

Magdalena Żóty

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Ocena korelacji stopnia wyczerpywania inhibitora utleniania typu fenolowego w bezcynkowych olejach turbinowych wyznaczonego metodami IR i RULER

Przedstawiono ocenę korelacji poziomu zawartości przeciwutleniacza typu fenolowego oznaczonego metodami spektroskopii w podczerwieni (IR) oraz liniowej woltamperometrii (RULER) w bezcynkowych olejach turbinowych z eksploatacji zawierających dodatki z grupy podstawowej (pojedynczy przeciwutleniacz) i mieszanej (mieszanka przeciwutleniaczy). Wyniki uzyskane obiema metodami porównano ze sobą, a następnie dokonano oceny stopnia korelacji pomiędzy nimi.

Słowa klucze: bezcynkowe oleje turbinowe, liniowa woltamperometria, spektroskopia w podczerwieni.

Assessment of correlation degree of phenolic antioxidant depletion in non-zinc turbine oils

The results of investigations to determine the hindered phenolic antioxidant content level by infrared spectroscopy (IR) and linear voltammetry (RULER) in in-service non-zinc turbine oils, from the primary (single antioxidant) and mixed group (mixture of antioxidants) are presented. The results obtained by both methods were compared, and then, the degree of correlation between them, was evaluated.

Key words: non zinc-turbine oils, linear voltammetry, infrared spectroscopy.

Wstęp

Współczesna gospodarka i vitalność społeczeństwa zależą od energii. Globalne zapotrzebowanie na energię jeszcze nigdy nie wzrastało w tak szybkim tempie jak obecnie. Bezawaryjne i niezawodne działanie turbin w produkcji energii ma fundamentalne znaczenie dla naszego sposobu życia. Wykorzystywane dziś turbiny są wyrafinowanymi maszynami, których obroty sięgają 7500 rpm, a masa może wynosić nawet 100 ton. Turbiny stosowane w przemyśle energetycznym posiadają zbiorniki olejowe, których pojemność może przekraczać 40 000 m³. Dodatkowo olej krążący w takim układzie może pracować nawet do 20 lat. Prawidłowe funkcjonowanie turbin jest parametrem krytycznym w przemyśle energetycznym, wprost zależnym od właściwości użytego oleju turbinowego. Wszyscy producenci turbin podają szczegółowe wymagania, jakie musi spełniać olej turbinowy zastosowany w danym rodzaju turbiny [1, 14].

Początkowo oleje turbinowe wykorzystywano głównie do różnego rodzaju turbin o stosunkowo małej mocy. W ich skład wchodziły wysokiej jakości oleje mineralne grupy I o dobrych zdolnościach wydzielania wody. Obecnie oleje turbinowe nowej generacji stanowią mieszaninę wysoce rafinowanych, parafinowych olejów bazowych z grup II i III o ograniczonej zawartości siarki i węglowodorów aromatycznych, z większą odpornością na utlenianie. Zawierają również najskuteczniejsze na rynku dodatki uszlachetniające, zapewniające ich doskonałą stabilność chemiczną, wydłużającą znacznie czas ich eksploatacji i poprawiającą parametry filtracji, ochronę przeciwkorozyjną i zdolność do wydzielania wody. Niektóre z olejów turbinowych zawierają też dodatki przeciwpienne, co także wydłuża okresy prawidłowej pracy maszyn i urządzeń. W produkcji współczesnych olejów turbinowych nie są stosowane dodatki zawierające związki

cynku, ponieważ w obecności wody hydrolizują one, tworząc niepożądane osady [12, 13].

Ze względu na swoją wysoką jakość współczesne oleje turbinowe mają znacznie więcej zastosowań, przede wszystkim jako wysokiej jakości środki smarowe. Służą między innymi jako oleje hydrauliczne, oleje do sprężarek, kompresorów i pomp próżniowych, oleje grzewcze oraz środki smarowe w urządzeniach pneumatycznych. Oleje turbinowe mogą również, w szczególnych przypadkach, pełnić funkcję olejów przekładniowych. Wysoka jakość olejów turbinowych sprawia, że mają one bardzo szerokie zastosowanie. Wyjątkiem jest jedynie brak możliwości ich użycia jako olejów silnikowych i olejów przekładniowych stosowanych przy ekstremalnie wysokich ciśnieniach [2, 15].

Monitoring parametrów olejów turbinowych w eksploatacji jest postrzegany przez przemysł energetyczny jako niezbędne narzędzie zapewniające długą i niezawodną pracę turbin. Praktyka ta umożliwia użytkownikom prawidłową ocenę stopnia degradacji oleju. Prawidłowo dobrany system kontroli jakości oleju turbinowego pozwala na wczesne wykrycie zużycia elementów, ograniczenie uszkodzeń maszyn oraz na obniżenie kosztów ich naprawy, a także uniknięcie

niepotrzebnej wymiany i utylizacji oleju oraz strat związanych z przerwaniem produkcji energii.

Dodatki przeciwutleniające, mające największy wpływ na czas eksploatacji oleju turbinowego, należą do grupy podstawowych inhibitorów utleniania (zmiatacze wolnych rodników) oraz ich mieszanin, zwykle wykazujących właściwości synergetyczne (gdy dwa lub więcej przeciwutleniaczy jest dodawanych do oleju). Do podstawowych inhibitorów utleniania należą aminy aromatyczne, które wykazują efektywność w warunkach wysokiej temperatury ($> 120^{\circ}\text{C}$), oraz związki fenolowe, przeznaczone do stosowania w niższych temperaturach ($< 120^{\circ}\text{C}$). Ich rolą jest usuwanie wolnych rodników inicjujących reakcje łańcuchowe, rozpoczynające procesy przyspieszonego utleniania. Zastosowanie tego rodzaju bezpopiołowych inhibitorów utleniania zapobiega przede wszystkim tworzeniu się osadów.

W nowoczesnych kompozycjach smarowych, dla osiągnięcia ich przedłużonego okresu użytkowania, często stosuje się mieszaniny synergetyczne. Powszechnie wykorzystywana jest mieszanina amin aromatycznych i fenoli, zapewniająca ochronę oleju turbinowego w pełnym zakresie temperatur.

Metody monitorowania zawartości fenolowego inhibitora utleniania w bezcynkowych olejach turbinowych

Celem monitoringu jakości olejów turbinowych jest kontrola stopnia jego zużycia w czasie eksploatacji urządzeń mechanicznych. Ma ona zapobiegać nieuzasadnionym wymianom oleju w pełni przydatnego do dalszego stosowania w maszynach, jak i nie dopuszczać do uszkodzeń i awarii urządzeń spowodowanych wyczerpaniem właściwości użytkowych. Do tego celu wykorzystywane są głównie dwie grupy technik: analiza spektralna w podczerwieni (IR) oraz liniowa woltamperometria (RULER) [10].

Spektroskopia w podczerwieni jest techniką analityczną wykorzystującą zdolność do absorpcji energii promieniowania w zakresie podczerwieni przez określone wiązania chemiczne obecne w badanej próbce. Ponieważ wiązanie O–H w niezasocjowanych grupach hydroksylowych fenoli, charakterystycznych dla dodatków typu antyutleniacze fenolowe z zawadą przestrzenną (np. 2,3-di-tert-butylo-4-metylofenol – BHT), wykazuje absorbcję w paśmie około 3650 cm^{-1} , praktycznie wolnym od sygnałów analitycznych innych wiązań, absorbcję w tym paśmie przyjęto jako wskaźnik obecności tej grupy fenolowych dodatków przeciwutleniających. Przeprowadzone badania wykazały, że mierzona wartość absorbcji spełnia prawo Lamberta-Beera. W celu oznaczenia zawartości inhibitora utleniania w przeliczeniu na BHT wykorzystano zatem zalecenia normy PN-93/C-04189 [9]. Rejestrację widma prowadzono

w spektrometrze podczerwieni firmy Bio-Rad FTS 175, w zakresie $4000\div 2000\text{ cm}^{-1}$, mierząc wartość absorbcji w maksimum piku, około 3650 cm^{-1} . Stosowano kuwetę z chlorku sodu o stałej grubości warstwy, około 1 mm. Zawartość inhibitora można obliczać z danych uzyskanych podczas konstruowania krzywej wzorcowej. Częściej jednak procentowy ubytek inhibitora określany jest przez porównanie wartości pasm absorbcji wiązania grupy hydroksylowej w zarejestrowanym uprzednio widmie świeżego oleju z widmem oleju z eksploatacji.

Ocena pozostałego okresu użytkowania, ogólnie znana pod nazwą RULER (*Remaining Useful Life Evaluation Routine*) [8], jest woltamperometryczną metodą pozwalającą, poprzez pomiar poziomu zawartości antyutleniaczy, ocenić możliwość dalszego stosowania środka smarowego. Próbkę o objętości $200\div 400\text{ }\mu\text{l}$ umieszcza się w naczynku pomiarowym zawierającym odpowiedni elektrolit i warstwę piasku. Podczas wstrząsania fiolki antyutleniacze fenolowe, aminowe i inne rozpuszczalne w elektrolicie składniki oleju ekstrahowane są do roztworu badanego elektrochemicznie. Kropelki oleju aglomerują się na ziarnach piasku i opadają na dno. Do elektrody w naczynku pomiarowym przykłada się napięcie wzrastające liniowo. Podczas tego wzrostu na powierzchni elektrody następuje utlenianie cząsteczek inhibitorów (tj. dodatków fenolowych i aminowych), czemu

towarzyszy wzrost natężenia prądu [4]. Badania prowadzono z użyciem aparatu RULER CE 520 (fotografia 1).



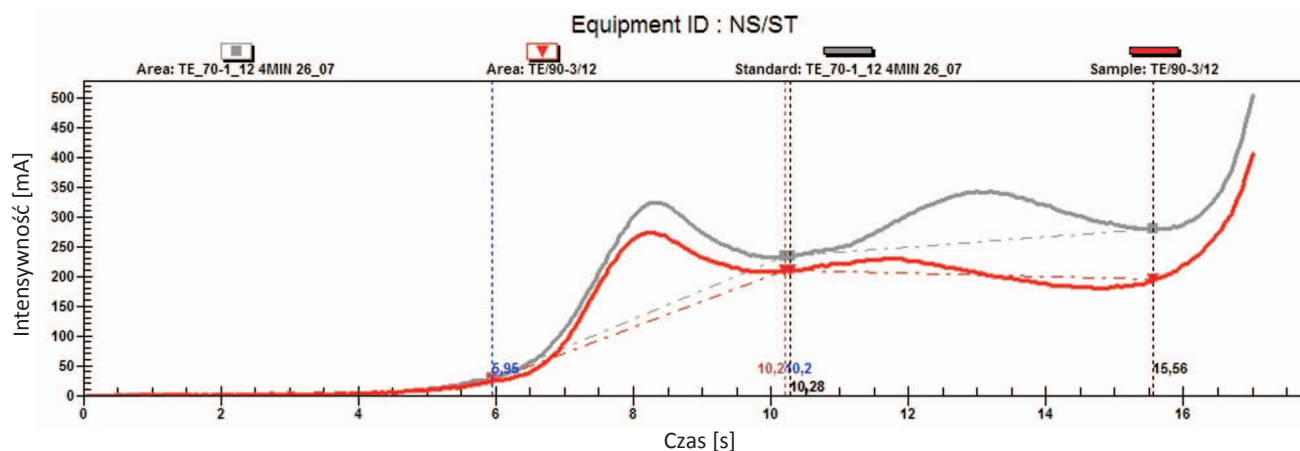
Fot. 1. Aparat RULER (zdjęcie INiG – PIB)

Aparat RULER CE 520 (fotografia 1) przedstawia tę zależność w formie funkcji natężenia prądu od czasu, w której jednej sekundzie odpowiada wzrost napięcia o 0,1 V. Podczas narastania potencjału na powierzchni elektrody

następuje degradacja inhibitorów i spadek ich aktywnego stężenia w roztworze, czemu towarzyszy wykładniczy wzrost szybkości utleniania do momentu osiągnięcia maksimum na krzywej voltamperometrycznej. Poszczególne antyutleniacze ulegają reakcji redoks przy różnych wartościach napięcia, dzięki czemu możliwe jest ich rozróżnienie [4, 5, 11].

Krzywa uzyskana w przypadku świeżego oleju stanowi odniesienie, w którym przyjmuje się, że względna zawartość antyutleniaczy wynosi 100%. Z kolei krzywa wyznaczona dla czystego elektrolitu używana jest jako odniesienie o wartości 0%, ponieważ nie zawiera on żadnych dodatków. W metodzie tej mierzy się powierzchnię pod każdym pikiem, a następnie porównuje się ją z powierzchnią pików wyznaczoną dla próbki świeżego oleju (rysunek 1). Jeżeli maksymalna powierzchnia pod pikiem dla oleju badanego jest o połowę mniejsza od powierzchni dla oleju świeżego, przyjmuje się, że dla tego przeciwutleniacza wynik wynosi 50% RUL.

Oprogramowanie RULER pozwala również zmierzyć całą powierzchnię pod krzywą, co umożliwia określenie całkowitej elektrochemicznej aktywności oleju, a nie tylko pojedynczego dodatku. Wynik ten jest także odnoszony do próbki wzorcowej, a jego wartość wyraża się w procentach [3, 6].



Rys. 1. Przykład wykresu zależności natężenia prądu od czasu, uzyskanego w INiG – PIB dla oleju turbinowego świeżego (kolor szary) i po kilkuletniej eksploatacji (kolor czerwony)

Część doświadczalna

Część doświadczalna została podzielona na dwa główne etapy badań, których celem była ocena stopnia korelacji wyczerpywania fenolowego inhibitora utleniania wyznaczonego metodami IR i RULER. W pierwszej części przebadano 51 próbek bezcynkowych olejów turbinowych zawierających fenolowy inhibitor utleniania z grupy podstawowej (antyutleniacze fenolowe z zawadą przestrzenną, takie jak np.: 2,6-di-tert-butylo-4-metylofenol; 2,6-di-tert-butylofenol i 4,4'-metylenobis(2,6-di-tert-butylofenol)). Przebadane oleje

należały do klasy lepkościowej VG 32 i 46 (dwa oleje świeże stanowiące próbkę odniesienia dla obu metod oraz pozostałe oleje z eksploatacji). W drugim etapie poddano analizie 10 próbek bezcynkowych olejów turbinowych zawierających inhibitory utleniania z grupy mieszanej (składające się z fenolu i aminy aromatycznej). Wszystkie oleje należały do klasy lepkości VG 46 (jeden z olejów był świeży, a pozostałe pochodziły z eksploatacji). Na podstawie otrzymanych wyników ustalono korelację między metodami.

Metodyka badań

Oznaczanie zawartości antyutleniacza fenolowego w bezcynkowych olejach turbinowych wykonano za pomocą dwóch metod:

- znormalizowanej metody woltamperometrycznej według normy ASTM D 6810:2007 (analiza olejów zawierających antyutleniacz fenolowy z grupy podstawowej) lub normy ASTM D 6971:2009 (analiza olejów zawierających antyutleniacz z grupy mieszanej) – obie normy definiują przeciwutleniacze, które mogą być wykrywane metodą woltamperometryczną: 2,6-di-tert-butyl-4-metylofenol (BHT), 2,6-di-tert-butylofenol, 4,4'-metylenobis(2,6-di-tert-butylofenol), ale nie ograniczają jej wyłącznie do tych substancji [7, 8],
- metody spektrometrii w podczerwieni, która została opracowana w Instytucie Nafty i Gazu – PIB, jako własna procedura badawcza numer INiG-7-2012 wyd. 1, na podstawie norm PN-93/C-04189 i DIN 51451:2004. Wyniki pomiaru zawartości antyutleniacza w badanych olejach uzyskane metodą IR przeliczono na wartości procentowe w odniesieniu do oznaczonej zawartości inhibitora w próbce świeżego oleju [16]. Wyznaczano względną procentową zmianę zawartości inhibitora.

W przypadku oznaczania fenolowego inhibitora utleniania metodą spektrometrii w podczerwieni – jego zawartość odczytuje się z pomiarów widma, w paśmie o długości 3650 cm^{-1} , na podstawie odpowiedniej krzywej wzorcowej, w przeliczeniu na zawartość BHT.

W metodzie woltamperometrycznej trzeba w pierwszej kolejności zdefiniować typ antyutleniacza, należący do grupy podstawowej lub mieszaniny synergetycznej. Następnie na podstawie tej informacji dokonuje się doboru odpowiedniego roztworu badawczego (elektrolitu). Gdy olej zawiera inhibitor fenolowy z grupy podstawowej, używamy firmowego, żółtego roztworu testowego o charakterze zasadowym. Natomiast kiedy badamy olej zawierający mieszaninę synergetyczną (inhibitor fenolowy i aminę aromatyczną), należy zastosować firmowy, zielony roztwór testowy o charakterze obojętnym. Zawartość fenolowego inhibitora utleniania odczytuje się z funkcji zmiany natężenia prądu od napięcia zmiennego w czasie. W przypadku zastosowania roztworu żółtego pik określający jego zawartość powinien pojawić się między 3 a 6 sekundą, natomiast gdy stosuje się roztwór zielony – między 13 a 16 sekundą.

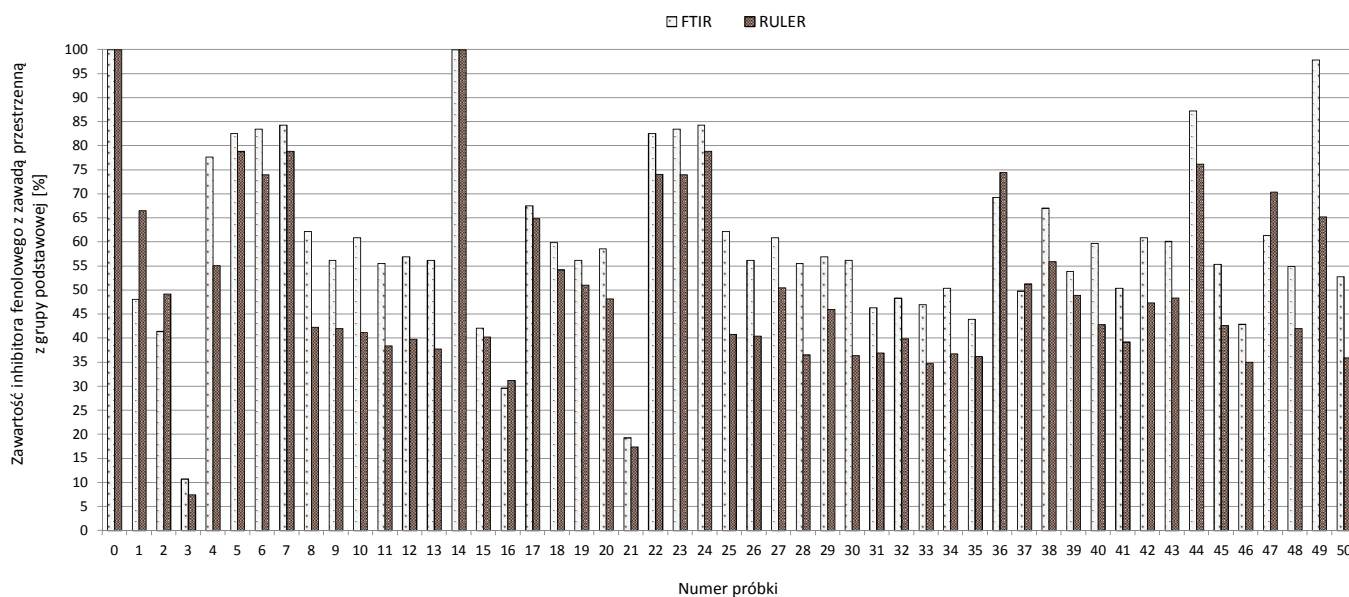
W celu porównania wyników badań uzyskanych metodami IR i RULER obliczono ich względną różnicę, zgodnie ze wzorem:

$$c = [(a - b)/a] \cdot 100 [\%]$$

gdzie:

- a* – zawartość fenolowego inhibitora utleniania otrzymana metodą IR przeliczona w odniesieniu do oleju świeżego [%],
- b* – procentowa zawartość inhibitora utleniania otrzymana metodą IR [%],
- c* – względna różnica wyników uzyskanych metodami IR i RULER [%].

Badanie bezcynkowych olejów turbinowych z fenolowym inhibitorem utleniania



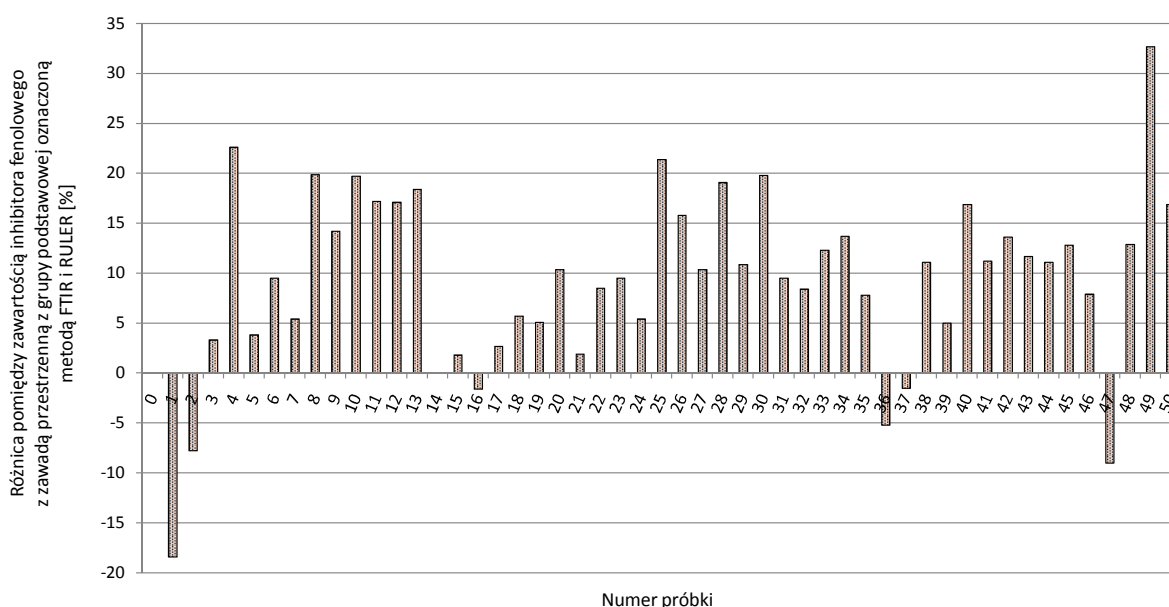
Rys. 2. Porównanie procentowych zawartości fenolowego inhibitora utleniania z grupy podstawowej otrzymanych przy użyciu obu metod badawczych dla bezcynkowych olejów turbinowych

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki oznaczeń zawartości fenolowego antyutleniacza z grupy podstawowej w bezcynkowych olejach turbinowych metodami IR i RULER (według normy ASTM D 6810:2007). Każdy uzyskany wynik jest średnią arytmetyczną dwóch powtórzeń, wykonanych dla każdej z badanych próbek (rysunki 2 i 3). Próbki o numerach od 0 do 13 to próbki olejów turbinowych w klasie lepkości VG 46, a od 14 do 50 – w klasie lepkości VG 32. Próbki oznaczone numerami 0 i 14 to oleje świeże stanowiące wzorzec odniesienia.

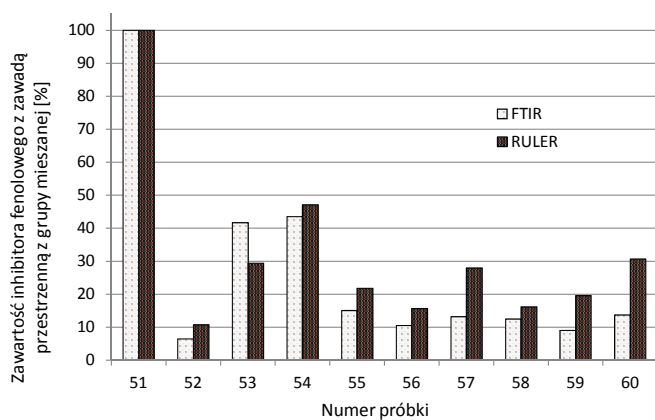
Na rysunku 4 za pomocą liniowej zależności przedstawiono stopień korelacji wyników uzyskanych obiema metodami w przypadku bezcynkowych olejów turbinowych zawierających jedynie przeciwutleniacz z grupy podstawowej.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono wyniki oznaczeń metodami IR i RULER (według normy ASTM D 6971:2009) zawartości fenolowego antyutleniacza z zawadą przestrzenną z grupy mieszanej w bezcynkowych olejach turbinowych. Każdy wynik jest średnią arytmetyczną dwóch powtórzeń, wykonanych dla każdej z badanych próbek. Próbki o numerach od 51 do 60 to próbki olejów turbinowych w klasie lepkości VG 46. Próbka numer 51 to olej świeży stanowiący wzorzec odniesienia.

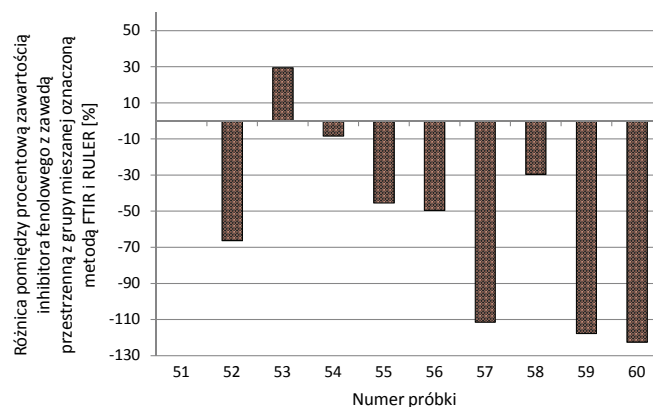
Stopień korelacji w przypadku bezcynkowych olejów turbinowych zawierających przeciwutleniacz z grupy mieszanej przedstawiono za pomocą liniowej zależności wyników uzyskanych obiema metodami (rysunek 7).



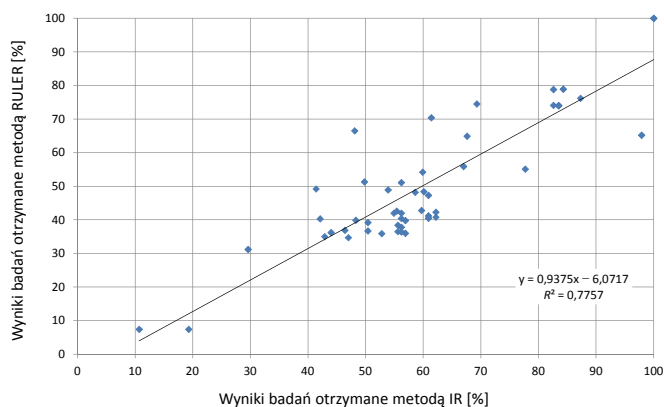
Rys. 3. Wykres względnej różnicy zawartości inhibitora fenolowego z grupy podstawowej w bezcynkowych olejach turbinowych oznaczonej metodami IR i RULER (IR jest metodą odniesienia)



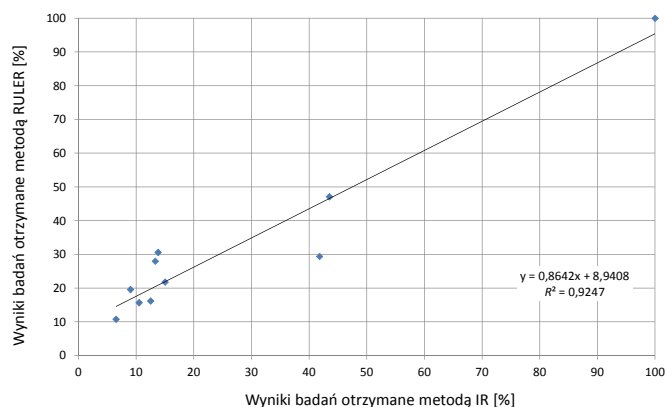
Rys. 4. Wykres liniowej zależności zawartości przeciwutleniacza fenolowego z grupy podstawowej otrzymanej metodami IR i RULER dla bezcynkowych olejów turbinowych



Rys. 5. Porównanie procentowych zawartości fenolowego inhibitora utleniania z grupy mieszanej otrzymanych przy użyciu obu metod badawczych dla bezcynkowych olejów turbinowych



Rys. 6. Wykres względnej różnicy zawartości inhibitora fenolowego z grupy mieszanej w bezcynkowych olejach turbinowych oznaczonej metodami IR i RULER (metodę IR przyjęto jako metodę odniesienia)



Rys. 7. Wykres liniowej zależności zawartości przeciwutleniacza fenolowego z grupy mieszanej otrzymanych metodami IR i RULER dla bezcynkowych olejów turbinowych

Podsumowanie i wnioski

Przebadano 61 próbek bezcynkowych olejów turbinowych zawierających zarówno dodatek fenolowy, jak i dodatek mieszany aminowo-fenolowy. Badanie zawartości fenolowego inhibitora utleniania z zawadą przestrzenną wykonano dwiema metodami badawczymi: spektrometrii w podczerwieni oraz liniowej woltamperometrii. Poniżej omówiono otrzymane wyniki badań.

Jako kryterium oceny zgodności obu metod badawczych przyjęto normatywną odtwarzalność metody woltamperometrycznej, która wynosi:

- dla olejów zawierających wyłącznie dodatek fenolowy: $R = 1,830 \cdot (x + 2)^{0,5}$ [%] (zgodnie z metodą opisaną w normie ASTM D 6810-07), gdzie x – oznaczona wartość średnia,
- dla olejów zawierających zarówno dodatek fenolowy, jak i aminowy: $R = 3,0067 \cdot (x + 8,6662)^{0,4639}$ [%] (zgodnie z metodą opisaną w normie ASTM D 6971-09), gdzie x – oznaczona wartość średnia.

W przypadku badanych bezcynkowych olejów turbinowych zawierających przeciwutleniacz fenolowy stwierdzono, że jedynie 51% wyników mieściło się w zakresie normatywnej odtwarzalności metody ASTM D 6810-07.

Dla olejów zawierających fenolowy inhibitor utleniania z grupy mieszanej obliczono analogicznie normatywną odtwarzalność według normy ASTM D 6971-09 i stwierdzono, że wszystkie otrzymane wyniki oznaczeń mieściły się w zakresie normatywnej odtwarzalności według tej normy. Należy jednak zwrócić uwagę, że dla tej grupy olejów dopuszczalna odtwarzalność metody jest większa niż w pierwszym przypadku.

Dodatkowo dla wyników uzyskanych dwiema metodami obliczono względną różnicę (rysunek 3). Stwierdzono, że w 88% przebadanych próbek bezcynkowych olejów turbinowych zawierających dodatek fenolowy wyższy poziom procentowej zawartości antyutleniacza fenolowego oznaczono metodą IR. Natomiast w przypadku olejów zawierających przeciwutleniacz mieszany (rysunek 5) można stwierdzić, że 67% przebadanych próbek olejów turbinowych wykazuje wyższy poziom antyutleniacza fenolowego oznaczony metodą woltamperometryczną.

Podczas analizy bezcynkowych olejów turbinowych zawierających przeciwutleniacz mieszany zauważono przesunięcie maksimum pików na widmie IR (odczyt maksimum absorbancji na widmie IR w zakresie $3637\div 3638\text{ cm}^{-1}$) oraz na wykresie RULER. Powodem tego może być:

- różnica w rodzaju zastosowanego inhibitora utleniania do produkcji oleju w różnych partiach produktu,
- obecność inhibitora utleniania – aminy aromatycznej, która może powodować zaburzenie prawidłowego odczytu zawartości przeciwutleniacza fenolowego,
- obecność produktów degradacji oleju turbinowego, które mogą powstawać podczas jego eksploatacji.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, iż obie metody badawcze są narzędziami pozwalającymi na monitorowanie zawartości fenolowych dodatków przeciwutleniających z zawadą przestrzenną w olejach turbinowych podczas eksploatacji. Dzięki tym metodom możliwy jest ciągły nadzór nad zawartością antyutleniacza oraz wczesne reagowanie w przypadku, gdy jego poziom osiągnie wartość krytyczną. Przyjmuje się, że wartość ta wynosi 25% zawartości inhibitora utleniania w próbce oleju świeżego.

Zaletą metody spektrometrii w podczerwieni jest jej lepsza precyzja. Należy jednak mieć na uwadze brak możliwości ilościowej oceny zawartości inhibitora aminowego. Metoda woltamperometryczna jest natomiast szybką metodą oceny poziomu zawartości obu typów inhibitorów utleniania. Ze względu na możliwość łatwego przenoszenia urządzenia możliwa jest również analiza próbek bezpośrednio u klienta (w terenie). Wadą w tym przypadku jest jednak mniejsza precyzja w stosunku do metody IR.

Po przeanalizowaniu wyników procentowej zawartości antyutleniacza typu fenolowego z zawadą przestrzenną z grupy podstawowej i mieszanej w bezcynkowych olejach turbinowych z eksploatacji uzyskanych metodami woltamperometrycznej oceny zawartości przeciwutleniacza RULER i metodą rejestracji widma w podczerwieni IR można zauważyć, że:

- w przypadku bezcynkowych olejów turbinowych zawierających jedynie przeciwutleniacz z grupy podstawowej zależność wyników otrzymanych obiema metodami może być wyrażona równaniem liniowym $y = 0,9375x - 6,0717$, gdzie x – wyniki zawartości przeciwutleniacza typu fenolowego

otrzymane metodą RULER, y – wyniki zawartości przeciwutleniacza typu fenolowego otrzymane metodą IR,

- dla tej grupy olejów turbinowych współczynnik korelacji $R^2 = 0,7757$ (uzyskana korelacja wyników jest zadowalająca),

- w przypadku bezcynkowych olejów turbinowych zawierających przeciwutleniacz z grupy mieszanej stopień korelacji wyników uzyskanych metodami IR i RULER może być wyrażony równaniem liniowym $y = 0,8642x + 8,9408$, gdzie x – wyniki zawartości przeciwutleniacza typu fenolowego otrzymane metodą RULER, y – wyniki zawartości przeciwutleniacza typu fenolowego otrzymane metodą IR,
- dla tej grupy olejów turbinowych współczynnik korelacji $R^2 = 0,9247$ (czyli korelacja jest bardzo dobra),
- ze względu na niewielką liczbę przebadanych próbek olejów turbinowych zawierających przeciwutleniacz fenolowy z grupy mieszanej należy kontynuować badania w celu jednoznacznego potwierdzenia korelacji pomiędzy wynikami otrzymanymi za pomocą obu metod badawczych.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2014, nr 12, s. 961–967

Artykuł nadesłano do Redakcji 29.07.2014 r. Zatwierdzony do druku 21.10.2014 r.

Artykuł powstał na podstawie pracy statutowej pt. *Ocena korelacji metod badania poziomu zawartości antyutleniacza w środkach smarowych* – praca INiG na zlecenie MNiSW; nr zlecenia 0061/TE/13, nr archiwalny: DK-4100-61/13.

Literatura

- [1] Analysts, Inc.: *Turbine Lube Analysis programs*. Rev 11/2008.
- [2] Barnes M.: *The Lowdown on Oil Breakdown*. Practicing Oil Analysis Magazine 2003, vol. 5.
- [3] Fluitec International: *Operation and Instruction Manual Version 2.0. R-DMS 2. RULER Data Management Software*. 2006.
- [4] Herguth W. R., Phillips S.: *Comparison of Common Analytical Techniques to Voltammetric Analysis of Antioxidants in Industrial Lubricating Oils*. STLE 1994, Annual Meeting, Kansas City.
- [5] Johnson M., Spurlock M.: *Strategic Oil Analysis: Estimating Remaining Lubricant Life*. Tribology and Lubrication Technology 2010, January, pp. 2–10.
- [6] Johnson M., Spurlock M.: *Strategic Oil Analysis: Setting the Test Slate*. Tribology and Lubrication Technology 2009, May, pp. 20–27.
- [7] Norma ASTM D 6810 *Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry*, 2007.
- [8] Norma ASTM D 6971 *Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic and Aromatic Amines Antioxidant Content in Non Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry*, 2009.
- [9] Norma PN-93/C-04189 *Przetwory naftowe. Wykrywanie i oznaczanie dodatków przeciwutleniających obecnych w olejach elektroizolacyjnych*.
- [10] Norrby T., Patch M., Zobel H. K.: *Evaluation and Comparison between Oxidation Stability Test Method for Turbine Oils*. Journal ASTM International 2006, vol. 3, issue 5.
- [11] Oleksiak S., Zolty M.: *Wybrane metody badan do monitoringu srodkow smarowych*. Nafta-Gaz 2012, nr 11, s. 834–841.
- [12] Podnialo A.: *Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji*. Warszawa, WNT, 2009.
- [13] Ptak S.: *Klasyfikacja jakosciowa i charakterystyka przemyslowych srodkow smarowych*. Nafta-Gaz 2012, nr 7, s. 454–461.
- [14] Sander J.: *The Right Oil Provides Advantages that Result in Turbine Reliability for Power Plant*. White paper, Lubrication Engineers, Inc., 2011.
- [15] Wagenseller G.: *Fluid analysis critical to maximizing lube-oil service life*. Combined Cycle Journal 2009, Fourth Quarter, pp. 60–63.
- [16] Wieczorek A.: *Wlasna Procedura Badawcza nr INiG-7-2012*.



Mgr inż. Magdalena ŻÓŁTY
Specjalista badawczo-techniczny w Zakładzie Oceny Właściwości Eksploatacyjnych; kierownik Laboratorium Badań Właściwości Użytkowych.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubiesz 25A, 31-503 Kraków
E-mail: zolty@inig.pl