

NADZÓR NAD STANEM MASZyny I OLEJU



22.1 Systemy nadzoru nad stanem maszyny

Stosowane systemy eksploatacji przewidują trzy podstawowe typy nadzoru nad stanem maszyny:

- eksploatacja według resursu maszyny, ustalonego przez jej producenta,
- eksploatacja według aktualnego stanu technicznego maszyny,
- systemy mieszane, w których jest brany pod uwagę zarówno reśurs jak i aktualny stan techniczny.

Eksploatacja – jest to działanie (proces) realizowany od chwili wytworzenia maszyny do chwili jej fizycznej likwidacji. Zasadniczym okresem eksploatacji jest okres przydatności użytkowej maszyny, jej zdolności do osiągnięcia określonych celów (eksploatacji). Do zasadniczych cech maszyny, stanowiących o przydatności maszyny do eksploatacji zalicza się: niezawodność, trwałość, wytrzymałość, wrażliwość na przeciążenia, łatwość obsługi.

Eksploataowanie – jest to użytkowanie, maszyn i urządzeń, w celach produkcyjnych, transportowych, usługowych itp.

Resurs – ustalony doświadczalnie i teoretycznie okres pracy maszyny (środku transportu), w czasie którego jest zagwarantowane bezpieczeństwo i sprawność eksploatacji.

Okres międzyremontowy – czas od początku eksploatacji maszyny do momentu remontu lub czas od jednego remontu do kolejnego.

Eksploataowanie według ustalonego resursu stosuje się w przypadku maszyn i środków transportu o bardzo dużym znaczeniu np. samolotów, reaktorów atomowych itp. Wyróżnia się eksploataowanie wg resursu kalendarzowego, w przypadku którego jest określony dopuszczalny okres pracy, wyrażony w latach, miesiącach itp. oraz wg tzw. resursu godzinowego, określającego dopuszczalny, rejestrowany czas pracy maszyny. W przypadkach niektórych maszyn jest ustalany zarówno reśurs kalendarzowy jak i godzinowy.

Eksploataowanie według stanu technicznego ma miejsce wówczas, gdy w sposób ciągły lub okresowy jest monitorowany stan techniczny maszyny (środku transportu) i na tej podstawie są podejmowane decyzje, co do dalszego eksploataowania lub podjęcia innych działań zaradczych, np. remontu, wymiany detali podzespołów, czy oleju.

Systemy mieszane polegają na okresowym monitorowaniu stanu maszyny (środku transportu) i na podstawie rezultatów oceny, podejmowaniu decyzji o wydłużeniu resursu godzinowego

i kalendarzowego. Monitorowanie i wydłużanie resursu może być dokonywane wielokrotnie.

W czasie eksploatacji maszyna jest obsługiwana. Aby maszyna była eksploataowana optymalnie pod względem kosztów, należy dążyć do maksymalnego wydłużenia okresu przydatności użytkowej (okresu międzyremontowego) przy minimalizowaniu kosztów obsługi technicznej lub kosztów produkcji detali.

Obsługiwanie techniczne maszyn – czynności niezbędne do zachowania wszystkich mechanizmów maszyny w stanie pełnej sprawności technicznej w okresie eksploatacji oraz do ograniczenia do minimum intensywności zużywania się części i mechanizmów. Wyróżnia się obsługę: eksploatacyjną, międzyremontową, sezonową, okresową i codzienną (bieżącą).

Dla prawidłowego eksploataowania maszyny jest niezbędna znajomość jej aktualnego stanu technicznego, pozwala to na podejmowanie właściwych decyzji, dotyczących: dalszego eksploataowania, wyłączenia z ruchu, naprawy lub podjęcia innych prawidłowych działań zaradczych.

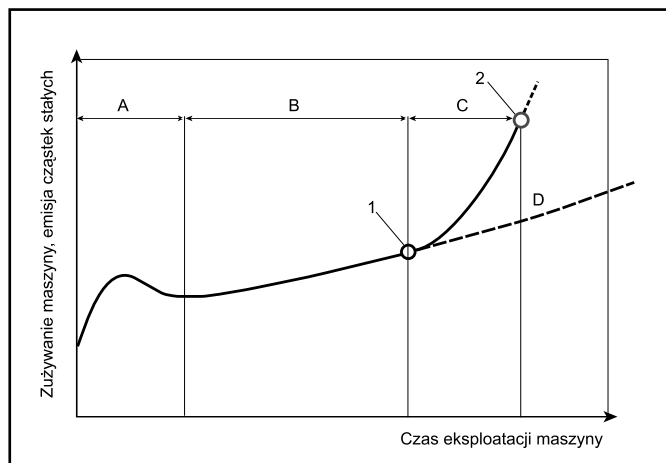
22.2 Proces zużywania maszyny podczas eksploataowania

W okresie eksploataowania maszyny wyróżnia się trzy zasadnicze okresy:

- **docieranie** – jest to okres pracy maszyny, w którym współpracujące części dopasowują się wzajemnie, zazwyczaj w warunkach zmniejszonego obciążenia; przebieg zużywania w okresie docierania jest niestabilny;
- **eksploataowanie normalne** – jest to okres pracy maszyny, w którym maszyna jest w pełnej sprawności technicznej; w okresie tym następuje normalne zużywanie części i zespołów maszyny, a także oleju,
- **awarie** – jest to moment uszkodzenia, zepsucia się maszyny; awaria uniemożliwia jej dalsze użytkowanie zgodnie z przeznaczeniem. W okresie tym następuje zużywanie awaryjne; najczęściej końcowym efektem awarii maszyny jest jej zatrzymanie lub nawet zużycie katastroficzne. Moment awarii jest poprzedzany symptomami, umożliwiającymi przewidywanie awarii. W tym okresie następuje tzw. zużycie przedawaryjne, sygnalizujące zbliżający się moment awarii. Przebieg powyższych procesów eksploataowania maszyny zilustrowano na rys. 22.1.

Na rysunku tym wyróżniono:

- Okres docierania (przedział czasu oznaczony **A**) - odpowiadający procesowi niestabilnego zużywania się maszyny i jej zespołów; W tym okresie, w wyniku oddziaływań termicznych, ścinania oraz katalitycznego działania odślanianych świeżych po-



Rys. 22.1 Przebieg procesu eksploatacji maszyny - zużywanie się części maszyny - emisja produktów zużycia

A - docieranie (zużywanie nieustalone), B - eksploatacja normalna (zużywanie normalne), C - okres przedawaryjny, D - przebieg dalszego zużycia maszyny, w przypadku gdyby nie zaistniała awaria. 1 - prawdopodobne wystąpienie problemu, 2 - awaria (wylączenie maszyny z ruchu).

wierzchni metali, skojarzenia trące maszyny emitują znaczne ilości cząstek metalicznych, a właściwości oleju ulegają szybkim zmianom.

- Okres stabilnej i bezawaryjnej pracy maszyny (przedział czasu oznaczony **B**) - okres zużycia normalnego.

W tym okresie następuje powolne stałe zużywanie poszczególnych zespołów i części maszyny. Trące powierzchnie emitują do oleju cząstki metaliczne. Stężenie metali i innych zanieczyszczeń w oleju narasta stopniowo.

- okres przedawaryjny (przedział czasu oznaczony **C**) - nadmierne zużywanie.

Okres przedawaryjny rozpoczyna się w momencie 1, wówczas, gdy nastąpi uszkodzenie któregoś z pozornie mało istotnych elementów maszyny. Maszyna może jeszcze pracować, ale sygnalizuje ona już swoją niesprawność poprzez: drgania, wibracje, nienaturalne dźwięki, nienaturalnie wysokie temperatury poszczególnych zespołów i oleju, wahania ciśnienia oleju itp.

W odniesieniu do oleju okres przedawaryjny uwidacznia się przyśpieszonym starzeniem, zwiększoną zawartością metali i innymi zmianami jakościowymi oleju. Niezauważenie okresu przedawaryjnego przez obsługę maszyny, lub zlekceważenie jego objawów, może prowadzić do awarii maszyny i jej całkowitego wylączenia z ruchu (2).

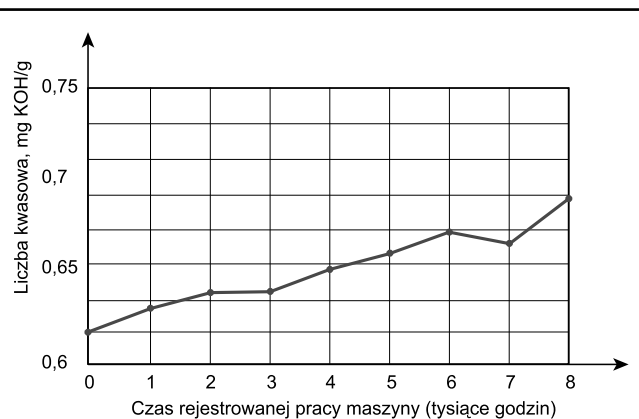
Przebieg dalszego zużycia maszyny, w przypadku, gdyby nie zaistniała awaria, oznaczono linią przerywaną (D).

Olej jako element konstrukcyjny maszyny również ulega zmianom jakościowym, właściwym dla wymienionych okresów eksploatacji maszyny. Jakość oleju odzwierciedla stan techniczny maszyny. Na podstawie tej tezy został opracowany system nadzoru nad stanem technicznym maszyny i oleju, którego podstawowe zasady oraz uzyskiwane rezultaty, przedstawiono w dalszej części tekstu.

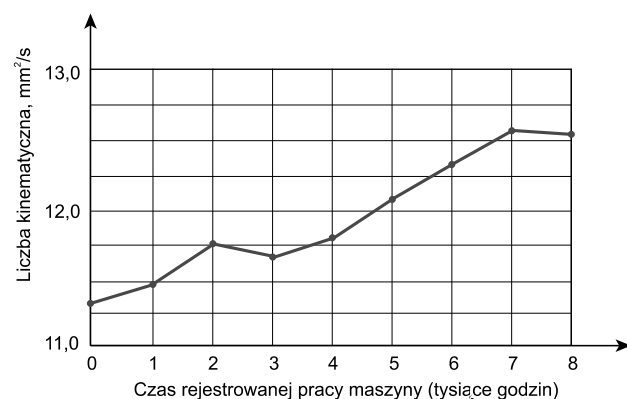
22.3 Zmiany jakościowe oleju podczas pracy

W okresie eksploatacji jakość oleju (środka smarowego) ulega zmianie (degradacji), na ogół pogorszeniu. Proces pogarszania się jakości oleju postępuje w miarę upływu czasu pracy maszyny. Przeciwdziałają mu prowadzone zabiegi pielęgnacyjne, filtracja oleju, odstawianie oraz niezbędne dolewki. Korzystnie wpływają właściwe działania zapobiegawcze tj. niedopuszczanie do zawodnienia, do zanieczyszczenia pyłami atmosferycznymi oraz obcymi cieczami eksploatacyjnymi, niedopuszczanie do przegrzewania itp.

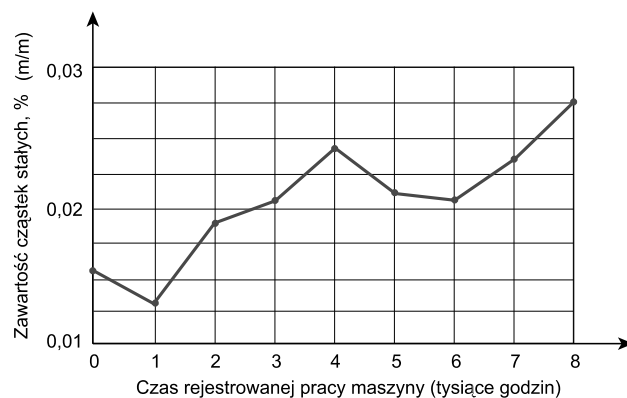
Niezależnie od podejmowanych działań pielęgnacyjnych, normalne eksploataowanie nieuchronnie prowadzi do stopniowej degradacji i zanieczyszczenia oleju.



Rys. 22.2 Liczba kwasowa oleju hydraulicznego, klasy jakościowej ISO-L-HM, w czasie normalnej eksploatacji.



Rys. 22.3 Lepkość kinematyczna w temperaturze 100°C oleju hydraulicznego, klasy jakościowej ISO-L-HM, w czasie normalnej eksploatacji.



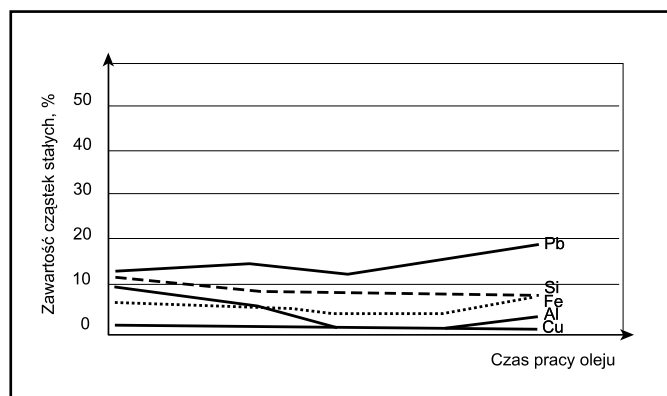
Rys. 22.4 Zawartość cząstek stałych (zanieczyszczeń stałych) w oleju hydraulicznym, klasy jakościowej ISO-L-HM, w czasie normalnej eksploatacji.

Degradacja oleju jest to proces zmiany jego właściwości, zwłaszcza użytkowych, następujących w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury oraz tlenu z powietrza, w obecności katalitycznie oddziaływujących metali oraz mechanicznych sił ścinających. Skutkiem degradacji oleju najczęściej jest: zmiana barwy, wzrost liczby kwasowej, powstawanie osadów i laków, wzrost zawartości cząstek stałych (zanieczyszczeń stałych), zmiana lepkości itp.

Przykłady zmian właściwości oleju hydraulicznego w czasie normalnego eksploataowania, zilustrowano na rys.: 22.2 (liczba kwasowa), 22.3 (lepkość kinematyczna) oraz 22.4 (zawartość cząstek stałych).

Na rys. 22.5, przykładowo przedstawiono przebieg zmian zawartości wybranych pierwiastków w oleju do pomp próżniowych, podczas normalnego eksploataowania w układzie smarowania tłokowej pompy próżniowej.

W procesie eksploataowania następuje zanieczyszczenie oleju



Rys. 22.5 Zawartość pierwiastków w oleju do pomp próżniowych, w czasie normalnej eksploatacji.

stałymi cząstkami obcymi (zanieczyszczeniami stałymi). Mogą to być zanieczyszczenia wewnętrzne:

- cząstki metali i stopów, zwłaszcza intensywnie wytwarzane podczas docierania, a w okresie normalnego eksploataowania, pochodzące z normalnego zużycia powierzchni trących,
- cząstki elastomerów, pochodzące z uszczelnień,
- cząstki przegród filtracyjnych,
- produkty degradacji oleju.

lub zewnętrzne:

- kurz (krzemionka),
- cząstki organiczne (pyłki kwiatowe, nasiona i inne części roślin, owady itp.),
- zanieczyszczenia stałe wnoszone wraz z dolewkami oleju.

Kurz i cząstki organiczne najczęściej przedostają się do oleju w wyniku:

- nieszczelności układu smarowania,
- niewłaściwej wentylacji zbiornika oleju,
- niewłaściwych warunków uzupełniania oleju.

Olej może również być zanieczyszczony innymi cieczami eksploatacyjnymi:

- olejami pochodzącymi z innych układów lub olejami technologicznymi,
- wodą,
- paliwem,
- środkami myjącymi,
- cieczami do obróbki metali.

W niektórych przypadkach, jako zanieczyszczenia są traktowane gazy rozpuszczone w oleju lub tworzące z olejem pianę. Mogą to być gazy używane w różnych procesach technologicznych, takie jak: lotne węglowodory, czynnik chłodzący: freony, amoniak, ditlenek węgla itp. Wpływają one szkodliwie na jakość oleju i procesy zużycia maszyny (kawitacja).

W wyniku prowadzonych zabiegów pielęgnacyjnych i dolewek, zawartość zanieczyszczeń stałych w oleju może przejściowo ulegać zmniejszeniu, ale na ogół jest obserwowany ogólny trend wzrostowy, zwłaszcza w zakresie cząstek o średnicach poniżej 2 μm .

22.4 System analiz laboratoryjnych

W celu bieżącej kontroli stanu technicznego maszyn oraz jakości oleju Ośrodek Badawczo-Rozwojowy w Solaise, opracował system badań laboratoryjnych olejów przemysłowych, o nazwie LUBIANA¹. Przewodnią ideą systemu LUBIANA jest istnienie zależności między stanem jakościowym oleju, jego czasem pracy w maszynie oraz stanem technicznym maszyny. Na podstawie tych zależności, opracowanych w postaci modeli matematycznych, można prognozować przyszły stan techniczny maszyny, a w szczególności przewidywać awarie i im zapobiegać.

Na podstawie wieloletnich doświadczeń i badań naukowców i inżynierów ustalono, które parametry jakościowe oleju dostarczają najwięcej informacji o stanie technicznym maszyny. Oczywiście, w przypadku różnych rodzajów maszyn będą to różne parametry. Wyłoniono grupę parametrów wspólnych dla wszystkich rodzajów maszyn - nazwano ją analizą standardową. Badania tej grupy parametrów są wykonywane dla wszystkich rodzajów olejów przemysłowych.

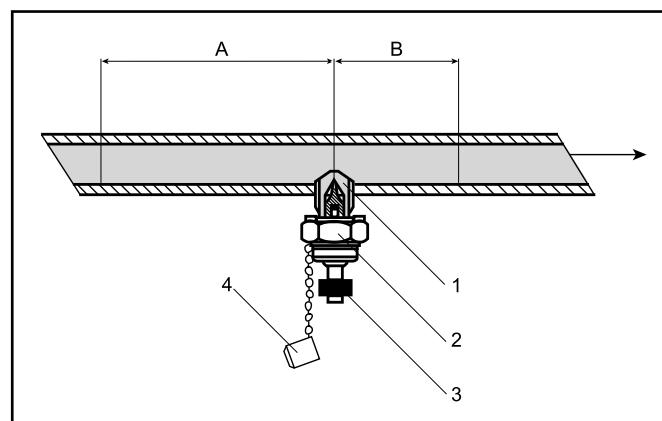
Zakres oznaczeń w analizach standardowych, wykonywanych w systemie badań laboratoryjnych olejów przemysłowych LUBIANA, z wyróżnieniem rodzaju maszyny lub zespołu maszyny oraz rodzaju oleju, przedstawiono w tabeli 22.1. W tabeli tej nie uwzględniono zakresu badań olejów do obróbki cieplnej metali (olejów hartowniczych). Ze względu na specyfikę tej grupy olejów ich badania omówiono odrębnie, w p. 18.

Znormalizowane metody oznaczania poszczególnych parametrów jakościowych olejów oraz ich podstawy teoretyczne zostały, w zarysie omówione w p. 4. W badaniach stosowanych w systemie LUBIANA, są używane metody właściwe dla poszczególnych rodzajów olejów oraz adaptowane lub opracowane specjalnie do potrzeb tego systemu.

Pobieranie próbek oleju do badań jest istotnym elementem systemu LUBIANA. Niewłaściwie pobrana próbka oleju może być przyczyną niereprezentatywnych wyników badań, a co za tym idzie mylnych interpretacji. Z tego względu pobieraniu próbki oleju do badań należy poświęcić należyłą uwagę.

W tym zakresie jest zalecane przestrzeganie kilku poniższych reguł o znaczeniu zasadniczym:

- Próbka powinna być reprezentatywna dla całej masy oleju znajdującej się w układzie. W celu spełnienia tego zalecenia próbkę oleju należy pobierać najlepiej z maszyny pracującej lub bezpośrednio po jej zatrzymaniu, najpóźniej 15 minut po zakończeniu pracy, zawsze przed filtrem.
- Jeżeli próbka jest pobierana ze specjalnego króćca do pobierania próbek (rys. 22.6), należy zadbać o jego czystość (przepłukać), a przed pobraniem próbki zlać porcję oleju tak, by z przewodów spłynęły zebrane tam zanieczyszczenia i olej.
- Króciec do pobierania próbek powinien być zainstalowany w układzie w taki sposób, aby zapewniał on laminarny przepływ oleju w przewodzie, na którym jest zainstalowany. Długość prostego odcinka przewodu przed króćcem, powinna być nie mniejsza niż 50 średnic przewodu (odcinek A), a za króćcem nie mniejsza niż 20 średnic przewodu (odcinek B), co ilustruje rys. 22.6.
- Jako króciec do pobierania próbek najczęściej jest stosowany zawór, zakończony szybkozłączem lub też specjalny zawór, otwierający się pod naciskiem szyjki naczynia do pobierania próbek. W maszynach starszego typu może to być przewód zakończony ręcznie otwieranym kranem. W każdym przypadku należy przestrzegać, aby w czasie, gdy próbka nie jest pobiera-



Rys. 22.6 Króciec do pobierania próbek z przewodów układu olejowego maszyny
1- wlot oleju do króćca, 2 - nakrętka przytwierdzająca zawór szybkozłączny, 3 - zawór szybkozłączny, 4 - kapturek ochronny.

¹ Analogiczny system do nadzoru nad stanem silnika i oleju silnikowego w pojazdach, jest oznaczany akronimem ANAC.

Tabela 22.1 Zalecane analizy standardowe olejów przemysłowych w zależności od rodzaju maszyny (zespołu)

Rodzaj maszyny (zespołu)	Hydraulika		Turbina		Sprężarka rotacyjna	Inne sprężarki	Sprężarka tłokowa	Przekładnia	Transformator	Układy grzewcze	Silnik benzynowy	Silnik Diesla	Sprężarka chłodnicza
	Olej HM	Olej HV	gazowa	parowa lub wodna									
Rodzaj oleju	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Nośnik ciepła	X	Silnikowy	Chłodniczy
Wygląd oleju	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X	X	X
Zawartość wody		X	X	X	X	X	X	X	K. Fischer		O	X	K. Fischer
Zawartość nierozpuszczalnych osadów	X	X	X	X	X	X	X	X		O			
Lepkość kinematyczna, – w temp. 40°C – w temp. 100°C	X	X	X	X	X	X	X	X		O	X	X	X
Wskaźnik lepkości	X	X											
Liczba kwasowa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X (TAN)	X (TAN)		X
Zawartość pierwiastków (P, Zn, Fe, Cu, Al, Pb, Si, Cr, Sn)	X	X	X	X	X	X	X	X		O	X	X	X
Zdolność do wydzielenia powietrza												X	
Liczba zasadowa												X	
Zdolność dyspergujące												X	
Spektrometria w podczernieni											X		
Zdolność wydzielenia wody			O	O									
Skłonność do pienienia			O	O									
Przebiecie elektryczne							O						
Temperatura zapłonu								X					
Koksy (Ramboström)								X					
Węgiel (sadza)													
Klasa czystości (HIAC)	O	O										X	
Analityczny wskaźnik cząstek	O	O	O	O	O	O	X	X			X	X	X

X - badania wykonywane każdorazowo; O - badania wykonywane na żądanie

na, był on zabezpieczony przed zanieczyszczeniem specjalnym kapturkiem.

- Nie należy pobierać próbki z dna zbiornika, w którym to miejscu zbierają się zanieczyszczenia.
- Próbki należy pobierać do suchych i czystych naczyń, najlepiej dostarczonych w ramach systemu LUBIANA.
- Szczególną czystość należy zachować przy pobieraniu próbki do oznaczania składu granulometrycznego; jako naczynia na próbki, w tym przypadku, należy stosować pojemniki specjalnie oczyszczone, o skontrolowanej czystości, dostarczane w ramach systemu LUBIANA.
- W przypadku braku specjalnych urządzeń do pobierania próbek, zainstalowanych na przewodach olejowych maszyny, próbkę można pobrać ze zbiornika oleju; w takim przypadku, należy użyć specjalnych urządzeń do pobierania próbek lub w ostateczności czystej rury szklanej lub lewara.
- Gdy próbka jest pobierana ze zbiornika oleju, powinna być pobrana próbka o większej objętości (np. 1 litr); powinna ona zostać dokładnie wymieszana przez wstrząsanie, a dopiero odpowiednia jej część przelana do dostarczonego pojemnika na próbki.
- Do poprawnej interpretacji wyników i wyeliminowania błędów wynikających ze sposobu pobierania próbek, zaleca się pobieranie kolejnych próbek zawsze z tego samego miejsca układu olejowego, w taki sam sposób i przez tego samego pracownika, specjalnie do tego celu przeszkolonego.
- Sposoby pobierania próbek regulują odpowiednie normy międzynarodowe (ISO 3170) oraz krajowe (PN-ISO 3170), a w przypadku cieczy do badań czystości PN-81/ C-04002. Przestrzeganie postanowień tych norm daje gwarancję reprezentatywności próbki. Postanowienia tych norm nie w każdym przypadku są przydatne do pobierania próbek oleju z maszyn, ale przestrzeganie zawartych w nich reguł ogólnych, jest celowe i niezbędne dla prawidłowego pobrania próbki.

Należy mieć na względzie, że nie ma prostych reguł dotyczących częstotliwości pobierania próbek do badań. Należy kierować się zasadą: im większe znaczenie w procesie produkcji danej maszyny i im kosztowniejsza będzie jej naprawa w przypadku poważnej awarii, tym częściej należy prowadzić badania. Koszt badań, w porównaniu do kosztów związanych z naprawą i przestojem maszyny, jest nieznaczący.

W tabeli 22.2 podano zalecaną przez LUBIANA częstotliwość pobierania próbek z podstawowych typów maszyn.

Tabela 22.2 Zalecana przez system LUBIANA częstotliwość pobierania próbek z podstawowych typów maszyny

Rodzaj maszyny	Zalecana częstotliwość pobierania próbek
Po zalaniu oleju do maszyny, odstaniu i zalaniu odstojów (drenażu)	Każdorazowo, z każdej nowo napełnionej olejem maszyny
Sprężarki powietrzne	500 h...1000 h
Sprężarki gazowe (przemysł chemiczny)	500 h...1000 h
Systemy hydrauliczne	1000 h
Systemy przenoszenia ciepła	1000 h
Sprężarki chłodnicze	1000...2000 h
Turbiny	2000 h
Przekładnie redukcyjne	2000 h
Centralne systemy smarowania	2000 h
Wanny hartownicze	2000 h
Transformatory i olejowe łączniki elektryczne	5000 h
Silniki	15000 km lub 250 h
Centralne systemy chłodzenia do obróbki metali: – roztwory wodne – oleje obróbkowe	zależnie od instalacji 1...4 tygodni zależnie od instalacji 2...4 tygodni

Każdy z parametrów, ocenianych w systemie LUBIANA, jest źródłem wielu informacji, pozwalających na ocenę stanu maszyny oraz oleju. Znaczenie poszczególnych parametrów dla procesu eksploatacji omówiono w kolejności, podanej w tabeli 22.2.

Wygląd oleju jest oceniany wzrokowo. Jest on źródłem informacji zarówno o stanie oleju jak i stanie maszyny. Zmieniony wygląd oleju (znaczące pociemnienie) w stosunku do świeżego świadczy, że uległ on procesom degradacji. Gdy olej nie uległ pociemnieniu świadczy to, że jest on właściwie dobrany do warunków pracy (występujących wymuszeń termicznych i mechanicznych), a maszyna (zespół) pracuje prawidłowo.

Zmieniona barwa oleju na ciemną, świadczy o postępującym procesie jego starzenia lub termicznego rozkładu. Może to być skutkiem zbyt długiego użytkowania lub działania zbyt wysokiej temperatury. Zmieniona barwa oleju może również świadczyć o odmyciu osadów po oleju wcześniej użytkowanym, który był zbyt niskiej jakości w stosunku do wymagań maszyny.

Zmętnienie oleju (wygląd mleczny) świadczy o przedostaniu się do oleju wody lub innych nierozpuszczalnych w nim cieczy eksploatacyjnych, np. olejów syntetycznych na bazie glikoli. Zmętnienie może również świadczyć o wypadaniu z oleju osadów, pochodzących z dodatków.

Zawartość wody, w większości przypadków, jest oznaczana tzw. metodą wodorkową, a w niektórych przypadkach, gdy jest wymagana duża dokładność, metodą Karla Fischera. Metody oznaczania zawartości wody szerzej zostały omówione w p. 4.23.

Na podstawie badań olejów w okresie eksploatacji, ustalono dopuszczalne wartości zawartości wody, które dla przykładowo wybranych olejów podano poniżej:

- oleje hydrauliczne: 0,2%,
- oleje turbinowe: 0,2%,
- oleje maszynowe: 0,5%,
- oleje przekładniowe: 0,5%,
- oleje do sprężarek chłodniczych: 0,01% (100 ppm),
- oleje elektroizolacyjne: 0,003% (30 ppm),
- oleje hartownicze: 0,02%.

Stwierdzono, że taka zawartość wody w oleju nie powinna wywierać jeszcze niekorzystnych oddziaływań na maszynę i nie powoduje istotnych zmian jakościowych oleju.

Obecność wody w oleju, w ilościach większych niż dopuszczalna dla danego rodzaju oleju, może świadczyć o przedostawaniu się wody do układu olejowego z innych obiegów (np. układu chłodzenia wodą) lub z atmosfery.

Woda w oleju może być przyczyną rozkładu bazy (degradacji) niektórych rodzajów olejów (np. estrowych), rozkładu zawartych w oleju dodatków uszlachetniających, a także przyczyną zacierania lub przyspieszonego zużycia skojarzeń trących i korozji metali. W niektórych typach układów (np. hydraulicznych) w obecności wody może następować rozwój mikroorganizmów.

W przypadku olejów elektroizolacyjnych (transformatorowych), obecność wody w znacznym stopniu pogarsza ich odporność na przebicie i stratność dielektryczną.

W przypadkach, gdy olej z założenia wchodzi w kontakt z wodą (np. turbiny wodne), obecność wody w pobranej próbce oleju może świadczyć o małej skuteczności układu separacji wody.

Cząstki stałe są to zanieczyszczenia stałe. Najczęściej są to cząstki ścieru metalicznego, produkty korozji, a także krzemionka i inne minerały, przedostające się do oleju z zewnątrz (kurz). Powodują one zarysowywanie i szlifowanie współpracujących powierzchni skojarzeń trących. Nagromadzenie cząstek nierozpuszczalnych w oleju smarowym, jest jedną z podstawowych przyczyn zużywania maszyn.

Zawartość cząstek nierozpuszczalnych jest oznaczana jedną z poniższych metod:

- metodą grawimetryczną,
- przy użyciu automatycznych liczników cząstek, jako tzw. skład granulometryczny,
- metodą ferrograficzną,

Pojęcia i metody dotyczące oznaczania zawartości zanieczyszczeń stałych szerzej zostały omówione w p. 4.22.

Lepkość kinematyczna w trakcie użytkowania oleju, w zależności od jego składu chemicznego jak i oddziaływujących wymuszeń termicznych, chemicznych i mechanicznych, może ulegać zarówno zmniejszeniu jak i zwiększeniu.

Zwiększona lepkość oleju wskazuje na postępujące procesy utleniania, wskutek podwyższonych temperatur, a niekiedy jest rezultatem dolania oleju o lepkości wyższej niż znajdujący się w układzie.

Zmniejszona lepkość najczęściej jest wynikiem wprowadzenia do oleju rozpuszczalnika stosowanego w procesie technologicznym, dodania oleju o mniejszej lepkości lub ścinania dodatku polimerowego.

Wskaźnik lepkości, jego zmiana w stosunku do wyjściowego, może świadczyć o zmniejszeniu efektywności dodatków poprawiających właściwości reologiczne oleju pod wpływem wody, wymuszeń termicznych lub mechanicznych albo utleniania. Dodatki tego typu są polimerami, mogą one ulegać degradacji pod wpływem mechanicznych sił ścinających.

Pojęcia i metody dotyczące oznaczania lepkości oraz obliczania wskaźnika lepkości szerzej zostały omówione w p. 4.2.

Liczba kwasowa jest oznaczana metodami znormalizowanymi, właściwymi dla badanego rodzaju oleju. Pojęcia i metody dotyczące oznaczania liczby kwasowej szerzej zostały omówione w p. 4.10.

W toku użytkowania oleju, w wyniku procesów utleniania (degradacji) mniej odpornych jego składników, następuje zwiększanie liczby kwasowej. Na marginesie należy wspomnieć, że niektóre oleje zawierają dodatki o charakterze kwasowym. W wyniku ich rozkładu może następować zmniejszenie liczby kwasowej. Z tego względu wartość liczby kwasowej nie powinna ulec zbyt dużemu zwiększeniu, ale również nie powinna ulec nadmiernemu zmniejszeniu.

Nadmierne zwiększenie liczby kwasowej może katalizować procesy rozkładu składników oleju (degradacji), a także być przyczyną korozji niektórych metali.

Zawartość pierwiastków takich jak: fosfor (P), bor (B), cynk (Zn), magnez (Mg) i wapń (Ca) jest oznaczana metodą emisyjnej spektrometrii plazmowej. Metody dotyczące metod oznaczania pierwiastków w stężeniach śladowych zostały szerzej omówione w p. 4.21.

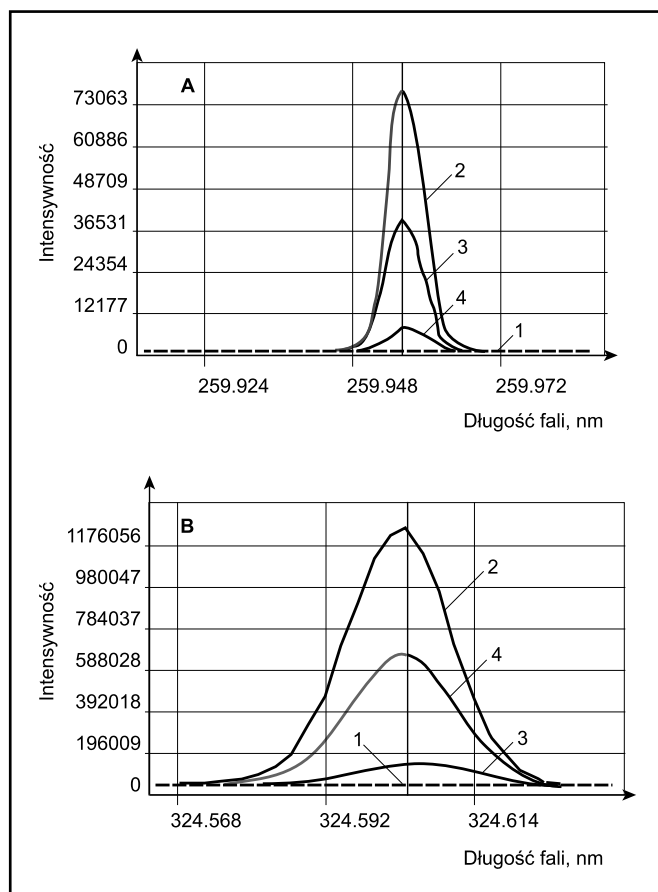
Obecność w oleju pierwiastków takich jak: fosfor (P), bor (B), cynk (Zn), magnez (Mg) i wapń (Ca) najczęściej jest wynikiem obecności w składzie olejów dodatków, zawierających te pierwiastki. Dodatki te poprawiają właściwości użytkowe oleju.

Jeżeli olej w swoim składzie zawiera dodatki, których składnikami są: fosfor, bor, cynk, magnez lub wapń, ich zawartość na ogół maleje w czasie eksploatacji. Jest to rezultat zużycia się dodatków zawartych w oleju wskutek eksploatacji oraz w wyniku procesów utleniania, rozkładu termicznego, a niekiedy także oddziaływania wody.

Zawartość innych pierwiastków metalicznych, takich jak: żelazo (Fe), miedź (Cu), glin (Al), ołów (Pb), chrom (Cr), cyna (Sn) najczęściej jest rezultatem procesów zużycia metalowych powierzchni skojarzeń trących. Powolne zwiększenie zawartości tych metali w oleju jest sygnałem świadczącym o postępujących procesach zużycia metalowych powierzchni skojarzeń trących. Jest to proces naturalny, aczkolwiek szkodliwy. Zwiększona zawartość tych metali w oleju katalizuje procesy utleniania i termicznego rozkładu składników oleju.

Zwiększanie zawartości metali, zwłaszcza żelaza i miedzi, może także być spowodowane postępującymi procesami rdzewienia i korozji.

Przykładowe wykresy wyników pomiarów zawartości Fe (rys. 22.7 A) i Cu (rys. 22.7 B) dla przypadku gdy olej świeży nie zawierał tych metali (krzywa 1) i dla próbek dwóch olejów, pobieranych z układu maszyny, zawierających różną zawartość Fe i Cu (krzywe 3, 4), przedstawiono na rys. 22.7.



Rys. 22.7 Wykres obrazujący wyniki oznaczania zawartości metali metodą plazmowej spektrometrii emisyjnej
A – przedział długości fali zawierający pik właściwy dla Fe, B – przedział długości fali zawierający pik właściwy dla Cu
1 – widmo emisyjne oleju świeżego (bez zawartości metali), 2 – wzorzec, 3, 4 – widma emisyjne oleju z różną zawartością metali

Gwałtowne zwiększenie zawartości metali w oleju jest najczęściej powodowane katastroficznym zużyciem niektórych części maszyny. Na podstawie zwiększenia zawartości określonych metali wnioskuje się o tym, które części ulegają przyspieszonemu zużyciu.

Przykładowo, jeżeli zwiększa się zawartość miedzi i cyny, świadczy to, że przyspieszonemu zużyciu podlega część, wykonana z brązu cynowego (tulejki, panewki, inne elementy ślizgowe). Jeżeli zwiększa się zawartość miedzi i ołowiu, świadczy to, że przyspieszonemu zużyciu ulega część wykonana z brązu ołowianego (łożyska, panewki). Zwiększenie zawartości glinu, może być wynikiem zużycia się części, wykonanych z duraluminium lub innych stopów glinu. Wnioskowanie na tej podstawie pozwala na szybszą lokalizację uszkodzenia i znaczne zmniejszenie nakładów na remont maszyny.

Najczęściej jednak, obserwuje się intensywne zwiększanie zawartości żelaza, jako że większość części maszyn jest wykonana ze stali, której podstawowym składnikiem jest ten metal. W takim przypadku, pod uwagę bierze się również stopień zwiększenia zawartości metali, które mogą być składnikami stali stopowych, takich jak: chrom, nikiel, wolfram i inne. Analiza stopów, jakie zostały zastosowane do budowy poszczególnych części maszyny, pozwala niekiedy na trafną lokalizację uszkodzenia maszyny.

Obecność w oleju krzemu (Si), jest najczęściej spowodowana przedostawaniem się do układu olejenia, zanieczyszczeń z zewnętrznych w postaci krzemionki (kurz, piasek). Krzemionka, ze względu na ostrość krawędzi i dużą twardość, powoduje przyspieszone zużycie smarowanych części.

Zdolność do wydzielania powietrza (gazu) z oleju jest parametrem kontrolowanym w olejach stosowanych w układach smarowania przemysłowych silników Diesla (napęd sprężarek, agregatów elektrycznych itp.) oraz w olejach hydraulicznych, pra-

cujących w kontakcie z powietrzem lub innymi gazami. Obecność rozpuszczonych gazów w olejach i innych cieczach eksploatacyjnych pracujących w warunkach zmiennego ciśnienia, może być czynnikiem wywołującym lub sprzyjającym kawitacji.

W wyniku polimeryzacji składników oleju, zwłaszcza dodatków polimerowych, parametr ten może ulec istotnemu pogorszeniu. Powoduje to pienienie oleju, zjawisko kawitacji oraz intensyfikuje procesy degradacji oleju.

Zdolność do wydzielania gazów jest także istotną właściwością olejów izolacyjnych, co zostało omówione w p. 13.

Liczba zasadowa (TBN) jest to parametr kontrolowany w olejach stosowanych w silnikach Diesla (patrz p. 4.10.4). Liczba zasadowa świadczy o obecności w oleju dodatków o charakterze zasadowym (alkalicznym), stanowiących tzw. rezerwę alkaliczną oleju.

Dotyczy to zwłaszcza przypadku stosowania paliw zawierających dużą zawartość siarki.

Dodatki o charakterze zasadowym są wprowadzane do oleju w celu zobojętnienia kwasu siarkowego, siarkawego i azotowego oraz innych mocnych kwasów, powstających w wyniku spalania paliwa. Dotyczy to zwłaszcza przypadku stosowania paliw zawierających dużą zawartość siarki.

W wyniku zobojętnienia powstających kwasów, zawartość składników oleju o charakterze zasadowym maleje, z czym związane jest zmniejszanie liczby zasadowej. W skrajnym przypadku, może to doprowadzić do takiego zmniejszenia liczby zasadowej, że powstające kwasy nie będą mogły być zobojętniane; następuje wówczas intensyfikacja procesów korozji metali.

Zdolność dyspergująca jest oznaczana w olejach stosowanych w przemysłowych (i trakcyjnych) silnikach Diesla. Badanie polega na ocenie zdolności oleju do dyspergowania (rozpraszania) sadzy. Oznaczenie jest wykonywane poprzez naniesienie na specjalną bibułę filtracyjną kropli oleju z dodatkiem ściśle określonej zawartości sadzy. Obraz powstałej plamki jest odnoszony do wzorców. Jeżeli olej równomiernie rozprowadza sadzę na całej, zwilżonej powierzchni, ocenia się, że jego zdolność dyspergująca jest właściwa. Natomiast jeżeli sadza zawieszona w oleju nie rozplywa się, a jedynie tworzy zwartą plamę w miejscu naniesienia kropli ocenia się, że olej nie ma zdolności dyspergujących.

Im zdolność dyspergująca oleju jest lepsza, tym łatwiej są dyspergowane produkty rozkładu oleju i niedopalone składniki paliwa, tym łatwiej są zmywane osady, odkładające się na ściankach komory spalania, denku i ściankach tłoka oraz w rowkach i na pierścieniach tłokowych.

Spektrometria w podczerwieni jest badaniem, polegającym na ocenie zmian jakości oleju poprzez rejestrację i analizę jakościową i ilościową jego widma w świetle podczerwonym. Badanie jest wykonywane przy zastosowaniu aparatu, zwanego spektrometrem do podczerwieni (patrz p. 4.15).

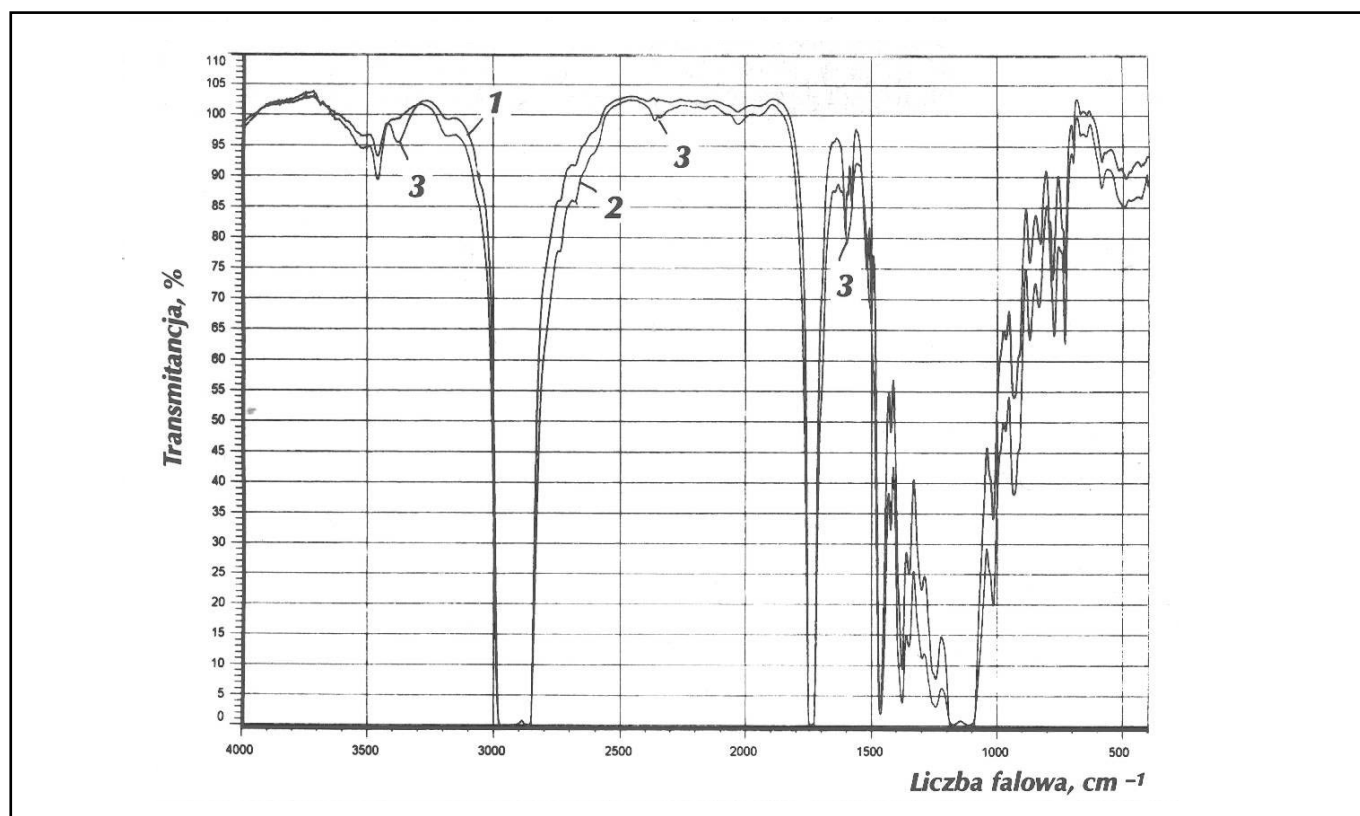
W wyniku analizy widma w podczerwieni oleju określa się zawartość produktów utleniania oleju, zmiany w składzie dodatków oraz zawartość składników znitrowanych. Nitrozwiązki powstają w oleju w wyniku reakcji nitrowania produktami utleniania azotu z powietrza do tlenków azotu.

Przykład widma w podczerwieni dla oleju świeżego (wykres 22.8 – 1) oraz przetworzonego (wykres 22.8 – 2) przedstawia rys. 22.8. Różnice w wielkości pików, oznaczone jako wykres 3, mogą być podstawą do wnioskowania o zmianach w składzie (jakości) badanego oleju.

Zdolność do wydzielania wody (deemulgowalność) jest oceniana w olejach do turbin gazowych, parowych i wodnych, tj.; w przypadkach, gdy olej może mieć bezpośredni kontakt z wodą lub parą wodną, parametr ten ma istotne znaczenie dla oceny jakości oleju.

Od olejów do turbin parowych i wodnych wymaga się bardzo dobrej zdolności do rozdzielania faz woda-olej. Produkty rozkładu składników oleju (niektórych dodatków), a także dolewki niewłaściwych olejów, mogą powodować pogorszenie jakości oleju w tym zakresie. W rezultacie w oleju turbinowym powstają mniej lub bardziej trwałe emulsje olejowo-wodne, pogarszające właściwości smarne i przeciwzużyciowe oleju, a w wyniku przyspieszone zużycie smarowanych części turbiny.

Skłonność do pienia (oceniana metodami standardowymi wg. p. 4.13). W przypadku olejów do turbin gazowych, parowych i wodnych jest to jeden z najważniejszych parametrów jakościowych.



Rys. 22.8 Widma w podczerwieni

1 - widmo oleju świeżego, 2 - widmo oleju przetworzonego, 3 - piki świadczące o zmianach składu chemicznego oleju przetworzonego

W wyniku degradacji oleju powstają substancje powierzchniowocenne, powodujące skłonność oleju do pienia. Powstająca piana zmniejsza intensywność smarowania skojarzeń trących, jest to spowodowane zmniejszeniem dopływu oleju do smarowanych części. Piana może być także przyczyną przelewania się oleju poprzez układ odpowietrzający zbiornika.

Odporność na przebicie elektryczne – jest to parametr oceniany metodami standardowymi (patrz p. 13) w olejach izolacyjnych, głównie transformatorowych i kondensatorowych. Zasada pomiaru polega na ustaleniu napięcia przy jakim nastąpi przeskok iskry elektrycznej przez próbkę oleju (izolatora), w znormalizowanych warunkach oznaczania (standardowa celka pomiarowa).

Oleje elektroizolacyjne są stosowane jako ciekły izolator i czynnik odprowadzający ciepło w transformatorach, olejowych przełącznikach i innych urządzeniach elektrycznych. Olej pracujący w transformatorze ulega podgrzaniu do temperatury rzędu 70... 90°C. W tej temperaturze ulega utlenieniu, w wyniku którego powstają substancje powodujące pogorszenie jego właściwości jako izolatora.

Obecność w oleju izolacyjnym substancji nie izolujących lub przewodzących prąd może być przyczyną powstania przebić elektrycznych, a tym samym awarii transformatora, przełącznika czy kondensatora. Przyczyną przebić elektrycznych także mogą być: woda zawarta w oleju izolacyjnym, produkty korozji metali, rozpuszczone gazy i inne zanieczyszczenia oleju.

Od cieczy (olejów) izolacyjnych jest wymagana odporność na przebicie elektryczne >30 000 V. Olej transformatorowy o obniżonej odporności na przebicie elektryczne powinien być starannie oczyszczony lub wymieniony na nowy. Należy również ustalić przyczynę niekorzystnych zmian jakości oleju, jeżeli nie są one związane z normalnymi procesami starzenia, związanymi z długim okresem eksploatacji.

Temperatura zapłonu – jest oznaczana wieloma metodami standardowymi, właściwymi dla badanych olejów (p. 4.6), przywołanych w normach produktowych lub specyfikacjach.

Obniżona temperatura zapłonu, świadczy o rozkładzie mniej odpornych składników oleju i powstaniu składników lotnych. Lotne składniki mogą również przedostać się do oleju w rezultacie niewłaściwej jego pielęgnacji (np. filtracji) lub jako przecieki lekkiego oleju lub paliwa (np. z układu zasilania silnika). Obniżenie temperatury zapłonu oleju izolacyjnego (np. transformatorowego) może być przyczyną pożaru.

Pozostałość po koksowaniu – jest oznaczana znormalizowaną metodą wg Ramsbottoma (p. 4.19). Jest to parametr istotny dla wielu olejów i świadczy głównie o poprawności przeprowadzenia procesów produkcyjnych, a w przypadku olejów z układów smarowania o postępie procesów degradacji, zachodzących pod wpływem wysokiej temperatury i działania tlenu z powietrza.

W przypadku olejowych nośników ciepła, skłonność oleju do koksowania i związany z tym parametr - pozostałość po koksowaniu, są istotne ze względów eksploatacyjnych. Powstający w oleju koks tworzy osady, odkładające się na ściankach przewodów i wymienników ciepła, pogarszając tym samym eksploatacyjne właściwości oleju.

Węgiel (sadza) – jest oznaczana w olejach stosowanych jako olejowe nośniki ciepła, ze względów, jakie podano wyżej.

Klasa czystości jest określana na podstawie oznaczenia składu granulometrycznego cząstek zanieczyszczeń. Pod tym pojęciem rozumie się liczbę cząstek zanieczyszczeń stałych, przypadających na określone przedziały wymiarowe ich średnic zastępczych. Jako przedziały wymiarowe najczęściej ustala się zakresy średnic: 5...15, 15...25, 25... 50, 50...100 oraz >100 µm. W niektórych przypadkach pomiary składu granulometrycznego są dokonywane dla innych średnic cząstek.

Analityczny wskaźnik cząstek (AWC) – jest to parametr opracowany na podstawie setek tysięcy badań i tysięcy analizowanych przypadków. Jest on określany na podstawie obrazu mikroskopowego wyizolowanych cząstek zanieczyszczeń stałych z oleju. Służy do oceny stanu maszyny i jest oparty o zależności empiryczne (modele matematyczne), opracowane na podstawie ilości, wielkości i rodzaju cząstek stałych, znajdujących się w badanej próbce oleju. Analityczny wskaźnik cząstek jest ściśle związany z innymi stosowanymi metodami laboratoryjnymi. Daje on pełny obraz zachowania właściwych warunków pracy maszyny lub zespołu.

Cząstki zanieczyszczeń stałych w oleju, w zależności od źródła ich pochodzenia, mają różny wygląd. Na podstawie ich wyglądu, barwy, kształtu oraz wymiarów wnioskuje się o zachodzących w maszynie procesach zużywania lub źródłach zanieczyszczeń, co ilustruje to tabela 22.3.

Analityczny wskaźnik cząstek zawiera się w granicach 0... 1000. Dla każdego typu maszyny, są ustalone wartości kryterialne, opracowane na podstawie wieloletnich badań i analiz oraz bazy danych LUBIANA. Na ogół są one różne, w zależności od typu maszyny.

Tabela 22.3 Rodzaj, wielkość charakterystyka, źródła i pochodzenie cząstek stałych w oleju

Rodzaj cząstek	Wymiary, mikrometry	Charakterystyka cząstek	Pochodzenie cząstek
Cząstki pochodzące z normalnego zużywania	10...20	Regularne kształty, powierzchnia gładka	Normalne zużywanie powierzchni trących
Cząstki zmęczeniowe	50...500	Płaskie łuski o nieregularnych kształtach	Przeciążenie, zmęczenie łożysk
Cząstki zmęczeniowe	5...100	Kuliste	Zmęczenie łożysk, polerowanie szczelin i pęknięć - alarmujący rodzaj zużycia
Cząstki z zużycia ślizgowego	20...500	Cząstki powstające przy bardzo małych lub bardzo dużych prędkościach poślizgu	Zużywanie powierzchni zębów kół zębatych
Cząstki ściernie	60...600	Wióry	Rysowanie powierzchni ostrymi krawędziami (pęknięcia, wyszczerbienia)
Cząstki blaszkowe	20...500	Powierzchnia płaska, grube	Zużycie łożysk - rzadkie zjawisko
Czerwone tlenki metali	20...1000	Kształt dowolny, dość grube	Korozja, degradacja dodatków pod wpływem wody
Czarne tlenki metali	20...500	Kształt dowolny, nieregularny	Problemy z temperaturą pracy oleju
Produkty utlenienia oleju	50...1000	Kształt dowolny, dowolna grubość	Degradacja oleju pod wpływem temperatury i powietrza, katalityczne działanie metali
Włókna o strukturze organicznej	-	Poskręcane i pozwijane włókienka	Migracja materiału przegrody filtracyjnej
Zanieczyszczenia mineralne	10...50	Kryształki krzemionki	Zanieczyszczenia pochodzenia zewnętrznego
Zanieczyszczenia organiczne	20...100	Cząstki wydłużone i zaokrąglone	Polimeryzacja składników oleju lub zanieczyszczenia zewnętrzne
Cząstki różne	-	Dowolny kształt zależnie od pochodzenia materiału	Lakier, szkliwo, pasty uszczelniające, drewno, guma, skóra i inne

Tabela 22.4 Wartości graniczne analitycznego wskaźnika cząstek (AWC), dla wybranych typów maszyn

Typ maszyny	Kolor	Wartości graniczne AWC
Układy hydrauliczne	Zielony	1000 ... 875
	Pomarańczowy	875 ... 751
	Czerwony	< 750
Przekładnie zębate	Zielony	1000 ... 750
	Pomarańczowy	750 ... 501
	Czerwony	< 500
Turbiny	Zielony	1000 ... 950
	Pomarańczowy	950 ... 900
	Czerwony	< 900
Sprężarki chłodnicze, freonowe	Zielony	1000 ... 900
	Pomarańczowy	900 ... 800
	Czerwony	< 800

Do oznaczania obszarów wartości granicznych przyjęto kolory:

- zielony, przedział wartości dla normalnej pracy maszyny i normalnego stanu pracującego oleju,
- pomarańczowy, sygnalizujący istnienie zagrożeń i sugerujący częstszą kontrolę maszyny poprzez badanie oleju,
- czerwony dla stanu przedawaryjnego.

Zaznaczenie wyniku badań odpowiednim kolorem informuje użytkownika maszyny o ewentualnych zagrożeniach, jakie należy brać pod uwagę przy podejmowaniu decyzji, na podstawie rezultatów badań.

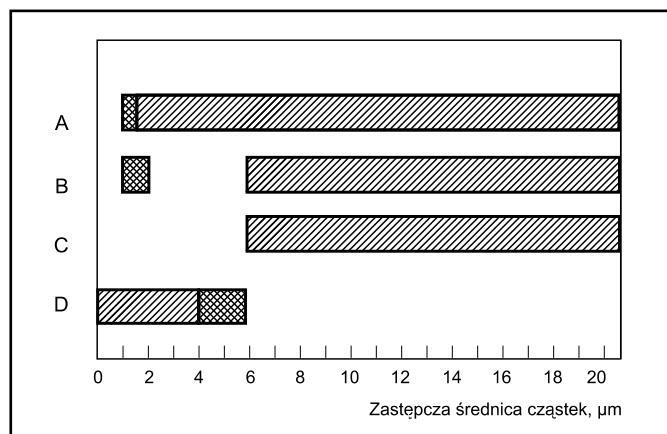
W tabeli 22.4, podano wartości graniczne analitycznego wskaźnika cząstek dla wybranych typów maszyn.

Specjaliści TOTAL mogą pomóc przy wyborze olejów, maszyn lub ich zespołów, które będą monitorowane podczas eksploatacji, z zastosowaniem systemu LUBIANA oraz częstotliwości prowadzenia badań. W ten sposób będzie też można podjąć optymalną decyzję o zakresie analiz, jakie będą wykonywane.

Każda ze stosowanych metod badania cząstek zanieczyszczeń stałych odnosi się do właściwego dla niej obszaru średnic cząstek. Porównanie zakresu możliwości metod badania cząstek zanieczyszczeń stałych, różnymi metodami stosowanymi w systemie LUBIANA, przedstawia rys. 22.9.

22.5 Działanie systemu LUBIANA

Dla każdego rodzaju maszyny i dla każdego rodzaju oleju, objętych systemem LUBIANA, na podstawie bazy danych i doświadczeń, dla poszczególnych parametrów, wypracowano wartości kryterialne (zwane niekiedy wartościami granicznymi). Na podsta-



Rys. 22.9 Porównanie zakresu możliwości metod badania cząstek stałych różnymi metodami stosowanymi w systemie LUBIANA.

A – analityczny wskaźnik cząstek (AWC), B – ferrografia, C – automatyczny licznik cząstek (HIAC), D – spektrometria.

wie wyników oznaczania oraz ustalonych wartości kryterialnych, są wypracowywane interpretacje wyników, a użytkownikowi proponowane określone działania, których celem jest poprawa stanu maszyny lub oleju. Przykłady wartości kryterialnych LUBIANA dla wybranych typów przekładni i olejów przekładniowych, przedstawiono w tabeli 22.5.

W licznych przypadkach, na podstawie wyników badań, odnoszonych do bazy danych LUBIANA, są wykrywane stany przedawaryjne maszyny. Niekiedy dotyczy to poszczególnych elementów maszyny: łożyska, pary suwakowej, filtra, regulatora, czy innego elementu układu olejenia. Wychwycenie takiego przypadku i usunięcie przyczyny zmian jakości oleju, pozwala na uniknięcie poważnej awarii maszyny.

Działanie systemu LUBIANA, w takim przypadku, ilustruje poniższy przykład.

Przykład 22.1:

Badania prowadzono dla przekładni redukcyjnej, o osiach równoległych i pojemności miski olejowej 2000 litrów. W układzie smarowania był stosowany przemysłowy olej przekładniowy, o klasie lepkości VG 320.

Po okresie docierania, przekładnia była monitorowana w okresie od 22 marca 1992 r. do 27 marca 1995 r. W tym okresie pobrano i przebadano 20 próbek oleju z częstotliwością 1 próbka na dwa miesiące pracy maszyny.

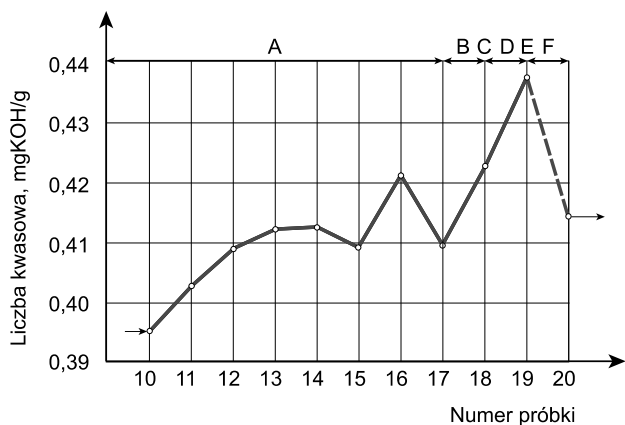
Przebieg wybranych parametrów, określających stan techniczny badanej przekładni, przedstawiono na rys.: 22.10 (liczba kwasowa), 22.11 (zawartość żelaza), 22.12 (analityczny wskaźnik cząstek), a tabela 22.6 zawiera zestawienie wyników, prowadzonych badań (próbki 12...19), w okresie 27.09.1993 r. do 28.10.1994 r., to jest do wystąpienia stanu przedawaryjnego oraz próbki 20 (26.12.1994), już po usunięciu awarii (wymianie łożyska).

Na podstawie analizy próbki nr 18, postawiono hipotezę, że przyczyną obserwowanych zjawisk jest uszkodzenie drobnego elementu maszyny. Powoduje to emisję do oleju ścieru żelaza (zwiększenie stężenia Fe), przyspieszone utlenianie oleju (zwiększenie liczby kwasowej) oraz emisję cząstek metalu (zmniejszenie analitycznego wskaźnika cząstek).

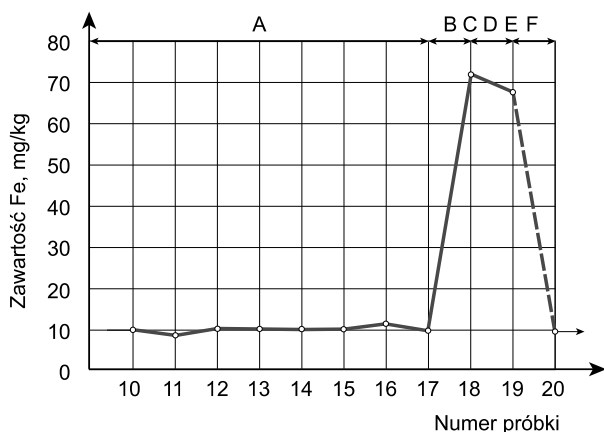
Po analizie próbki nr 19 zatrzymano urządzenie. W urządzeniu było zainstalowane 20 dwurzędowych łożysk kulkowych, o średnicy zewnętrznej 300 do 400 mm i szerokości 150 mm. Po otwarciu przekładni stwierdzono, że jedno łożysko kulkowe jest w stanie daleko posuniętego zużycia. Koła zębate były w stanie nieuszkodzonym. Nie stwierdzono, jaka była przyczyna zaistniałego stanu. Na podstawie dobrego stanu innych skojarzeń trących, stwierdzono jedynie, że przyczyną nie był olej stosowany do smarowania. Po wymianie łożyska, przekładnię włączono do normalnego eksploatacji.

Tabela 22.5 Wartości kryterialne (graniczne) w systemie LUBIANA, dla wybranych typów przekładni i olejów przekładniowych

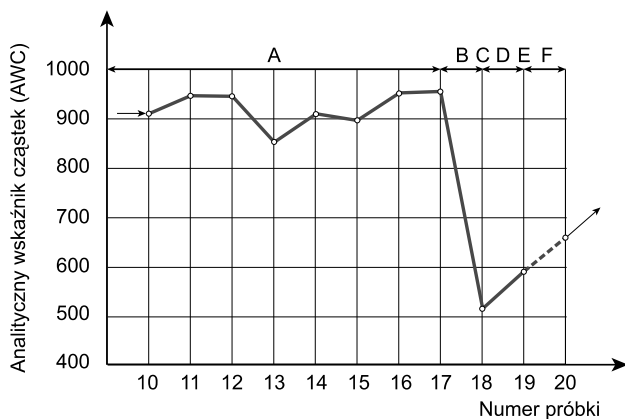
Parametr	Jednostki miary	Przyjęte wartości graniczne	
		Przekładnie ślimakowe	Przekładnie o wałach równoległych
Zawartość wody	%	< 0,3	
Zawartość substancji nierozpuszczalnych	%	< 0,002	
Lepkość kinematyczna – wartość minimalna – wartość maksymalna	mm ² /s	< – 10% wartości średniej < + 25% wartości średniej	
Liczba kwasowa – wartość minimalna – wartość maksymalna	mg KOH/g	< – 30% wartości średniej < + 30% wartości średniej	
Zawartość pierwiastków	mg/kg		
– Fe		< 600	< 300
– Cu		< 800	< 30
– Sn		< 200	< 30
– Zn		< 100	–
– Si		< 15	< 15



Rys. 22.10 Liczba kwasowa oleju przekładniowego VG 320, stosowanego w nadzorowanej przekładni (Przykład 1)
A – okres normalnej pracy, **B** – okres w którym nastąpiło uszkodzenie, **C** – hipoteza o wystąpieniu uszkodzenia (skokowa zmiana liczby kwasowej), **D** – potwierdzenie hipotezy o wystąpieniu uszkodzenia, **E** – wymiana oleju, **F** – okres dalszej normalnej pracy przekładni, po usunięciu uszkodzenia



Rys. 22.11 Zawartość żelaza w oleju przekładniowym VG 320, stosowanym w nadzorowanej przekładni (Przykład 1)
A – okres normalnej pracy, **B** – okres w którym nastąpiło uszkodzenie, **C** – hipoteza o wystąpieniu uszkodzenia (skokowa zmiana zawartości żelaza), **D** – potwierdzenie hipotezy o wystąpieniu uszkodzenia, **E** – wymiana oleju, **F** – okres dalszej normalnej pracy przekładni, po usunięciu uszkodzenia



Rys. 22.12 Analityczny wskaźnik cząstek (AWC) dla oleju przekładniowego VG 320, stosowanego w nadzorowanej przekładni (Przykład 1)
A – okres normalnej pracy, **B** – okres w którym nastąpiło uszkodzenie, **C** – hipoteza o wystąpieniu uszkodzenia (skokowe zmniejszenie (AWC)), **D** – potwierdzenie hipotezy o wystąpieniu uszkodzenia, **E** – wymiana oleju, **F** – okres dalszej normalnej pracy przekładni, po usunięciu uszkodzenia

Należy zauważyć, że na podstawie analizy wyników badań, przedstawionych w tabeli 22.6, można również dojść do wniosku, że sygnały, o występującej niesprawności można było odebrać również, na podstawie zmian innych parametrów jakościowych oleju.

Po podjęciu decyzji, że stan techniczny maszyny będzie monitorowany poprzez jej włączenie do systemu badań laboratoryjnych LUBIANA, wskazane jest podjęcie określonych działań organizacyjnych:

- należy zgłosić chęć uczestnictwa w systemie badań LUBIANA; można zrobić to, wysyłając zgłoszenie na adres TOTAL - POLSKA. W odpowiedzi wysyłamy dokument „LUBIANA AGREEMENT” (UMOWA LUBIANA), który dokładnie wyjaśnia wszystkie szczegóły współpracy.
- umowę należy wypełnić i przesłać na adres jak wyżej;
- umowa zostanie zarejestrowana, a laboratorium w Solaise prześle, co następuje:
 - nalepki identyfikacyjne klienta (do przyklejania na etykiety),
 - nalepki identyfikacyjne urządzenia (do przyklejania na etykiety),
 - wykaz numerów identyfikacyjnych urządzeń;
- po otrzymaniu tych dokumentów, należy określić liczbę etykiet, które są niezbędne do prowadzenia badań; każda etykieta odpowiada jednej maszynie (zespółowi), a każda analiza wymaga jednej lub więcej etykiet; etykiety są pakowane w partiach po 20 sztuk;
- po otrzymaniu zamówienia laboratorium w Solaise lub TOTAL POLSKA dostarczy:
 - pojemniki na próbki (poj. 125 cm³ lub 500 cm³, zależnie od rodzaju analizy),
 - odpowiednie opakowania, zaadresowane do laboratorium,
 - etykiety identyfikacyjne na próbki,
 - arkusze przywieszek etykiet (w postaci książeczki etykiet),
- do dostarczonego pojemnika należy pobrać próbkę oleju, przestrzegając zasad, podanych w p. 22.4:
- przykleić otrzymaną etykietę na opakowanie z próbką oleju, podając na nim następujące informacje:
 - dane identyfikacyjne firmy (nazwa, adres, telefon, fax, e-mail itp.),
 - dane identyfikacyjne maszyny, w tym numer rejestracyjny, który będzie występował w historii maszyny,
 - w przypadku nadsyłania kolejnej próbki, opis zmian, które wystąpiły od momentu pobrania próbki, w tym: czas pracy maszyny (w godzinach), ilość dolewek oleju, data pobrania próbki;

Uwaga:

Za każdym razem, gdy próbka jest pobierana do pierwszej analizy z danej maszyny lub zespołu, jest niezbędne wypełnienie wszystkich rubryk etykiety. W innych przypadkach, należy stosować dostarczone przywieszki identyfikacyjne.

- przykleić na nalepce przywieszkę informującą o rodzaju niezbędnej analizy, jaka powinna być wykonana dla danej próbki; w przypadku analiz typu opcjonalnego wybrać rodzaj analizy.

Uwaga:

Zależnie od rodzaju analizy, może być potrzebne od jednej do czterech przywieszek. W tabeli 22.7, podano liczbę przywieszek zależnie od standardu i wybranej opcji.

- próbkę z naklejoną etykietą i przywieszkami włożyć do otrzymanego opakowania i dostarczyć do TOTAL POLSKA.
- wyniki badań laboratoryjnych:
 - nasze laboratorium w Solaise prześle wyniki badań laboratoryjnych, na wskazany adres pocztą elektroniczną, faxem lub listownie,
 - w ciągu jednego miesiąca wyniki mogą być konsultowane poprzez internet, fax lub telefon,
 - na wskazany adres mogą być przesłane dodatkowe wyniki badań, zależnie od wykonanych analiz, mogą to być wykresy lub zdjęcia mikroskopowe;
- interpretację wyników badań laboratoryjnych:

Tabela 22.6 Zestawienie wyników badań (próbki 12...20), do przykładu 1.

Nr próbki →	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Data pobrania próbki →	27.09	22.11	24.01	21.03	20.06	29.08	17.10	28.10	26.12
Mierzone parametry									
Wygląd oleju	klarowny	ciemny	klarowny	klarowny	ciemny	klarowny	ciemny	ciemny	klarowny
Zawartość wody, %	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Zawartość cząstek nierozpuszczalnych, %	0,006	0,006	0,012	0,012	<0,002	<0,002	0,040	0,018	0,002
Liczba kwasowa, mgKOH/g	0,409	0,412	0,412	0,409	0,422	0,409	0,424	0,437	0,414
Lepkość kinematyczna w temp. 40°C, mm ² /s	304,0	305,2	302,0	298,0	303,0	302,8	302,3	306,7	319,3
Analityczny wskaźnik cząstek	943	856	909	897	950	956	508	579	651
Zawartość pierwiastków, mg/kg									
P (fosfor)	338	325	317	316	323	326	309	310	330
B (bor)	54	48	43	48	50	42	47	54	<10
Zn (cynk)	6	7	7	8	8	7	7	7	2
Mg (magnez)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Ca (wapń)	28	26	24	25	24	22	22	22	7
Sn (cyna)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Pb (ołów)	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Ni (nikiel)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Si (krzem)	3	3	2	2	2	2	2	2	3
Fe (żelazo)	10	10	10	10	11	10	73	69	9
Cr (chrom)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Al (glin)	<2	2	<2	<2	2	<2	<2	<2	<2
Cu (miedź)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Ag (srebro)	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2

- w przypadku wystąpienia wyników zbyt oddalonych od wartości typowych, laboratorium w Solaise dołącza interpretację i ostrzeżenia,
- w takim przypadku specjaliści TOTAL skontaktują się, w celu ustalenia przyczyn występujących anomalii oraz znalezienia sposobów właściwych rozwiązań i działań zaradczych,
- decyzja o podjęciu działań zaradczych, zawsze pozostaje w gestii użytkownika maszyny czy też oleju.

Niekiedy jest zadawane pytanie: Od kiedy można zacząć monitorowanie stanu oleju i maszyny? Czy można monitorować stan maszyny, jeżeli jest ona już dość długo eksploatowana? Odpowiedź na te pytania jest prosta: Maszynę można monitorować, niezależnie od jej wieku, poczynając od każdego momentu jej

Tabela 22.7 Liczba przywieszek zależnie od standardu i opcji

Rodzaj analizy	Rodzaj oleju	Liczba przywieszek
Standard A	Hydrauliczny	2
	Maszynowy	
	Sprężarkowy	
	Przekładniowy	
	Do obróbki skrawaniem	
	Silnikowy	
Standard B	Transformatorowy	4
	Nośnik ciepła	
	Hartowniczy	
Opcje	Indeks zawartości cząstek stałych	1 na każdą opcję
	Analiza spektrometryczna w podczerwieni	
	Analityczny wskaźnik cząstek (AWC)	3 na każdą opcję
	Skłonność do pienienia i uwalniania powietrz	
	Skład granulometryczny zanieczyszczeń stałych	

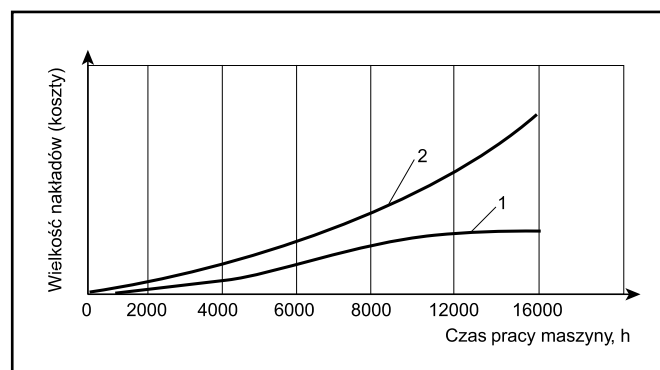
pracy. Najlepiej jednak, od momentu dotarcia lub bezpośrednio po pierwszej wymianie oleju.

22.6 Działania zaradcze

W systemie LUBIANA, w przypadku przekroczenia wartości granicznych, ustalonych na podstawie wieloletnich doświadczeń, przewidziano sugerowanie użytkownikom działań zaradczych, mających na celu doprowadzenie stanu technicznego maszyny i oleju do stanu właściwego.

W celu zilustrowania działań zaradczych, w tabeli 22.8 przedstawiono proponowane, podstawowe działania zaradcze, w stosunku do olejów hydraulicznych klasy jakościowej HM i HL oraz inne informacje, przydatne użytkownikowi do podjęcia właściwej decyzji. Propozycje działań zaradczych, jakie sugeruje LUBIANA, uwzględniają również typ maszyny czy układu, jej wagę dla bezpieczeństwa procesu produkcji, dotychczasowy czas pracy i wiele innych czynników, wynikających ze specyfiki konstrukcji maszyny i warunków jej pracy.

Zdecydowana większość użytkowników maszyn, którzy zdecydowali się na współpracę w ramach systemu LUBIANA uznaje,



Rys. 22.13 Korzyści ze stosowania systemu LUBIANA - rezultaty badań statystycznych
1 - koszty eksploatacji maszyn nadzorowanych w ramach systemu,
2 - koszty eksploatacji maszyn, które nadzorowi nie podlegają

Tabela 22.8 Oleje hydrauliczne HL i HM (naturalny wskaźnik lepkości powyżej 95). Analiza standardowa

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Wygląd oleju	Mętny.	Wykonać badania zawartości wody.
Woda		
- zawartość wody > 0,1%	Monitorować zagrożenie systemu korozją oraz hydrolizę dodatków.	Zlokalizować przecieki w układzie chłodzenia. Złać olej jeśli zawartość wody > 0,2
Lepkość kinematyczna		
- zwiększenie lepkości o 15%, - zwiększenie liczby kwasowej o 0,3 mg KOH/g	Degradacja oleju (utlenianie). Wydłużony czas pracy oleju.	Wymienić olej. Kontrolować czas pracy oleju
- zmniejszenie lepkości o 15%, - obniżenie temperatury zapłonu o 20%	Obecność rozpuszczalnika.	Wyliminować źródło zanieczyszczenia rozpuszczalnikiem.
Zawartość metali		
- nagłe zmiany zawartości Fe i/lub Cu	Mechaniczne zużywanie części.	Poprawić jakość filtracji Znaleźć przyczynę uszkodzenia części.
- zmiana zawartości Zn lub P o 20%	Zmiany jakości oleju (są one skorelowane z czasem pracy oleju i obecnością w nim wody).	Wymienić olej.
	Możliwość zmieszania z innymi olejami (patrz zmiany lepkości, Zn i P).	Wyliminować błędy obsługiwanego. Zidentyfikować źródła zanieczyszczenia.

Analizy specjalne

Skład granulometryczny (HIAC) - pomiary wskazują na zwiększone zanieczyszczenie oleju	Zużywanie części maszyny, zanieczyszczenia zewnętrzne, degradacja oleju.	Zwiększyć skuteczność filtracji.
Analityczny wskaźnik cząstek - istotne zmniejszenie	Niezbędne wykonanie kompletnych pomiarów i znalezienie przyczyny zużycia i zanieczyszczenia.	Zwiększyć skuteczność filtracji. Wyliminować źródła zanieczyszczeń.

Oleje hydrauliczne HV (wysoki wskaźnik lepkości). Interpretacja jak w przypadku olejów hydraulicznych HL i HM. Diagnozę uzupełnić o wskazania podane poniżej

Zmniejszenie lepkości kinematycznej oleju (-15 %) oraz wskaźnika lepkości (-15 %), z jednoczesnymi zmianami temperatury zapłonu	Ścinanie dodatków w oleju ze względu na duże wymuszenia mechaniczne, występujące w układzie.	Wymienić olej (patrz na czas pracy oleju w maszynie).
--	--	---

Tabela 22.9 Ciecze hydrauliczne HFA, HFC (roztwory wodne, odporne na palenie). Analiza standardowa

Charakterystyka stanu cieczy	Diagnoza	Sugerowane działania
Zawartość wody		
- zmniejszenie zawartości,	Odparowanie spowodowane podwyższoną temperaturą cieczy	Dodać wody do początkowej zawartości w celu zapewnienia bezpieczeństwa
- zwiększenie zawartości	Nieszczelność w układzie chłodzenia	Znaleźć i wyliminować miejsca przecieków, w celu zapobieżenia korozji w układzie
	Niewłaściwą ilość (zbyt wiele) dodano wody	Sprawdzić zalecenia dostawcy
pH		
Zmniejszenie	Obecność bakterii (potwierdzić poprzez oznaczenie)	
- jeśli zmniejszenie pH o więcej niż 1,5,		Oczyszczyć układ, napełnić nową cieczą
- jeśli nie ma zmniejszenia,		Zastosować właściwe bakteriocydy
Zwiększenie lub zmniejszenie		Nadzorować procesy korozji
Zawartość metali		
- nagłe zmiany zawartości Fe i/lub Cu	Mechaniczne zużywanie części	Nadzorować procesy zużycia

Tabela 22.10 Oleje przekładniowe (przekładnie i reduktory)

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Wygląd	Mętny	Zastosować test na zawartość wody
Zawartość wody		
- zawartość wody > 0,2 %	Nadzorować procesy korozji i hydrolizę dodatków	Zlokalizować i usunąć nieszczelności w układzie chłodzenia Złać olej jeśli zawartość wody > 0,5 %
Lepkość kinematyczna		
- zwiększenie lepkości (+15 %) oraz liczby kwasowej (+0,3 mg KOH/g),	Utlenienie oleju, kontrolowa czas pracy oleju	Wymienić olej Kontrolować wlot powietrza i temperaturę pracy oleju
- zmniejszenie lepkości (-15 %) oraz obniżenie temperatury zapłonu o 20 °C	Obecność rozpuszczalnika w oleju	Wyliminować przyczynę zanieczyszczenia rozpuszczalnikiem
Zawartość metali		
- nagłe zmiany zawartości Fe, Cu lub innych pierwiastków		Skontrolować jakość filtracji Mechaniczne zużycie części
Zanieczyszczenia zewnętrzne		
- stwierdzona obecność w oleju		Niezbędne zlewanie odstoju oleju
Analityczny wskaźnik cząstek		
- obserwowana pod mikroskopem obecność produktów zużycia, produktów korozji z pojawieniem się dużych cząstek		Unikać zewnętrznych produktów zużycia i zanieczyszczeń stałych

że odnoszone korzyści są wielokrotnie większe niż ponoszone koszty.

Dla zilustrowania korzyści, jakie może mieć użytkownik maszyny nadzorowanej w ramach systemu LUBIANA, na rys. 22.13, przedstawiono rezultaty badań statystycznych częstotliwości awarii maszyn, nadzorowanych w ramach systemu (krzywa 1) oraz takich, które takiemu nadzorowi nie podlegają (krzywa 2). Z rysunku jednoznacznie wynika, że w miarę upływu czasu pracy maszyny,

obie krzywe rozchodzą się. Z czego wynika, że im starszym parkiem maszynowym dysponuje firma, tym większe korzyści odnosi ze stosowania systemu LUBIANA.

W tabelach 22.9... 22.16, przedstawiono proponowane podstawowe działania zaradcze, w stosunku do pozostałych podstawowych grup olejów.

Tabela 22.11 Oleje sprężarkowe (sprężarki powietrza)

Główny problem: ryzyko pożaru i wybuchu wskutek zanieczyszczenia części mechanicznych, odkładania osadów i koksów oraz zatkania filtrów.

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Lepkość kinematyczna		
- zwiększenie lepkości (+15 %) i liczby kwasowej (+0,3 mgKOH/g)	Utlenianie oleju	Złać odstój i oczyścić –zawory i inne części mechaniczne (sprężarki tłokowe), – zmienić filtr (sprężarki rotacyjne) i separator powietrze–olejowy
Zawartość metali oraz analityczny wskaźnik cząstek		
- patrz inne środki smarowe	Procesy zużywania części	Poprawić filtrację

Tabela 22.12 Olejowe nośniki ciepła

W przypadku olejowych nośników ciepła, główne zmiany są obserwowane jako degradacja, wskutek kontaktu z wysokimi temperaturami

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Lepkość kinematyczna		
-zmniejszenie lepkości (-15 %) i obniżenie temperatury zapłonu (-60 °C)	Rozkład w wyniku krakowania.	Wymienić nośnik ciepła.
-zmniejszenie lepkości (-15 %) i zwiększenie liczby kwasowej (+ 0,3 mgKOH/g)	Degradacja w wyniku utleniania.	Skontrolować temperaturę poszczególnych punktów układu i zmienić wlot powietrza (jeśli system zamknięty)
Pozostałość po koksowaniu (Ramsbottom)		
- jeśli pozostałość po koksowaniu > 0,5 %	Pogorszenie wymiany ciepła w wyniku powstania osadów, z jednoczesnym przyczynieniem się do degradacji nośnika ciepła.	Złać olej i oczyścić układ
Analityczny wskaźnik cząstek		
- obserwowane cząstki węgla (osady) i zmniejszenie analitycznego wskaźnika cząstek	Nadmierne zanieczyszczenie nośnika ciepła	Wyeliminować źródła zanieczyszczeń

Tabela 22.13 Oleje elektroizolacyjne

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Woda		
- zawartość wody > 30 ppm	Nieszczelności w układzie	Osuszyć olej Zidentyfikować źródło pochodzenia wody
Lepkość kinematyczna		
- zmiana lepkości (+15 %) i liczby kwasowej (+0,2 mgKOH/g)	Utlenianie oleju	Złać olej z instalacji stosownie do mocy
Przebiecie elektryczne		
- gdy odporność na przebiecie elektryczne jest na wymaganym poziomie, dla typowego stanu eksploatacyjnego oleju, za wyjątkiem, gdy olej zawiera wodę lub ulegnie utlenieniu		Zidentyfikować źródło zanieczyszczenia

Tabela 22.14 Oleje turbinowe

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Wygląd	Mętny	Obecność wody w oleju
Zawartość wody		
-zawartość wody < 0,1 % (maksymalny poziom >0,2 %)	Kondensacja wody lub przedostawanie się wody do układu smarowania	Ograniczyć kondensację wody lub przedostawanie się wody do układu
Lepkość kinematyczna		
-zwiększenie lepkości (+15 %) i liczby kwasowej (+0,3 mgKOH/g)	Utlenianie oleju	Złać olej z instalacji
Zdolność oleju do deemulgowania		
-jeśli czas deemulgowania dłuższy niż 40 min	Zatkany układ smarowania łożysk	Oczyścić układ smarowania
Zawartość cząstek metali		
- monitorowanie zużycia	Przyśpieszone zużywanie	Eliminacja zanieczyszczeń
Analityczny wskaźnik cząstek		
-obserwowane produkty zużycia i zanieczyszczenia	Przyśpieszone zużywanie	Ryzyko zużycia lub uszkodzenia części

Tabela 22.15 Oleje hartownicze

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Wygląd	Mętny	Skontrolować obecność wody w oleju
Zawartość wody		
> 0,02 % wpływa na krzywą hartowania	Przecieki wody z układu chłodzenia	Ustalić i wyeliminować źródło wody w oleju
		Osuszyć olej w zbiorniku
Lepkość kinematyczna		
-zwiększenie lepkości + 15 % i liczby kwasowe +1 mgKOH/g	Degradacja oleju w wyniku utlenienia	Rozważyć wymianę oleju Ryzyko powstawania nierówności i rys
- zmniejszenie lepkości - 15 %	Domieszka oleju o mniejszej lepkości	Ocenić wpływ na przebieg krzywej hartowania; rozważyć wymianę olej
Temperatura zapłonu		
-obniżenie o 30 °C i jednoczesna zmiana liczby kwasowej	Rozkład oleju w wyniku krakingu i utleniania	Rozważyć wymianę oleju; ryzyko powstawania nierówności i rys
-obniżenie o 30 °C bez istotnej zmiany liczby kwasowej	Domieszka rozpuszczalnika lub oleju o mniejszej lepkości	Ryzyko pożaru
Krzywa hartowania		
- technologiczne warunki hartowania mogą zmieniać się w zakresie dopuszczalnych odchyleń zgodnych z wymaganiami użytkownika (procesu technologicznego)	Szczegóły patrz rozdział 18 „Oleje do obróbki cieplnej metali”	Ocenić czy odstępstwo jest dozwolone procesem technologicznym

Tabela 22.16 Ciecze do obróbki metali (emulsje olejowe i roztwory wodne)

Charakterystyka stanu oleju	Diagnoza	Sugerowane działania
Współczynnik załamania światła		
- znaczne odchylenie od wartości zalecanej	Zbytne rozcieńczenie lub zatężenie cieczy obróbczej	Doprowadzić do wymaganego stężenia, odpowiednio przez dodanie wody lub koncentratu
pH		
- obniżenie pH o 0,5,	Początek rozwoju mikroorganizmów	Dodać biocyd odpowiedni do stosowanego płynu
- obniżenie pH o > 1 z jednoczesną zawartością mikroorganizmów > 10 ⁷ szt/ml	Rozwój mikroorganizmów	Zlać ciecz obróbkową z układu, oczyścić i odkazić zbiornik Unikać zanieczyszczenia cieczy obróbczej Napełnić układ nową cieczą obróbkową
Cząstki stałe		
- cząstki widoczne nieuzbrojonym okiem	Zanieczyszczenie cieczy obróbczej	Zapewnić właściwą filtrację cieczy obróbczej