

**Aleksandra REWOLIŃSKA**

Politechnika Poznańska

Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych

## **ANALIZA MOŻLIWOŚCI DIAGNOZOWANIA USZCZELNIEŃ CZOŁOWYCH STOSOWANYCH W MASZYNACH I URZĄDZENIACH PRZEMYSŁU SPOŻYWCZEGO**

### **Słowa kluczowe**

Uszczelnienie czołowe, przemysł spożywczy, diagnostyka.

### **Streszczenie**

W artykule omówiono problemy związane z diagnostyką uszczelnień czołowych, stosowanych zwłaszcza w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego. Przedstawiono metody oceny stanu uszczelnień oraz przykłady diagnozowania uszczelnień w przemyśle browarniczym oraz cukrowni. Wykonano również analizę możliwości zastosowania przecieku jako parametru diagnostycznego.

### **Wprowadzenie**

Zagadnieniem eksploatacji uszczelnień czołowych zajmuje się wiele ośrodków naukowych w świecie. Uszczelnienia te w porównaniu z innymi rodzajami uszczelnień ruchowych charakteryzują się małymi przeciekami, dużą odpornością na zacieranie i zużywanie. Z tych między innymi względów doczekały się wielu opracowań konstrukcyjnych oraz materiałowych, tworząc typoszeregi należące często do różnych klas. Ta duża różnorodność uszczelnień czołowych

niestety nie odpowiada ilości badań o charakterze niezawodnościowym. Skutkiem tego trudno jest z określoną wiarygodnością stwierdzić, czy wybrane i zastosowane w danym węźle konstrukcyjnym uszczelnienie zapewni wystarczającą szczelność i osiągnięciem wymaganą trwałość w zadanych warunkach eksploatacyjnych. Z tego też względu wskazane jest diagnozowanie stanu uszczelnień podczas eksploatacji. Ocena stanu uszczelnienia czołowego umożliwia wycofanie go z eksploatacji przed wystąpieniem całkowitej utraty zdatności. W ten sposób można uniknąć kosztów związanych z wstrzymaniem pracy urządzenia lub linii, zanieczyszczeniem produktu spożywczego, a także z dezorganizacją pracy w zakładzie. Jednak, jak wiadomo z literatury [1] oraz wiedzy warsztatowej, istnieją problemy związane z diagnostyką uszczelnień czołowych. Problemy te spowodowane są przede wszystkim brakiem środków i metod diagnozowania uszczelnień, które odpowiadałyby danym warunkom pracy. Przykładowo istniejące metody często są zbyt kosztowne. Ponadto wartości dopuszczalnych przecieków poprawnie pracujących uszczelnień czołowych nie są znormalizowane. Stąd też operuje się różnymi wartościami dopuszczalnych przecieków, które wyrażane są najczęściej w ilości czynnika uszczelnianego, jaka może wypłynąć z urządzenia czy instalacji w określonym czasie lub jego natężeniu.

### **1. Sposoby oceny stanu uszczelnień czołowych**

Określenie stanu uszczelnienia polega na wyznaczaniu wskaźników, które informują o zmianie jego stanu w czasie eksploatacji. Z fizycznego punktu widzenia oznacza to, że czas mierzony jest ilością zmian elementarnych zachodzących w danym uszczelnieniu. Granicą jest moment, w którym zmiany ilościowe powodują powstanie nowej jakości ze względu na wybrane kryterium. Miarą jakości uszczelnienia jest jego zdolność do spełnienia kryterium przecieku, które jest definiowane jako ilościowe ograniczenie niedającego się wyeliminować przepływu płynu między konstrukcyjnymi przestrzeniami. Przekroczenie tego kryterium skutkuje uznaniem połączenia za nieszczelne. Zauważalny jest stały wzrost tego kryterium – dopuszczalne przecieki mają coraz mniejsze wartości [2]. Wartości dopuszczalnego przecieku określają przede wszystkim normy ochrony środowiska w zakresie emisji oraz przepisy BHP.

Ocena szczelności może być przeprowadzona jakościowo (szczelny – nieszczelny) za pomocą zmysłów wzroku, słuchu czy węchu lub ilościowo, poprzez pomiar przecieku czynnika za pomocą przyrządów pomiarowych. Dzięki zastosowaniu metody jakościowej uznaje się układ za szczelny, jeżeli nie wykazuje on widocznego przecieku czy zapachu czynnika roboczego lub nie daje wrażeń słuchowych, tj. szumu, syczenia itp. Ocenia się stan urządzenia przykładowo podając objętościowy (ml/godz.) lub masowy (g/godz.) przeciek. W jakościowej ocenie obowiązuje również określenie „widoczny – niewidoczny przeciek”.

W praktyce może to oznaczać, że widoczny przeciek trzech kropli na minutę to poważny przeciek i urządzenie wymaga naprawy [3]. Sposób jakościowej oceny przecieku czynnika z urządzenia jest w praktyce mało dokładny. W badaniu szczelności wykorzystywane są różne zjawiska fizyczne i procesy fizykochemiczne. Stosuje się bardzo zróżnicowane wyposażenie badawcze i środki do badań, a także techniki badania. Spośród ponad 40 metod i technik badania szczelności szersze zastosowanie w praktyce przemysłowej znalazło zaledwie kilka metod i kilkanaście technik [4]. W większości urządzeń ocena szczelności jest przeprowadzana po montażu lub w czasie badań okresowych, w celu ustalenia miejsca przecieku i zapobieżenia ewentualnej awarii. W niektórych przypadkach powierzchnie, które są zagrożone przeciekiem maluje się odpowiednimi farbami zmieniającymi kolor pod wpływem reakcji chemicznej z czynnikiem uszczelnianym lub stosuje się metodą luminescencyjną, opartą na świeceniu niektórych cieczy kontrolnych (np. nafty) pod wpływem promieniowania ultrafioletowego w miejscach występowania przecieków.

Kolejnym parametrem służącym do opisu stanu uszczelnienia jest wartość zużycia pierścieni czołowych. L. Korona [5] przedstawia dane dotyczące dopuszczalnego zużycia pierścieni w zależności od rodzaju urządzenia lub maszyny, w której uszczelnienie ma pracować. Maksymalne zużycie tworzyw pierścieni uszczelnień czołowych, aż do czasu ich wymiany, może być następujące [5]:

- pierścienie uszczelniające uszczelnień czołowych aparatów chemicznych z mieszałkami – 3–5 mm,
- pierścienie uszczelniające wirówek i separatorów – 1–2 mm,
- pierścienie uszczelniające pomp wirowych – 0,5–3 mm.

Dla porównania maksymalne zużycie łożyska ślizgowego pomp wirowych wynosi 0,01–0,1 mm. Jako miarę zużycia najczęściej stosuje się wskaźnik tzw. zużycia liniowego, jako najpraktyczniejszy i niezależny, np. od gęstości materiałów pierścieni. Niektórzy producenci uszczelnień przedstawiają na obudowie uszczelnienia wizualny wskaźnik zużycia pierścienia obrotowego. Przykładowo zieloną linią oznaczone jest początkowe ustawienie robocze uszczelnienia, a linia czerwona oznacza konieczność przeprowadzenia kontroli stanu uszczelnienia lub jego wymianę.

Kolejnymi wskaźnikami umożliwiającymi bieżącą ocenę stanu uszczelnienia podczas eksploatacji są wybrane sygnały diagnostyczne, do których należą między innymi temperatura panująca w obszarze styku pierścieni, grubość filmu smarnego lub drgania. Parametry wybrane do monitorowania uszczelnienia związane mogą być z samym uszczelnieniem, np. temperatura powierzchni czołowych pierścieni lub też pochodzić ze środowiska otaczającego uszczelnienie, np. temperatura czy ciśnienie uszczelnianej cieczy oraz drgania. W jednym z rozwiązań fala ultradźwiękowa przechodzi przez materiał jednego z pierścieni i odbija się od powierzchni ograniczającej, którą stanowi film smarny. Jeśli film ten jest ciągły, wówczas odbity sygnał jest mocny. W przypadku gdy film jest

zerwany i występuje kontakt powierzchni pierścieni, wówczas odbity sygnał jest niepełny. Oprócz pomiaru stopnia kontaktu powierzchni czołowych monitorowane są bardziej konwencjonalne parametry pracy uszczelnienia, jak temperatura powierzchni czołowych, temperatura lub ciśnienie cieczy uszczelnianej [6].

Stan uszczelnienia czołowego określany jest również na podstawie przyjętych wskaźników oceny dotyczących stanu systemu: uszczelnienie – urządzenie techniczne. W wielu publikacjach podkreśla się, że utrata funkcji uszczelnienia przyczynia się do utraty funkcji całego urządzenia. Z tego względu przyjmuje się często, że uszczelnienie osiąga stan niezdatności, gdy nie spełnia nałożonych nań funkcji. Problemem jest tu jednak znalezienie tych elementów systemu, których zmiany są przyczyną niemożności spełniania zadań funkcjonalnych i przypisanie im kryteriów. Wymagałoby to zbudowania struktury hierarchii zadań funkcjonalnych systemu, np. uszczelnienie – pompa oraz znalezienia powiązań poszczególnych elementów systemu. W tym przypadku dobrym wskaźnikiem mogłaby być niezawodność, która charakteryzowałaby wpływ uszczelnienia na stan techniczny urządzenia.

## **2. Przykłady diagnostyki uszczelnień w przemyśle spożywczym**

Niezawodne działanie uszczelnień czołowych w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego jest bardzo istotne, ponieważ może decydować o zdrowiu, a nawet życiu konsumenta. Nie bez znaczenia są również koszty związane z utratą zdatności uszczelnienia pracującego w liniach produkcyjnych. Dlatego ocena stanu uszczelnień podczas eksploatacji odgrywa ważną rolę. Jednak, jak wynika ze zgromadzonych danych, uszczelnienia stosowane w maszynach i urządzeniach spożywczych nie zawsze są odpowiednio diagnozowane. Poniżej przedstawiono przykłady postępowania z uszczelnieniami czołowymi podczas eksploatacji w zakładach browarniczych oraz cukrowni.

W zakładzie browarniczym w liniach rozlewniczych pracują pompy wirowe, w których zamontowane są wyłącznie pojedyncze uszczelnienia czołowe. Jak wynika ze zgromadzonych danych [8], uszkodzalność tych uszczelnień jest znaczna. Dlatego też w pewnym okresie pracy linii podjęto decyzję o profilaktycznych wymianach uszczelnień podczas remontów kapitalnych. W tym przypadku to czas był wskaźnikiem oceny stanu uszczelnienia, a w zasadzie jego wymiany. Uszczelnienie pracowało około roku. Ze względów finansowych zrezygnowano z tego wskaźnika. Obecnie czas pracy jako kryterium wymiany uszczelnienia jest stosowany tylko wtedy, gdy utrata przez nie zdatności do spełniania funkcji jest niedopuszczalna. Może się to bowiem wiązać ze znacznymi kosztami i utrudnieniami związanymi, np. z koniecznością zatrzymania całej linii rozlewniczej piwa. To kryterium stosowane jest także do uszczelnień zainstalowanych w newralgicznych miejscach, np. podczas filtrowania piwo nie może mieć kontaktu z powietrzem i uszczelnienia muszą ten wymóg zapewnić.

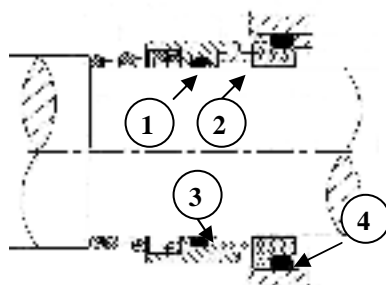
W większości przypadków stan uszczelnienia jest oceniany na podstawie wybranego wskaźnika w toku eksploatacji. Do najczęściej wykorzystywanych wskaźników oceny stanu uszczelnienia należą wartość przecieku oraz zużycia pierścienia ślizgowego. W przypadku wyboru wartości zużycia pierścienia uszczelnienia jako wskaźnika oceny jego stanu oznacza to konieczność demontażu urządzenia, w którym pracuje uszczelnienie i jego kontrolę. Liczba kontroli wraz z czasem użytkowania uszczelnienia wzrasta.

Wartość przecieku jest wskaźnikiem stosowanym również do oceny stanu uszczelnień w cukrowniach. Stan uszczelnień, których niezawodność jest bardzo istotna jest sprawdzany każdego dnia podczas trwania kampanii, np. uszczelnienia pompy transportującej sok gęsty. Przeglądu dokonują pracownicy cukrowni i w przypadku dostrzeżenia przecieku informują głównego mechanika, który podejmuje decyzję o dalszej eksploatacji uszczelnienia lub jej zaprzestaniu. Uszczelnienia pracujące w miejscach, gdzie warunek szczelności nie jest tak istotny są sprawdzane raz w tygodniu, np. uszczelnienie w pompie wody spławiakowej.

W zdecydowanej większości to przeciek stanowi parametr, który podlega ocenie podczas eksploatacji uszczelnień czołowych.

### 3. Przeciek jako parametr diagnostyczny

Występujący w czasie eksploatacji przeciek uszczelnienia dławnicy może stanowić dobre źródło informacji o zmianach zachodzących w uszczelnieniu. Aby sprawdzić możliwości wykorzystania przecieku jako parametru diagnostycznego, przeanalizowano pracę uszczelnień w zakładzie browarniczym, wykorzystując badania uszkodzalności uszczelnień czołowych [9]. Pod uwagę brano rodzaj przecieku, moment wystąpienia oraz czas trwania. Nie bez znaczenia było również miejsce wystąpienia przecieku (rys. 1).



Rys. 1. Potencjalne źródła przecieku uszczelnienia czołowego: 2) płasko-równoległa szczelina, 1, 3) miejsca pracy statycznych oraz dynamicznych uszczelnień pomocniczych, 4) powierzchnia pomiędzy pierścieniem obrotowym a obudową

Możliwe rodzaje przecieków, jakie mogą wystąpić podczas użytkowania to przeciek ciągły stały, ciągły zmienny oraz nieciągły. Z kolei, uwzględniając moment wystąpienia przecieku oraz czas jego trwania, możemy wyróżnić:

- przeciek stały podczas użytkowania (ciągły oraz zmienny),
- przeciek tylko w czasie ruchu,
- przeciek bezpośrednio po montażu,
- przeciek przez krótki okres,
- przeciek tylko podczas postoju.

Analiza powyższych parametrów przecieku, w kontekście oceny stanu uszczelnienia, wykazała, że:

– Przeciek stały podczas użytkowania oraz przeciek tylko w czasie ruchu występują najczęściej. Użytkownik uszczelnienia na podstawie intensywności powyższych przecieków może podjąć decyzję o dalszym użytkowaniu uszczelnienia bądź jego zaprzestaniu. Częściej występuje przeciek ciągły zmienny, który związany jest z uszkodzeniami pierścieni ślizgowych. Przeciek ciągły stały występuje zwykle w miejscu pracy pierścieni pomocniczych.

– Wystąpienie przecieku bezpośrednio po montażu zwykle świadczy o utracie zdadności uszczelnienia. Błędny montaż wymusza na użytkowniku natychmiastową wymianę uszczelnienia. W sytuacjach braku możliwości natychmiastowej wymiany uszczelnienia może on zdecydować o przedłużeniu użytkowania do czasu wystąpienia warunków dogodniejszej wymiany.

– Przeciek przez krótki czas, w zależności od jego intensywności może nie stanowić żadnego problemu, jest jednak sygnałem informującym o zmianach zachodzących w uszczelnieniu podczas użytkowania. Wzrost intensywności występowania przecieków przez krótki okres, może spowodować podjęcie decyzji o częstszych kontrolach stanu uszczelnienia lub jego wymianie. Tego typu niezdatności często są ignorowane i traktowane jako nieistotne, choć ich wystąpienie może sygnalizować zachodzące w węzle uszczelniającym zmiany i niebezpieczeństwo całkowitej utraty zdadności.

– Przeciek tylko podczas postoju występuje niezwykle rzadko, jednak jego intensywność może zdecydować o wymianie uszczelnienia.

## Podsumowanie

Podsumowując przeprowadzoną analizę, można stwierdzić, że:

1. Utrata zdadności uszczelnień czołowych jest na tyle nieprzewidywalna, że żadna instrukcja nie określa harmonogramów obsługi. Odbywa się ona na podstawie oceny przez pracownika odpowiedzialnego za stan powierzonego mu urządzenia. Oceny tej dokonuje najczęściej na podstawie przecieku.
2. Do najczęściej wykorzystywanych wskaźników oceny stanu uszczelnienia należy wartość przecieku. Wartości te mogą być różne i są zależne od miejsca pracy uszczelnienia. Nie bez znaczenia jest czas wystąpienia przecieku

oraz jego rodzaj. Analiza powyższych czynników pozwala wstępnie określić stan uszczelnienia i podjąć decyzje o ewentualnych możliwościach jego dalszej eksploatacji lub zaprzestaniu.

3. Wykonana analiza wskazuje na potrzebę wyznaczenia charakterystyk niezawodności eksploatacyjnej uszczelnień, aby możliwe było dla dobranego uszczelnienia i warunków jego eksploatacji określenie przecieku, a także dopuszczalnego poziomu intensywności zużycia pary ślizgowej.

## **Bibliografia**

1. Bielawski P.: Diagnostowanie uszczelnień maszyn, Systemy wykrywające, analizujące i tolerujące usterki; pod redakcją Z. Kowalczuka, 2009 PWNT Gdańsk.
2. Tietze W.: Handbuch Dichtungspraxis, Vulkan-Verlag, Essen 2003.
3. FSA, What determines seal leakage?, Pumps & Systems, May 2008.
4. Hlebowicz J.: Badanie szczelności urządzeń i instalacji technicznych, Poradnik, Warszawa, Wyd. Biuro Gamma 2001.
5. Korona L.: Uszczelnienia czołowe – materiały i konstrukcja, Warszawa, WNT 1975.
6. Lambert P.A.: Condition – based Monitoring System for Mechanical Seals, Sealing Technology, 1998, no. 57.
7. Rewolińska A.: Analiza kryteriów decydujących o wymianie uszczelnień stosowanych w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2009/48.
8. Langner A.: Stan graniczny uszczelnień stosowanych w maszynach i urządzeniach przemysłu spożywczego, rozprawa doktorska, Promotor dr hab. inż. Nosal S., Poznań 2006.

Recenzent:

**Wojciech CHOLEWA**

## **Possibilities diagnostic of mechanical seals use in machines and devices of food industry**

### **Key words:**

Mechanical seal, food industry, diagnostic.

### **Summary**

In the article the seals` diagnostic problems, especially mechanical seals use in machines and devices of food industry, are discussed. The methods as-

assessments of the state of mechanical seals are shown. The examples of diagnostic of seals use in brewery and sugar factory are presented. Possibilities of diagnostic of mechanical seals by using leakage are analyzed.