z jej zastosowania w nowoczesnych pompach ciepła:

#### Wady:

- dodatkowe elementy systemu chłodniczego: płytowy wymiennik ciepła, zawór rozprężny, zawór elektromagnetyczny.

#### Zalety:

- większa wydajność chłodnicza (minimum o 25%) oraz wyższa sprawność (minimum o 10%), szczególnie przy wyższych stosunkach ciśnień, w porównaniu z rozwiązaniem standardowym;
- mniejsze sprężarki dla uzyskania tej samej wydajności grzewczej: mniejszy koszt, waga, hałas oraz wibracje;
- mniejsze średnice rurociągu cieczowego do parownika głównego: mniej czynnika w obiegu;
- raczej niezmienna wydajność przy zmieniającej się temperaturze parowania: stałe parametry;
- najszersza koperta pracy: największe możliwości zastosowania;
- możliwość regulacji wydajności za pomocą wtrysku par: alternatywa dla silników dwubiegowych czy przetwornic częstotliwości;
- wtrysk par zabezpiecza sprężarkę przed zbyt wysokimi temperaturami na tłoczeniu.

#### BIBLIOGRAFIA:

- [1] Wojciech Zalewski : Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne : podstawy teoretyczne, przykłady obliczeniowe. Wyd. MASTA, Gdańsk 2001 oraz Materiały wewnętrzne firmy Copeland.

