

# SPRĘŻARKI ŁOPATKOWE MATTEI

VS.

# SPRĘŻARKI ŚRUBOWE



## WSTĘP



Od lat pięćdziesiątych MATTEI projektuje, rozwija i produkuje rotacyjne sprężarki łopatkowe. Pomimo popularności sprężarek śrubowych, kompresory łopatkowe MATTEI wykazują wiele przewag, które sprawdzają się w wielu branżach przemysłowych i pomogły zbudować obecną olbrzymią bazę wiernych klientów.

- Prosta, kompaktowa konstrukcja zapewnia wysoką odporność nawet w ciężkich warunkach pracy;
- Brak łożysk tocznych eliminuje konieczność wykonywania bardzo drogiego remontu zespołu sprężającego;
- Niezwykle niskie zużycie energii prowadzi do wymiernych oszczędności w zakresie kosztów eksploatacji.

Dzięki tym zaletom MATTEI stało się czołowym graczem w branży kompresorów.

Od wielu dziesięcioleci MATTEI zwiększa wydatki na badania i rozwój, wykorzystując potencjał swojej zastrzeżonej technologii. W ostatnich latach zarówno optymalizacja geometryczna rotora, statora i łopatek<sup>2</sup>, jak i wprowadzenie chłodzenia wtryskiwaczy oleju<sup>3</sup>, doprowadziły do dalszego obniżenia energii specyficznej rzędu 8% w porównaniu z najnowocześniejszymi sprężarkami. Prace nad rozwojem technologii łopatkowej umożliwiły MATTEI daleko idącą dywersyfikację, a co za tym możliwość dostosowania rozwiązań dla różnych sektorów rynku.

Zgodnie z ostatnimi europejskimi badaniami wspieranymi przez PNEUROP<sup>1</sup>, MATTEI oferuje najlepszą sprawność energetyczną w całej gamie sprężarek przemysłowych w porównaniu z jakimkolwiek innym światowym producentem. Gdyby wszyscy producenci sprężarek śrubowych osiągnęli podobną sprawność energetyczną w swoich konstrukcjach jak sprężarki łopatkowe MATTEI, wówczas potencjalna oszczędność energii na poziomie europejskim mogłaby wynieść nawet 3,5 TWh.



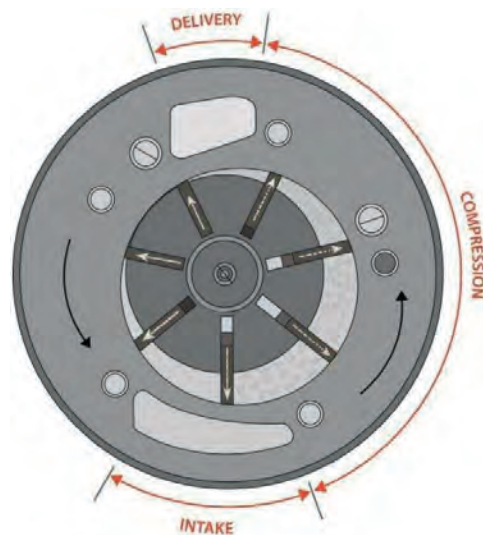
## ZASADA DZIAŁANIA ROTACYJNYCH SPRĘŻAREK ŁOPATKOWYCH

Wszystkie elementy zespołu sprężającego (zespół rotor-stator) sprężarki łopatkowej MATTEI są wytwarzane z zastrzeżonego prawnie wysokogatunkowego żeliwa. Pozwala to uniknąć problemów związanych ze zjawiskiem rozszerzalności cieplnej, zachowując sprawność w całym zakresie temperatur roboczych. Zespół sprężający składa się z niecentrycznie umieszczonego, obracającego się w statorze rotora. Zespół sprężający jest uszczelniony dwiema pokrywami bocznymi, w których znajdują się dwa łożyska ślizgowe (panewki) wykonane z białego metalu. Rotor posiada wyfrezowane wzdłużnie szczeliny w których swobodnie poruszają się łopatki. Rotor jest na ogół napędzany za pośrednictwem bezpośredniego sprzęgła przy standardowej prędkości silnika elektrycznego ok. 1500 obr./min. Łopatki poprzez film olejowy mają szczelny kontakt z wew. powierzchnią statora, tworząc komorę sprężania. Powietrze jest zasysane wzdłuż statora w punkcie maksymalnej objętości. Objętość ta jest stopniowo zmniejszana (zwiększenie ciśnienia) podczas obrotu rotora. Gdy komora sprężania pomiędzy rotorem, statorom i dwiema sąsiadującymi łopatkami znajduje się w najmniejszym punkcie objętości, sprężone powietrze opuszcza zespół sprężający w punkcie najwyższego ciśnienia [Rys. 1] [Rys. 2].



Rys. 1

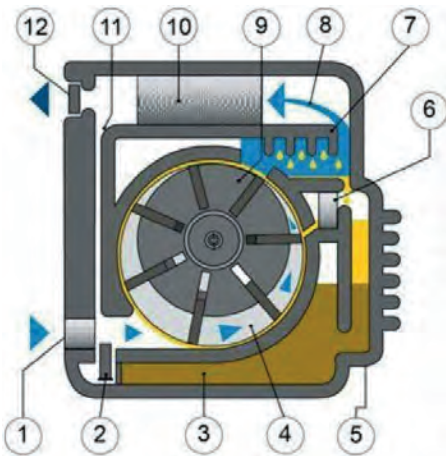
Gdy rotor obraca się, siła odśrodkowa dociska łopatkę poprzez film olejowy do wew. ściany statora, tworząc szczelną komorę powietrzną pomiędzy rotorem, statorom i dwiema sąsiadującymi łopatkami.



Rys. 2

Objętość między łopatkami zwiększa się podczas cyklu ssania i zmniejsza się podczas cyklu sprężania.

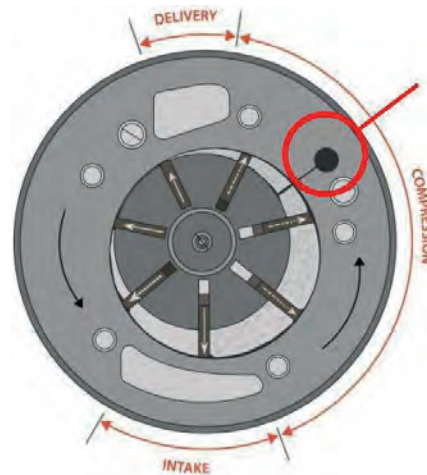
Jako pompa oleju wykorzystywana jest wewnętrzna różnica ciśnień powietrza. Olej przemieszcza się wewnątrz sprężarki wraz ze sprężonym powietrzem [rys. 3, punkt 3] do chłodnicy [rys. 3, punkt 5], poprzez filtr [rys. 3, punkt 6] do zespołu sprężającego, aby uszczelnić i smarować wszystkie ruchome elementy. Olej jest również wtryskiwany bezpośrednio do komory sprężania. Ciepło wytworzone podczas procesu sprężania jest odbierane przez olej [rys. 4]. Temperatura obniżana jest w chłodnicy oleju, a następnie olej jest kierowany do zbiornika. Mieszanka powietrzno- olejowa opuszczająca komorę sprężania przechodzi przez labiryntowy, dwustopniowy system separacji [rys. 3, punkt 7], który usuwa 99,9% zawartości oleju w sprężonym powietrzu, zanim przejdzie przez końcowy filtr koalescencyjny [rys. 3, punkt 10], zmniejszający zawartość oleju do wartości <3 ppm. Cały system separacji oleju znajduje się wewnątrz sprężarki i nie posiada rur zewnętrznych. Wbudowany zawór samomodulacyjny, reguluje ilość zasysanego powietrza dostosowując jego ilość do zapotrzebowania systemu sprężonego powietrza [rys. 3, punkt 2].



Rys. 3

Główne elementy sprężarki łopatkowej MATTEI

- |                            |                                      |
|----------------------------|--------------------------------------|
| 1. Filtr wlotowy powietrza | 8. powietrzno-olejowa                |
| 2. Zawór wlotowy           | 9. Sprężone powietrze                |
| 3. Komora olejowa          | 10. Rotor                            |
| 4. Komora sprężania        | 11. Separacja końcowa                |
| 5. Chłodnica oleju         | 12. Zawór zwrotny oleju              |
| 6. Filtr oleju             | 13. Zawór zwrotny niskiego ciśnienia |
| 7. Wstępna separacja       |                                      |



Rys. 4

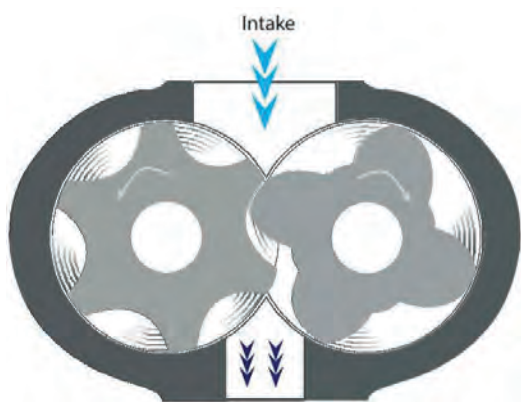
Olej wtryskiwany do statora smaruje ruchome części i odbiera ciepło powstające w procesie sprężania. Wszystkie luzy robocze (końce rotora i końcówki łopatek) są całkowicie uszczelnione olejem, który zapobiega przedostawaniu się sprężonego powietrza ze strefy wysokiego do strefy niskiego ciśnienia.

## ZASADA DZIAŁANIA SPRĘŻAREK ŚRUBOWYCH

Zespół sprężający sprężarki śrubowej składa się z dwóch zazębiających się spiralnych rotorów. Wały rotorów są osadzone z wykorzystaniem łożysk wałeczkowych i oporowych. Jeden z rotorów napędza drugi za pośrednictwem profili śrubowych. Podczas obrotu profile śrubowe odsłaniają otwór wlotowy na jednym końcu statora, przez który powietrze wchodzi i wypełnia przestrzeń pomiędzy profilami. Profile śrubowe zachodzą na siebie i stopniowo zmniejszają objętość komory powietrznej pomiędzy nimi, sprężając w ten sposób powietrze.

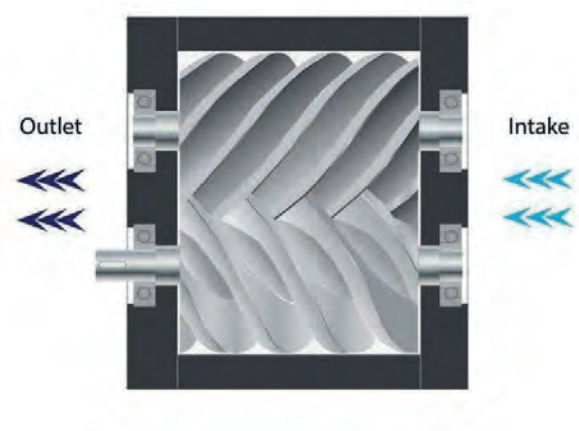
Olej jest wtryskiwany w celu uszczelnienia, smarowania i odprowadzania ciepła ze sprężonego powietrza. Po schłodzeniu olej jest doprowadzany do zbiornika. Sprężone powietrze wychodzące z zespołu śrubowego jest filtrowane z oleju przez filtr koalescencyjny.

Sprężarka sterowana jest za pomocą przesostatu w układzie nastaw maksymalnego i minimalnego ciśnienia. [Rys. 5], [Rys. 6].



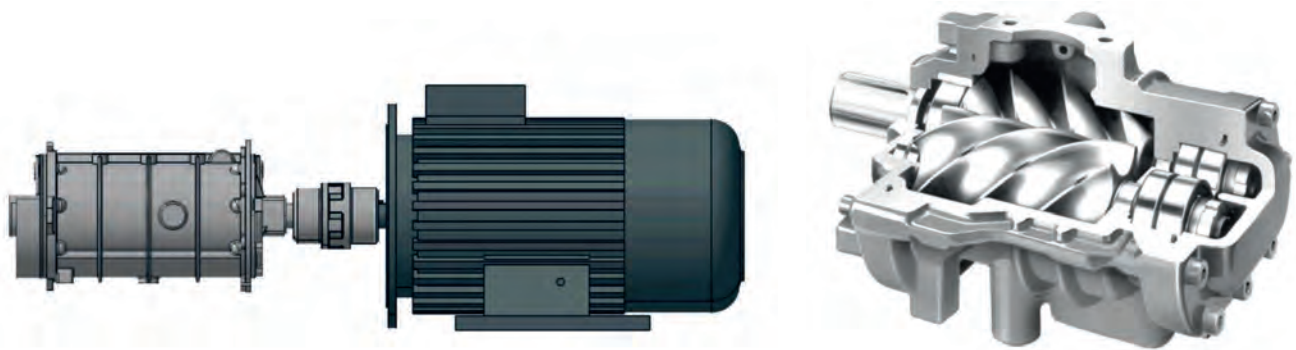
Rys. 5

Rotory śrubowe zamontowane są w statorze składającym się z dwóch wzdłużnych cylindrów, w którym jeden z rotorów napędza drugi. W celu zmniejszenia strat energii rotory muszą być spasowane z maksymalną precyzją.



Rys. 6

Otwory wlotowe i wylotowe znajdują się na przeciwnych końcach stopnia sprężającego w kierunku osiowym, co powoduje powstanie niezrównoważonego rozkładu ciśnienia wzdłuż długości zespołu sprężającego.



## ZASADNICZE RÓŻNICE KONSTRUKCYJNE

Rotacyjna sprężarka łopatkowa MATTEI charakteryzuje się zintegrowaną konstrukcją. Napęd z silnika elektrycznego jest przenoszony za pomocą sprzęgła bezpośredniego. Bezpośrednie przeniesienie napędu praktycznie eliminuje straty energii wynikające z tarcia. W zintegrowanej konstrukcji sprężarek łopatkowych MATTEI wszystkie podzespoły znajdują się w lekkiej, aluminiowej obudowie. Celem zapewnienia efektywnej pracy zespół sprężający sprężarki śrubowej wymaga zastosowania zarówno łożysk walczkowych (umiejscowienie i podparcie rotora), jak i łożysk oporowych (do przenoszenia niszczących sił osiowych i wzdłużnych). Sprężarki łopatkowe MATTEI nie są wyposażone w łożyska toczne. W sprężarkach łopatkowych pojedynczy rotor jest osadzony w dwóch stale smarowanych panewkach, które nigdy nie wymagają wymiany. Ponieważ panewki i łopatki nie ulegają zużyciu, nie występuje zjawisko obniżenia wydajności w czasie eksploatacji sprężarki MATTEI.

Wysokie prędkości obrotowe śrubowych zespołów sprężających skutkują wysokim poziomem hałasu, dużymi naprężeniami i wysokim zużyciem powierzchni łożysk i profili śrubowych. Dlatego łożyska w przemysłowych sprężarkach śrubowych muszą być wymieniane od 20.000÷30.000 godzin pracy tzw. generalny remont stopnia sprężającego sprężarki śrubowej. W przypadku nie przeprowadzenia remontu stopnia sprężającego, rotory śrubowe mogą się ze sobą zetknąć, co może doprowadzić do całkowitego zniszczenia stopnia sprężającego. Ponadto w miarę zużywania się łożysk zwiększa się skala zjawiska „efektu wentyla” przyczyniając się do znaczącego zmniejszenia wydajności i sprawności energetycznej sprężarki śrubowej. Charakterystyczną cechą sprężarek śrubowych jest ich „zdezintegrowana” konstrukcja.

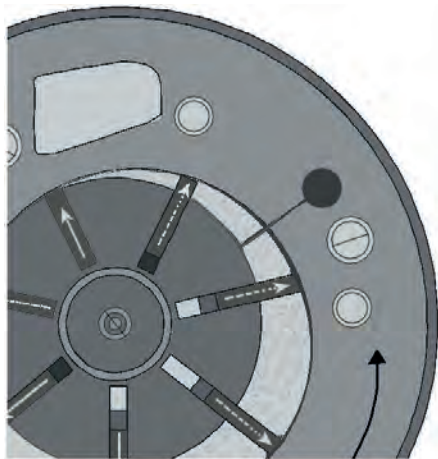
Najważniejsze podzespoły takie jak silnik elektryczny, przekładnie pasowe, śrubowy zespół sprężający, blok zaworowy, zbiornik separatora, filtr koalescencyjny, chłodnica oleju są połączone ze sobą przewodami powietrznymi lub olejowymi.

W takiej konstrukcji występuje duża ilość elastycznych połączeń, a co za tym idzie wiele potencjalnych miejsc nieszczelności i punktów wycieku oleju. Efektem jest wielokrotniona możliwość wystąpienia awarii oraz wydłużenie czasu ich lokalizacji i naprawy.

## SZCZELNOŚĆ ŁOPATKOWEGO ZESPOŁU SPRĘŻAJĄCEGO

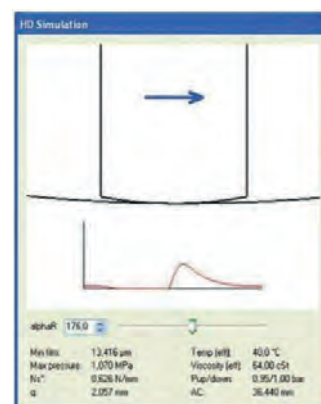
W sprężarkach łopatkowych łopatki są zawsze w kontakcie z filmem olejowym powstałym na wewnętrznej powierzchni statora. Dzięki temu łopatki i wewnętrzna ściana statora nigdy nie mają bezpośredniego kontaktu zapewniając szczelność przestrzeni pomiędzy nimi. Na krawędzi natarcia łopatki znajduje się klin olejowy. Precyzyjnie dopasowany promień wierzchołków łopatek zapewnia przyleganie oleju do elementu ślizgowego i powierzchni statora, zwiększając ciśnienie oleju i tworząc tym samym hydrodynamiczny film olejowy pomiędzy obiema powierzchniami. Wzrost lepkości oleju, który następuje w wyniku wyższego ciśnienia, uniemożliwia przerwanie filmu olejowego pomiędzy sąsiadującymi powierzchniami, zachowując stałą w czasie warstwę. W ten sposób olej pełni funkcję uszczelnienia [Rys. 7].

Aby zapewnić idealne smarowanie hydrodynamiczne, należy dobrać określony promień profilu łopatki dla każdego rozmiaru statora i ciśnienia. W tym celu MATTEI opracował symulator grubości filmu olejowego, aby wyznaczać jego grubość dla dowolnych warunków pracy [Rys. 8].



Rys. 7

Łopatki swobodnie poruszają się w szczelinach rotora, szczelnie przylegając do wewnętrznej ściany statora za pośrednictwem filmu olejowego. Wydajność i sprawność sprężarek łopatkowych nie pogarszają się nawet po wielu tysiącach godzin pracy.

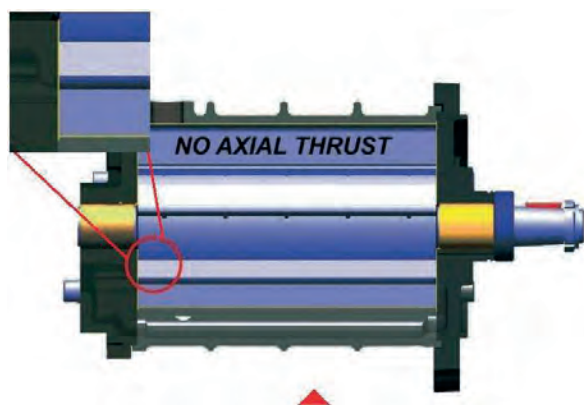


Rys. 8

Symulator grubości filmu olejowego MATTEI. Służy do obliczania idealnego promienia profilu łopatki dla dowolnego rozmiaru statora i ciśnienia.

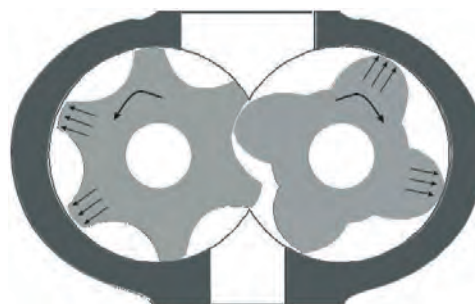
Miejszem potencjalnej nieszczelności są pokrywy boczne zespołu sprężającego. W sprężarce łopatkowej nie występuje nacisk osiowy rotora w kierunku pokryw końcowych. Dlatego nie ma potrzeby kontrolowania jego położenia osiowego za pomocą łożysk wałeczkowych w tym w szczególności łożysk oporowych. Rotor łopatkowy swobodnie porusza się osiowo i jest utrzymywany w równych odstępach od pokryw końcowych za pomocą oleju. Olej jest wtryskiwany poprzez różnicę ciśnień przez dedykowane otwory wtryskowe w pokrywach końcowych i zapobiega w ten sposób kontaktowi ruchomych elementów metalowych zapewniając jednocześnie skuteczne uszczelnienie [Rys. 9].

W sprężarce śrubowej musi być zachowany minimalny luz pomiędzy zewnętrznym profilem rotorów, a wewnętrzną powierzchnią statora, aby umożliwić obracanie się rotorów bez dotykania powierzchni statora. Przy projektowaniu luzów technologicznych należy wziąć pod uwagę efekt rozszerzalności cieplnej rotorów w temperaturach roboczych. W rezultacie luzy technologiczne są bardzo zbliżone. W miarę zużywania się łożysk tocznych rotory zbliżają się do statora, a uszczelnienie olejowe staje się coraz mniej skuteczne. Prowadzi to do utraty pewnej ilości sprężonego powietrza z obszaru wysokiego ciśnienia w wyniku powrotu do obszaru niskiego ciśnienia. Zjawisko to zwane „efektem „wentyla” można tylko ograniczyć, ale nigdy nie wyeliminować. [Rys. 10].



Rys. 9

W rotacyjnej sprężarce łopatkowej nie występuje nacisk osiowy. Rotor swobodnie porusza się osiowo i jest utrzymywany w równych odstępach od pokryw bocznych za pomocą wtryskiwanego pod ciśnieniem oleju. Olej zapobiega przedostawaniu się sprężonego powietrza wzdłuż płaszczyzn pokryw bocznych.



Rys. 10

Zużycie łożysk wałeczkowych lub stożkowych powoduje promieniowe dociskanie rotorów do przeciwległych ścian statora.

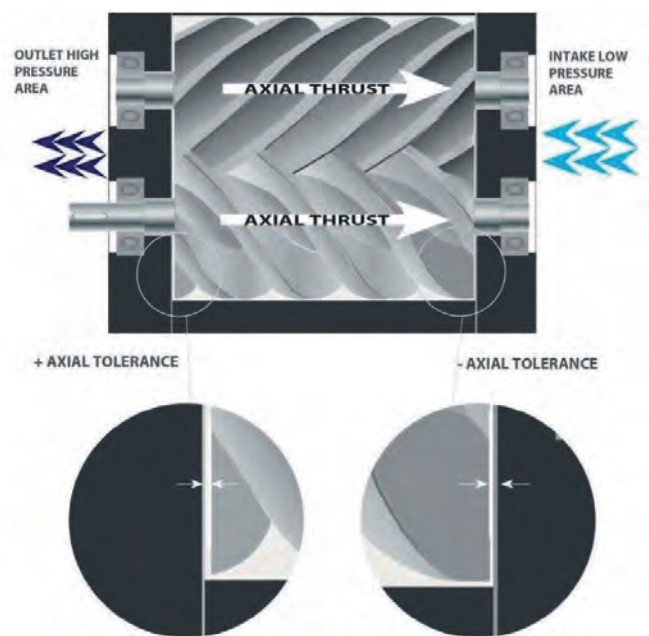
Ze względu na charakterystykę procesu sprężania powietrza w sprężarce śrubowej występuje nacisk osiowy rotorów, zmniejszający luz boczny po stronie wlotowej jednocześnie zwiększając go po stronie wysokiego ciśnienia, gdzie uszczelnienie ma największe znaczenie. Nacisk boczny przenoszony jest poprzez łożyska oporowe, zapobiegające stykaniu się rotorów z powierzchnią pokrywy końcowej. Skuteczność uszczelnienia jest zależna od jakości, wytrzymałości i dokładności pasowań łożysk oporowych, a także dokładności obróbki i zużycia sprzęgła. W rezultacie uszczelnienie będzie się pogarszać wraz ze wzrostem zużycia łożysk oporowych, a także może prowadzić do awarii w wyniku zetknięcia rotorów z pokrywą od strony wlotowej [Rys. 11].



Dokładność pasowania rotorów śrubowych odgrywa kluczową rolę w niezawodności, wydajności i sprawności energetycznej sprężarki śrubowej. Proces pasowania jest operacją trudną i czasochłonną ale niezbędną celem zmniejszania luzu technologicznego pomiędzy rotorami. Skutki niewspółosiowości, różnicy ciśnień występujących wzdłuż rotora, skutków działania sił ze strony przekładni oraz w wyniku oddziaływania na siebie rotorów prowadzą do negatywnych efektów takich jak tarcie, odgłosy wadliwej pracy i związane z nimi zniekształcenia powierzchni roboczych. Wykazano, że nawet niewielkie zmiany w rozkładzie luzów, a co za tym idzie precyzji pasowań mają duży wpływ na niezawodność<sup>6</sup>.

Nawet pomimo prawidłowego spasowania rotorów, precyzja i wydajność sprężarki jest funkcją jakości i trwałości łożysk tocznych. Konstrukcja sprężarki śrubowej zakłada istnienie przestrzeni utraty sprężonego powietrza ze strefy wysokiego do niskiego ciśnienia między zazębionymi rotorami, znanej jako „efekt wentyla”.

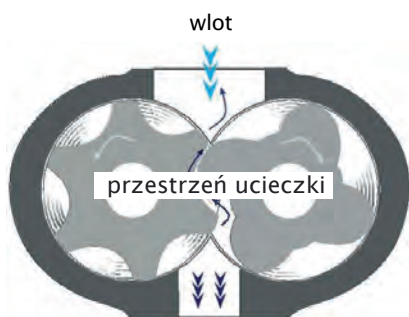
„Efekt wentyla” przyczyniający się do strat energetycznych można jedynie częściowo zmniejszyć ale nigdy nie wyeliminować.



Rys. 10

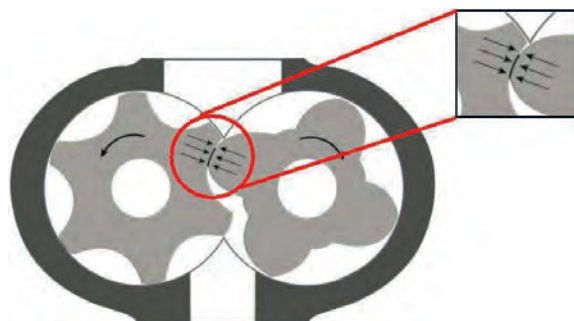
Sprężone powietrze wytwarza nacisk osiowy, który zmniejsza prześwit po stronie wlotowej i zwiększa prześwit po stronie wysokiego ciśnienia, gdzie szczelność ma największe znaczenie.

Od pierwszych godzin pracy sprężarki śrubowej parametry łożysk ulegają ciągłemu, stopniowemu pogorszeniu. Tym samym fabryczne tolerancje pasowań rotorów śrubowych przestają być zachowywane w coraz większym stopniu. W efekcie przestrzeń ucieczki sprężonego powietrza zaczyna się powiększać. Z czasem również obszar styku rotorów będzie się zwiększać, prowadząc do wzrostu temperatury na skutek tarcia, a w konsekwencji do zużywania się powierzchni rotorów, zwiększenia natężenia sił działających w obszarze styku i ostatecznie zatarcia rotorów<sup>7</sup> [Rys. 12], [Rys. 13].



Rys. 12

„Efekt wentyla” w sprężarce śrubowej występuje w miejscu, w którym zewnętrzne profile rotorów spotykają się na przecięciu cylindrów, w których się obracają. Sprężone powietrze wraca do strefy niższego ciśnienia przez tę przestrzeń.



Rys. 13

W sprężarkach śrubowych dochodzi do tarcia pomiędzy rotorami na styku współpracujących ze sobą powierzchni w wyniku ciągłego nacisku rotora męskiego na rotor żeński. Zużywanie się łożysk prowadzi do wzrostu sił nacisku rotora. Siła ta może wzrosnąć do poziomu, w którym przerwany zostanie film olejowy doprowadzając do zatarcia rotorów.

# WYTRZYMAŁOŚĆ, NIEZAWODNOŚĆ I WYDAJNOŚĆ SPRĘŻARKI ŁOPATKOWEJ W CZASIE

Działanie stopnia sprężającego MATTEI jest oparte na zasadzie samoregulacji i samobalansu ciśnień. Rotor osadzony jest w dwóch panewkach i napędzany przez podatne sprzęgło elastyczne. Na pracę łopatkowego zespołu sprężającego znacznie mniejszy niż w przypadku sprężarek śrubowych wpływ mają zewnętrzne wibracje, temperatura i warunki środowiskowe. Udowodniono, że żywotność przemysłowych łopatkowych sprężarek MATTEI znacznie przekracza 200.000 godzin.

Ponadto nie następuje pogorszenie wydajności w okresie eksploatacji sprężarki. Wydajność i żywotność sprężarki śrubowej jest uzależniona od zachowania precyzji pasowań i trwałości łożysk. Zespół sprężający sprężarki śrubowej wymaga remontu głównego zawierającego m.in. wymianę łożysk między 20.000÷30.000 godzin pracy. łożyska muszą być montowane w czystym, chłodnym, stabilnym środowisku. W przypadku nie zachowania tych warunków żywotność łożysk może ulec skróceniu nawet do 10.000÷12.000 godzin.

## PLANY SERWISOWE

Podobnie jak w przypadku sprężarek śrubowych, materiały eksploatacyjne, takie jak oleje, filtry i separatory, muszą być regularnie wymieniane, aby zachować wysoką sprawność sprężarki łopatkowej. W celu optymalizacji kosztów serwisu MATTEI oferuje różne zestawy serwisowe dostosowane do różnych warunków użytkowania sprężarki. Zestawy serwisowe MATTEI zawierają wszystkie niezbędne części w ramach jednego numeru katalogowego. MATTEI oferuje specjalnie opracowane oleje, które wytrzymują trudne warunki, są nietoksyczne i biodegradowalne.

## GWARANCJA

Ze względu na opisane wcześniej cechy konstrukcyjne MATTEI oferuje możliwość przedłużenia gwarancji na sprężarki. Sprężarka śrubowa w okresie 10 lat pracy wymaga jednego lub dwóch bardzo kosztownych remontów głównych. Z tego względu jest mało prawdopodobne, aby jakikolwiek producent sprężarek śrubowych był skłonny zaoferować tak długą gwarancję bez konieczności przeprowadzenia remontu/-ów stopnia sprężającego w odróżnieniu od łopatkowych sprężarek MATTEI.

## PODSUMOWANIE

Tabela podkreślająca różnice pomiędzy sprężarkami łopatkowymi MATTEI, a typowymi sprężarkami śrubowymi.

CECHY TECHNICZNE	SPRĘŻARKA ŁOPATKOWA MATTEI	TYPOWA SPRĘŻARKA ŚRUBOWA
Zintegrowana konstrukcja	TAK	NIE
Prędkość min. zespołu sprężającego	900 obr. / min	1.500 obr. / min
Prędkość max. zespołu sprężającego	2.950 obr. / min	9.000 obr. / min
Straty energetyczne będące skutkiem „efektu wentyla”	NIE	TAK
Samouszczelnienie	TAK	NIE
łożyska toczne	NIE	TAK
łożyska oporowe	NIE	TAK
Panewki	TAK	NIE
Remont główny zespołu sprężającego - STANDARD	NIE	TAK
Utrata wydajności w czasie	NIE	TAK
Odporność na ciężkie warunki pracy	DUŻA	MAŁA

## PEWNOŚĆ I ODPOWIEDZIALNOŚĆ

ING MATTEI Enea S.p.A. projektuje i produkuje sprężarki od ponad 100 lat, a technologię łopatkową rozwija od lat pięćdziesiątych XX wieku. Wszystkie stopnie sprężające są projektowane i wykonywane w fabryce wyposażonej w najnowocześniejsze technologie w Mediolanie we Włoszech. Wszystkie wyprodukowane zespoły sprężające poddawane są szczegółowym komputerowym analizom w celu wyeliminowania najmniejszych niedoskonałości.

## BIBLIOGRAFIA

1. PNEUROP, European Association of manufacturers of compressors, vacuum pumps, pneumatic – See documents on: <http://www.eco-compressors.eu/>
2. Energy Optimisation in Air Compression – Theoretical and Experimental research activity on Sliding Vane Rotary Compressors – Roberto Cipollone • Giulio Contaldi • Davide Di Battista • Giuseppe Bianchi • Andrea Capoferri • Stefano Murgia – Motor Driven Systems Conference, Solihull (UK); 11/2011
3. Development of an internal air cooling sprayed oil injection technique for the energy saving in sliding vane rotary compressors through theoretical and experimental methodologies – Giuseppe Bianchi, Roberto Cipollone, Stefano Murgia, Giulio Contaldi – INTERNATIONAL JOURNAL OF REFRIGERATION 52:11–20 · JANUARY 2015
4. Informer – The customer magazine for rail vehicle systems Knorr Bremse – Edition 31 – December 2011
5. Increasing demands for more efficient screw compressors require that compressor designs are tailored upon their duty .N Stosic, Ian K Smith, A Kovacevic, Centre for Positive Displacement Compressor Technology
6. Inspection of screw compressor rotors for the prediction of performance, reliability and noise – Christopher Holmes – International Compressor Engineering Conference – 2004
7. Geometry of screw compressors rotors and their tools - Nikola Stosic, Ian K Smith, Ahmed Kovacevic and Elvedin Mujic – Centre for Positive Displacement Compressors City University London, Northampton.