

Rola oleju w predykcyjnym UR

Wiktorja Jóźwik, Wojciech Jewuła, Ryszard Nowicki

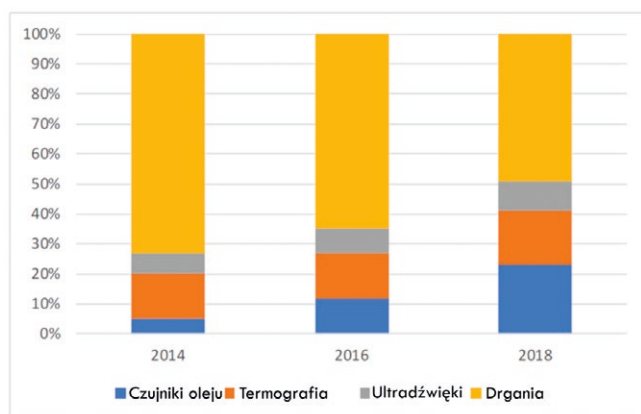
*Jeśli chcesz światowej klasy niezawodności,
musisz mieć światowej klasy smarowanie.
Jeśli chcesz światowej klasy smarowania, musisz
mieć światowej klasy kontrolę.*
Jim Fitch

1. Wprowadzenie

Kiedy ponad 30 lat temu zaczęto w Polsce wdrażać nowoczesne, pracujące w trybie On-Line, systemy monitorowania i diagnostyki, to początkowo były one instalowane dla majątku produkcyjnego traktowanego w przedsiębiorstwie jako ten najbardziej krytyczny i wykorzystywały przede wszystkim pomiary drgań mechanicznych i temperatur. Dekadę, dwie później w podobne systemy zaczęto w szeregu przedsiębiorstwach wyposażać maszyny mniej krytyczne. I tak ten proces systematycznie postępuje: coraz więcej maszyn, także coraz częściej pomocniczych, jest włączanych do stacjonarnych systemów nadzoru stanu technicznego.

Z różnych statystyk wynika, że ~80% uszkodzeń części mechanicznych jest spowodowanych różnymi formami zużycia. Zużycie majątku produkcyjnego i jego zawodność są ściśle powiązane z jakością smarowania, bowiem jakość smarowania dwóch współpracujących elementów ma bezpośredni wpływ na prędkość ich zużywania [1]. Szacuje się także, że ~75% usterek w układach hydraulicznych wynika z zanieczyszczeń zawartych w oleju.

Na rys. 1 [2] pokazano zmiany w intensywności wykorzystywania czterech podstawowych procesów stosowanych do oceny stanu technicznego, a mianowicie drgań mechanicznych, termografii, ultradźwięków i badań oleju. Jak widać, ma miejsce dynamiczny wzrost udziału badań wykorzystujących olej (ponad 4-krotnie na przestrzeni ~5 lat).



Rys. 1. Zróżnicowanie w proporcjach wykorzystywanych technik monitorowania w drugiej dekadzie XXI

Bieżący stan oleju może być charakteryzowany z pomocą różnych pomiarów [3, 4]. Wszystkie, wymienione w kolejnych punktach metody oceny oleju, były realizowane w przeszłości w laboratoriach pomiarowych, a więc w trybie Off-Line. Natomiast współcześnie mogą być również zaimplementowane (jeśli jest to ekonomicznie uzasadnione) jako pomiary realizowane w czasie rzeczywistym, tzn. On-Line. Żeby to czynić, to po pierwsze trzeba mieć świadomość dostępnych technik, po drugie świadomość kosztów i po trzecie chcieć przeprowadzić analizę tych ostatnich, aby wiedzieć czy, a jak tak, to po jakim czasie uzyska się zwrot zainwestowanych środków. W publikacji przedstawiono m.in. wnioski i prześmyślenia z wybranych testów zrealizowanych na czujnikach olejowych, które dotyczą ograniczeń zarówno technologicznych jak i związanych z problematyką badania poszczególnych własności środków smarnych.

Przedsiębiorstwa, które wdrożyły pracujące w czasie rzeczywistym systemy monitorujące drgania oraz temperatury w dalszym ciągu współcześnie monitorują oleje smarne wykorzystując analizy laboratoryjne. Winny one przeanalizować, czy nie wejść na drogę rozszerzania aktualnie stosowanych funkcjonalności MMS (*Machine Monitoring System*) o moduły realizujące monitorowanie olejów w czasie rzeczywistym.

2. Monitorowanie poziomu i temperatury

Podstawowy monitoring oleju sprowadza się do kontroli temperatury i poziomu. Obydwa pomiary winny się mieścić w określonym przedziale. Temperatura wpływa znacząco na właściwości smarne. Za wysoka obniża lepkość, przyspiesza utlenianie środka smarnego (tym samym jego degradację) i pogarsza możliwości odprowadzania ciepła. Warto zdawać sobie z tego sprawę, że wzrost temperatury roboczej oleju względem oczekiwań projektowych może skutkować uszkodzeniem współpracujących elementów. Za odpowiednie rozdzielanie ich powierzchni odpowiada grubość filmu smarnego, przy nie zmienionych warunkach pracy urządzenia (tj. obciążenie i prędkość obrotowa), obniżenie lepkości roboczej może spowodować przejście maszyny w warunki tarcia granicznego, czyli dochodzi do sytuacji, że współpracujące elementy nie są rozdzielane środkiem smarnym, co prowadzi do degradacji powierzchni. Odparowanie oleju czy jego wyciek prowadzą do za niskiego poziomu, co przyczynia się

do pogorszenia pracy współpracujących elementów maszyny intensyfikując procesy tarcia. Monitorowanie oleju w samochodach osobowych sprowadza się najczęściej do ciągłej kontroli temperatury oraz do okresowej poziomu. Wynik temperatury jest prezentowany typowo na wskaźniku zlokalizowanym na desce rozdzielczej, natomiast sprawdzenie poziomu oleju, w starszych i tańszych samochodach, wymaga skorzystania ze wskaźnika mechanicznego, takiego jak pokazany na rys. 2. Bardziej wytrawne oko kontrolującego może przy okazji dokonać również oceny stopnia zużycia oleju na podstawie jego barwy (tak jak to pokazano dla przypadku z prawej strony).

W samochodach bardziej zaawansowanych nie tylko pomiar temperatury, ale również poziomu oleju, realizowany jest w sposób elektroniczny, a kierowca otrzymuje natychmiastowe ostrzeżenie, jeśli bieżące wyniki wychodzą poza dopuszczalne granice.

Na rys. 3 pokazano wyniki wskazań poziomu prezentowane na desce rozdzielczo-informacyjnej dla pomiarów niepoprawnego i po korekcji (rys. 3A i B) oraz poprawnego w dwóch różnych samochodach (rys. 3B i C). W tym drugim przypadku pokazany jest żółty słupek wraz z naniesionymi koło niego informacjami o dopuszczalnych poziomach ekstremalnych).

Monitorowanie poziomu oleju jest również niezbędne w przypadku aplikacji przemysłowych, szczególnie w systemach bez cyrkulacji. Na rys. 4 pokazano graniczne poziomy dopuszczalne dla węzła łożyskowego oraz dla przekładni zębatej. W obu przypadkach celem kontroli poprawności wymaganego poziomu mogą być wykorzystane różnego typu sensory (elektroniczne, ultradźwiękowe, ...).

3. Monitorowanie ciągłości dopływu oleju

O ile poziom oleju jest szczególnie ważny w układach smarowanych wykorzystujących zbiorniki z olejem niepodlegającym cyrkulacji, o tyle monitorowanie ilości oleju dopływającego do określonego węzła maszyny może być ważne dla maszyn z olejem cyrkulującym tak dla poprawnej realizacji funkcji smarowania jak i odbierania ciepła. Kontrola tego dopływu może być współcześnie realizowana w czasie rzeczywistym.

Jednym z dostępnych na rynku rozwiązań monitorujących ilość dostarczanego oleju jest stacja pomiarowa OVAL D2 [5]. Z jej pomocą możliwa jest ciągła kontrola w czasie rzeczywistym kilkudziesięciu punktów dostarczania oleju do krytycznych węzłów w maszynie.

4. Degradacja środków smarnych: Starzenie oleju

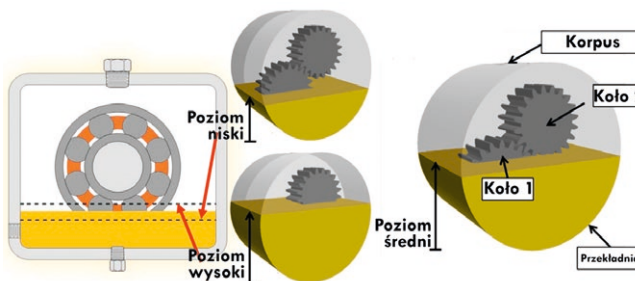
Oleje i smary starzeją się wraz z upływem czasu eksploatacji. Zawierają one w sobie dodatki dedykowane konkretnemu zastosowaniu. Przez starzenie oleju rozumiemy m.in. proces zmniejszania się ilości aktywnych dodatków olejowych. Typowymi wskaźnikami zaawansowania ich zużycia są utlenianie, nitrowanie i zasiarczanie. Utlenianie jest zwykle używane jako synonim klasycznego starzenia oleju przemysłowego. Katalizatorami w tym procesie jest praca oleju w wysokiej temperaturze, obecność powietrza,



↑ Rys. 2. Wskaźnik poziomu oleju



↑ Rys. 3. Wyniki elektronicznej bieżącej indykacji poziomu oleju (A) NOT OK bowiem poziom za wysoki, (B) i (C) OK



↑ Rys. 4. Dopuszczalna zmienność poziomu oleju

zanieczyszczenie środka smarnego wodą oraz cząstkami metalicznymi. Utlenianie prowadzi do trwałej degradacji środka smarnego. Aby spowolnić ten proces do oleju dodawane są antyoksydanty, których zadaniem jest jak najdłuższa ochrona oleju przed tą formą degradacji. Objawami degradacji wynikającej z utlenienia środka smarnego jest m.in. wzrost lepkości (cząstki węglowodorów łączą się z tlenem), któremu towarzyszy ściemnienie oleju (tu zauważmy, że ściemnianie barwy mogą także powodować inne przyczyny) prowadzący finalnie do pokrywania powierzchni smarowanych elementów maszyny lakierem (tzw. varnish).

W przypadku olejów silnikowych do oceny zaawansowania procesu starzenia muszą być także wzięte pod uwagę dodatkowo wymienione zaazotowanie i zasiarczanie (czyli

odpowiednio ilość tlenków azotu NOx oraz związków siarki SOx).

W wyniku utleniania, nitrowania i zasiarczania olej staje się „kwaśny” (co sprzyja przyspieszeniu procesów korozyjnych) oraz, jak już wspomniano, może temu towarzyszyć wzrost jego lepkości. Środki techniczne umożliwiające ocenę zaawansowania starzenia zostaną omówione w dalszej części artykułu.

Zróżnicowanie zanieczyszczeń

Równolegle do procesu naturalnego starzenia olej może podlegać z różną intensywnością zanieczyszczaniu płynami (tzn. cieczami lub gazami) oraz frakcjami stałymi.

Zanieczyszczenia ciekłe są najczęściej powodowane zawilgoceniem. Woda może przedostawać się do środka smarnego poprzez kontakt z powietrzem atmosferycznym jak i w wyniku prowadzonego procesu tj. medium jest woda/para bądź dochodzi do rozszczelnienia układu chłodzenia wodnego. A w przypadku silników spalinowych dostaniem się paliwa i/lub chłodziwa do oleju smarnego. Taki mikś w sposób oczywisty zmienia właściwości smarne, tym bardziej im udział ciekłego zanieczyszczenia jest większy co prowadzi np. do przyspieszenia procesów korozyjnych. W przypadku cieczy elektroizolacyjnych zawilgocenie oleju dodatkowo skutkuje w obniżeniu ich własności dielektrycznych (spadek napięcia przebicia).

Drugą formą zanieczyszczenia płynami jest zagazowanie oleju powietrzem lub gazami technologicznymi. Może ono występować w trzech postaciach: (i) gaz rozpuszczony (nawet do 8...10% objętości), (ii) gaz zaciągnięty (pęcherzyki w objętości oleju), (iii) piana (pęcherzyki na powierzchni oleju). Niektóre gazy procesowe mogą także powodować uszkodzenie bazy olejowej środków smarnych. Tak się dzieje, np. jeśli dochodzi do przedostania się gazów węglowodorowych do oleju mineralnego (znaczące powinowactwo chemiczne), co skutkuje w gwałtownym spadku lepkości środka smarnego. Generalnie, jeśli mamy duże zanieczyszczenie oleju gazem to np. w przypadku smarowania łożysk ślizgowych maszyny wirnikowej zmniejszenie sztywności filmu olejowego będzie prowadzić do znacznej zmiany dynamiki pracy maszyny. Tak więc jeśli udział gazu w oleju nadmiernie wzrasta, to naruszy to wymagane charakterystyki filmu olejowego, może dojść do niedostatecznego smarowania co prowadzi do wystąpienia tarcia granicznego (tzn. kontaktu metal/metal pomiędzy współpracującymi elementami). O ile w przypadku zanieczyszczenia cieczą, w niektórych przypadkach możliwe jest jej usunięcie (np. możliwe jest zmniejszenie udziału wody w oleju co wymaga jednak wykorzystywania dodatkowego, specjalizowanego układu), o tyle w przypadku incydentalnego zagazowania oleju, może ono samoczynnie ustąpić po stosunkowo krótkim czasie.

Trzecia forma zanieczyszczenia, to zanieczyszczenie frakcją stałą, które może mieć różną naturę: np. kurz, zanieczyszczenia wynikające z procesu np. węgla. Po pierwsze, mogą one być skutkiem pracy oleju smarnego w zbyt wysokiej temperaturze, co prowadzi do skracania łańcuchów węglowodorowych objawiającego się pojawianiem wtrąceń półstałych

jako wyniku koksowania, a w skrajnym przypadku (tzn. w przypadku wystąpienia zbyt wysokiej temperatury) także pojawieniem nagaru, tzn. twardego osadu, podobnego do generowanego przez niedopalone cząstki paliwa. Produkty wynikające z degradacji temperaturowej środka smarnego, mogą tworzyć również lakier (ang. *varnish*), czyli warstwę osadu, który pokrywa współpracujące elementy, co może doprowadzić do awarii np. serwowaworów. Po drugie, frakcja stała może się dostawać do oleju ze środowiska w wyniku niedostatecznej filtracji. Każda pojedyncza cząstka stała, kiedy dostanie się do układu olejowego a następnie do przestrzeni między współpracującymi elementami, generuje kolejne produkty zużycia – wynikają one z uszkodzenia mechanicznego. W rezultacie w systemie olejowym maszyny powstają kolejne cząstki stałe.

5. Klasyczna ocena jakości oleju

Oceny oleju w reżimie Off-Line, tzn. w laboratoriach prowadzone są od wielu lat. Już w połowie minionego wieku, przedsiębiorstwa zajmujące się transportem kolejowym w USA, zaczęły wdrażać diagnostykę olejową z myślą o predykcyjnym utrzymaniu ruchu. Pierwszy udokumentowany sukces miał miejsce w 1946 roku, kiedy to laboratorium badawcze przedsiębiorstwa Denver i Rio Grande Railroad z powodzeniem rozpoznało problem z silnikiem Diesla poprzez analizę produktów zużycia w oleju. Podejście to spopularyzowało się i z wykorzystaniem najnowszych technologii jest stosowane na szeroką skalę współcześnie nie tylko we flotach kolejowych, ale także we flotach samochodowych i innych. W [3] opisano przypadek agencji transportowej dysponującej ponad setką autobusów, ponad setką mikrobusek oraz pewną liczbą samochodów osobowych i ciężarowych, która znacznie poprawiła swoje wyniki finansowe poprzez wprowadzenie diagnostyki olejowej. Dzięki predykcji stanu technicznego wyeliminowano zdecydowaną większość napraw, które wymagały demontażu silnika z samochodu i w konsekwencji znacząco skrócono zarówno czas napraw jak i ich koszt.

6. Intensyfikacja badań Off-Line przez właściciela

Coraz dojrzalsze podejście do predykcyjnego UR prezentują niektóre organizacje flotowe. Przykładem takiego nowoczesnego podejścia jest agencja transportu publicznego Kitsap Transit (stan Waszyngton – USA). W skład jej floty wchodzi blisko 400 pojazdów, takich jak: autobusy komunikacji miejskiej, małe busy, furgonetki, a także trzy promy pasażerskie. Do roku 2014 wydział UR monitorował silniki pojazdów floty z pomocą outsourcingowej kontroli oleju w reżimie „co jakiś czas”. Analizy obejmowały m.in. ocenę zawartości metali ciężkich, zanieczyszczenia paliwem i płynem chłodniczym. Praktyka pokazywała, że koszt realizacji pojedynczej próbki wynosił ~40 USD, a wyniki były znane po 2–3 tygodniach od chwili jej pobrania. Ponoszone koszty ograniczały liczbę analiz w stosunku do potrzeb zgłaszanych przez UR. Ponadto zdarzyły się kilka razy szybko rozwijające

EKSPERT W TWOJEJ BRANŻY



ORLEN
OIL

OLEJE HYDRAULICZNE

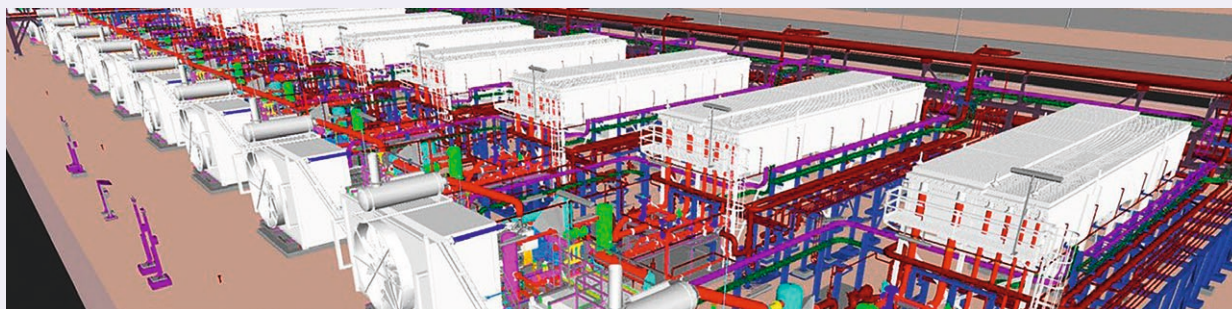
Kompleksowa oferta olejów hydraulicznych ORLEN OIL obejmuje produkty biodegradowalne, energooszczędne, syntetyczne, bezcynkowe, niskotemperaturowe oraz szereg innych, które są dostępnych w szerokim zakresie klas jakościowych i lepkościowych.

- HYDROL BIO HEES EL
- HYDROL BIO HETG EL
- HYDROL POWER L-HV
- HYDROL SYNT PE
- HYDROL HEAVY L-HV/HVLP
- HYDROL HEAVY L-HM/HLP
- HYDROL PREMIUM L-HV
- HYDROL PREMIUM HLP-D
- HYDROL PREMIUM L-HM
- HYDROL EXTRA L-HV
- HYDROL L-HV
- HYDROL HLP-D
- HYDROL L-HM/HLP
- HYDROL L-HL
- HYDROL HVLP-D
- HYDROL SPECIAL
- HYDROL SPECIAL



oferta.orlenoil.com

FLOTA



Flota, w kontekście biznesowym, odnosi się do grupy pojazdów, okrętów wojennych lub statków należących do jednej organizacji / przedsiębiorstwa / państwa. Na grupę pojazdów mogą się składać samochody osobowe, dostawcze, ciężarowe lub inne. O flocie mówi się także w przypadku samolotów. I tak np. największa linia amerykańska DELTA posiada blisko 1000 samolotów o średnim wieku nieco ponad 15 lat, a nasz krajowy LOT wykorzystuje 72 samoloty, których średni wiek wynosi ~11 lat.

Zwrot *fleet of machines* jest coraz częściej używany w piśmiennictwie angielskim szerzej niż tylko w tematyce dotyczącej środków lokomocji. Używa się go także w odniesieniu do dużej liczby maszyn określonego typu lub pracujących razem – jak to pokazano przykładowo na rysunku.

Pojęciem flota posługują się producenci maszyn (np. GE VERONA, MHPS czy SIEMENS mówiąc o wyprodukowanych przez siebie flotach turbin gazowych), a czasopismo BIC Magazine pisze o specjalistach wspierających jednostki turbin parowych w starzejących się flotach. Inne czasopismo (NATURE) analizuje jak zmiany zasobów wiatru powodowane przez zmiany klimatu wpływają na rozwój floty turbin wiatrowych.

W piśmiennictwie krajowym zwrot *fleet of machines*, czyli w dosłownym tłumaczeniu „flota maszyn” w odniesieniu do maszyn niewykorzystywanych w logistyce jest najczęściej zastępowany zwrotem „park maszynowy”.

się awarie w czasie już po przekazaniu próbek do analiz, ale jeszcze przed otrzymaniem wyników badań.

Dążąc do zwiększenia efektywności działania, przedsiębiorstwo nabyło mały analizator przenośny umożliwiający wykonywanie na miejscu analizy próbek oleju, w tym uzyskiwanie oceny całkowitej liczby zasadowej (TBN). Oceniono, że koszty porównywalnych analiz były 40 razy niższe, a wyniki dostępne już po kwadransie.

Badania oleju nabierają znaczenia wraz ze wzrostem mocy badanego obiektu. I tak np. w [6] firma LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING prezentuje wyniki takich badań dla różnych silników wykorzystywanych na statkach.

W obu przykładach wykorzystywane było podejście Off-Line, dzięki któremu uzyskiwano zdecydowanie lepszą świadomość po pierwsze właściwości smarnych wykorzystywanych olejów i po drugie ewentualnego faktu intensyfikacji procesów zużycia silnika.

7. Projekt FLOTA

Zużycie oleju zależy m.in. od średnich przebiegów realizowanych przez pojazdy flotowe. W przypadku pokonywania krótkich dystansów olej szybciej traci swoje właściwości i silnik wymaga częstszych działań zapewniających poprawność warunków pracy. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku organizacji wykorzystujących flotę samochodów osobowych.

Firma ECOL uruchomiła projekt FLOTA dla samochodów osobowych wykorzystywanych w firmie. Jego celem była analiza zmian zachodzących w olejach silnikowych w oparciu o dane gromadzone w zróżnicowany sposób. Pomysł na projekt urodził się w związku z brakiem powszechnych badań olejów z eksploatacji silników samochodów osobowych oraz braku świadomości użytkowników i producentów jak zmieniają się istotne parametry oleju w trakcie eksploatacji. Celem badań było m.in. określenie wartości granicznych dla wybranych deskryptorów zużycia oleju oraz określenie jaki jest bezpieczny interwał wymiany oleju ze względu na limity pierwiastków zużycia.

Dotychczasowe rozważania pozwoliły na wyznaczenie limitów pierwiastków i przyniosły ze sobą pewne spostrzeżenia. Należy do nich między innymi fakt, że w pewnych jednostkach procesy zużycia współpracujących elementów są bardziej zintensyfikowane niż w innych, o czym mówiły różne poziomy pierwiastków dla danych aut i silników, co jest widoczne w tabeli 1. Istotnymi informacjami przy analizowaniu wyników okazały się (i) przebieg od wymiany oleju (stężenie wzrasta wraz z przebytymi kilometrami i czasem pracy), (ii) przeprowadzone w ostatnim czasie remonty silnika oraz (iii) wiek silnika. W początkowej fazie eksploatacji silnika ma miejsce proces zwany docieraniem, tak więc pierwiastki rozpoznawane w analizie ICP-OES¹ również osiągały wyższe

↓ **Tabela 1.** Mediana wartości pierwiastków w zależności od producenta [21]

Producent	L. próbek	Żelazo	Chrom	Cyna	Glin	Nikiel	Miedź	Ołów	Mangan	Wanad	PQ	Krzem	Potas	Sód	Lit	Tytan
Audi	8	37,70	0,39	0,44	6,42	0,15	5,61	0,34	2,32	0,08	10,00	32,70	1,64	4,52	0,00	0,32
Citroën	1	8,70	0,63	0,00	3,58	0,35	9,50	0,24	0,32	0,01	3,00	15,70	1,38	2,68	0,00	0,29
Ford	39	44,40	0,20	0,00	7,66	0,28	2,26	0,02	1,72	0,01	6,00	25,60	2,90	3,86	0,00	0,00
KIA	16	18,14	0,30	0,21	12,62	0,26	29,20	0,45	2,62	1,86	5,00	95,40	6,46	12,24	0,00	0,00
Maserati	1	47,20	1,83	0,74	6,32	4,44	4,24	8,56	1,17	0,02	12,00	10,08	0,76	11,48	0,00	0,18
Opel	2	71,20	1,88	0,12	3,59	0,63	6,79	0,65	1,05	0,01	25,00	7,28	111,10	3,95	0,00	0,13
Peugeot	11	240,00	4,88	4,10	23,40	1,76	13,42	0,00	2,06	0,16	44,00	22,40	9,72	4,04	0,00	0,15
Range Rover	1	246,00	4,00	5,48	40,20	11,46	32,40	0,24	176,20	0,00	16,00	35,20	44,00	9,66	0,00	23,40
Seat	1	55,00	2,24	0,00	8,72	0,38	28,40	0,70	62,00	0,19	5,00	40,00	3,84	7,14	2,24	0,31
Skoda	1	14,30	0,00	0,00	7,20	0,42	0,15	0,07	0,59	0,00	6,00	5,02	3,66	2,94	0,00	0,00
Toyota	11	204,00	4,04	3,76	35,80	1,83	24,40	0,82	2,92	0,19	30,00	40,00	23,80	5,02	0,00	0,00
Volkswagen	10	29,40	1,34	0,00	5,45	0,12	2,94	0,00	0,96	0,00	10,00	4,00	2,46	1,33	0,00	0,16
Volvo	1	49,60	0,00	0,00	8,78	0,53	1,42	0,00	23,80	0,00	7,00	20,40	8,68	3,38	0,00	0,95

wartości. Badania pozwoliły na względne wyznaczenie limitów zawartości pierwiastków zużyciowych. Natomiast niezależnie od limitów należy mieć jednak na uwadze informacje o historii pojazdu oraz obserwować trendy oraz charakterystykę silnika.

Firma ECOL wielokrotnie spotkała się z pytaniami w rodzaju: „czy powinienem już wymienić olej?”, „czy mogę wymienić olej po 30 tys. km?” oraz „jak podchodzić do long-life’ów?”. Skłoniły nas one do głębszej analizy na okoliczność dawanych odpowiedzi. Z przeprowadzonych licznych analiz wyniknęły następujące wnioski:

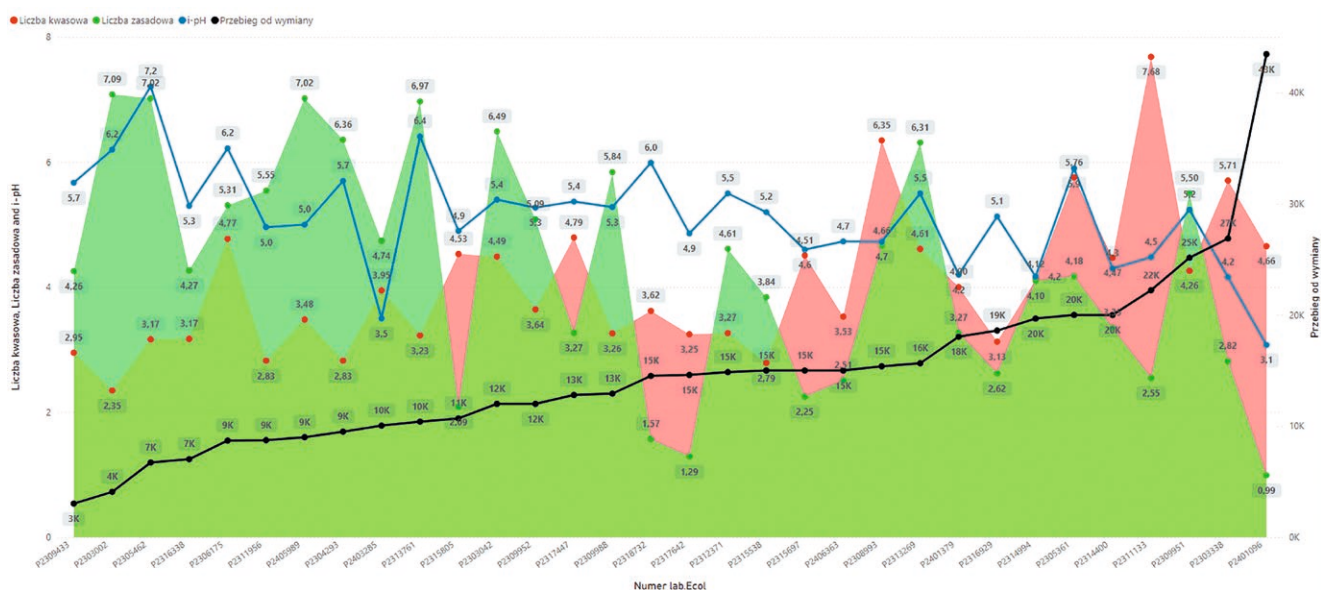
- należy wykluczyć, że na olej nie działają czynniki przyspieszające jego degradację, takie jak np. wyciekający do oleju płyn chłodniczy czy nadmierna ilość paliwa w oleju;
- na szybkość degradacji wpływa dynamika jazdy kierowcy (temperament przekłada się na temperaturę oleju) oraz rodzaj paliwa;
- w przypadku instalacji gazowych, parametry eksploatacyjne oleju ulegają szybszemu pogorszeniu;

- szacuje się, że dla samochodów osobowych różnych marek bezpieczny interwał wymiany oleju mieści się w przedziale 10 700–16 000 km.

Szacowany interwał wymiany oleju udało się wyznaczyć głównie na podstawie trzech parametrów. Poniżej przedstawiono wykres 1, na którym widać, jak zmienia się stosunek liczby zasadowej i kwasowej oraz i-pH wraz ze wzrostem przebiegu od wymiany oleju. W skrócie, liczba zasadowa nie powinna być niższa niż liczba kwasowa, natomiast i-pH nie powinno być za niskie (im niższe i-pH tym wyższa zawartość mocnych kwasów).

Aktualnie firma skupia się nad wyodrębnieniem najważniejszych analiz w kwestii badania olejów silnikowych. Ich gradacja jest uzależniona od oczekiwań. Kryteriami mogą być: (i) przydatność oleju do dalszej eksploatacji, (ii) rozpoznawanie usterki samochodu, (iii) przedostawanie się do oleju zanieczyszczeń ze środowiska.

Więcej szczegółów dotyczących rozważań co do bezpiecznego interwału wymiany oleju czy też zawartości produktów zużycia można znaleźć w [7].



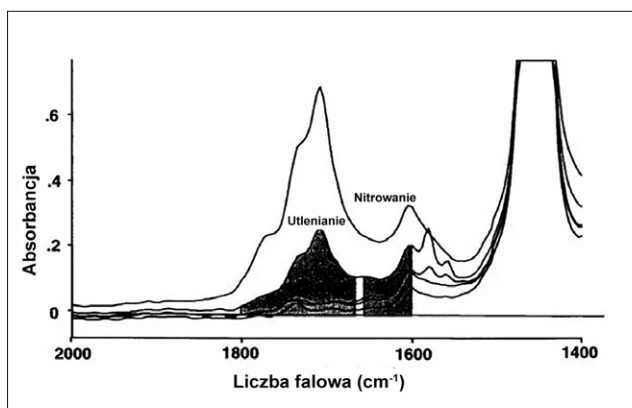
↑ **Wykres 1.** Zależność liczby kwasowej, liczby zasadowej oraz i-pH od przebiegu od wymiany dla silników diesla i benzyny uwzględniającej tylko próbki z oznaczoną wartością i-pH [22]

8. Symptomy stanu oleju

Spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR) to technika analityczna stosowana do identyfikacji grup funkcyjnych w cząsteczce. Chociaż wewnętrzne działanie spektrometru FTIR jest złożone, to sama technika jest niezwykle łatwa w realizacji, co czyni ją idealną techniką analizy chemicznej dla szerokiego zakresu zastosowań. FTIR nadaje się do badania zarówno ciał stałych jak i płynów. Przy wykorzystaniu wbudowanych bibliotek możliwa jest identyfikacja materiałów zarówno nieorganicznych jak i organicznych. W konsekwencji technika ta jest szeroko stosowana w analizie cząsteczek w przemyśle farmaceutycznym, chemicznym i polimerowym. Jej obszar aplikacyjny wychodzi poza wykorzystywanie na rzecz zapewnienia zgodności surowców, związków pośrednich i produktów końcowych z wymaganiami specyfikacji, bowiem umożliwia również wspomaganie utrzymania ruchu poprzez ocenę wykorzystywanych płynów – w tym badanie olejów. Ocenę zaawansowania starzenia i zanieczyszczenia oleju najlepiej realizować porównując widmo bieżące z referencyjnym wykonanym dla oleju świeżego. Analiza widmowa FTIR jest podobnie pomocna jak analiza widmowa w dziedzinie drgań: obie umożliwiają bardziej wnikliwą ocenę badanego „obiektu”. Widmo drgań mechanicznych daje dobrą możliwość oceny stanu technicznego obiektu mechanicznego – dobrą, ale nie zawsze dysponujące nim służby UR jednoznacznie wiedzą w jaki sposób dążyć do poprawy stanu monitorowanego obiektu. Podobnie, niejednoznaczności mają miejsce w przypadku spektroskopii FTIR. I tak np. o ile przyrost piku skupionego wokół długości falowej 1710 cm^{-1} mówi o utlenieniu oleju (oksydacja) o tyle już odczyt 1630 cm^{-1} jednoznacznie identyfikuje obecność wiązania podtlenku azotu (nitracja).

Analizy FTIR są przeprowadzane typowo w warunkach laboratoryjnych. Wymagają dostarczenia niewielkiej próbki oleju (typowo jest to kilka ml) i nie wymagają długiego czasu, bowiem wynik otrzymuje się już po kilku sekundach. Jednak na czas niezbędny do ich zrealizowania trzeba patrzeć także przez pryzmat TPZ. Praktyka pokazuje, że cały taki jednorazowy cykl, załatwiany „na spokojnie”, zajmuje średnio do 2 tygodni. Zauważmy: w ciągu pół miesiąca na maszynie może się wiele wydarzyć, a wiadomo, że niektóre krytyczne zmiany stanu technicznego rozwijają się bardzo szybko.

Współcześnie jest dostępnych coraz więcej technik prostszych, nie dających tak dokładnych wyników jak FTIR, ale wciąż zapewniających możliwość wystarczająco dobrej estymacji bieżącego stanu oleju. Estymacji, która umożliwia zastępowanie prewencyjnych wymian oleju wymianami predykcyjnymi (czyli uzasadnionych rzeczywistym stanem użytkowym). Te prostsze techniki są zdecydowanie tańsze w implementacji, a ich kolejnym atutem jest możliwość realizacji oceny w sposób ciągły, tzn. w czasie rzeczywistym. Pojedynczy czujnik dokonuje typowo jakiegoś pomiaru symptomatycznego dla użytkowego stanu oleju, czyli dobrze skorelowanego ze zmianą tego stanu. Niektóre czujniki dokonują kilku pomiarów, w tym m.in. temperatury oleju, bowiem jest to wielkość fizyczna, która nie tylko znacząco wpływa na



↑ Rys. 5. Pomiar utleniania i nitrowania w olejach silnikowych [23]

jego właściwości użytkowe, ale także może przyczynić się do znacznego przyspieszenia procesu starzenia.

Zmiana jakości oleju w czasie rzeczywistym może być realizowana poprzez zastosowanie monitorowania:

- barwy;
- lepkości roboczej (bywa, że połączone z monitorowaniem gęstości);
- zanieczyszczeń ciekłych;
- wtrąceń obcych (klasa czystości środka smarnego);
- zróżnicowanych pomiarów elektrycznych charakteryzujących pewne wybrane własności oleju świadczące o jego przydatności do dalszego użytkowania.

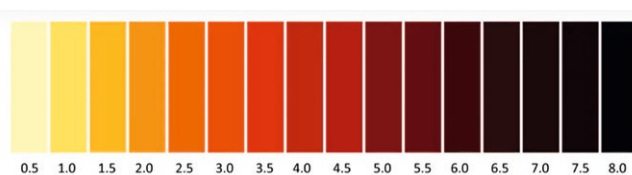
Kilka rozwiązań technicznych umożliwiających monitorowanie wybranych symptomów zużycia oleju w czasie rzeczywistym opisano poniżej.

9. Kolorymetria

Z prawej strony rys. 2 pokazano wskaźnik z olejem znacznie ciemniejszym od pokazanego w części środkowej, co wynika z zaawansowanego zużycia smaru. Norma [8] definiuje barwy oleju w skali do 8 i z krokiem co 0,5, tak jak to pokazano na rys. 6². Opisana w standardzie metoda badawcza opisuje wizualne określenie koloru szerokiej gamy produktów naftowych, takich jak oleje smarowe, opałowe, napędowe, izolacyjne oraz woski naftowe.

Współcześnie dostępne są przyrządy, które umożliwiają automatyczne prowadzenie takiej kontroli normowej. Na rys. 7 pokazano przykład kolorymetru elektronicznego umożliwiającego automatyczne rozpoznawanie kolorów w czasie rzeczywistym dla aplikacji w trybie In-/On-Line [9].

Przyrządy takie mogą być wykorzystywane na liniach produkcyjnych różnych olejów, a także wspomagać ocenę



↑ Rys. 6. Skala normalizująca kolorystykę produktów naftowych

→ Rys. 7.
Kolorymetr
elektroniczny



dla dużych maszyn, raczej z wyłączeniem napędów spalinowych. W przypadku tych ostatnich o kolorystyce na ogół nie decyduje zaawansowanie zużycia właściwości smarnych, a współdecyduje kolor podstawowego zanieczyszczenia jakim jest sadza.

10. Lepkościomierze

Jak wyżej wspomniano, jedną z najważniejszych właściwości oleju jest jego lepkość. Od wielu lat możliwa jest jej ocena w czasie rzeczywistym. Czujniki lepkości wykorzystywane są w różnych obszarach przemysłu – w tym także w aplikacjach morskich: na platformach i statkach. Na rys. 8 pokazano przykłady dwóch czujników (z lewej firmy Martechnic GmbH, a z prawej CMT Technologies LLC) wykorzystywanych w celu pomiarów lepkości w czasie rzeczywistym On-Line bądź też In-Line (w zależności od intensywności przepływu).

Obydwa przywołane czujniki nie ograniczają swojej funkcjonalności do pomiaru lepkości, ale dodatkowo mierzą także gęstość oleju, jego ciężar właściwy oraz temperaturę.

Podejmując decyzję o wdrożeniu monitorowania lepkości i dokonując wyboru czujnika dobrze jest sprawdzić jaką bazą danych pomiarowych dysponuje potencjalny oferent. W przypadku dostawcy dysponującego bogatą bazą danych różnych cieczy hydraulicznych oraz smarów w zakresie ich silnie zróżnicowanego zużycia, jest możliwe rozpoznawanie anomalii stanów we wczesnym etapie. W konsekwencji daje to możliwość przeciwdziałania awariom maszyny poprzez rozpoczęcie działań zapobiegawczych z odpowiednim wyprzedzeniem.



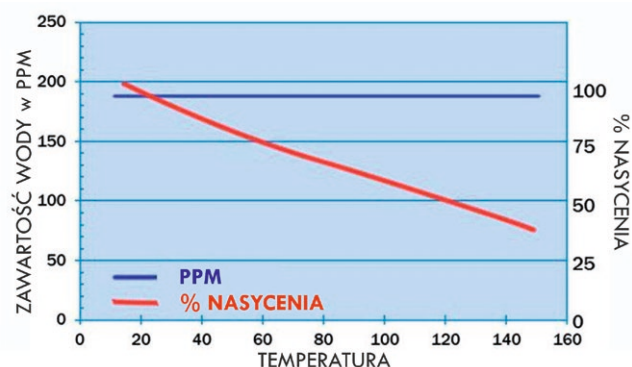
↑ Rys. 8. Czujniki umożliwiające pomiar lepkości

11. Zanieczyszczenie oleju cieczą

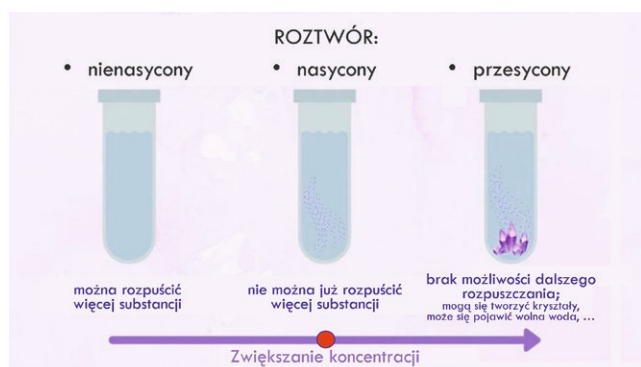
W wielu przypadkach mętny olej wskazuje na zanieczyszczenie jakimś płynem. Mętność oleju oznacza, że ilość płynu przekracza granicę nasycenia oleju (czyli maksymalnej ilości rozpuszczonej substancji, którą może pomieścić rozpuszczalnik). Także w przypadku zanieczyszczenia wodą olej staje się mętny, gdy jej drobiny mają wielkość 2–10 µm. Padające światło odbija się od takich swobodnych drobin sprawiając wrażenie zmętnienia. Granica nasycenia, a co za tym idzie początek zmętnienia, zależy od rodzaju użytego oleju, dodatków dyspergujących zawartych w oleju oraz od temperatury. Wraz ze wzrostem tej ostatniej punkt nasycenia dowolnego oleju będzie spadać, w przybliżeniu liniowo, jak to pokazano na rys. 9. Stopień nasycenia określa tylko wodę rozpuszczoną, nie uwzględnia ani postaci zemulgowanej ani wolnej. Jak można zauważyć, zawartość wody w analizowanej próbce wynosi około 180 ppm, podnoszenie temperatury powoduje, że wraz z jej wzrostem olej jest w stanie rozpuścić większą ilość wody, przez co maleje procentowe nią nasycenie oleju. W temperaturze 20°C analizowany olej jest na granicy nasycenia, zwiększenie ilości wody w próbce spowoduje, że olej zostanie nasycony i nadmiar wody pojawi się w postaci zemulgowanej bądź wolnej [10].

Ilość rozpuszczonej wody oznacza po prostu, że woda o tym stężeniu jest rozproszona w oleju w postaci pojedynczych cząsteczek H₂O. Monitorowanie zawilgocenia oleju ma na celu zapewnienie w nim ilości wody nie większej niż odpowiadającej punktowi nasycenia, bowiem jeśli punkt ten zostanie przekroczony (na prawo od czerwonego punktu na rys. 10) to cząsteczki wody zaczynają się grupować w mikrokulki zawieszone w oleju, a więc woda będzie występować w postaci emulsji, która to postać jest najbardziej destrukcyjna dla maszyny.

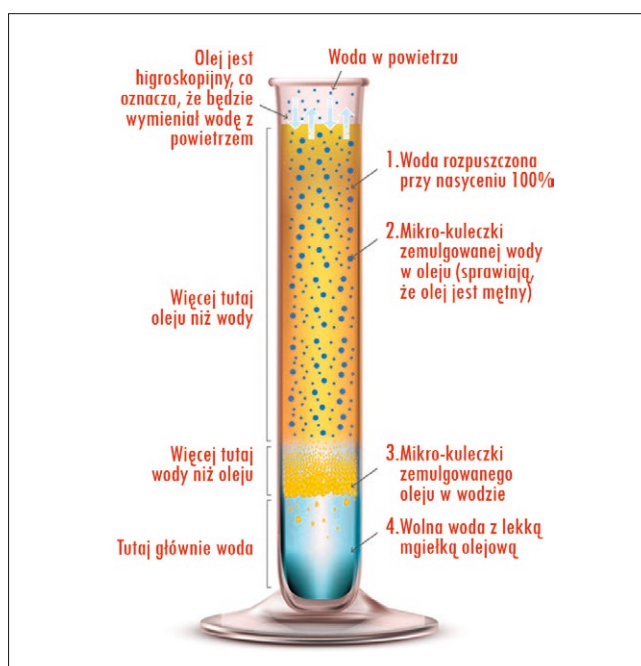
W przypadkach, w których maszyna przestaje pracować i ww. mieszanina oleju z cieczą zanieczyszczającą (np. chłodziwem) pozostaje w bezruchu, to dochodzi do ich rozwarstwienia. Na dnie zbiornika pojawi się substancja zwana wolną wodą/wolnym chłodziwem (tak jak pokazano z prawej strony rys. 10).



↑ Rys. 9. Procent nasycenia oleju wodą w zależności od temperatury i liczby ppm wody



↑ Rys. 10. Procent nasycenia oleju wodą w zależności od temperatury i ppm wody



↑ Rys. 11. Cztery środowiska wodne w oleju

Na rys. 11 pokazano cztery środowiska wodne w oleju, z którymi można się spotkać w maszynach [10]. Olej zawsze ma kontakt z powietrzem i tą drogą podlega zawilgoceniu. Sytuacja na rysunku może dotyczyć np. przekładni po jakimś czasie od zatrzymania maszyny, bowiem woda posiada ciężar właściwy większy niż olej, tak więc będzie się gromadzić w pobliżu jej dna. Podobny scenariusz ma miejsce w przypadku olejów silnikowych zanieczyszczonych chłodziwem, bowiem ciecz chłodząca także są jednostkowo cięższe od oleju. Tyle, że w tym przypadku substancja gromadząca się na dnie będzie mieszaniną wody i chłodziwa. Fakt, że „wolna woda” bywa mniej lub bardziej zamglona wynika z tego, że także inne zanieczyszczenia znajdujące się już w oleju przenikają do tej warstwy.

Zagrożenie korozyjne ze strony wody powoduje, że tak ważne staje się monitorowanie jej zawartości w olejach smarowych. I tak np. dla łożysk tocznych wzrost koncentracji ze 100 na 300 ppm skutkuje w skróceniu żywotności łożysk o połowę, a jej zmniejszenie do 25 ppm wydłuża ten czas



↑ Rys. 12. Przetwornik wilgotności i temperatury oleju z serii MMT330 i HMT330

ponad dwukrotnie. Na rynku można znaleźć wiele różnych czujników monitorujących zawartość wody w oleju. To co je różni i na co warto zwrócić uwagę w przypadku niektórych aplikacji to czas reakcji monitora potrzebny na rozpoznanie zmiany zawartości wody w oleju. Na rys. 12 pokazano przykładowe produkty z serii HUMICAP® firmy Vaisala OYJ. Umożliwiają one nie tylko szybkie wykrywanie wody w oleju i pomiar jej zawartości w ppm. Mogą być one wykorzystywane także jako urządzenia sterujące, umożliwiające uruchamianie separatorów i osuszaczy oleju w przypadku rozpoznania takiej potrzeby.

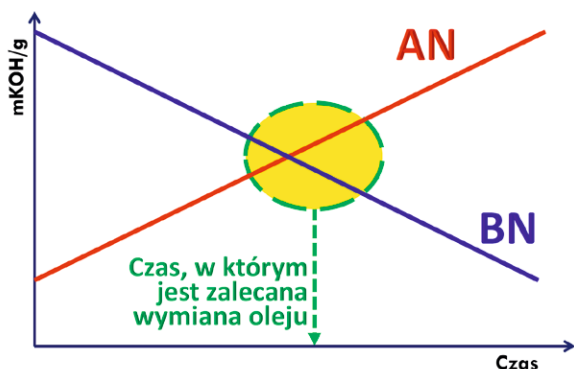
12. Podstawowe charakterystyki jakościowe

Dwie podstawowe charakterystyki jakości oleju to liczba kwasowa AN (*Acid Number*, która jest określana na podstawie ilości zasady wodorotlenku potasu KOH potrzebnej do zneutralizowania wszystkich kwaśnych składników w jednym gramie próbki oleju) oraz liczba zasadowa BN (*Base Number*, która mówi o ilości dodatków alkalicznych równoważnych wodorotlenkowi potasu, zawartych w 1 g oleju smarowego). AN jest bardziej dedykowane olejom przemysłowym, a BN silnikowym.

Wysokie wartości AN wskazują na nadmierne utlenienie oleju i wyczerpywanie się dodatków przeciwutleniających, co w konsekwencji przyczynia się do powstawania kwaśnych produktów ubocznych i może prowadzić do korozji elementów wewnętrznych urządzenia.

Dla nowych typowych olejów silnikowych BN zawiera się w przedziale 5–15. Im jest ono wyższe, tym olej jest w stanie zneutralizować więcej kwasu podczas pracy silnika. W miarę zużywania się olej zostaje zanieczyszczony kwasami, co skutkuje obniżeniem BN. Gdy BN osiąga wartości niższe od 50% wartości odpowiadającej nowemu olejowi lub niższe od 3, to powinna mieć miejsce wymiana oleju w silniku, bowiem olej nie zapewnia już jego wystarczającej ochrony i w konsekwencji ma miejsce zwiększone ryzyko wystąpienia korozji miejscowej.

W związku z faktem, że obie liczby charakteryzują się przeciwnym trendem w czasie (AN rośnie, a BN maleje) i odnoszą się do KOH, to obiegowo wykorzystywane jest kryterium „równoważności KOH” do określania przybliżonego czasu, w którym olej należy wymienić – co zostało



↑ Rys. 13. Obiegowe kryterium celowości wymiany oleju

jakościowo pokazane na rys. 13 (jakościowo, bowiem pokazane na rysunku zmienności AN i BN w rzeczywistości nie zmieniają się liniowo w czasie).

Liczby AN i BN są od wielu lat określane z pomocą zróżnicowanych technik w ramach testów laboratoryjnych.

13. Pomiary elektryczne

Niektóre pomiary wielkości elektrycznych są dobrymi symptomami stanu oleju. I tak np. stwierdzono, że wraz ze zużywaniem olej zmienia swoją przewodność. Zazwyczaj olej świeży charakteryzuje się przewodnością niższą niż olej stary. Także pojawienie się pewnych zanieczyszczeń (niezależnie od tego czy są one płynne czy stałe) wpływa na zmianę przewodności. W celu oceny jakości oleju, wykorzystywane są także m.in. czujniki dielektryczne oraz przenikalności elektrycznej, które opisano poniżej. Prowadzone są także próby wykorzystywania pomiarów pojemnościowych, których idea działania i próby zastosowania opisano w [12]. Jednak zaawansowanie tej techniki nie jest jeszcze takie, aby można się było nimi efektywnie wspomagać w badaniach mających na celu ocenę stanu w czasie rzeczywistym.

Jeszcze jednym czujnikiem elektrycznym wykorzystywanym z powodzeniem w niektórych aplikacjach olejowych

jest czujnik indukcyjny. Wykorzystuje on sondę magnetyczną do wychwytywania cząstek żelaza z oleju i tzw. „technologię indukcyjną” do wnioskowania. Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwia wychwytywanie przez sondę z oleju zarówno drobniejszych, jak i grubszych produktów zużycia charakteryzujących się właściwościami magnetycznymi, śledzenie postępującej akumulacji i pomiar jej zaawansowania.

Poniżej scharakteryzowano nieco dokładniej najbardziej użyteczne czujniki realizujące ww. pomiary elektryczne, które są wykorzystywane do oceny stanu oleju i maszyny.

Czujniki dielektryczne

Czujnik dielektryczny służy do pomiaru stałej dielektrycznej ϵ DC (Dielectric Constant) poprzez pomiar prądu płynącego między dwoma elektrodami. Przekroczenie wartości krytycznej prądu informuje o katastroficznym zdegradowaniu oleju smarnego.

Różne materiały charakteryzują się różną stałą dielektryczną. DC próżni wynosi dokładnie 1,0. Natomiast metale mają nieskończoną stałą dielektryczną, ponieważ są przewodnikami. Woda ma dużą i zależną od temperatury stałą dielektryczną. Węglowodorowe oleje smarowe mają DC mieszczące się zazwyczaj w zakresie 2,1...2,4, w zależności od lepkości oleju, jego gęstości, zestawu wykorzystywanych dodatków oraz względnej zawartości parafin, naftenów i aromatów. Wyższe poziomy dodatków powinny zwiększyć DC nowego oleju, ponieważ same dodatki mają wyższe DC niż cząsteczki oleju.

Dokonując oceny poprzez pomiar DC dobrze jest dysponować wartością DC dla nowego oleju (tzn. znać DC referencyjne). Jakakolwiek zmiana (tzn. wzrost) wartości DC w stosunku do wartości pierwotnej jest wskaźnikiem zanieczyszczenia lub zmiany w składzie chemicznym oleju np. w skutek utleniania. Inne najważniejsze czynniki, które zmieniają DC wraz ze zużyciem (i wpływają na zmianę wartości AN i BN) to wyczerpywanie się dodatków, niewłaściwy olej, jego zawilgocenie i pojawienie cząstek stałych. Jedynym

Reklama

NOWIMEX®

NOWIMEX doradza w doborze i dostarcza produkty renomowanych firm z branży automatyki i elektromechaniki przemysłowej:

- VAHLE** – Systemy zasilania ruchomych odbiorników prądu.
- SCHLEGEL** – Tablicowy osprzęt sterowniczo-sygnalizacyjny.
- TEXELCO** – Sygnalizatory świetlne i dźwiękowe.
- HUGRO** – Dławice do kabli.
- LEAB** – Systemy zasilania pojazdów specjalnych w prąd i sprężone powietrze.
- BREVETTI** – Tworzywowe i stalowe prowadniki kabli.
- CATTRON** – Przemysłowe systemy zdalnego sterowania i zatrzymania (E-Stop).
- MARECHAL** – Wtykowe złącza przemysłowe i dekontaktry (z wbudowaną funkcją rozłączeniową).

www.nowimex.com.pl
info@nowimex.com.pl



czynnikiem obniżającym DC oleju w funkcji czasu jest jego postępujące rozcieńczanie paliwem.

Czujniki dielektryczne wykorzystywane są m.in. do oceny właściwości izolacyjnych oleju transformatorowego. Wytrzymałość dielektryczna jest często utożsamiana z napięciem przebicia, ale w rzeczywistości ich wartości liczbowe nie są równe. Wymienione wcześniej zanieczyszczenia oleju takie jak woda, pęcherzyki gazu czy mikrociała stałe przyczyniają się do zmiany wytrzymałości dielektrycznej.

Czujniki przenikalności elektrycznej

Czujniki przenikalności elektrycznej służą do oceny jakości oleju umożliwiając pomiary jego przewodności rezystancyjnej oraz pojemnościowej.

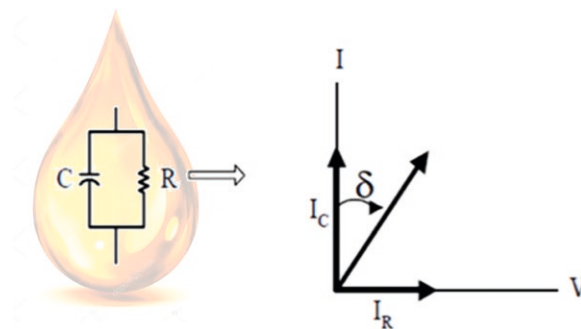
Ideę pracy takiego czujnika pokazano na rys. 14. Olej jest traktowany jako obwód elektryczny charakteryzujący się jakąś opornością i pojemnością, a zadaniem toru pomiarowego jest określenie prądów pojemnościowego I_C i rezystancyjnego I_R .

Jeśli olej jest wolny od zanieczyszczeń, to jego właściwości zbliżają się do idealnego kondensatora: napięcie i prąd są przesunięte w fazie o 90° , a prąd przepływający przez olej ma charakter pojemnościowy (czyli $I_R = 0$). Pogorszenie właściwości izolacyjnych spowodowane pojawieniem się zanieczyszczeń i zużyciem oleju skutkuje zmniejszeniem tego kąta, bowiem dodatkowo w stosunku do prądu pojemnościowego I_C pojawi się przepływ prądu rezystancyjnego I_R .

Zauważmy, że przenikalność elektryczna materiału izolacyjnego to stosunek pojemności C_x kondensatora, w którym przestrzeń pomiędzy i wokół elektrod jest całkowicie i wyłącznie wypełniona danym materiałem izolacyjnym, do pojemności co tej samej konfiguracji elektrod, ale w próżni.

Tangens pokazanego na rysunku kąta δ jest czasami określany jako współczynnik rozproszenia dielektrycznego/ współczynnik strat dielektrycznych (DDF od *Dielectric Dissipation Factor*). Mierzony jest zazwyczaj procentowo, a czujniki wykorzystywane do tego pomiaru są zwane czujnikami TanDelta [11]. Zauważmy, że różne efekty starzenia oleju wpływają różnie na zmianę ww. prądów. I tak wzrost wartości I_R jest skutkiem postępującego utleniania oleju, pojawienia się w nim wtrąceń metalicznych, a także aldehydów, ketonów i alkoholi. O zmianie DDF współdecydują także zawilgocenie oleju oraz tzw. zanieczyszczenia polarne, czyli związki węglowodorowe zawierające azot, siarkę lub tlen.

Testy wysokotemperaturowe są bardziej wrażliwe na niewielkie zmiany występujące we właściwościach oleju. Przydatne dodatkowe informacje można uzyskać mierząc rezystywność lub wartość TanDelta zarówno w temperaturze otoczenia, jak i wyższej, np. 90°C jak to jest sugerowane przez standard [13] dedykowany olejom izolacyjnym wykorzystywanym w urządzeniach elektrycznych (IEC 60422). Nie zawsze jednak prowadzą one do właściwych konkluzji dla olejów maszynowych. Jakość oleju ze względu na jego zawilgocenie jest lepiej oceniać w normalnych warunkach eksploatacyjnych maszyny, bowiem prowadzenie testu w podwyższonej temperaturze spowoduje obniżenie wilgotności



↑ Rys. 14. Podstawy pomiaru przenikalności elektrycznej



← Rys. 15.

Czujnik TanDelta i współpracujący z nim wyświetlacz

względnej i w konsekwencji obniżenie wartości TanDelta, co przewrotnie rozumiane świadczyłoby o polepszeniu własności oleju.

Na rys. 15. pokazano czujnik TanDelta wraz z displayem [11] informującym o bieżącej ocenie jakości oleju oraz jego temperaturze.

Jak widać z powyższego, pomiar przenikalności elektrycznej jest bardziej skomplikowany niż stałej dielektrycznej, co oczywiście skutkuje także wyższymi kosztami aplikacyjnymi. Jednak przy podejmowaniu decyzji należy wziąć pod uwagę fakt, że detekcja jakości oleju z pomocą przenikalności jest do 60 razy bardziej czuła od detekcji z pomocą czujnika dielektrycznego.

14. Ocena stanu technicznego maszyny

W zdecydowanej większości przypadków, opisane wyżej techniki oceny stanu dotyczyły w pierwszej kolejności oleju, a w niektórych przypadkach wtórnie mogły również dodatkowo świadczyć o zmianach stanu technicznego obiektu, na rzecz którego olej jest stosowany (np. w przypadku silników, gdy w krótkim czasie następuje nienormalny wzrost ilości chłodziwa w oleju).

Typowo w układzie obiegu znajdują się filtry, których zadaniem jest wychwytywanie różnych cząstek stałych, tak aby zapewniać możliwie najlepszy proces smarowania współpracujących części. Okresowo filtry podlegają wymianie, co stwarza możliwość analizy zgromadzonego na nich materiału i daje szansę wnioskowania o stanie obiektu.

Współcześnie można spotkać wzrastającą liczbę aplikacji, w których monitorowanie oleju jest pierwszoplanowo (lub dodatkowo) nastawione na ocenę zmiany stanu technicznego

maszyny. W oleju mogą się bowiem znajdować różne wtrącenia, zarówno metaliczne jak i niemetaliczne, które świadczą o zaawansowaniu procesu zużycia maszyny, a nawet bardziej szczegółowo, bowiem mogą być pomocne w rozpoznawaniu podzespołów, w których procesy destrukcyjne zachodzą oraz na ich przyczynę. Tak więc już od wielu lat, dla ważniejszych maszyn, instaluje się systemy monitorowania oleju przed wyżej wspomnianymi filtrami. Taki monitoring On-Line zdecydowanie polepsza możliwości predykcji stanu technicznego majątku produkcyjnego.

Pisząc o wtrąceniach nie można nie wspomnieć o wtrąceniach gazowych. Nie świadczą one o stanie jakościowym oleju, natomiast mogą generować problemy: z jednej strony z poprawnością jego oceny, a z drugiej także mogą (będą!) wpływać na poprawność dynamicznego zachowania maszyny.

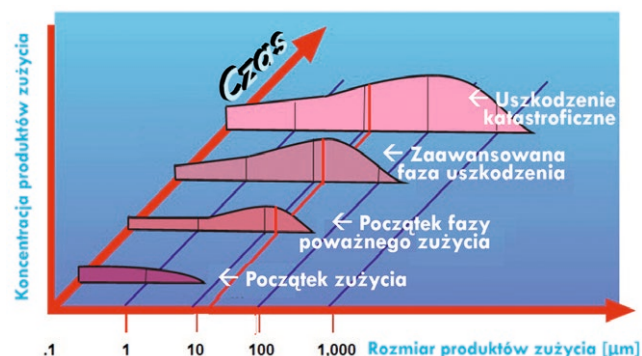
15. Zaawansowane monitorowanie produktów zużycia

W przypadku nowej maszyny w dobrym stanie technicznym pojawianie się produktów zużycia będzie rzadkie, a ich wymiary niewielkie. Przyspieszenie w ich generowaniu może być skutkiem naruszenia poprawności współpracy elementów maszyny (np. kół zębatych) lub dużymi obciążeniami dynamicznymi prowadzącymi do chwilowej pracy w warunkach tarcia suchego (np. łożysk ślizgowych). Na rys. 16 pokazano jak w funkcji czasu po pierwsze wzrasta liczba produktów zużycia, a po drugie zwiększają się ich wymiary.

W przeszłości prowadzone były laboratoryjne oceny punktowe w czasie: umożliwiające ocenę licznosci oraz dystrybucję gabarytów. Współcześnie, od wielu już lat, wykorzystywane są systemy monitorowania produktów zużycia (MPZ) w czasie rzeczywistym, które umożliwiają także estymację skumulowanego zużycia. W [12] opisano kilka przykładów takich aplikacji.

Przy tego typu aplikacjach występują różne problemy. Najważniejsze z nich to:

- natężenie przepływu oleju na wyjściu z maszyny lub z jej węzła (łożysko, przekładnia etc.): współczesne systemy MPZ posiadają ograniczenie maksymalnego natężenia przepływu; tak więc dla niektórych systemów MPZ niezbędne jest zastosowanie bocznikowania przepływu, aby móc realizować pomiary;
- średnica rurociągu olejowego na wyjściu z maszyny lub z jej węzła: wraz ze wzrostem średnicy spada wrażliwość rozpoznawania przez systemy MPZ małych elementów; tak więc dla niektórych aplikacji MPZ niezbędne jest zastosowanie bocznikowania przepływu, aby w rurociągu o mniejszej średnicy rozpoznawać wystarczająco małe produkty zużycia;
- zliczanie cząstek/zanieczyszczeń oraz klasyfikacja liczby zanieczyszczeń – tylko niektóre systemy MPZ umożliwiają ocenę zgodną z kryteriami ISO 4406:2021;
- rozpoznawanie produktów zużycia metalicznych i niemetalicznych: systemy MPZ posiadają typowo zróżnicowaną wrażliwość detekcji drobin metalicznych i niemetalicznych (na niekorzyść tych drugich);



↑ Rys. 16. Zmiana liczby i wymiarów produktów zużycia w czasie



← Rys. 17. Przykład systemu MPZ: głowica OilWear®

- zaszumienie pomiarów: mniej zaawansowane systemy MPZ nie posiadają umiejętności odróżniania produktów zużycia od pęcherzyków gazu w oleju;
- rozpoznawanie mechanizmu generacji produktów zużycia: tylko niektóre systemy umożliwiają identyfikację mechanizmu przyczyny zużycia.

Na rys. 17 pokazano oferowany przez firmę ATTEN2 czujnik systemu MPZ. Oferowany system umożliwia kategoryzację produktów zużycia zgodnie z normą ISO 4406 w 6 pasmach: >4, >6, >14, >21, >38, 70 µm. Natomiast tak samo wyglądająca głowica umożliwia różną funkcjonalność:

- z serii C tylko wymienioną gradację zużycia;
 - z serii S nie tylko ww. gradację, ale dodatkowo automatyczną identyfikację przyczyn zużycia oraz ocenę zaawansowania degradacji oleju.
- Ponadto głowica może być wykonana w wariantach:
- seria S SS – tzn. ze stali nierdzewnej w przypadku możliwości pracy z cieczami korozyjnymi,
 - seria S Ex – dla aplikacji w strefach zagrożenia wybuchowego (z certyfikacją Ex: CE Ex II 3G Ex ec op is IIB T4 Gc).

16. Czujniki indukcyjne

Nie w każdym przypadku MPZ jest potrzebne na takim poziomie zaawansowania jak to opisane powyżej. W szeregu przypadków pobeżna identyfikacja tych produktów i do tego ograniczona do żelaza jest całkowicie wystarczająca. Możliwość taką stwarzają czujniki indukcyjne³.

Monitorowanie oleju z pomocą czujników indukcyjnych prowadzone na wyjściu z maszyny lub w misie olejowej

zapewnia służbom produkcji i UR wczesne ostrzeżenie o postępującej destrukcji podzespołu. W przypadku ich zastosowania jakość oleju schodzi na drugi plan, bowiem produkty zużycia charakteryzujące się magnetyzmem bądź to zostały wychwycone przez czujnik, bądź też osadzają się na filtrach zainstalowanych w obiegu oleju. Na rys. 18 pokazano dwa przykładowe czujniki. Ten wyżej to czujnik FE firmy MARTECHNIC generujący sygnał proporcjonalny do liczby osadzonych cząstek, a ten niżej to czujnik GS oferowany przez firmę GILL, który dodatkowo umożliwia także wybrany pomiar z alternatywny: zawilgocenie oleju/temperatura oleju. Czujniki umożliwiają automatyczne oczyszczanie się, co winno mieć miejsce po skumulowaniu się zbyt dużej partii wiórków.

Firmy oferujące takie czujniki na ogół opcjonalnie oferują także monitory umożliwiające łatwą kontrolę mierzonych symptomów.

Zauważmy, że czujniki te dają podstawę do wyznaczenia wskaźnika PQ (*Particle Quantifier Index*), który jest ważnym narzędziem predykcyjnego UR, ponieważ mierzy całkowitą zawartość metali żelaznych (ferromagnetyków) w środkach smarnych. Wskaźnik ten świadczy o nieprawidłowości zużycia metalu. Czujniki indukcyjne mogą być wykorzystywane zarówno dla niewielkich jak i bardzo dużych maszyn [6]. Mogą być instalowane na spływie oleju z różnych sekcji silników (skrzynia biegów, mechanizmy różnicowe, przekładnia główna, ...). Predykcyjne UR wykorzystujące olej jako jeden z symptomów stanu technicznego staje się tym ważniejsze, im większa jest moc silników (i w konsekwencji ich gabaryty), a ta pozostaje w dodatniej korelacji z ilością niezbędnego do ich pracy oleju (i jego kosztu). W przypadku okrętowych silników Diesla ich systemy olejowe mogą zawierać nawet do 20 000 litrów oleju.

17. W kierunku monitorowania oleju On-Line

Opisane powyżej techniki umożliwiają monitorowanie wybranych charakterystyk oleju w trybie On-Line. Generowane przez czujniki symptomatyczne dla jego stanu sygnały analogowe podlegają konwersji do postaci cyfrowej i są gromadzone w skomputeryzowanych bazach danych. Tam z wykorzystaniem inteligentnego oprogramowania dane te są konwertowane na informacje użyteczne dla służb UR czy to w zakresie dotyczącym stanu oleju (zużycie), czy też na okoliczność postępującej destrukcji wykorzystującej go maszyny. Takie systemy prowadzą do zwiększenia skuteczności zapewnienia bezpieczeństwa, wpływają na bardziej stabilną pracę maszyn i poprawiają efektywność działań obsługowych w zakresie smarowania [1].

Współczesne kierunki badań koncentrują się z jednej strony na zwiększeniu możliwości sensorycznych w zakresie prowadzenia pomiarów symptomatycznych tak dla stanu oleju jak i majątku produkcyjnego, a z drugiej strony na takim przetwarzaniu gromadzonych danych, które zwiększa pewność oceny. Taką możliwość stwarza stosowanie zintegrowanego systemu monitorowania On-Line, który nie będzie ograniczał się w ocenie stanu do pomiarów oleju (co jest spojrzeniem



← Rys. 18. Czujniki indukcyjne do monitorowania oleju

jednowymiarowym), ale podejście do problemu wielowymiarowo, a ocena globalna będzie wypracowywana także na bazie innych pomiarów On-Line (drgania mechaniczne, emisja akustyczna, etc.). Wizję takiego systemu zaprezentowano w [1].

18. Doświadczenia z projektów

Monitorowanie stanu oleju poprzez wykorzystanie czujników on-line staje się coraz powszechniejsze. Mogą się one przyczynić nie tylko do diagnostyki stanu samego oleju, ale również do stanu maszyny. W ramach działalności firmy Ecol postanowiono przetestować kilka wybranych czujników w połączeniu z włączeniem rozszerzonej diagnostyki olejowej wykonywanej w laboratorium. Poniżej podzielono się wybranymi przemyśleniami z doświadczeń z przeprowadzonych prób. Testy w zależności od wybranego czujnika przebiegały w różny sposób tj. na roboczym stanowisku pomiarowym oraz na pracujących urządzeniach. Ze względu na wciąż trwające testy posłużono się poniżej opisem numerycznym wykorzystywanych czujników bez podawania ich nazw handlowych.

CZUJNIK NR 1:

Jest to pojemnościowy przetwornik do badania zawartości wody, która jest jednym z najczęściej występujących zanieczyszczeń mogących się pojawić w eksploatowanych środkach smarnych. Kluczowe jest zrozumienie tego co czujnik w rzeczywistości mierzy i jak to przekłada się na całkowitą ilość wody w środku smarnym. Pojemnościowe przetworniki do badania zawartości wody działają na zasadzie pomiaru aktywności wody zawartej w oleju. Sama aktywność wody mierzona przez takie czujniki nie mówi użytkownikowi zbyt wiele, mieści się ona w zakresie o 0 do 1, stąd następuje przeliczanie jej na zawartość wody wyrażoną w ppm. Ilość całkowita wody nie jest już zależna od temperatury i uwzględnia wszystkie trzy postacie wody mogące się znajdować w oleju. Jednak ze względu na fakt, że czujniki pojemnościowe umożliwiają pomiar aktywności w zakresie od 0 do 1, nie jest możliwe zmierzenie całkowitej zawartości wody w analizowanym oleju. W przypadku oleju przesyconego wilgocią czujnik wskazuje liczbę 1 i przeliczanie tego wyniku na zawartość wody w jednostkach ppm nie odzwierciedla całkowitej zawartości wody w układzie.

Czujniki pojemnościowe wymagają zdefiniowania indywidualnych współczynników charakteryzujących zdolność rozpuszczania dla konkretnego środka smarnego, a te zmieniają

się w czasie. Każdorazowo przy zmianie lokalizacji czujnika np. zmianie na inne urządzenie, w którym jest zastosowany inny środek smarny, należy uaktualnić współczynniki (co na ogół wiąże się z koniecznością wysłania czujnika do producenta celem wgrania odpowiednich parametrów i pociąga za sobą określone koszty). W sytuacji, gdy mówimy o układach olejowych, które zawierają w sobie kilka ton oleju, wiadomo jest, że środek jest w eksploatacji kilka lat. W takich przypadkach współczynniki charakteryzujące olej powinny być aktualizowane w celu uzyskania wystarczająco dokładnych wyników. Jest to ważne przede wszystkim dla układów, w których konieczne jest zapewnienie możliwie niskiej zawartości wody w oleju. Można oczywiście wytypować ogólne współczynniki dla poszczególnych grup produktów, wiąże to się jednak ze zmniejszeniem precyzji oceny rzeczywistego stanu oleju.

W ramach projektu ECOL wyznaczyl współczynniki dla kilku wybranych olejów, zarówno świeżych jak i eksploatacyjnych. Miało to na celu weryfikację jakości mierzonych danych przez czujnik w porównaniu do pomiarów zawartości wody realizowanych metodą Karla Fishera.

W sytuacji, gdy olej jest nasycony wilgocią, czyli aktywność wody wynosi 1, istnieje ryzyko złej interpretacji wskazań czujnika. Stan nasycenia oznacza, że olej w danym stanie cieplnym rozpuścił w sobie maksymalną ilość wody. Przykładowo w temperaturze 20°C dla oleju X może to być ilość rzędu 40 ppm, natomiast dla temperatury 60°C będzie to ilość rzędu 250 ppm. Zakładając hipotetycznie, że analizowany olej X realnie ma w sobie 200 ppm wody, to przy temperaturze 20°C czujnik będzie wskazywać aktywność wody 1, natomiast zawartość wody na poziomie 40 ppm. Tak więc przy braku zrozumienia zasady działania takiego czujnika, można dokonać złej interpretacji, że olej realnie zawiera w sobie 40 ppm. Wzrost temperatury do 60°C doprowadzi w tym przypadku do spadku aktywności wody, bowiem jest on równoznaczny ze zwiększeniem

zdolności rozpuszczania wody w oleju. Stąd bardzo ważne jest obserwowanie zmian wskazań odczytów aktywności wody.

Podjmując decyzję o zastosowaniu czujnika pojemnościowego w układzie olejowym należy kierować się przede wszystkim limitem dopuszczalnej maksymalnej zawartości wody dla określonej maszyny. Zawartość tę należy odnieść do maksymalnej rozpuszczalności wody w oleju w temperaturze roboczej. Jeżeli limit jest mniejszy niż maksymalna ilość wody rozpuszczonej, zasadność montażu jest słuszna. W przeciwnym wypadku czujnik nie zagwarantuje wychwycenia momentu, w którym został przekroczony próg alarmowy dla tej konkretnej maszyny. Zaleca się szczególną ostrożność przy montażu takich czujników na układach wysoce narażonych na przedostanie się do środka smarnego znacznych ilości wody tj. pracujących na zewnątrz, przy zastosowaniu chłodzenia wodnego oraz gdy czynnikiem procesowym jest woda/para. Jeśli aktywność wody wzrośnie względem stanu odniesienia zaleca się wzmożoną kontrolę oleju, wskazania czujnika w tej sytuacji mogą się nie zmieniać, co może uspić czujność operatorów, pomimo narastającej ilości wody w układzie.

CZUJNIK NR 2:

Kolejny analizowany czujnik umożliwiał pomiar pomiarów przewodności elektrycznej, a gromadzona tą drogą baza danych poddawana była analizom z wykorzystaniem AI (*Artificial Intelligence*). Olej jest izolatorem, zmiana jego przewodności następuje w wyniku przedostających się do niego zanieczyszczeń (np. cząstki metaliczne czy płyny).

Czujnik ten ma za zadanie monitorować rzeczywisty stan oleju oraz informować o pojawiających się zanieczyszczeniach w układzie, takich jak: powietrze, woda, cząstki metaliczne bądź niemetaliczne jak np. włókna. Tor pomiarowy wyznacza stosunek temperatury do przewodności elektrycznej. Gromadzone wyniki są analizowane przez logikę programu

Reklama



Oto STAUFF Polska

Działając pod marką STAUFF zdobyliśmy pozycję międzynarodowego lidera w pracach rozwojowych, produkcji i dostawach części do systemów rur i układów hydraulicznych.

Systemy Mocowania	
Systemy Pomiarowe	
Technika Filtracji	
Diagtronics	
Akcesoria Hydrauliczne	
Zawory Kulowe	
Złącza Hydrauliczne	



NOWOŚĆ!
STAUFF
Connect

Technologia Złącz Rurowych
od STAUFF



STAUFF Polska Sp. z o.o.
Miszewko 43 A • 80-297 Banino
Tel.: 058 660 11 60 • Fax: 058 629 79 52
sales@stauff.pl

www.stauff.pl

w czasie rzeczywistym, a uzyskane tą drogą informacje prezentowane są na dedykowanych ocenie grafikach. Technika ta nie umożliwia niestety ilościowego określenia poszczególnych rodzajów zanieczyszczeń. Informuje ona o rozbieżności względem stanu referencyjnego, a przekroczenie zaprogramowanego stanu granicznego może podlegać alarmowaniu. Rozwiązanie to jest bardzo interesujące, bowiem czujnik wspomaga diagnozowanie środka smarnego ze względu na wiele różnych czynników.

Pierwsza faza testów była prowadzona na stanowisku pomiarowym. Wyniki wskazują, że z pomocą czujnika jest możliwe skuteczne monitorowanie i identyfikacja pewnych typów zanieczyszczeń oleju. Zmiany są widoczne na wykresach, jednak algorytmy odpowiedzialne za wnioskowanie na podstawie danych wejściowych nie wygenerowały niektórych alarmów, za co może być odpowiedzialny zbyt krótki czasu samouczenia się oprogramowania na stanowisku pomiarowym. Z tego powodu testy zostały przeniesione na pracujące urządzenie, tak żeby zbudować pełną historię pracy urządzenia.

Uwagi aplikacyjne:

- Czujnik przeznaczony jest do konkretnego środka smarnego. Każdorazowa zmiana oleju wymaga od użytkownika wysłania sprzętu do producenta w celu rekalkibracji pod konkretne zastosowanie.
- Zbierane dane analizowane są przez oprogramowanie AI. Czyni się założenie, że stan początkowy oleju jest stanem dobrym. Gromadzone dane są stale analizowane i przetwarzane pod konkretne przypadki występujących zanieczyszczeń. Można powiedzieć, że oprogramowanie uczy się „analizowanego obiektu” bazując na historii zmian pomiarów odpowiadających różnym zanieczyszczeniom. Proces samouczenia wymaga pewnego czasu na zebranie danych referencyjnych. Po tej fazie może mieć miejsce rozpoznawanie anomalii wynikającej z pojawienia się zanieczyszczeń w środku smarnym.
- Oprogramowanie nie jest w stanie określić ilościowo i jakościowo (np. metaliczne produkty zużycia, płyny) wykrytych zanieczyszczeń. Trend będzie jedynie informował o tempie ich wzrostu. Istotny wzrost stanowi podstawę do uzasadnionej decyzji o laboratoryjnej analizie oleju. Ta ostatnia może po rozpoznaniu rodzaju cząstek metalicznych doprowadzić do identyfikacji miejsca postępującej destrukcji w maszynie.

CZUJNIK NR 3:

Czujnik umożliwia analizę liczby przepływających cząstek. Zanieczyszczenie cząstkami stałymi oleju to najbardziej destrukcyjny czynnik dla żywotności urządzeń. Pogorszenie czystości oleju o jedną klasę podwaja ilość zanieczyszczeń w próbce dla danego przedziału. Czystość oleju powinna spełniać wymagania producentów urządzeń. Im wyższe ciśnienia, obroty oraz mniejsze luzy technologiczne, tym klasa czystości winna być lepsza. Podstawa działania sensora wybranego do badań opiera się na wykorzystaniu lasera. Wiązka

światła przechodzi przez obszar pomiarowy do przeciwległej fotodiody. Przepływające cząsteczki blokują część przepuszczanej wiązki światła – tym bardziej im ma miejsce większe zanieczyszczenie oleju. Na tej podstawie sensor określa klasę czystości wg. różnych klasyfikacji, np. poprzez kod ISO lub NAS. W ramach testów wykorzystywano różne scenariusze zanieczyszczeń (woda, powietrze), w celu sprawdzenia wiarygodności czujnika na wtrącenia oraz na ich rozmiary. Testy prowadzono na stanowisku pomiarowym oraz na pracującym wybranym urządzeniu.

19. Obszary zastosowania analizy oleju On-Line

W małowitrazowych silnikach samochodowych ilość oleju w silniku na ogół nie przekracza 10 litrów. Natomiast w silnikach wykorzystywanych w pojazdach dużej mocy o konstrukcji V16 (np. w kolejnictwie) zapotrzebowanie na olej może już być o rząd wyższe. Elementy silnika w ciężkich pojazdach terenowych są duże, cechują się dużą masą i w konsekwencji bardzo potrzebują zaawansowanego smarowania. Kwestia jakości tego smarowania jest szczególnie ważna w przypadku ciężkich zastosowań, w których brak zapewnienia kluczowych właściwości smarnych oleju silnikowego może bezpośrednio przekładać się na przyspieszoną destrukcję silnika i prowadzić do obniżenia rentowności floty.

Poniżej zamieszczono kilka przykładów aplikacji flotowych.

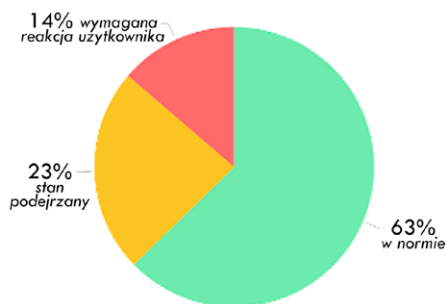
20. Flota lokomotyw

Pewna spółka kolejowa zarządzająca flotą lokomotyw spalinowo-elektrycznych stanęła przed wyzwaniem związanym z generowaniem optymalnych harmonogramów serwisowania lokomotyw, bowiem prewencyjne praktyki obsługowe prowadziły do wzrostu kosztów operacyjnych i nie w każdym przypadku zapobiegały awarii. Tradycyjne systemy monitorowania były niewydolne w dostarczaniu danych w czasie rzeczywistym, umożliwiającym podejmowanie decyzji w kierunku zapewnienia właściwego stanu oleju.

Zastosowanie specjalizowanego czujnika jakości oleju [15] okazało się znaczącym postępem w obsłudze lokomotyw. Zainstalowano go za głównym filtrem oleju silnika. Czujnik przekazywał w czasie rzeczywistym dane z pomiarów symptomatycznych dla jakości oleju do sterownika na pulpicie lokomotywy. Zastosowane rozwiązanie zaowocowało wczesnym ostrzeganiem o potencjalnych problemach i w konsekwencji umożliwiło przejście z reaktywnego na proaktywne UR. W konsekwencji roczne koszty UR zmniejszono o 80%, a zużycie oleju zmalało o 21%.

Dla floty lokomotyw w Polsce monitoring stanu silnika prowadzony na podstawie badań oleju jest realizowany na dużą skalę od wielu lat. Świadomość pracowników odpowiedzialnych za utrzymanie taboru jest wysokie i stale rośnie. Niestety zakres badawczy nadal często jest ograniczony, nie odpowiada aktualnemu stanowi wiedzy technicznej. Problemy, które najczęściej występują w analizie wyników badań to obniżona lepkość wskutek rozcieńczenia paliwem, nieszczelności z układu chłodzenia, niepoprawny olej, utrata własności detergujących oleju. Dzięki badaniom

służby utrzymania ruchu w odpowiednim czasie mogą podjąć czynności serwisowe. Wymiana olejów następuje zależnie od wyników badań lub co 1000 h, a wymiana zawsze poprzedzona jest badaniem. Statystyka z wieloletniej populacji badania próbek olejów z silników lokomotyw w Polsce wskazuje, iż 63% przypadków jest w zakresie prawidłowym, 24% (rys. 19) wykazuje nieprawidłowości, a 14% to przypadki wymagające zdecydowanej reakcji.



↑ Rys. 19. Statystyka stanów oleju smarowego wykorzystywanego w krajowym kolejnictwie

21. Flota ciężkich pojazdów

Kopalnia piasku zlokalizowana w Kanadzie wykorzystuje wozidła kopalniane CAT 785D (nominalna ładowność 139 t, znamionowa dopuszczalna masa całkowita ~250 t, moc maksymalna ~1,2 MW). Pojazdy te potrzebują 291 l oleju, który podlegał wymianie prewencyjnej co 500 godz. Terminy kolejnych obsług były skrupulatnie przestrzegane, bowiem koszt nowego silnika to kwota bliska ~400 k\$. Kopalnia postawiła sobie za cel przejść z wymian prewencyjnych na wymiany uzasadnione stanem oleju i w konsekwencji wydłużyć okresy między jego wymianami (czyli zmniejszyć częstotliwość wymian, co było równoznaczne ze zmniejszeniem marnotrawstwa oleju), jednocześnie zachowując integralność mechaniczną sprzętu, tzn. zapobiegając awariom. Podjęto decyzję o wyposażeniu wozideł w czujniki TanDelta i to tak, aby dane z czujników były przesyłane bezprzewodowo do centrum sterowania [16]. Tam dane można było przeglądać na żywo i rejestrować w celu dalszej analizy trendów. W oprogramowaniu ustawiono alertowanie i alarmowanie ostrzegające operatorów, gdy olej osiągał stan krytyczny.

Zastosowane rozwiązanie spowodowało dwukrotne wydłużenie okresu międzyserwisowego, co w konsekwencji obniżyło koszty oleju o 50%. Wdrożony system przyczynił się także do wyeliminowania ryzyka awarii powodowanych zanieczyszczeniem oleju oraz szybko rozwijającymi się uszkodzeniami natury mechanicznej prowadzącymi do zanieczyszczenia.

Uzyskano zwrot nakładów inwestycyjnych już po niecałych 5 miesiącach.

22. Floty turbin wiatrowych

Przekładnie turbin wiatrowych charakteryzują się stonkowo niską prędkością obwodową wirników i dużymi

obciążeniami kół zębatach. W konsekwencji wymagają oleju przekładniowego z dodatkami na ekstremalne ciśnienia i o maksymalnej lepkości. Ilość oleju potrzebna do smarowania turbiny wiatrowej zależy przede wszystkim od jej mocy. Dla przykładu: wybrany typ turbiny o mocy 1,5 MW wykorzystuje 320 l oleju. Prawidłowe smarowanie zapewnia optymalną wydajność, długowieczność i zapobiega zużyciu krytycznych podzespołów. Analiza oleju odgrywa znaczącą rolę w UR turbin wiatrowych, umożliwiając wczesne wykrywanie zanieczyszczeń, warunkuje możliwość predykcyjnego UR, skraca przestoje i obniża koszty UR.

Na przełomie wieku, w przypadku największych instalowanych natenczas turbin wiatrowych, olej badano średnio raz na pół roku [17]. Analiza trendów dla ważnych parametrów jakości oleju była trudna, nieregularna i często ze względu na sposób wykonywania obarczona dużym błędem. Współcześnie analizy oleju i monitorowanie stanu turbin wiatrowych na lądzie i na morzu są coraz częściej wykonywane przy użyciu czujników monitorujących tak olej jak i maszyny On-Line. W ten sposób odstępy między próbkami oleju są skrócone z około sześciu miesięcy do codziennych, a nawet ciągłych. Pozwala to na dokładniejsze śledzenie trendów ważnych parametrów oleju, takich jak m.in. lepkości, kwasowości i poziomu utlenienia oleju. Dane z systemu monitorowania umożliwiają ogólną ocenę stanu oleju i monitorowanej turbiny oraz pomagają w decyzji, czy należy go wymienić czy też wystarczy jedynie uzupełnić dodatki.

W USA uznaje się, że poprzez poprawę wydajności smarowania można zwiększyć produkcję energii i wydłużyć żywotność turbin wiatrowych. Szacuje się, że te ulepszenia mogą zmniejszyć medianę uśrednionych kosztów energii o 1–2% w skali floty.

Dobrze jest pamiętać, że wymiana oleju w przekładni turbiny wiatrowej jest dość trudna i czasochłonna. Technik wspina się na wieżę z liną, która następnie służy do podnoszenia węża spustowego prowadzącego do zbiornika na zużyty olej. Czas spuszczenia oleju może być długi, szczególnie wtedy, kiedy otwór spustowy jest mały i proces prowadzony dla zimnego oleju i w chłodnym środowisku. Następnym etapem jest pompowanie nowego oleju do przekładni z pomocą czystego węża, co też jest czasochłonne.

23. Floty Diesel-generatorów

Firma prowadziła działalność na terytorium, gdzie występowały poważne przerwy w dostawie prądu. W konsekwencji była uzależniona od poprawności działania zasilania rezerwowego i zapewnienia stałej gotowości dużych generatorów diesla. Miało to dla firmy bardzo duże znaczenie. Okazjonalne korzystanie z generatorów awaryjnego zasilania stwarzało ryzyko dla jakości oleju i paliwa, zagrażając niezawodności funkcjonowania w krytycznych momentach. Zastosowanie czujników umożliwiających kontrolę oleju On-Line przyczyniło się do polepszenia planowania serwisu. W konsekwencji nie tylko znacznie zmniejszono ryzyko awarii, ale także obniżono koszty związane z obsługą generatorów przez wydział UR o 43 kUSD [19].

PRIORYTETY NA ROK 2025

Na początku listopada pojawiła się publikacja [18] „Od czegoś miłego do konieczności – jaka technologia zdefiniuje przyszłość zarządzania flotą w przyszłym roku?” tzn. w roku 2025. Tematyka artykułu jest dedykowana flotom samochodowym. W artykule zostały wyróżnione następujące kluczowe kwestie:

- 1. Monitorowanie w czasie rzeczywistym** – w tym przypadku chodzi o monitorowanie warunków drogowych umożliwiających optymalny przejazd i pomoc w efektywniejszym rozwiązywaniu niespodziewanych problemów technicznych.
- 2. Inteligentne wyznaczanie tras** – stosując współczesne narzędzia firmy logistyczne Koch i Active Logistics zwiększyły szybkość planowania tras o 80%, skracając cały proces o 4 godziny i 15 minut i osiągając 14% wzrost wydajności na pojazd.
- 3. Predyktoryjne utrzymanie ruchu** – zarówno dla realizowania działań obsługowych wymaganych stanem jak i napraw wyprzedzających awarię, co prowadzi do skrócenia przestojów, obniżenia kosztów napraw i wydłużenia żywotności pojazdu. Przyczynia się również do podniesienia ogólnego bezpieczeństwa: zarówno kierowców, jak i innych pojazdów na drodze.
- 4. Unikanie kolizji** dzięki zastosowaniu coraz bardziej zaawansowanych systemów zapobiegania kolizjom wykorzystujących coraz liczniejsze czujniki i kamery do wykrywania potencjalnych przeszkód i dzięki temu wspomagających świadomość sytuacyjną kierowców.
- 5. Sztuczna inteligencja** prowadzi analizę ogromnej liczby danych zebranych z pojazdów w czasie rzeczywistym i wspomaga określanie czasu wymaganej obsługi lub naprawy, optymalizuje trasy w celu uniknięcia korków i poprawy efektywności paliwowej.
- 6. Floty elektryczne** – elektryfikacja floty jest bardzo istotnym krokiem prowadzącym do zielonej floty w celu zmniejszenia ogólnego jej wpływu na środowisko. To jeden z najważniejszych tematów, który będzie decydował o przyszłości przedsiębiorstwa transportowego.

24. Flota transformatorów

Energetyka winna być także zainteresowana monitorowaniem olejów izolacyjnych transformatorów. Tradycyjnie, od wielu lat, są analizowane Off-Line w laboratoriach. W [20] opisano zaawansowany system dedykowany monitorowaniu transformatorów. Jego ważnym komponentem jest system DGA (*Dissolved Gas Analysis*), który monitoruje w oleju transformatorowym rodzaj i ilość rozpuszczonych gazów. Systemy DGA umożliwiają rozpoznawanie różnej liczby gazów w zależności od ich zaawansowania. Najbardziej zaawansowane (np. Kelman DGA 900) rozpoznają ich 9: wodór, metan, etan, etylen, acetylen, tlenek węgla, dwutlenek węgla, azot i tlen oraz stopień zawilgocenia oleju. Pojawienie się CO i CO₂ świadczy o osłabieniu materiałów izolacyjnych, który to proces destrukcji ma miejsce przy lokalnym wzroście temperatury izolacji już nieco ponad 1000 C. Systemy te pracują w reżimie skaningowym On-Line, tzn. wykonują analizy z krokiem czasowym (np. co 30 minut) i są bardzo proste w implementacji. Na rys. 20 pokazano przykład aplikacji takiego systemu [24].

25. Inne obszary aplikacji flotowych

Można znaleźć bardzo wiele aplikacji flotowych, w których zastosowanie mało skomplikowanych czujników śledzących wybrane charakterystyki oleju powoduje szybki zwrot nakładów inwestycyjnych związanych z ich wdrożeniem. Rozwiązaniem takim winny być zainteresowane firmy wykorzystujące ciężki sprzęt konstrukcyjny jak np. koparki, buldożery, równiarki, zgarniarki, koparki do rowów, ładowarki,

żurawie wieżowe, maszyny do asfaltowania, walce drogowe, ładowarki teleskopowe, śmieciarki, maszyny do palowania itp., tym bardziej im maszyny te wymagają dużego jednorazowego wsadu olejowego. W [1] zarysowano wizję systemu monitorowania olejów w czasie rzeczywistym dla wielkogabarytowych maszyn budowlanych. W zaproponowanym tam systemie ograniczono się do monitorowania temperatury, zawilgocenia, lepkości i żelaznych produktów zużycia.

Również w warunkach pokojowych armia winna być zainteresowana optymalizacją obsługi olejowych ciężkich pojazdów wojskowych, a w tym m.in. pojazdów opancerzonych (transportery opancerzone, czołgi lekkie, czołgi bojowe), artylerii o kalibrze większym niż 100 mm (wielokrotne wyrzutnie rakiet, działa samobieżne, działa ciągnione), samolotów bojowych (śmigłowce bojowe, stałopłaty myśliwskie), okrętów (zarówno podwodnych jak i nawodnych - większych od korwety).

Z tych samych względów zainteresowani również winni być armatorzy (dla statków i promów).

Energetyka, dodatkowo w stosunku do floty maszyn wirnikowych, dla których jest monitorowana jakość olejów smarowych, winna być zainteresowana monitorowaniem olejów izolacyjnych dla floty transformatorów. W przeszłości była prowadzona ich analiza laboratoryjna, co wymagało pobierania próbek 150–250 ml. W [20] opisano zaawansowany system dedykowany monitorowaniu transformatorów. Jego jednym z komponentów jest układ monitorowania rozpuszczonych gazów DGA (*Dissolved Gas Analysis*) w oleju.



↑ Rys. 20. Zaawansowany system DGA monitorowania oleju izolacyjnego

26. Zakończenie

W wielu przypadkach potrzebne jest monitorowanie i analiza stanu zużycia sprzętu mechanicznego w warunkach eksploatacyjnych. Wykrywanie problemów winno mieć miejsce w odpowiednim czasie, aby podjąć działania obsługowe zapewniające bezpieczną pracę sprzętu. W listopadzie ukazała się publikacja [18] charakteryzująca kilka kwestii, które w roku 2025 będą decydować o efektywności przedsiębiorstwa zarządzającego flotą pojazdów (ramka 2). Na trzecim miejscu wymieniona została konieczność odejścia od prewencji w UR i przejście na UR bazujące na stanie użytkowo-technicznym.

Zużywanie oleju zależy od natury kierowców i operatorów sprzętu: olejowi nie służy ani ciągła jazda na niskich obrotach (*eco-driving*) ani jazda pseudosportowa. To zróżnicowanie operatorów i środowiska pracy, w którym wykorzystywany jest sprzęt powodują, że stosowanie podejścia prewencyjnego jest kosztowne, bowiem realna potrzeba wymiany oleju zachodzi po różnym przebiegu i jest także uzależniona od charakteru kierowcy.

Opisując czujniki realizujące pomiary symptomatyczne dla stanu oleju, koncentrowano się na ich podstawowych cechach. Natomiast dokonując selekcji pod kątem ewentualnego zastosowania należy spojrzeć bardziej szeroko z punktu widzenia potrzeb aplikacji, a więc np. także z punktu widzenia ciśnienia, które może panować w przestrzeni, w której czujnik jest instalowany, potrzeba zastosowania sprzętu z certyfikacją Ex etc.

Przypisy

1. Analiza ICP-OES jest zaawansowaną techniką analityczną stosowaną do precyzyjnego rozpoznawania i mierzenia jednocześnie w czasie zawartości pierwiastków w próbkach ciekłych.
2. W szeregu krajów norma ta jest lepiej znana jako „ASTM D1500-12(2017) Standard Test Method for ASTM Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale)”. Pierwotnie została opracowana przez American Society for Testing and Materials International. Została przejęta przez ISO.

Reklama

Cantoni®
GROUP



since 1920



since 1878



www.cantonigroup.com

Silniki elektryczne
od 0,04 kW do 7000 kW
m.in. dla branży WOD-KAN

3. W przeszłości na maszynach bywały instalowane korki magnetyczne celem monitorowania stanu w reżimie Off-Line. Zgromadzone na nich magnetyczne produkty zużycia były następnie podawane ocenie w laboratorium.

Literatura

- [1] LI Y., CHEN X., CHEN J., Construction of On-line Oil Monitoring System for Large Machinery, Advances in Engineering Research, volume 123, MSMEE 2017, p 446–450.
- [2] Raport SMRP, Bureau Veritas 2019.
- [3] Oil Analysis Handbook, Third Edition, 2019, Copyright© 2017 Spectro Scientific.
- [4] THE BASICS OF OIL ANALYSIS – BOOKLET, Bureau Veritas 2020, 800-655-4473, www.oil-testing.com.
- [5] <https://kytola.com/products/displays/oval-d2-measuring-station/>
- [6] PERKINS S., Diesel Engine Oil Analysis and Wear Limits, LUBRICATION EXCELLENCE 2005 CONFERENCE PROCEEDINGS, LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING, p. 153–157.
- [7] <https://www.analizyolejowe.pl/category/faq/>
- [8] ISO 2049:1996 Petroleum products – Determination of colour (ASTM scale).
- [9] <https://kytola.com/products/oil-quality-analyzers/oilcol-oil-color-analyzer/>
- [10] FITCH J., The Four States of Water in Oil, Noria Corporation Machinery Lubrication (10/2020).
- [11] VOGEL B., Tan Delta Oil Real Time Condition Monitoring, Dieselcraft, <https://dieselcraft.com/tan-delta-oil-real-time-condition-monitoring/>
- [12] NOWICKI R., Monitorowanie olejów smarnych w czasie rzeczywistym, Służby Utrzymania Ruchu, Wydawnictwo FORUM, seria pięciu artykułów w numerach: 4(96)/2022–3(101)/2023.
- [13] IEC 60422:2013 Mineral insulating oils in electrical equipment – Supervision and maintenance guidance.
- [14] <https://ecol.eu/baza-wiedzy/badanie-klasy-czystosci-oleju-metoda-z-rozcienczeniem/>
- [15] <https://senzit.io/senzit-introduces-senzit-pro-cutting-edge-predictive-maintenance-tool-for-fleet-management/>
- [16] \$500 a month saved on oil consumption, w...; JAN 2, 2024; Tan Delta Systems PLC, <https://www.tandeltasystems.com/calculating-your-roi-a-real-project-example/>
- [17] ADMIN M., Monitoring wind turbine oils, WIND SYSTEMS, JUN 15, 2019.
- [18] <https://www.here.com/learn/blog/top-fleet-management-technologies-of-2025-ranked-and-reviewed>, NOV 2024.
- [19] DIESEL GENERATOR: Enhancing Standby Power Reliability with Oil Condition Monitoring for Diesel Generators, NOV 2023 <https://senzit.io/case-study-enhancing-standby-power-reliability-with-oil-condition-monitoring-for-diesel-generators/>
- [20] MS 3000 – Holistic Transformer Monitoring Solution, GEA-31984, Copyright 2016, General Electric Company.
- [21] <https://ecol.eu/baza-wiedzy/projekt-flota-cz-1-analiza-pierwiastkow-zuzyciowych/>
- [22] <https://ecol.eu/baza-wiedzy/projekt-flota-cz-2-bezpieczny-interwal-wymiany-oleju/>
- [23] ASTM E2412 Standard Practice for Condition Monitoring of Used Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared FTIR Spectrometry
- [24] www.camlingroup.com

 **Wiktoria Jóźwik** – specjalistka ds. Serwisu Smarowniczego w Ecol Sp. z o.o.

 **Wojciech Jewuła** – diagnosta w Ecol Sp. z o.o.

 **Ryszard Nowicki** – niezależny ekspert w obszarze systemów wspomagających UR

Reklama

**napędy
i sterowanie**

**miesięcznik
naukowo-techniczny**

**Wybierz swoją
prenumeratę**

Skontaktuj się z nami:
prenumerata@industrialpublisher.com