

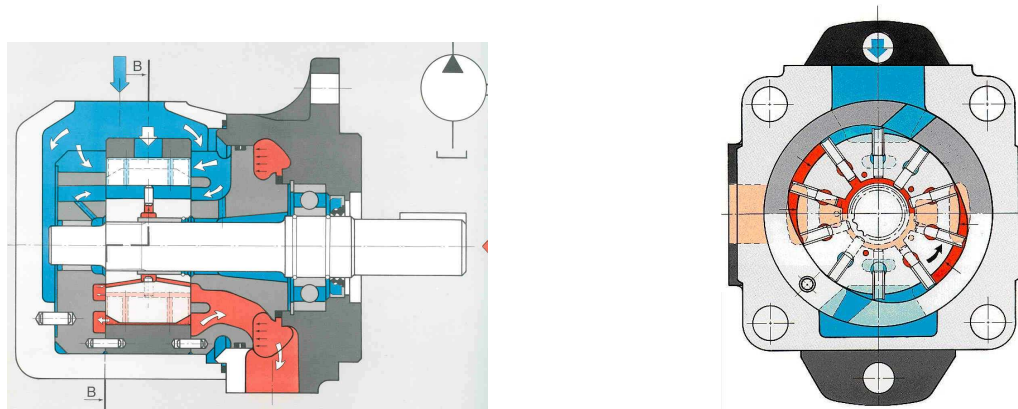
## Uszkodzenia pomp łopatkowych spowodowane błędami eksploatacyjnymi

### Wprowadzenie

Pompy łopatkowe w układach hydraulicznych wielu urządzeń i maszyn są narażone na uszkodzenia powstałe w wyniku ich nieprawidłowej eksploatacji. Podstawową cechą konstrukcyjną pomp łopatkowych DENISON jest ich hydrostatyczne zrównoważenie. Wszystkie powierzchnie robocze pompy podczas pracy są oddzielone warstwą oleju, co zmniejsza ich zużycie pod wpływem wzajemnego tarcia. W pompach łopatkowych, inaczej niż w pompach tłokowych, nie można określić trwałości łożyska wału, ponieważ nie występuje tu działanie sił promieniowych lub osiowych. Można jednak, dysponując odpowiednią wiedzą i doświadczeniem, na podstawie obrazu uszkodzeń poszczególnych elementów, z dużym prawdopodobieństwem określić przyczynę awarii.

### Konstrukcja pomp łopatkowych

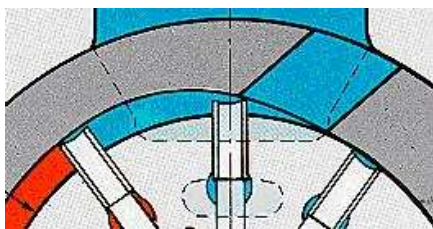
Do opisu konstrukcji i zasady działania pomp łopatkowych posłużono się w niniejszym opracowaniu przykładem pomp serii T6 i T7, produkowanych przez firmę DENISON Hydraulics (grupa hydrauliki Parker Hannifin).



Rys. 1. Przekrój pompy łopatkowej (cut of a vane pump)

Uzyskanie promieniowego hydrostatycznego zrównoważenia pompy wymagało podzielenia jej na dwie strefy wysokiego ciśnienia rozmieszczone symetrycznie (rys. 1). Przestrzeń pomiędzy wewnętrzną stroną pierścienia krzywkowego a zewnętrzną stroną wirnika, osiowo ograniczona płytami bocznymi, jest najczęściej podzielona łopatkami na 10 lub 12 komór. Łopatki obiegając pierścień krzywkowy powodują, że objętości komór zwiększają i zmniejszają się cyklicznie, a konsekwencji dochodzi do zasysania i tłoczenia czynnika roboczego. Powierzchnie robocze wirnika od powierzchni roboczych płyt bocznych oddziela przestrzeń wypełniona warstwą oleju, Szerokość tej przestrzeni powinna być jak najmniejsza, bowiem to wpływa na dużą sprawność objętościową pompy. Odpowiednia obróbka powierzchniowa płyt bocznych pozwala, przy minimalnej grubości warstewki oleju, przeciwdziałać utracie jej ciągłości. Pompa łopatkowa jest zrównoważona hydrostatycznie także w kierunku osiowym, zaś łożysko wału przenosi wyłącznie moment obrotowy.

Charakterystycznym i opatentowanym rozwiązaniem jest zastosowanie przez firmę Denison dwuwargowych łopatek podpartych sworzniem, który gwarantuje każdej łopatce dociążenie niezależnie tak, aby zawsze mogła być dociśnięta do pierścienia krzywkowego z odpowiednią siłą. Konstrukcja dwuwargowa (z trzech stron) łopatki z otworami równoważącymi sprawia, że otaczające ją ciśnienie ma ze wszystkich stron jednakową wartość (zrównoważenie hydrostatyczne).



Rys. 2. Dwuwargowe łopatki (double lips vanes)

Inną cechą łopatki dwuwargowej jest to, że wargi na przemian stykają się z powierzchnią roboczą pierścienia krzywkowego w sterze zasysania. W strefie tej (rys. 2) pracuje jedna z warg, natomiast w strefie sprężania druga warg jest izolatorem komory wysokociśnieniowej od niskociśnieniowej. Ewentualne zanieczyszczenia zatem mogą uszkadzać przede wszystkim wargę pierwszą, a dla sprawności pompy ważne znaczenie ma stan wargi drugiej.

Na wewnętrznej stronie pierścienia krzywkowego jest utworzona specjalna warstwa suchosmarująca, minimalizująca niebezpieczeństwo zatarcia. Tak zaprojektowana pompa powinna w odpowiednich warunkach pracować bez uszkodzeń przez bardzo długi czas. Z wieloletniego serwisowania tych pomp wynika jednoznacznie, że egzemplarze, eksploatowane zgodnie ze wskazówkami producenta, kilkunastoletnie (nawet starsze) nie wykazują śladów zużycia. Jeżeli dochodziło do uszkodzenia pomp, to ich przyczyną zwykle była nieodpowiednia jakość czynnika roboczego albo niewłaściwe podłączenie pompy do jednostki napędzającej lub do układu hydraulicznego.

### **Typowe błędy w eksploatacji pomp łopatkowych**

**Błędy mechaniczne.** Do grupy tego rodzaju błędów zaliczamy te, które są spowodowane zewnętrznymi czynnikami mechanicznymi, zwłaszcza:

- obciążeniem wału pompy, niedopuszczalnymi siłami promieniowymi i osiowymi, co jest konsekwencją nieosiowości wałów pompy i silnika napędowego, nierównoległości tarcz sprzęgła, niewyważeniem sprzęgła, niehomokinetyczny, zbyt dużym momentem bezwładności sprzęgła, niewłaściwym połączeniem wału/sprzęgła (zbyt luźne albo zbyt ciasne pasowanie, zły wpust), zastosowaniem niewłaściwego smaru (lub jego brakiem) do pokrycia końcówki wału współpracującej ze sprzęgłem, przesunięciem osi pompy w wyniku powstania naprężeń od zbyt sztywnych przewodów hydraulicznych lub zastosowania zbyt elastycznego, (uginającego się) wspornika pompy, przekroczeniem wartości katalogowych przez moment przyłożony do wału, niewłaściwym skompletowaniem wkładów, zastosowaniem nieodpowiednich momentów dokręcenia śrub mocujących elementy korpusu, niewłaściwym montażem wkładu do korpusu pompy.

Przekraczanie dopuszczalnych wartości ciśnienia, cykliczne nadciśnienie. Oprócz typowego błędu jakim jest przekroczenie podanych w katalogu wartości ciśnienia maksymalnego, niebezpieczne dla pompy jest cykliczne nadciśnienie, spowodowane zwykle błędnie wykonanym albo zaprojektowanym lub eksploatowanym układem hydraulicznym. Przykładami są: brak (lub niewłaściwie działanie, np. zbyt wolne) zaworu zabezpieczającego pompę przed przepływem zwrotnym lub zbyt duża, sprzyjająca drganiom słupa oleju, odległość pomiędzy pompą a zaworem zabezpieczającym.

Wiele niekorzystnych zjawisk uszkadzających pompę powoduje zbyt duża dynamika wzrostu lub spadku ciśnienia. Dopuszczalna przez producenta, maksymalna wartość ciśnienia wynosi 500 MPa/s (wzrost) i 600 MPa/s (spadek).

**Błędy fizyczne i chemiczne** są wynikiem pojawienia się powietrza w czynniku roboczym, np. rozruchem pompy bez właściwego odpowietrzenia. Jak wspomniano, powierzchnie robocze wirnika i płyt bocznych są oddzielone warstwą czynnika roboczego o odpowiednich właściwościach smarnych. Zastosowane w opisywanych pompach powierzchnie robocze (suchosmarujące) są właściwie smarowane podczas rozruchu wówczas, gdy układ hydrauliczny jest dobrze odpowietrzony. Konsekwencją niewłaściwego odpowietrzenia jest brak odpowiedniego smarowania powierzchni roboczych na skutek miejscowego przerwania strugi czynnika roboczego. Typowe błędy podczas pierwszego uruchamiania pompy to:

- niezalanie pompy lub zalanie czynnikiem roboczym o zbyt dużej lepkości,
- nieskuteczne odpowietrzenie,
- zanieczyszczony filtr powietrza uniemożliwiający właściwe „oddychanie” zbiornika; w przestrzeni nad lustrem cieczy w zamkniętym zbiorniku powstaje nasycona mieszanina gazów z powietrzem utrudniająca wydzielanie się pęcherzyków powietrza z cieczy,
- zbyt niska (poniżej zalecanej 0,5 m/s) prędkość czynnika roboczego na ssaniu utrudniająca usunięcie uwięzionego w pompie powietrza (np. uruchamianie pompy w maszynie mobilnej przy zbyt niskiej prędkości obrotowej silnika spalinowego).

Zjawisko kawitacji i w konsekwencji korozji kawitacyjnej. Kawitacja jest to powstawanie stref nieciągłości w cieczy w postaci pęcherzyków gazu, które wydzieliły się z roztworu gaz–ciecz po spadku ciśnienia poniżej poziomu nasycenia. Jeśli cieczą będzie hydrauliczny olej mineralny, to powstałe pęcherzyki gazu o średnicy od 0,2 mm do 0,3 mm będą się składały z powietrza i określonej ilości węglowodorów aromatycznych w postaci lotnej. Pęcherzyki trafiają ze strugą oleju do strefy ciśnieniowej pompy i po przekroczeniu krytycznej wartości ciśnienia implodują (efekt Diesla), tworząc fale uderzeniowe o długościach 0,1–0,2  $\mu\text{m}$ , które z prędkościami do 1000 m/s i przy lokalnych wzrostach ciśnienia do dziesiątek tysięcy barów atakują powierzchnie elementów roboczych pompy. Zjawisko to powoduje erozję (zwaną też korozją kawitacyjną) powierzchni metalowych i powstawanie charakterystycznych wżerów w kształcie mikrokraterów.

W pompach hydraulicznych kawitacja powstaje pod wpływem zbyt dużego (powyżej  $-0,02$  MPa) podciśnienia na ssaniu spowodowanego:

- zbyt dużą lepkością czynnika roboczego,
- niedrożnym układem zasilania,
- zbyt małą średnicą lub zmianą średnicy (przewężeniem) przewodu ssawnego,
- zanieczyszczonym filtrem ssawnym.

Zapowietrzenie czynnika roboczego. Zapowietrzeniem określamy powstanie mieszaniny czynnika roboczego (np. oleju mineralnego) z powietrzem, zwykle z małą domieszką innych gazów. Mieszaniny tej nie można identyfikować z hydraulicznym czynnikiem roboczym, ponieważ nie spełnia ona warunków dostatecznego smarowania elementów wewnętrznych pompy, a powoduje zatarcia jej elementów. W zależności od ilości pęcherzyków powietrza/gazu w mieszaninie, występuje z mniejszym lub większym natężeniem opisany powyżej efektem Diesla.

Kolejną, groźną konsekwencją zapowietrzenia czynnika roboczego jest wystąpienie poprzecznych drgań łopatek pompy. Łopatki te, hydrostatycznie zrównoważone, ze względu na niewłaściwą ściśliwość czynnika roboczego zawierającego powietrze będą się poruszać na boki, uszkadzając płyty boczne. Z doświadczeń wynika, że przyczynami przedostawania się powietrza do układu hydraulicznego są:

■ Zasysanie powietrza przez niewłaściwie pracujące uszczelnienie wału. Pod wpływem drgań promieniowych wału powstają miejscowe nieszczelności, przez które pod wargi uszczelnienia przedostawanie się drobiny pyłu, tworzącego z warstwą oleju pastę ścierną powodującą uszkodzenia warg i stykającej się z nimi powierzchni wału, tworząc charakterystyczne rowki na jego obwodzie.



- niewłaściwe uszczelnienie przewodu ssawnego,
- przepływ turbulentny w przewodzie ssawnym spowodowany zbyt dużą prędkością (powyżej  $1,5$  m/s) czynnika roboczego,
- błędnie skonstruowany zbiornik: przewód ssawny umieszczony w zbyt bliskiej odległości od przewodu zlewowego; przewód zlewowy umieszczony powyżej poziomu czynnika roboczego; przewód ssawny umieszczony zbyt płytko pod lustrem cieczy; poruszający się czynnik roboczy w zbiorniku (np. w zastosowaniach mobilnych); mały zbiornik, czyli w obiegu zbyt mała ilość czynnika roboczego, co sprawia, że czas pomiędzy opuszczeniem przewodu zlewowego a zasaniem jest zbyt krótki by doszło do odpowietrzenia; niewłaściwa konstrukcja przegród zbiornika,
- niskie zdolności samoodpowietrzenia czynnika roboczego.





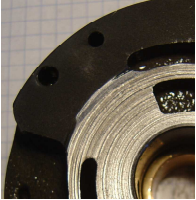

**Cząstki stałe w czynniku roboczym.** Zanieczyszczony cząstkami stałymi czynnik roboczy jest uznawany za jedną z najczęstszych przyczyn awarii pomp hydraulicznych. Pompy łopatkowe z dwuwargowymi łopatkami są mniej od innych konstrukcji wrażliwe na zanieczyszczony cząstkami stałymi czynnik roboczy. Tego typu pompy łopatkowe eksploatowane w standardowych warunkach nie wytwarzają zanieczyszczeń stałych. Uszkodzenia mogą powodować cząsteczki pochodzenia zewnętrznego lub te, które powstają w wyniku niewłaściwej eksploatacji i są przyczyną pojawienia się np. korozji kawitacyjnej. Eksploatacja pompy uszkodzonej przez obecne w czynniku roboczym cząstki stałe (metaliczne lub mineralne) jest groźna także dla układu hydraulicznego.

**Woda w czynniku roboczym** spowoduje utratę jego właściwości smarnych. Co więcej, przekształcając pod działaniem ciśnienia w parę powoduje spienienie oleju, zmienia moduł jego ściśliwości i destabilizuje pracę łopatek pompy.

**Nieodpowiednia lepkość czynnika roboczego.** Konsekwencje zbyt dużej lepkości opisano w rozdziale o kawitacji. Zbyt mała lepkość prowadzi natomiast do uszkodzenia związanego z utratą cech smarnych przez czynnik roboczy.

Przykłady uszkodzeń pomp łopatkowych

	Niesymetryczne zużycie płyty bocznej świadczy o występowaniu sił promieniowych działających na wał, powodujących jego nieosiowość, a także o nieprawidłowym montażu śrub mocujących poszczególne części korpusu (różne momenty albo źle dobrane)..
	Zbyt ciasne pasowanie pary sprzęgło-wał spowodowało podczas próby montażu uszkodzenie końcówki wału i łożyska. Wkrótce po uruchomieniu pompy łożysko zostało całkowicie zniszczone, niszcząc podstawowe elementy wkładów pompy.

	<p>Pęknięty pierścień krzywkowy jest uszkodzeniem typu zmęczeniowego, powstałym w wyniku długotrwałego nieznacznie przekraczania dopuszczalnego ciśnienia. Widoczne zatarcia na wewnętrznej powierzchni pierścienia, zostały spowodowane jego odkształceniem i zetknięciem się z wirnikiem.</p>
	<p>Typowy obraz uszkodzeń wywołanych kawitacją. Na powierzchni płyty bocznej widoczne wżery erozyjne w postaci kraterków. Drobinny metaliczny wyrwane z płyty spowodowały głębokie rysy koncentryczne.</p>
	<p>Powstałe na powierzchni wirnika zatarcia to także wtórny efekt kawitacji, która powodując uszkodzenie warstwy olejowej smarującej powierzchnię wirnika i płyty bocznej, doprowadziła do suchego tarcia i miejscowego przegrzania.</p>
	<p>Na fragmencie pierścienia krzywkowego są widoczne poprzeczne bruzdy powstałe w wyniku niestabilności w podparciu łopatek sworzniem spowodowanej zbyt wysokim podciśnieniem w strefie ssawnej lub nienormalną ściśliwością czynnika roboczego zawierającego bąbelki z gazem (kawitacja, zapowietrzenie).</p>
	<p>Uszkodzenie powierzchni płyty bocznej będące wynikiem niestabilnie poruszających się łopatek, których nierównowagę jest spowodowane nietypową ściśliwością czynnika roboczego, zawierającego powietrze. Brak kraterów erozyjnych informuje, że nastąpił problem z właściwym odpowietrzeniem pompy.</p>
	<p>Widoczne ślady ścierania na powierzchni łopatek są konsekwencją zanieczyszczenia cząstkami stałymi warstwy oleju znajdującej się pomiędzy ścianami gniazda wirnika a łopatkami.</p>

### Posumowanie

Pompy łopatkowe Denison Hydraulics są osiowo i promieniowo hydrostatycznie zrównoważone. Jeśli pracują w określonych warunkach (zgodnie z zaleceniami podanymi w katalogu producenta), to zużycie ich wewnętrznych elementów jest niezauważalne. Nawet podczas pracy z dużymi obciążeniami są trwałe przez wiele lat. Jeśli jednak nie przestrzega się podstawowych zasad eksploatacyjnych (odpowiednia jakość czynnika roboczego, zabudowa pompy do właściwie zaprojektowanego układu hydraulicznego, profesjonalna obsługa), to poszczególne podzespoły lub elementy będą uszkodzane. Stwierdzono, że istnieje zależność pomiędzy rodzajem błędu eksploatacyjnego a obrazem uszkodzeń, które spowodował. Na podstawie analizy obrazu uszkodzeń jest możliwe ustalanie przyczyn awarii pompy i określenie zakresu czynności koniecznych do wyeliminowania czynników zagrażających jej prawidłowej pracy.

Szybka reakcja personelu odpowiedzialnego za eksploatację pompy na wszelkie nietypowe objawy jej pracy, minimalizuje straty produkcyjne spowodowane przez błędy eksploatacyjne.

#### LITERATURA

- [1] Materiały katalogowe i informacyjne firmy DENISON Hydraulics.
- [2] Materiały informacyjne firmy ELF.
- [3] Osiecki A.: *Hydrostatyczny napęd maszyn*. WNT, Warszawa 1998.
- [4] Stryczek S.: *Napęd hydrostatyczny*. T. 1. WNT, Warszawa 1995.
- [5] Schmidt J., Ławniczak A., Senn F.: *Filtrowanie cieczy roboczych w urządzeniach hydraulicznych*. INTERNORMEN-FILTER 1991
- [6] Tomasiak E.: *Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.

---

O przyczynach uszkodzeń pomp Autor niniejszego artykułu mówił podczas majowej konferencji hydraulików i pneumatyków we Wrocławiu w 2005 roku.