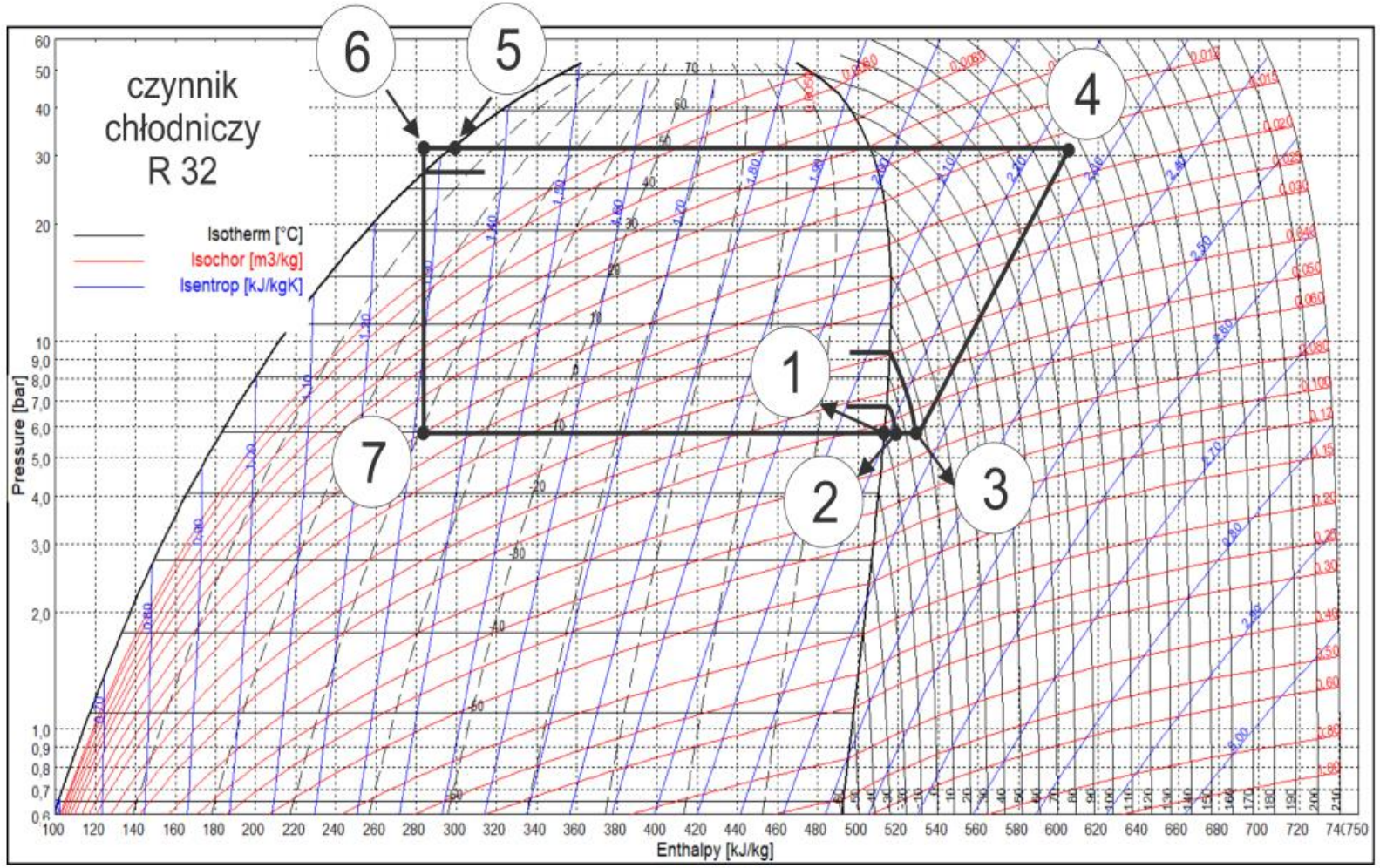
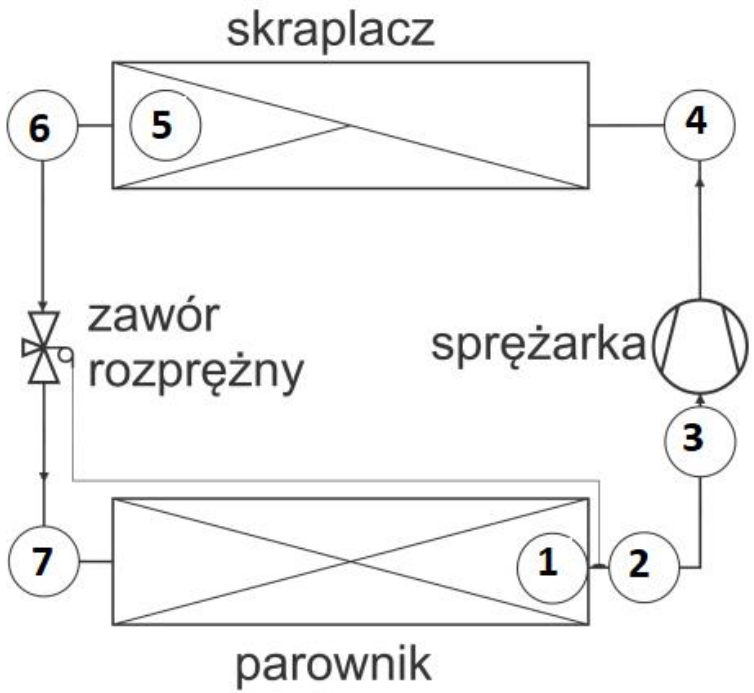
WPROWADZENIE DO CHŁODNICTWA, CZĘŚĆ 3.

Sprężarki chłodnicze – teoria, rodzaje

mgr inż. Grzegorz Toczek

Sprężarkowy układ chłodniczy jednostopniowy – wykres ciśnienie-entalpia i schemat obiegu





Sprężarka jest głównym elementem układu chłodniczego, spełnia w obiegu dwie funkcje:

- wywołuje krążenie czynnika chłodniczego w układzie chłodniczym,
- podnosi ciśnienie czynnika czynnika chłodniczego z niższego poziomu ciśnień i temperatur na wyższy poziom ciśnień i temperatur. Odbywa się to kosztem wykonanej pracy mechanicznej (zużycia energii napędowej, najczęściej elektrycznej).

W wyniku działania sprężarek możliwa staje się realizacja obiegu chłodniczego a jego wydajność i sprawność energetyczna w zasadniczy sposób uzależnione są od cech konstrukcyjnych samej sprężarki.

Wyróżniamy sprężarki doskonałe (idealne, nie występujące w rzeczywistości, definiowane do obliczeń teoretycznych) i rzeczywiste (spotykane w rzeczywostości)

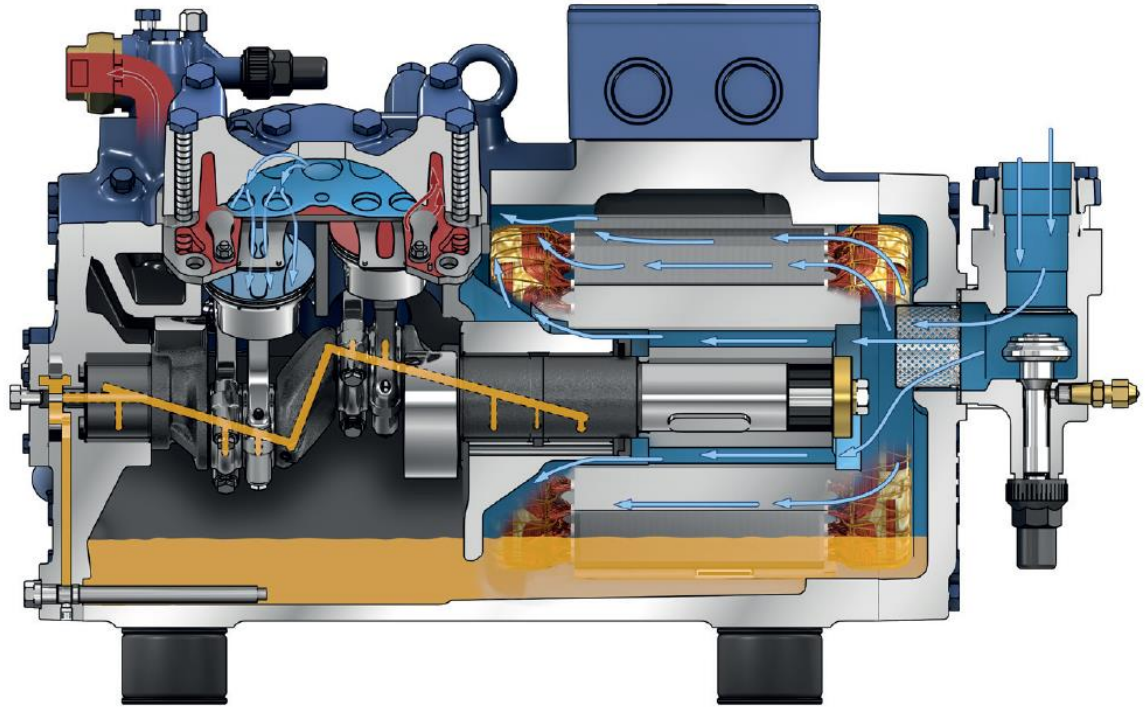
Sprężarka doskonała to sprężarka w której cykl odbywa się bez żadnych strat. Przyjęcie istnienia takiej sprężarki ma na celu określenie maksymalnej sprawności obiegu chłodniczego.

Sprężarka rzeczywista to sprężarka, która w wyniku pracy posiada straty ciepła, tarcia. Straty wynikają z:

- tzw. przestrzeni szkodliwej sprężarki
- dławienia
- nieszczelności
- tarcia
- oddziaływania cieplnego ścianek

komory roboczej i obudowę

(korpus sprężarki)



Stopień dostarczenia - wyraża się stosunkiem rzeczywistej wydajności masowej sprężarki do wydajności sprężarki doskonałej – określonych w tych samych warunkach.

Stopień dostarczenia (inaczej współczynnik przetłaczania) można umownie przedstawić w postaci iloczynu wskaźników określających poszczególne składniki strat występujących w sprężarce rzeczywistej

$$\lambda = \lambda_v \, \lambda_d \, \lambda_p \, \lambda_{sz}$$

Orientacyjne wartości wskaźników dla zakresu klimatyzacji:

Wskaźnik przestrzeni szkodliwej λ_v w nowoczesnych konstrukcjach nie przekracza 0,98-0,97

Wskaźnik dławienia λ_d orientacyjna wartość waha się w granicach 0,95-0,90

Wskaźnik podgrzania λ_p orientacyjna wartość waha się w granicach 0,92-0,97

Wskaźnik szczelności λ_{sz} (masa dostarczonego gazu po stronie tłocznej do masy zassanego gazu) orientacyjna wartość waha się w granicach 0,96-0,99

Identyczne wskaźniki występują dla pozostałych zakresów temperatur tj, chłodzenia, mrożenia i niskich temperatur. Ich wartości będą się różnić.

Wydajność objętościowa sprężarki rzeczywistej wyznaczona z uwzględnieniem strat objętościowych określonych wartością stopnia dostarczenia wynosi:

$$V_z = \lambda V_{sk}$$

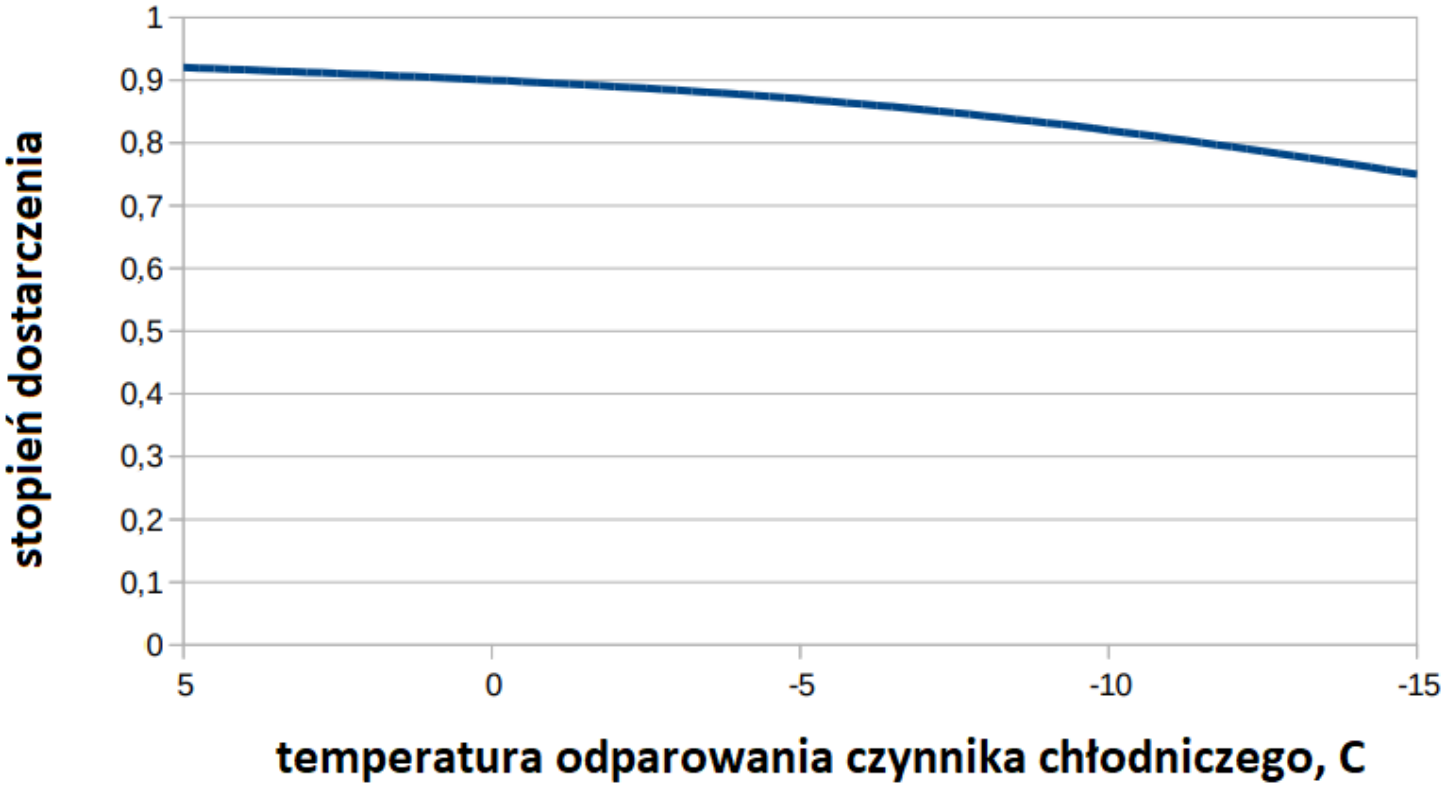
Jednostką wydajności objętościowej jest **m^3/h** lub **m^3/s**

Strumień masowy czynnika w sprężarce rzeczywistej wyznaczony z uwzględnieniem strat objętościowych określonych wartością stopnia dostarczenia wynosi:

$$m_z = V_z / v_1$$

Jednostką strumienia masowego jest **kg/h** lub **kg/s**

Stopień dostarczenia λ w funkcji temperatury parowania dla czynnika R134a i sprężarki tłokowej (skraplanie +40°C) przedstawia poniższy wykres. Można z niego odczytać, że stopień dostarczenia minimalnie rośnie wraz ze wzrostem temperatury odparowania czynnika chłodniczego.



Wydajność chłodnicza sprężarki w sprężarce rzeczywistej (wyznaczona z uwzględnieniem strat objętościowych określonych wartością stopnia dostarczenia) wynosi:

$$Q_o = m_z \, q_o$$

Wydajność chłodnicza jest najważniejszym parametrem sprężarki. Jednostką wydajności chłodniczej są **kW** lub **W**

Wydajność chłodnicza zależy przede wszystkim od rodzaju czynnika chłodniczego, temperatury odparowania i skraplania (lub otoczenia).

Wydajność skokowa (V_{sk}) dla określonej sprężarki jest stała. Charakterystyka stopnia dostarczenia jest zależna od parametrów termicznych i ruchowych.

Jednostką wydajności skokowej jest **m^3/h**

Stosuje się kilka sposobów określania wydajności sprężarki:

- objętość skokowa [cm^3]
- wydajność skokowa [m^3/h]
- wydajność masowa [kg/s]
- (rzeczywista) wydajność objętościowa [m^3/h]
- (rzeczywista) wydajność chłodnicza (ziębienia) [kW]

Wydajność znamionową sprężarek obecnie określa się zwykle

stosując pojęcie (rzeczywistej) wydajności chłodniczej w [kW]. Należy jednak pamiętać, że jest ona podana dla konkretnej temperatury odparowania t_0 i temperatury skraplania t_k.

Ze względu na silną zależność Q_0 od warunków termicznych obiegu przyjmuje się pewne konwencjonalne zestawy temperatur → tzw. termiczne warunki standardowe dla których producent określa jednoznacznie wydajność sprężarki.

Na danym zestawie opiera się producent podając dane produkowanej sprężarki.

Przykładowo dla zakresu klimatyzacyjnego:

1. **Standard EN12900** zakłada:

- temperatura parowania +5°C; temperatura skraplania +50°C
- temperatura gazu powrotnego 15°C
- Przegrzanie 10K
- Dochłodzenie 0K

2. **Standard CECOMAF** zakłada:

- temperatura parowania +5°C; temperatura skraplania +55°C
- temperatura gazu powrotnego 32°C
- Przegrzanie 27K
- Dochłodzenie 0K

3. **Standard ARI 520-90** zakłada:

- temperatura parowania +7,22°C; temperatura skraplania +54,4°C
- temperatura gazu powrotnego 18,3°C
- Przegrzanie 11,1K
- Dochłodzenie 8,33K

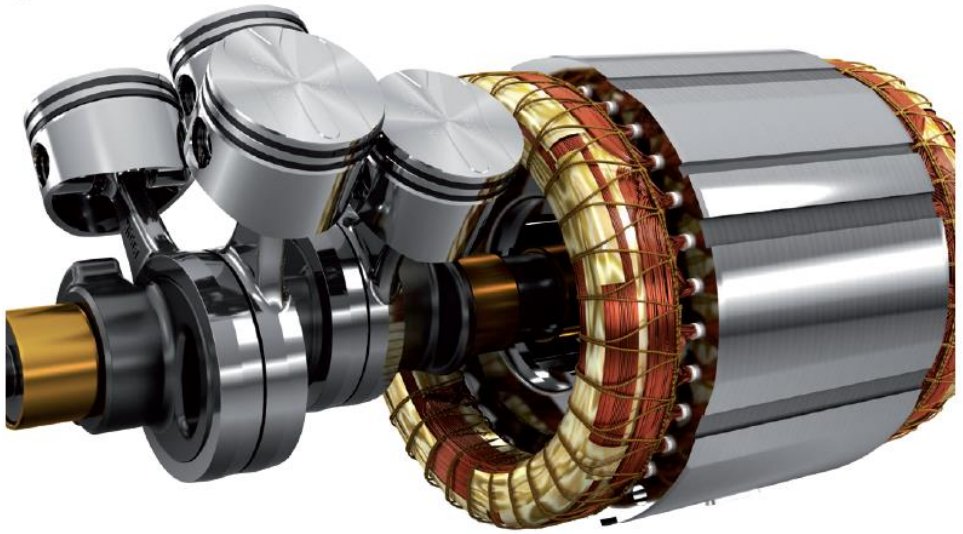
Sprężarki dzielimy na dwie główne grupy:

● **wyporowe** → sprężarki działające w sposób cykliczny na zasadzie zmniejszania objętości zamkniętej przestrzeni roboczej.

● **przepływowe** → sprężarki działające w sposób ciągły na zasadzie nadawania czynnikowi energii kinetycznej i zamiany jej na energię ciśnienia.

Sprężarki wyporowe można podzielić na:

- tłokowe
- rotacyjne (wirowe)
  - ✓Łopatkowe
  - ✓Krzywkowe
    - Spiralne
    - Śrubowe



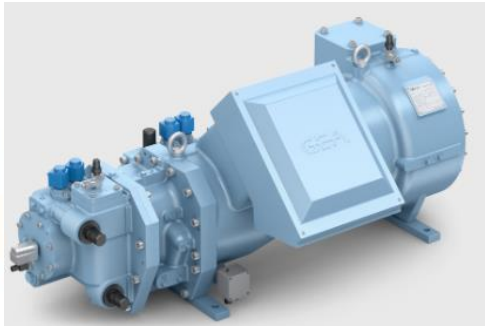
Sprężarki przepływowe można podzielić na:

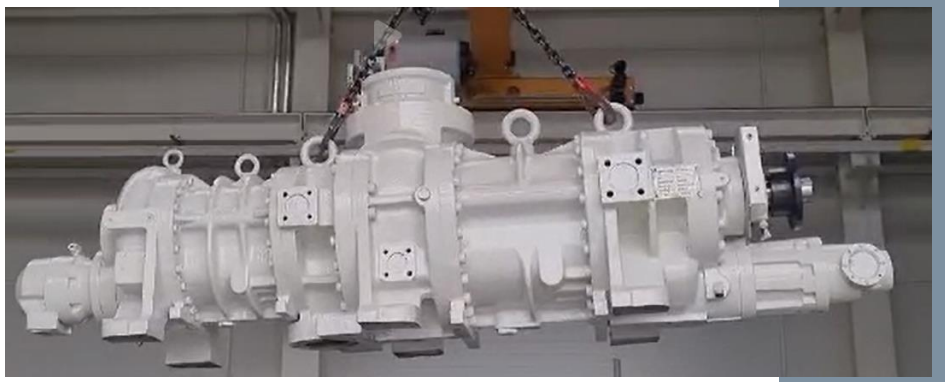
- odśrodkowe (rotodynamiczne)
  - ✓Turbocor
- osiowe

Podział umowny sprężarek ze względu na wydajność:

- miniaturowe (też) poniżej 3kW
- małe 3-25kW
- średnie 25-100kW
- duże ponad 100kW

Podział ten jest zgrubny a granice orientacyjne.

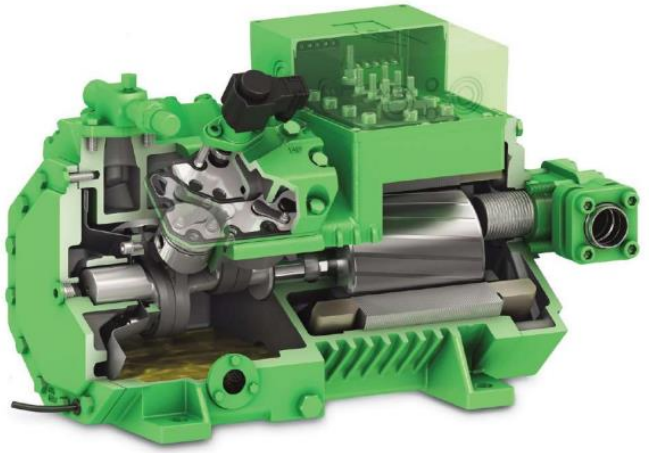




Podział ze względu na rodzaj zamknięcia kadłuba:

- hermetyczne (nierozbieralne), z wbudowanym silnikiem elektrycznym
- półhermetyczne (semihermetyczne, rozbieralne), z wbudowanym silnikiem elektrycznym
- dławnicowe – z uszczelką typu dławnica, napędzane osobnym silnikiem, na zdjęciu
  - skrzynia korbowa

Sprężarki tłokowe



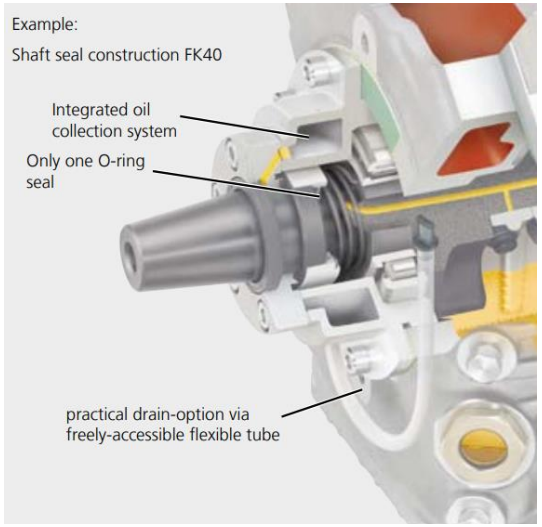
Działanie sprężarek tłokowych polega na zassaniu do komory roboczej mającej określoną objętość pewnej ilości czynnika, zamknięciu go w niej, sprężeniu do ciśnienia o określonej wartości i wytłoczeniu sprężonego już czynnika na zewnątrz. Przepływ czynnika może być i najczęściej jest przez silnik elektryczny. Silnik posiada izolację. Czynnik chłodzi silnik elektryczny. Następnie czynnik trafia do skrzyni korbowej, skąd jest zasysany do cylindra sprężarki przez zawór ssący w płycie zaworowej. W cylindrze czynnik jest sprężany i wytłoczony przez zawór tłoczny w płycie zaworowej na zewnątrz sprężarki. Sprężarka posiada zawory odcinające.

SPRĘŻARKI TŁOKOWE

- hermetyczne
- półhermetyczne
- dławicowe

Sprężarka dławicowa klimatyzacji Bock FKX

Dławica sprężarki klimatyzacji Bock FKX



Regulacja wydajności sprężarek tłokowych:

- Upust czynnika z komory roboczej na stronę ssawną (RW)
- Regulacja wydajności sprężarki tłokowej gorącymi parami czynnika chłodniczego (Hot Gas Bypass)
- Regulacja wydajności sprężarki tłokowej wtryskiem gorących par czynnika do wlotu parownika (LG)
- Dławienie na ssaniu (KVP)
- Zmiana prędkości obrotowej silnika (Inwerter)

Sprężarki łopatkowe

Sprężarka rotacyjna łopatkowa

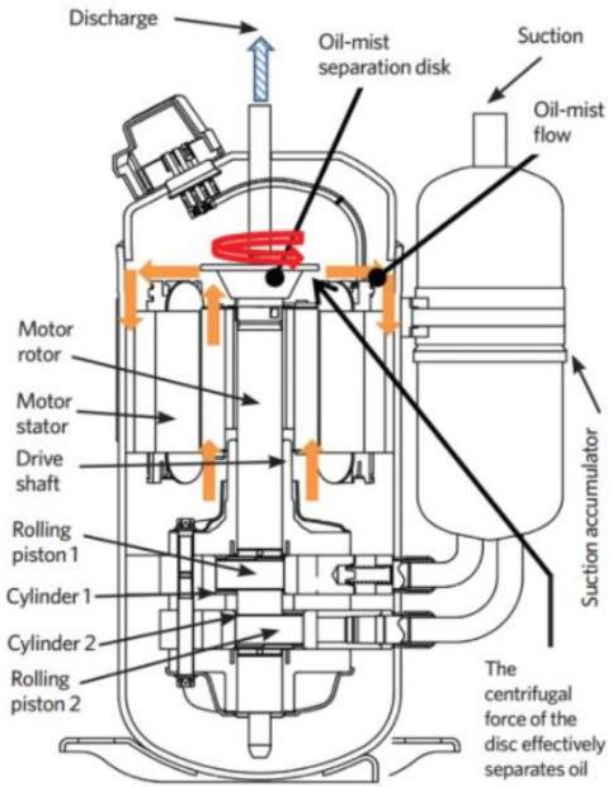
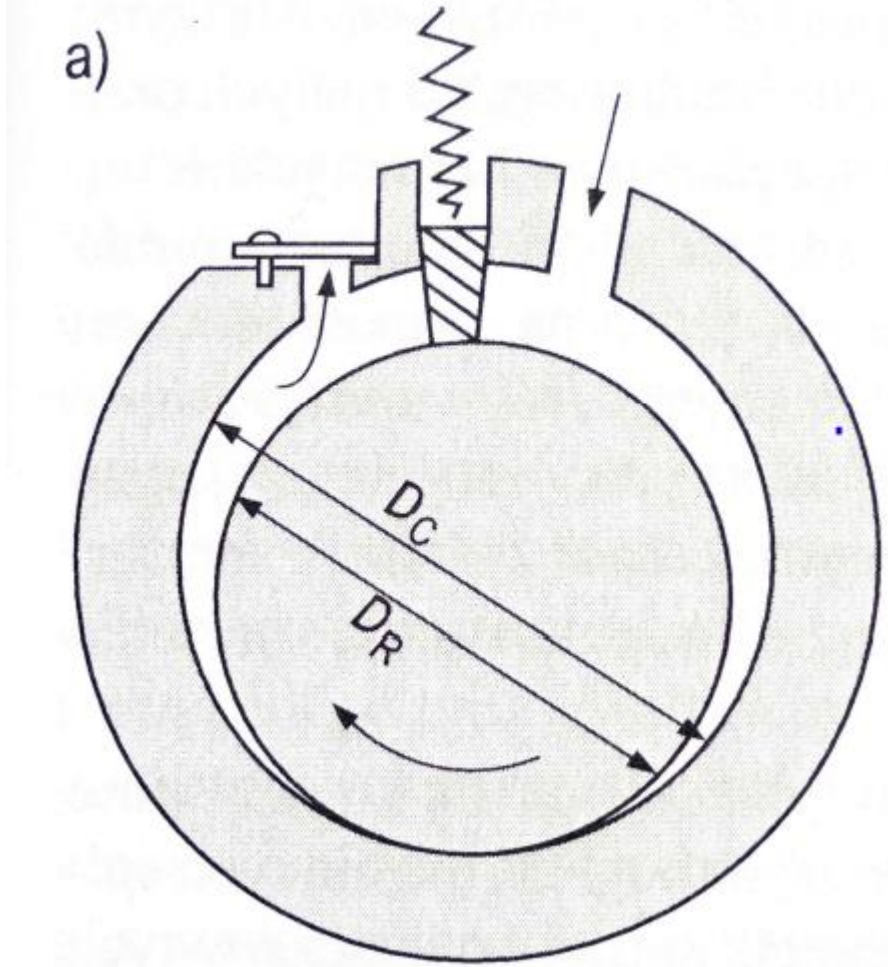


Figure 1: A twin-cylinder rolling-piston

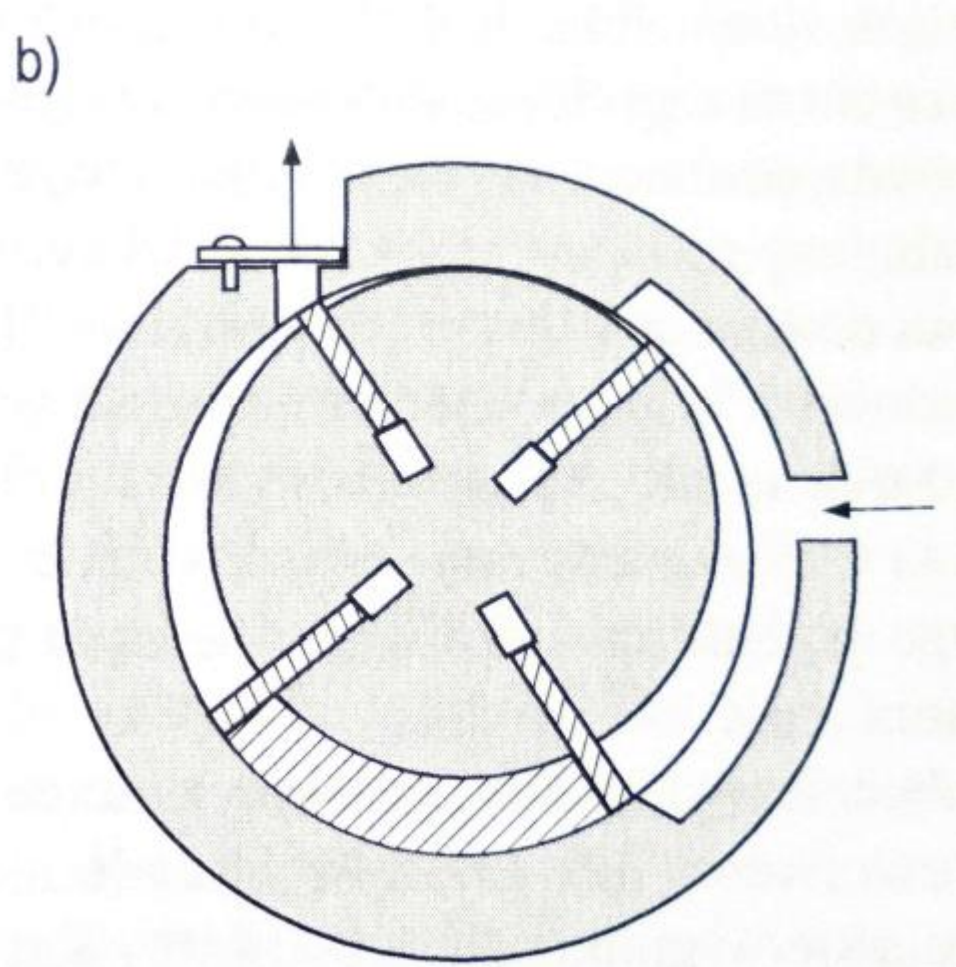
W cylindrycznej obudowie „toczy się” po jej ściance swobodnie poruszający się tłok, który wiruje mimośrodowo wokół osi cylindra.

Powstająca dzięki temu przestrzeń w kształcie sierpa jest dzielona przez linię styczności tłoka i obudowy oraz przez ruchomą przegrodę suwakową (łopatkę) na część ssawną i tłoczną.

Sprężarki łopatkowe



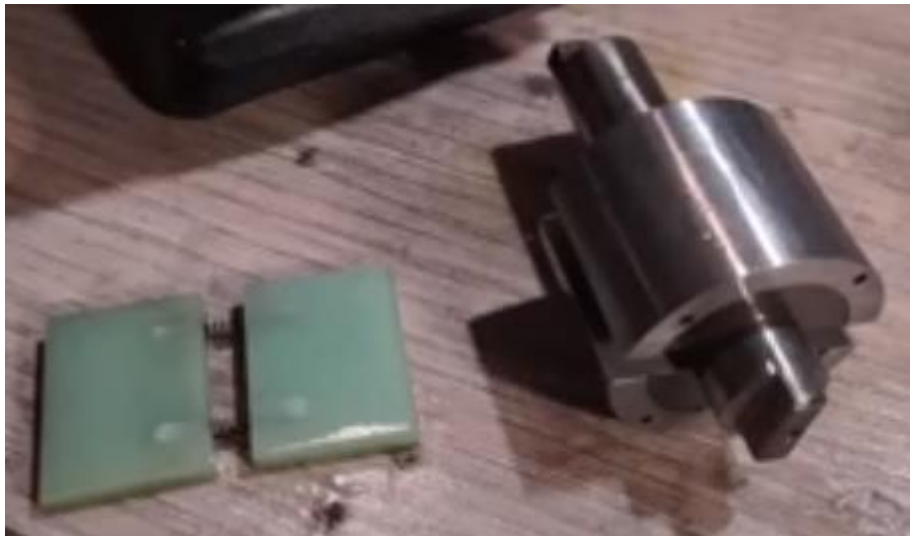
jednołopatkowa



wielołopatkowa

Regulacja wydajności sprężarek łopatkowych

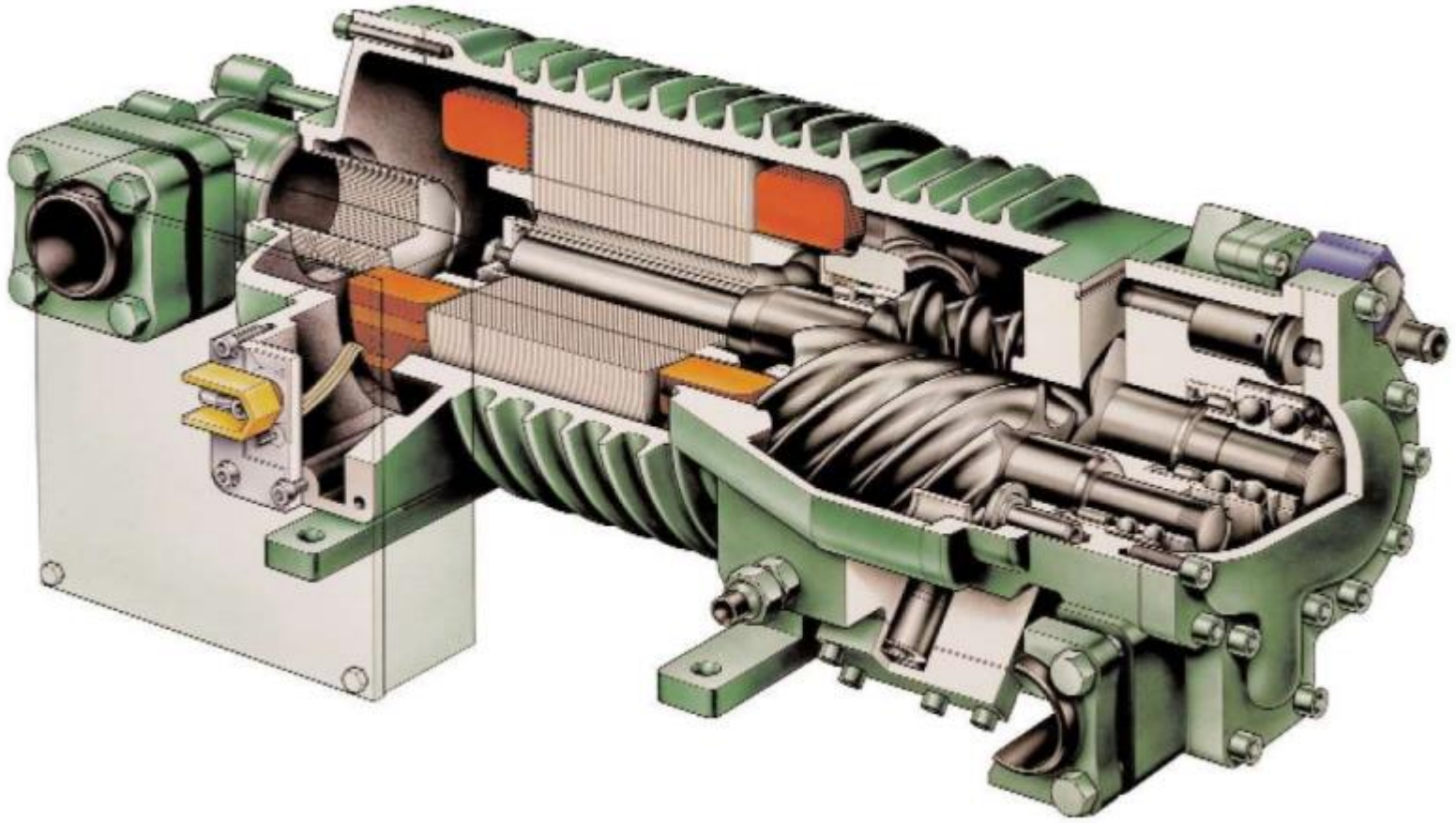
- Zmiana prędkości obrotowej
- Układ wielosprężarkowy



SPRĘŻARKI ŁOPATKOWE

- hermetyczne
- półhermetyczne

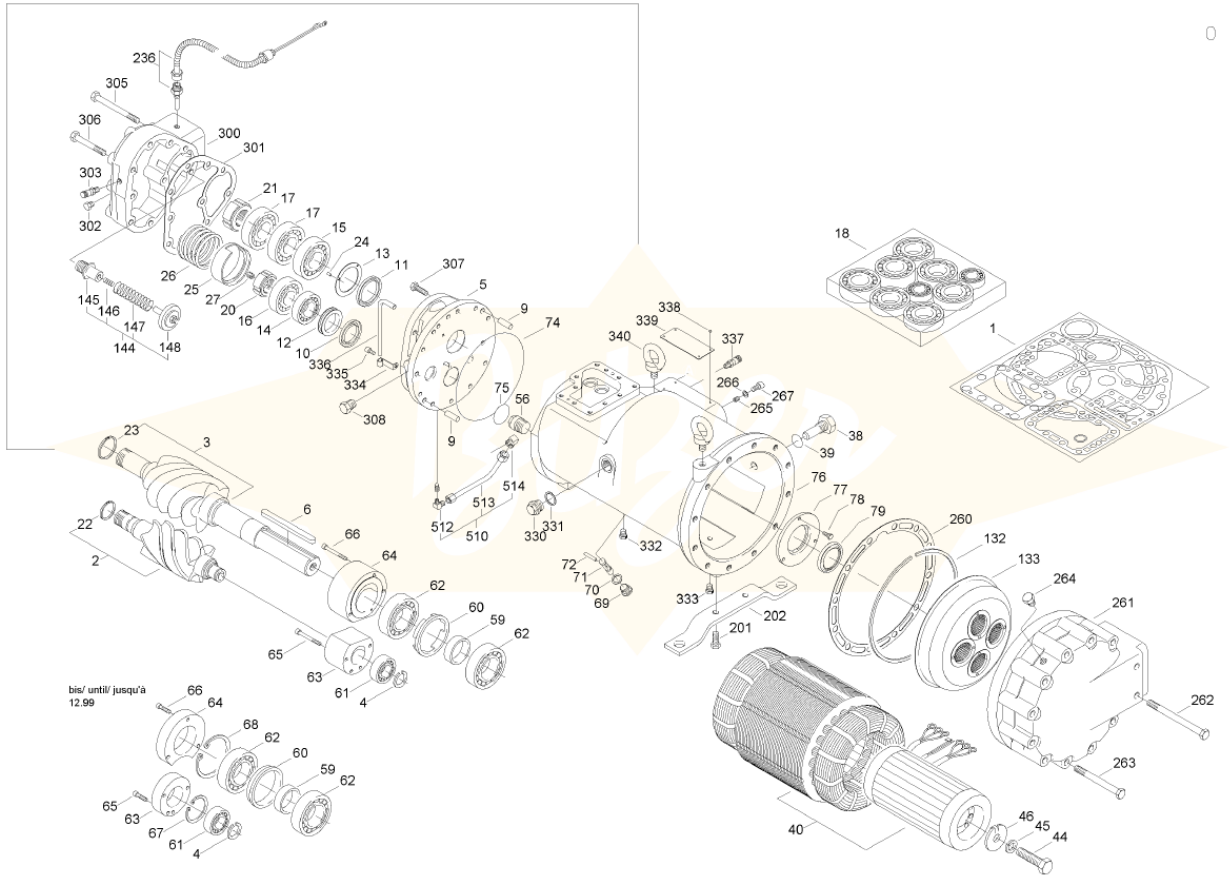
Sprężarki śrubowe



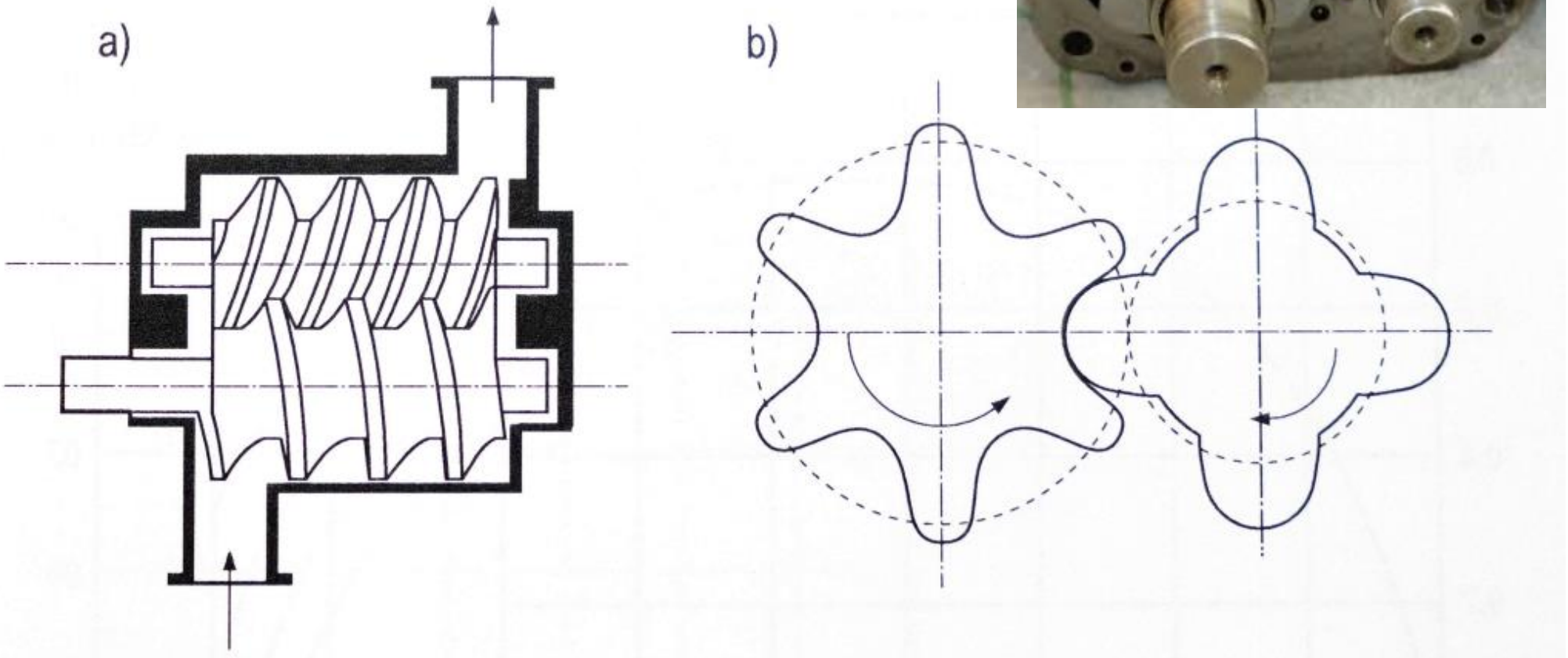
Sprężarki śrubowe posiadają najczęściej dwa wirniki wykonane w kształcie śruby umocowane na równoległych osiach umieszczone w pasownej obudowie je obejmującej (w kształcie ósemki). Jeden z wirników jest napędzany – czynny (główny) ma zwykle w przekroju wypukłe zęby drugi bierny (pomocniczy) posiada w przekroju wklęsłe wręby.
Wirnik bierny jest zwykle sprzężony mechanicznie z wirnikiem głównym. Dzięki takiemu ukształtowaniu zębów i wrębów oba wirniki znajdują się we wzajemnie uszczelniającym się zazębieniu grzebieniowym.
Objętości zawarte między zazębieniami stanowią wraz z cylindrycznymi ściankami obudowy zamknięte przestrzenie robocze.
Śrubowo ukształtowane płaszczyzny wędrują podczas obrotu wirników od jednego do drugiego końca obudowy.

SPRĘŻARKI ŚRUBOWE

- półhermetyczne
- dławicowe



Sprężarki śrubowe

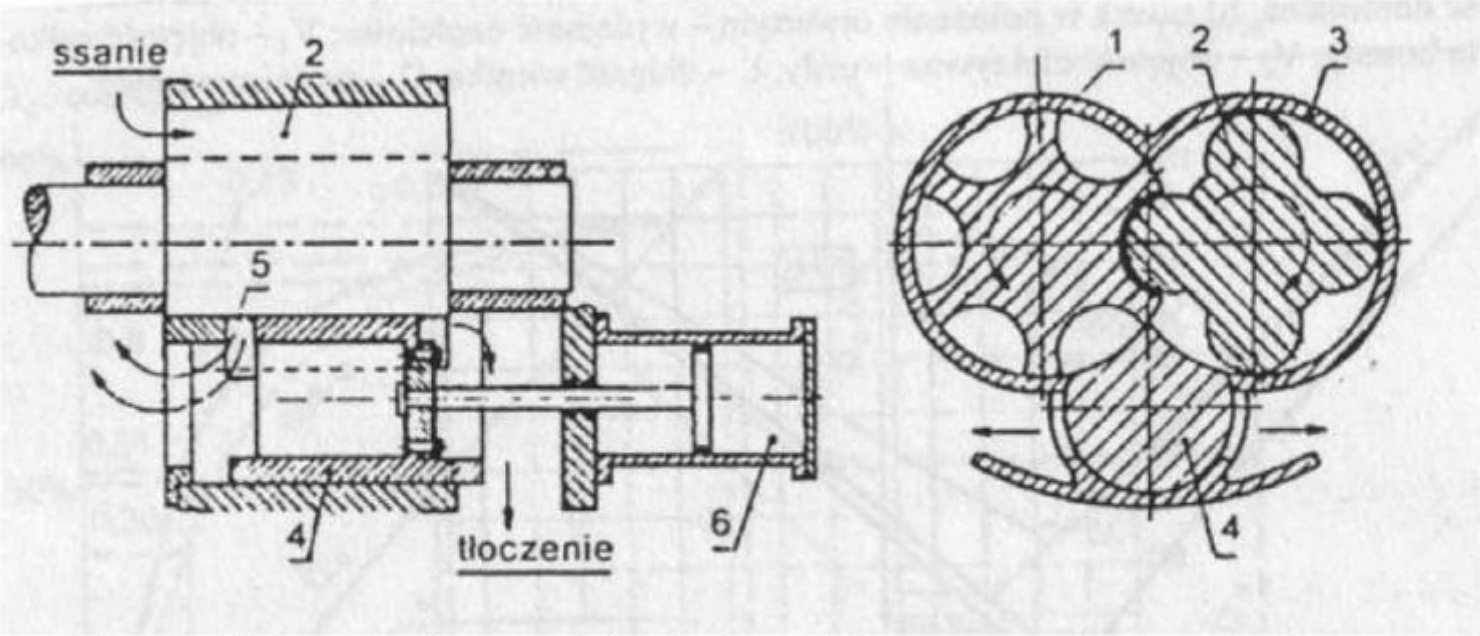


przekrój wzdłużny

przekrój poprzeczny wirników

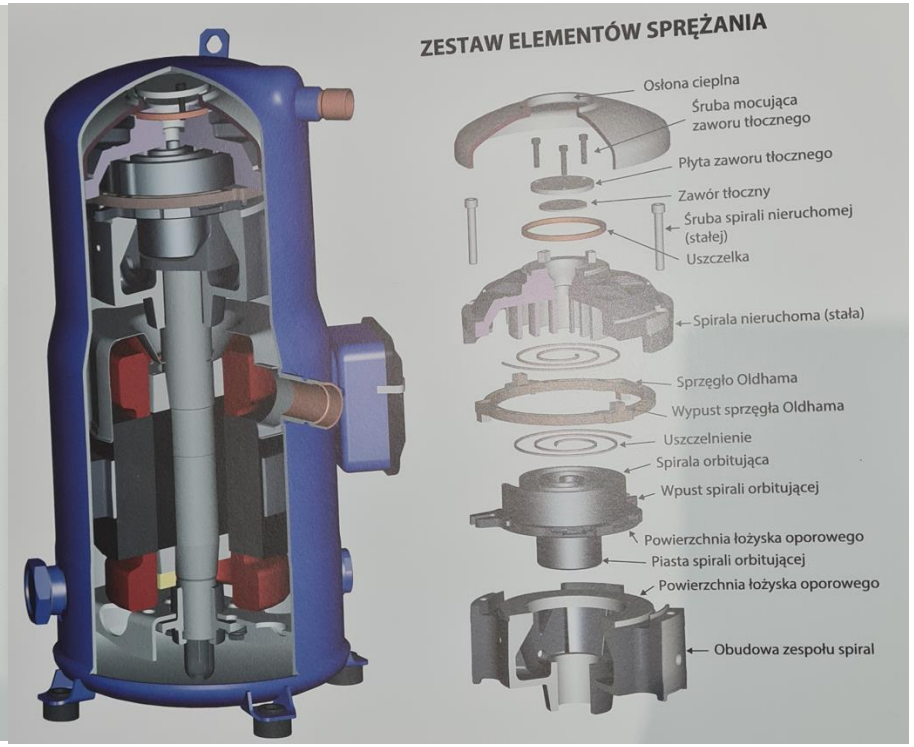
Regulacja wydajności sprężarek śrubowych:

- Upust czynnika poprzez otwory upustowe
- Zmiana prędkości obrotowej (mały zakres)
- Suwak regulacyjny

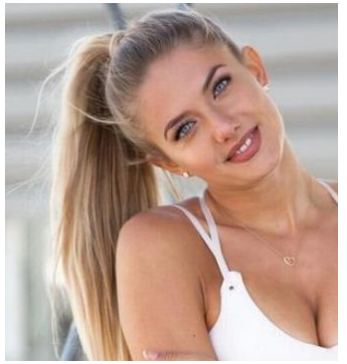


Rys. 10; Schemat zabudowy i działania suwaka upustowego, 1 – wirnik pomocniczy, 2 – wirnik główny, 3 – korpus, 4- suwak regulacyjny, 5 – okno upustowe, 6 siłownik.

Sprężarki spiralne



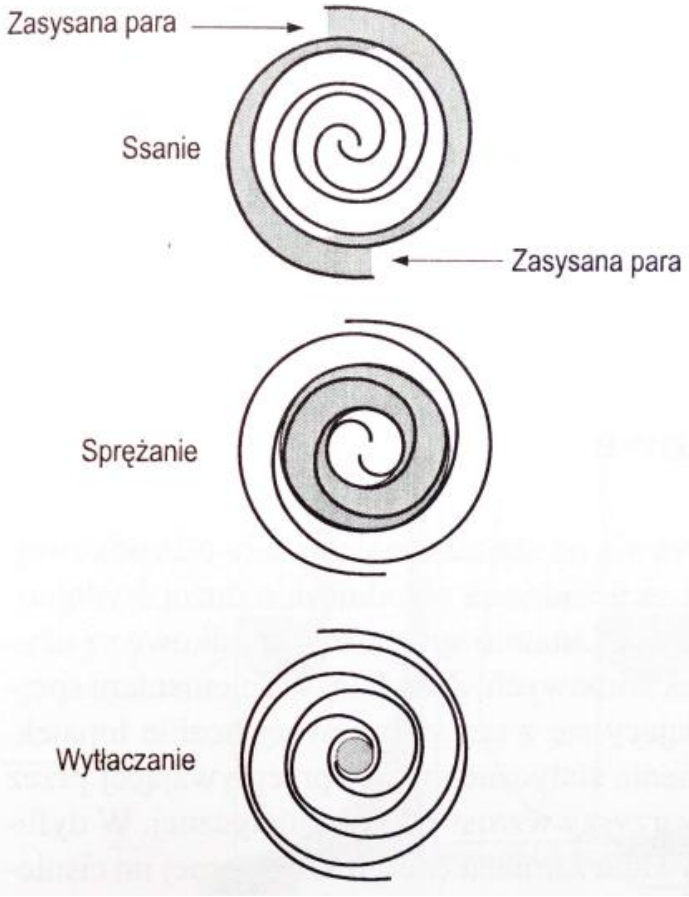
przekrój przec ściankę w miejscu ssania
od środka widać filtr siatkowy
od zewnątrz zaślepiony króciec ssący



Dzięki dwóm włożonym jedna w drugą spiralom tworzą się między nimi stale zmieniające się przestrzenie robocze. Jedna ze spiral jest nieruchoma, natomiast druga obraca się w niej mimośrodowo.
Na skutek tego ruchu do otwartej komory zasysana jest zimna para czynnika. Podczas dalszego obrotu spirali przestrzeń tej komory ulega zamknięciu i ciągłemu zmniejszaniu, dzięki czemu para jest sprężana i przepychana ku środkowi. W środku nieruchomej spirali przez otwór wylotowy sprężona para dostaje się do komory tłocznej i dalej do przewodu tłocznego.

Sprężarki spiralne występują tylko jako hermetyczne.

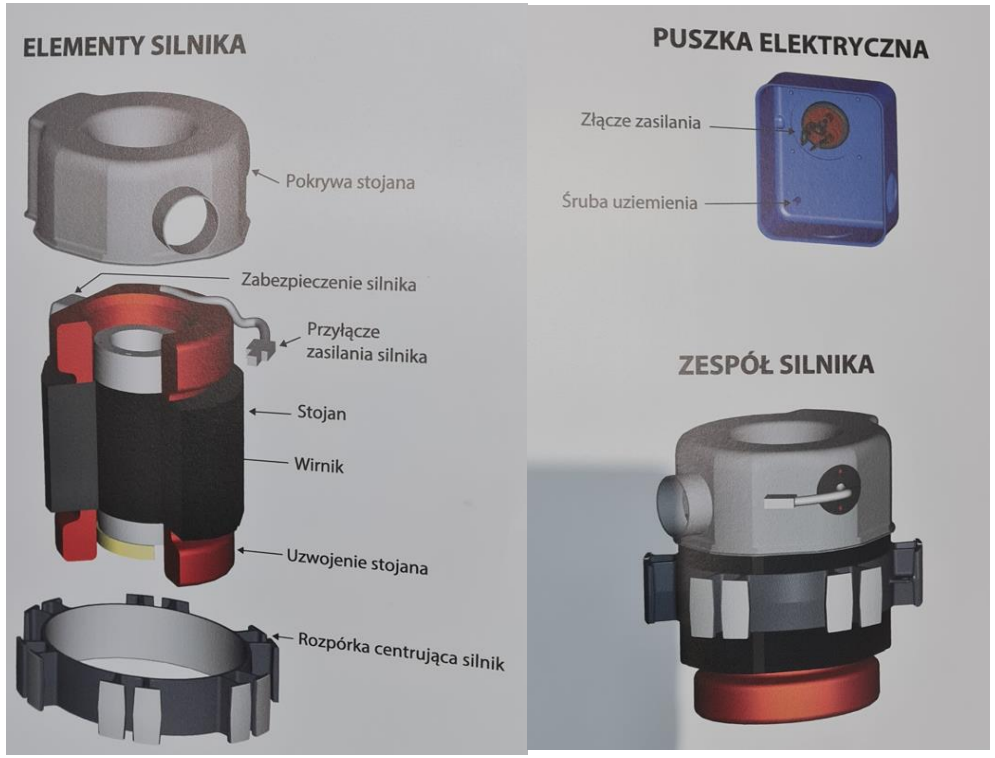
Sprężarki spiralne

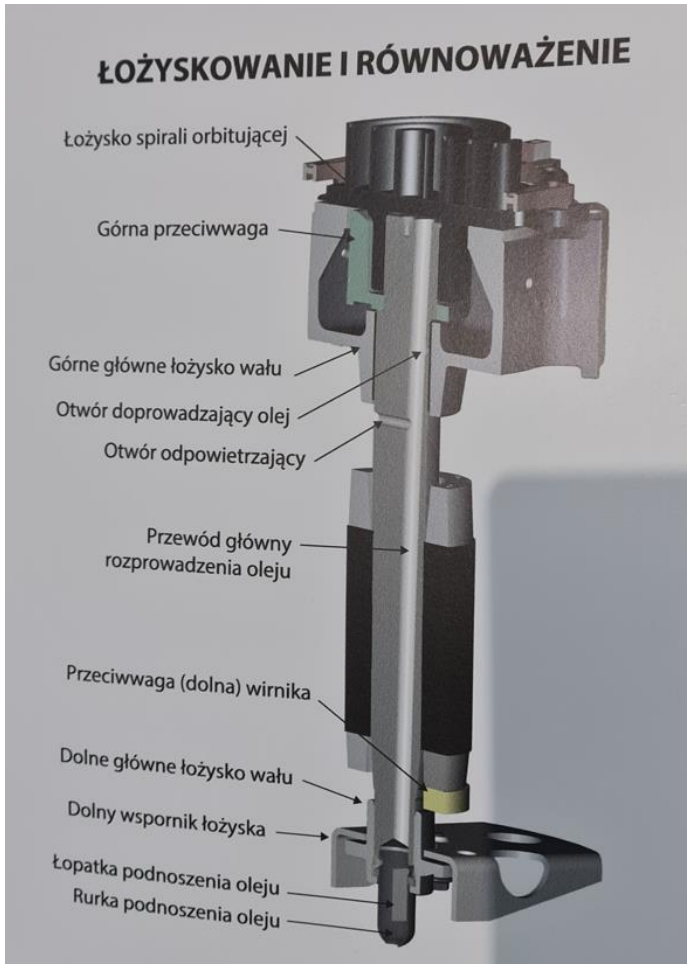


Fazy pracy sprężarki spiralnej

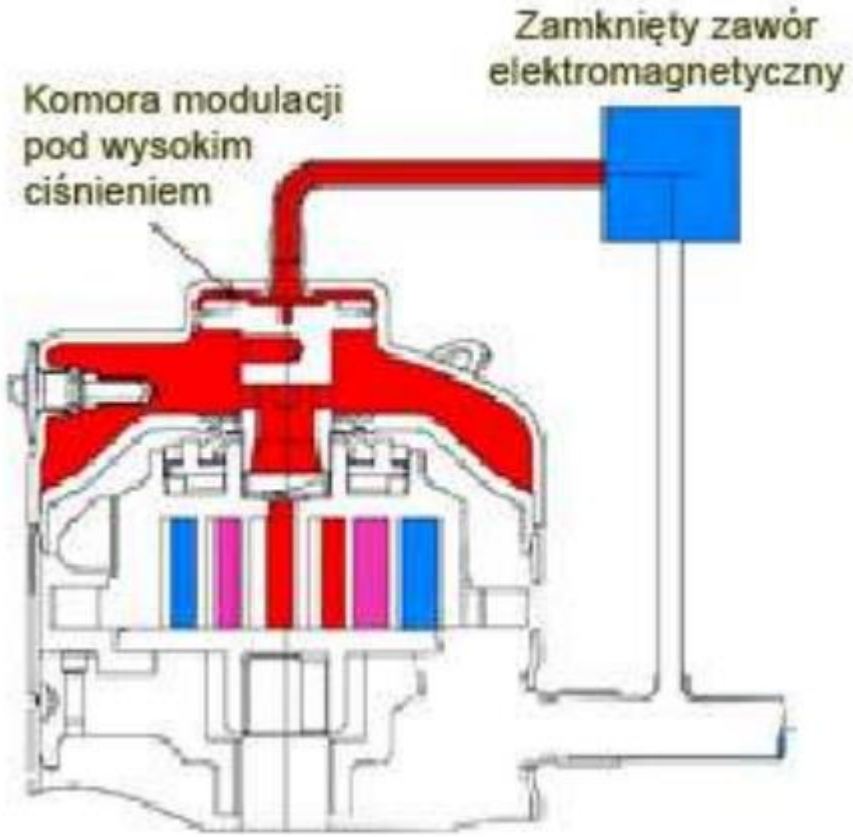
Regulacja wydajności sprężarek spiralnych:

- Upust czynnika poprzez rozszczelnienie spiral
- Zmiana prędkości obrotowej

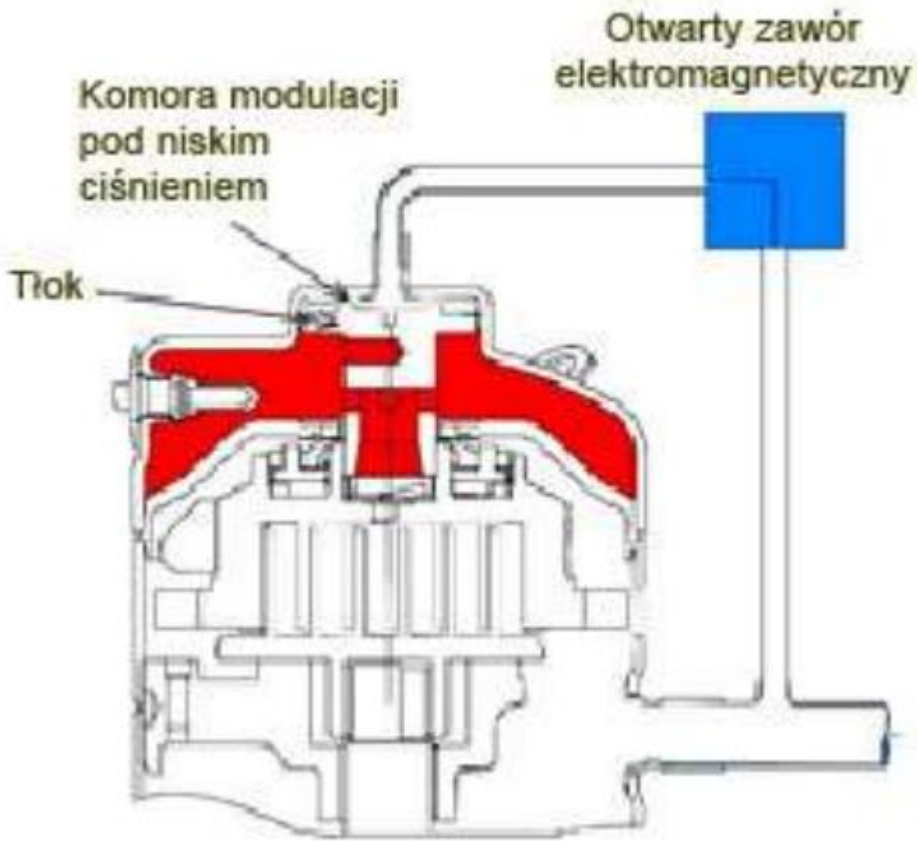




Regulacja wydajności sprężarek spiralnych Digital



Stan pod obciążeniem

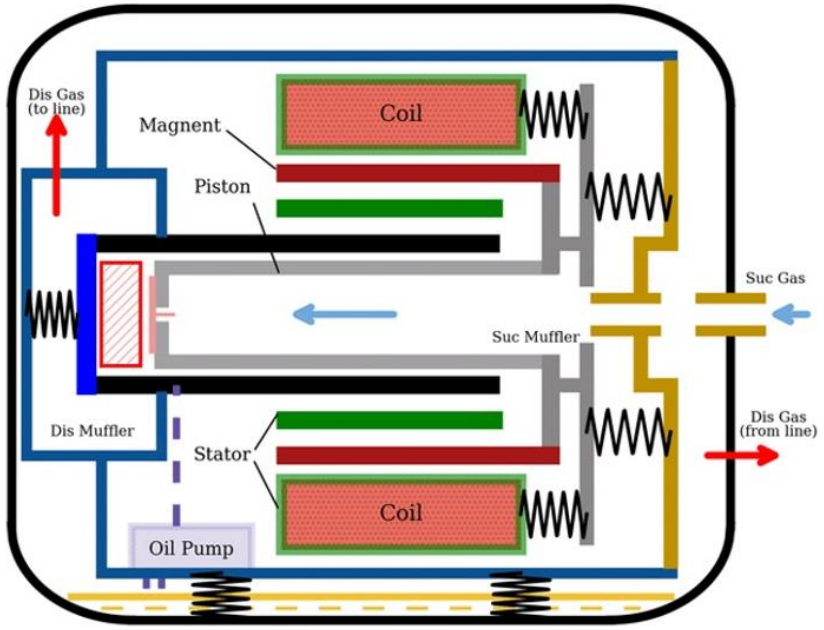


Stan bez obciążenia

Sprężarki nietypowe, ciekawe

- Sprężarka tłokowa liniowa

https://www.youtube.com/watch?v=r2HDJjrQiEQ



Sprężarka liniowa jest sprężarka gazu, tłok porusza się po torze liniowym, celem zminimalizowania tarcia i zmniejszenia straty energii podczas przetwarzania ruchu. Technologia ta jest z powodzeniem stosowana w zastosowaniach kriogenicznych, które muszą być bezolejowe. Sprężyna zawieszenia może być typu giętkiego lub typu cewkowego. Sprężarki liniowe działają podobnie do elektrozaworu: za pomocą tłoka sprężynowego z elektromagnesem podłączonym do prądu przemiennego przez diodę. Sprężynowy tłok jest jedyną ruchomą częścią i jest umieszczony w środku elektromagnesu. Podczas dodatniego cyklu prądu przemiennego dioda umożliwia przepływ energii przez elektromagnes, wytwarzając pole magnetyczne, które przesuwa tłok do tyłu, ściskając sprężynę i wytwarzając ssanie. Podczas ujemnego cyklu prądu przemiennego dioda blokuje przepływ prądu do elektromagnesu, pozwalając sprężynie rozprężyć się, przesuwając tłok do przodu i ściskając czynnik chłodniczy. Sprężony czynnik chłodniczy jest następnie uwalniany przez zawór.

Embraco Wisemotion

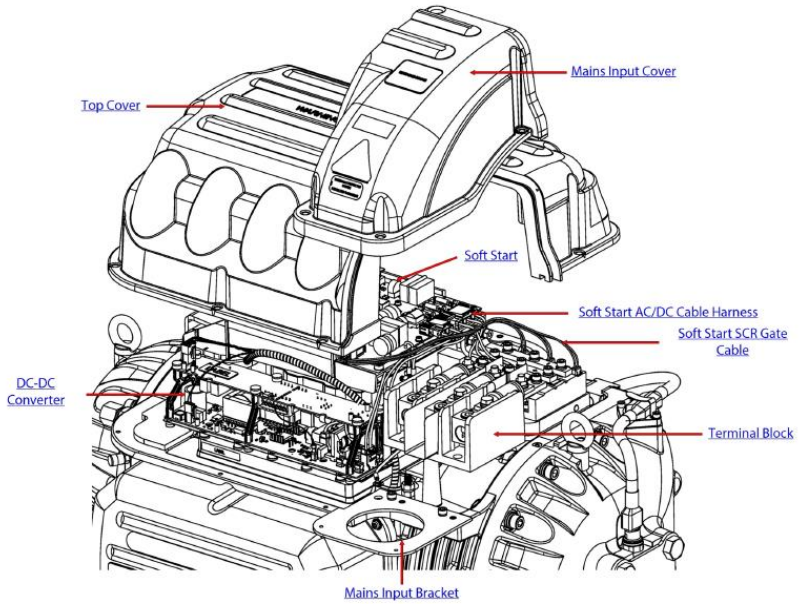
Available for R134a and R600a
Available in the voltages 115V and 220V
Available in frequencies of 50Hz and 60Hz

W kompresorze liniowym zastosowano napęd bezpośrednio poruszający tłok. Zmniejsza to liczbę elementów mogących powodować drgania i hałas.

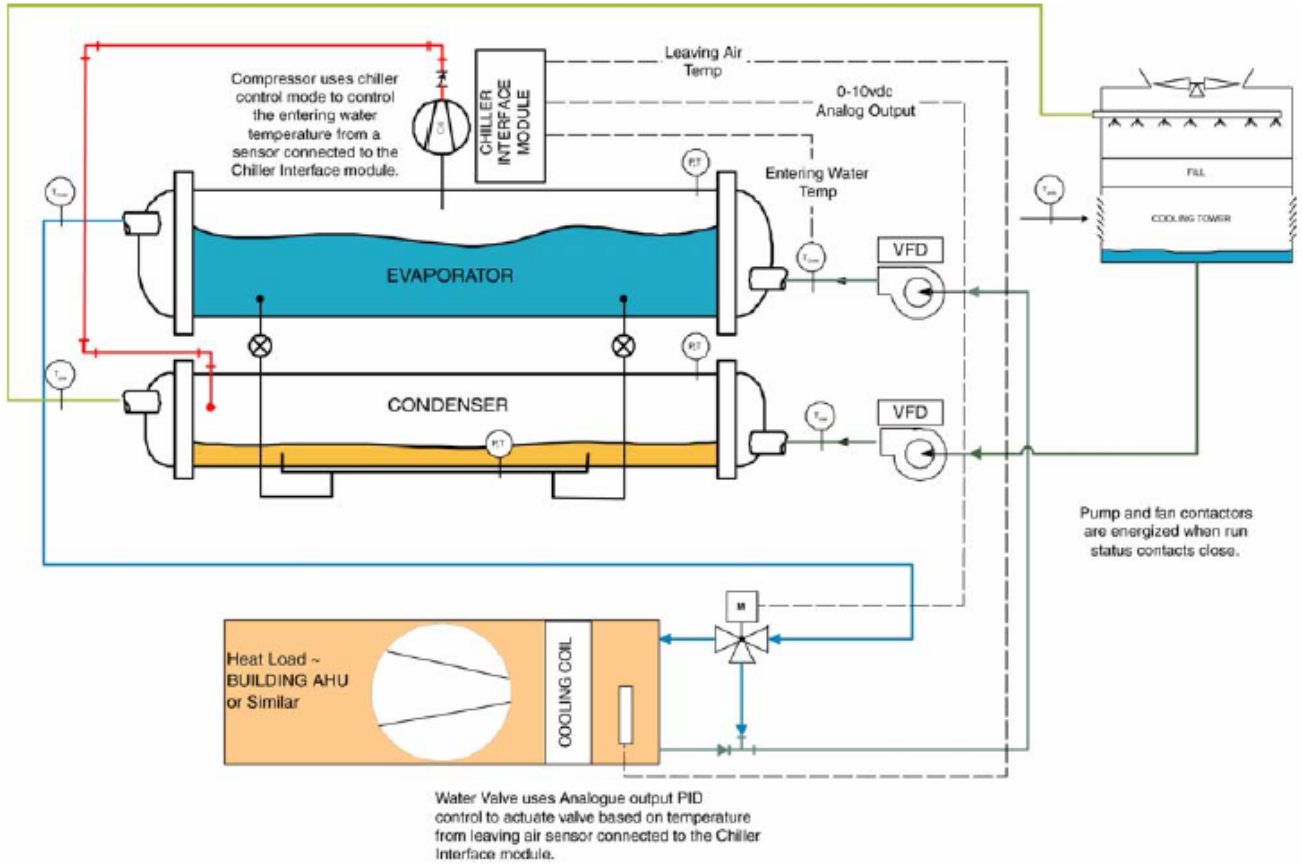
Kompresor liniowy umożliwia płynną regulację mocy i dostosowanie jej do aktualnych potrzeb. Gdy temperatura we wnętrzu lodówki wzrośnie nieznacznie kompresor nie zaczyna pracy z maksymalną mocą, a jedynie taką, która wystarczy do utrzymania odpowiedniej temperatury. **Zmniejsza to zużycie prądu i jednocześnie eliminuje charakterystyczne dla klasycznych kompresorów głośne momenty włączenia i wyłączenia sprężarki.** Po włączeniu się tradycyjnie stosowanego w lodówkach kompresora może dochodzić do znacznego spadku temperatury i przemrażania żywności. Płynna praca kompresora liniowego eliminuje wahania temperatur, co znacznie wydłuża świeżość przechowywanych produktów.

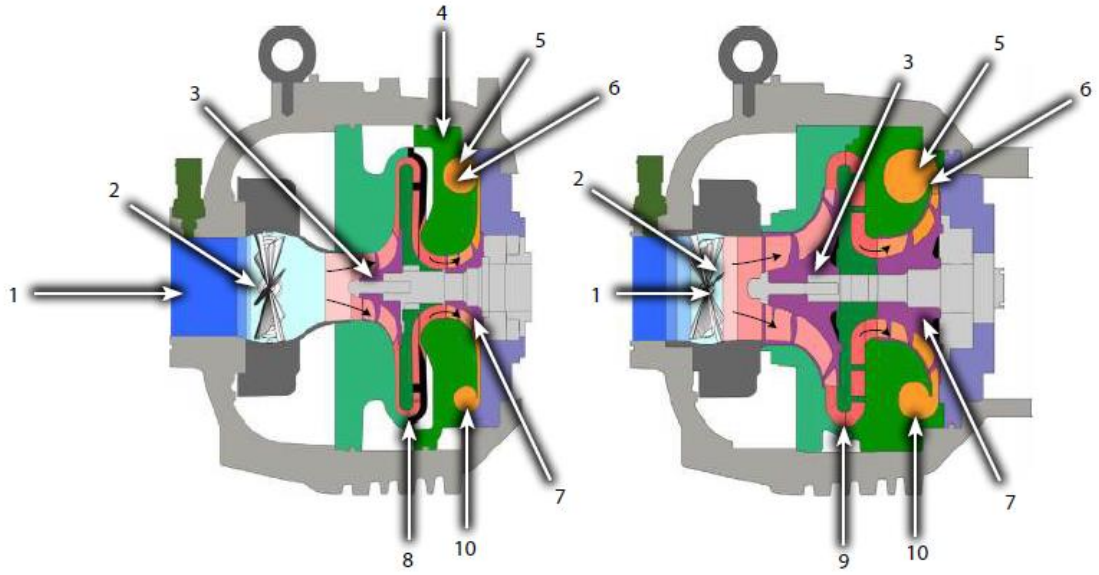
-Sprężarka **bezolejowa** Turbocor, magnetyczna
https://www.youtube.com/watch?v=g7I1H_uS55s

Sprężarka bezolejowa Danfoss Turbocor posiada magnesy, które powodują lewitowanie wału sprężarki. Na wale znajdują się wirniki, które sprężają czynnik chłodniczy. Prędkość obrotowa wału jest regulowana i może wynosić nawet 40tys obrotów/min. Na sprężarce zabudowana jest zaawansowana energoelektronika sterująca, zabezpieczająca sprężarkę. Energoelektronika jest chłodzona czynnikiem chłodniczym.
Zastosowane rozwiązanie techniczne powoduje, że sprężarka zużywa najmniej energii elektrycznej w przeliczeniu na 1kW wydajności chłodniczej. Sprężarka występuje w kilku rodzajach, wielkościach. Wydajności chłodnicze od kilkudziesięciu kW do kilkuset kW



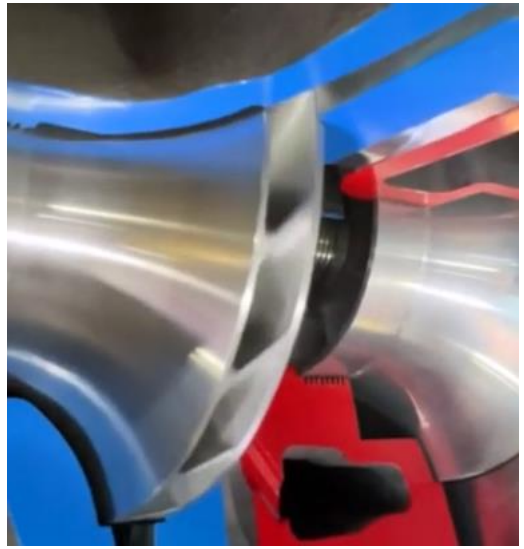
Sprężarka pracuje najczęściej z R134a. Wymaga precyzyjnych zabezpieczeń w tym usytuowania łożysk. W tym celu łożyska kalibruje się.
Sprężarka ma wbudowane rozwiązania sieciowe (MODBUS).
Najczęstsze zastosowanie: chillery (agregaty wody lodowej).

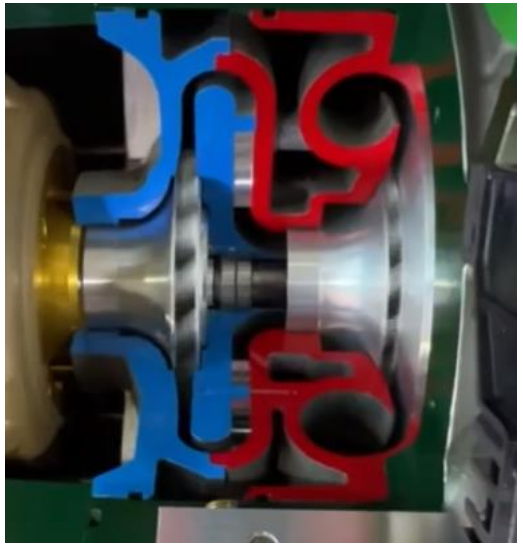




Szczegóły budowy sprężarki promieniowej, bezolejowej, Danfoss Turbocor

1. **niskie ciśnienie, niska temperatura**
2. **IGVs kierownika łopatek wlotowych**
3. **wirnik pierwszego stopnia**
4. **obudowa spiral**
5. **port tloczny**
6. **wysokie ciśnienie, wysoka temperatura**
7. **wirnik drugiego stopnia**
8. **łopatki dyfuzora**
9. **dyfuzor bezłopatkowy**
10. **kanał przepływowy**

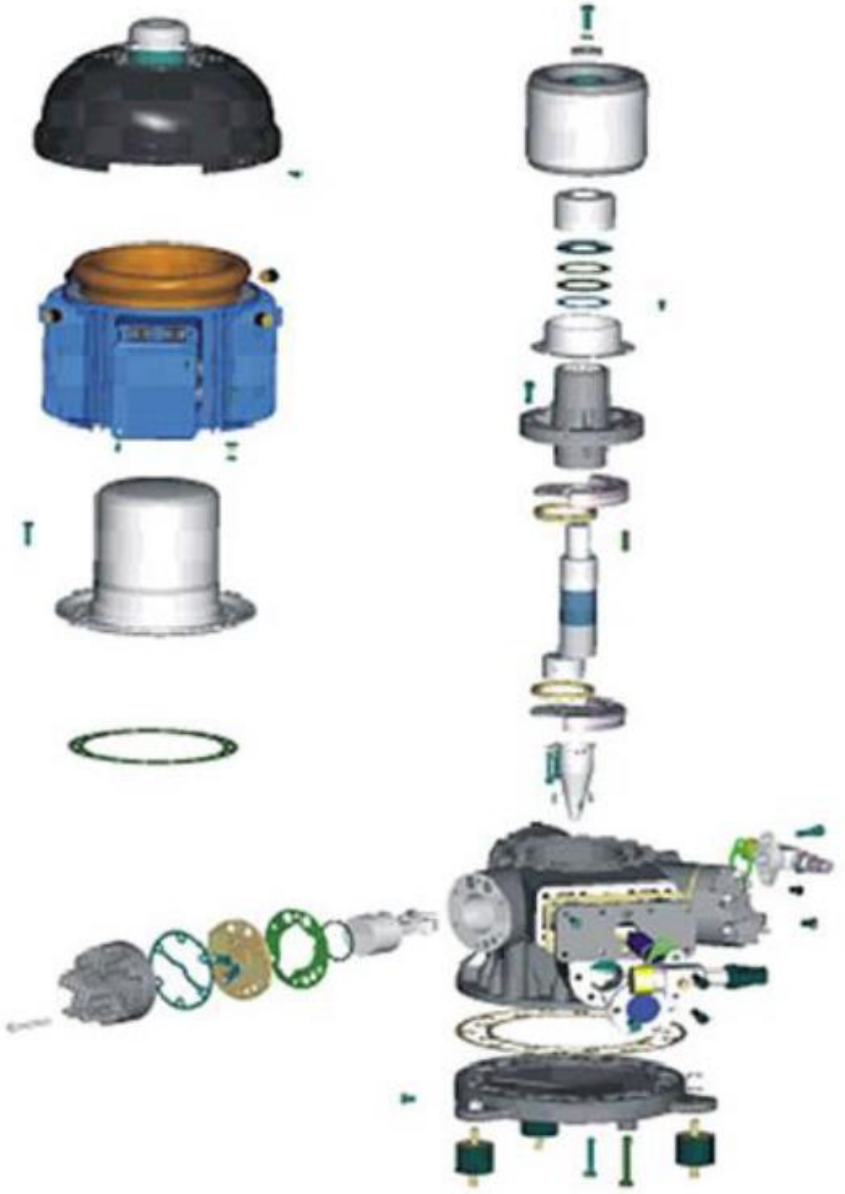




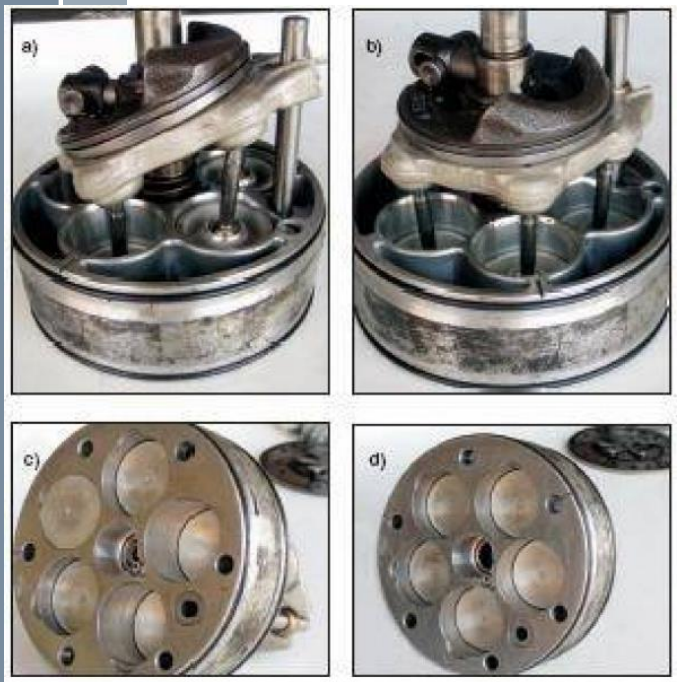
-Sprężarka półhermetyczna z rozdzielonym stojanem

CECHY SPRĘŻARKI

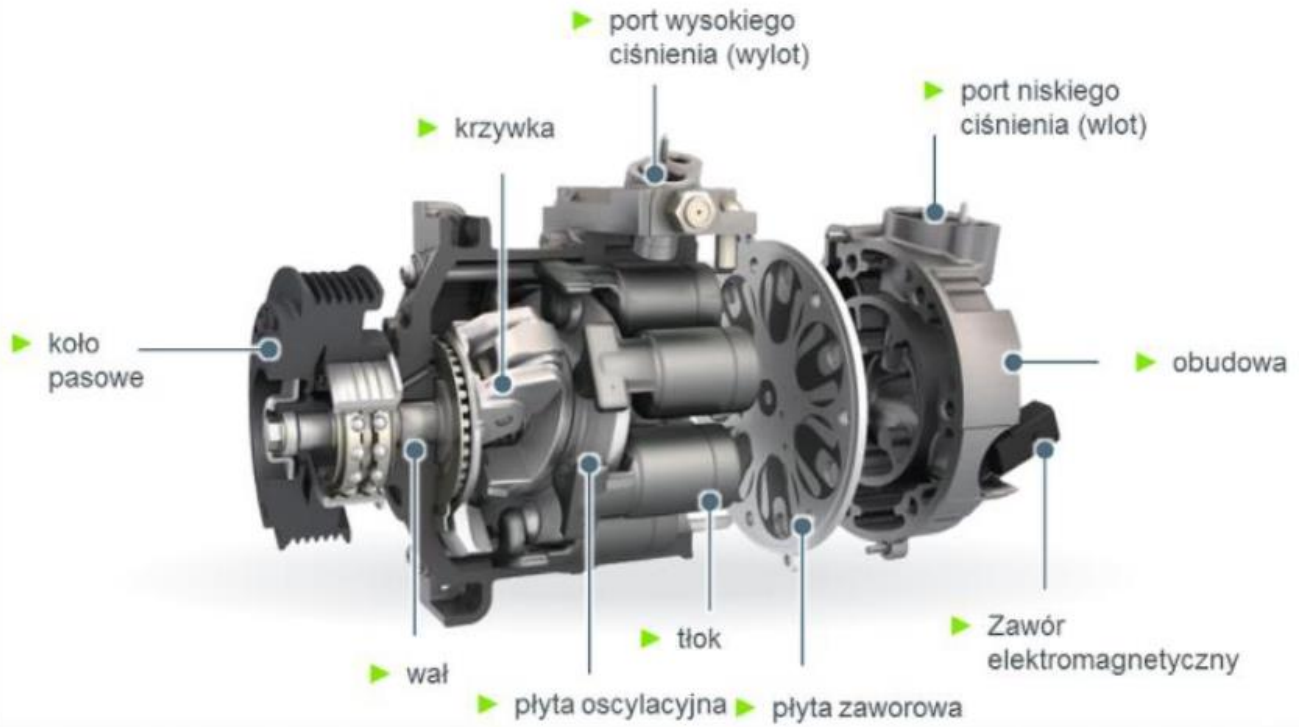
- nadaje się do naturalnych i konwencjonalnych czynników chłodniczych
- oddzielenie stojana od obiegu czynnika chłodniczego
- wydajność: 300W do 50 kW wydajność chłodnicza na sprężarkę
- regulacja częstotliwości 15-75 Hz
- praca niskowibracyjna, a więc przyjazna w zużyciu
- doskonała regulacja wydajności dzięki zmiennej regulacji mocy 20 – 100%
- stojany można łatwo wymienić bez konieczności otwierania obiegu czynnika chłodniczego
- solidna konstrukcja, a co za tym idzie niskie koszty utrzymania
- prosta konstrukcja kompozytowa



-Sprężarka tłokowa z krzywką tarczową



Sprężarka samochodowa



Na powyższym zdjęciu przedstawiono podstawową budowę kompresora tłokowego z krzywką tarczową. Jest to obecnie powszechnie stosowana konstrukcja. Praca kompresorów tłokowych polega na przekształceniu ruchu obrotowego wału na ruch liniowy tłoków. Moment z silnika jest przekazywany na koło pasowe w układzie osprzętu. Kompresor może być wyposażony w tradycyjne sprzęgło lub – tak jak na zdjęciu – w elektromagnetyczny zawór sterujący (to rozwiązanie jest współcześnie znacznie częściej spotykane).

https://www.bitzer.de/websoftware/

Reciprocating Compressors
Semi-Hermetic

Reciprocating Compressors
Semi-Hermetic, 2-Stage

Reciprocating Compressors
Open Drive

Reciprocating Compressors
Open Drive, Transport

Screw Compressors
Semi-Hermetic

Screw Compressors
Open Drive

Screw Compressors
Compact

Scroll Compressors
Hermetic

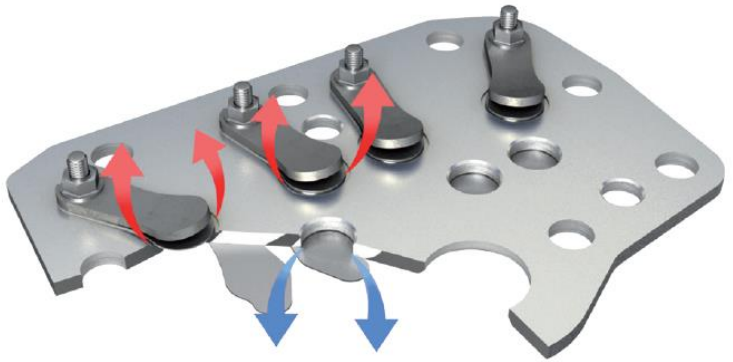
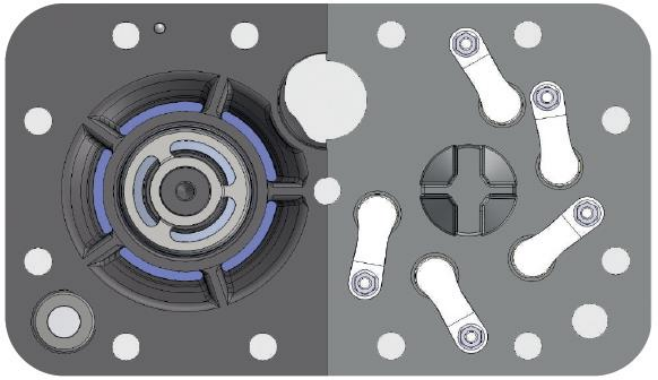
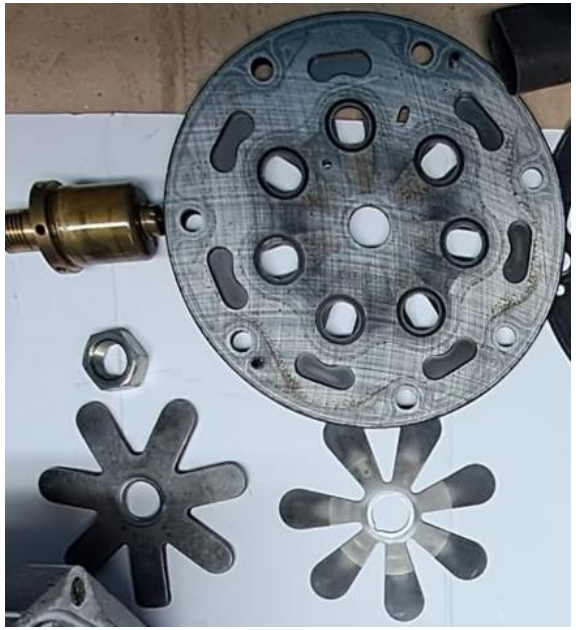
Condensing Units

Condensing Units
2-Stage

Shell and Tube Condensers

Shell and Tube Evaporators

CO2 systems

Refrigerant Report

Wykorzystano materiały: Danfoss, Coolmarket, Frigopol, Turbocor, Bitzer, Bock, Frascold, Mayekawa, Emmerson Copeland, Embraco
Proszę o pytania.
Grzegorz Toczek