Nowoczesne środki smarowe do specjalistycznych zastosowań w urządzeniach przemysłowych, transporcie i komunikacji

Praca zbiorowa pod redakcją Michała Krasodomskiego

Nowoczesne środki smarowe do specjalistycznych zastosowań w urządzeniach przemysłowych, transporcie i komunikacji

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

2015

Recenzent naukowy:
prof. nzw. dr Michał Krasodomski

Wydawca:
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
31-503 Kraków, ul. Lubicz 25A

Organizatorzy Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej ŚRODKI SMAROWE 2015:

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy
Instytut Badawczy

CEC POLSKA
Stowarzyszenie Współpracy Przemysłu
Naftowego i Samochodowego

Skład i łamanie, DTP, projekt okładki: Paweł Noszkiewicz

Druk i oprawa:
Drukarnia GOLDRUK
ul. Kościuszki 28
33-300 Nowy Sącz

Nakład: 60 egz.

Copyright © 2015 INiG – PIB Kraków, ul. Lubicz 25A, Poland

ISSN 2353-2718

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być, bez uprzedniej pisemnej zgody wydawcy, gromadzona w systemach zbierania informacji, transmitowana lub reprodukowana, włączając w to fotokopie, fotografie, zapis magnetyczny lub inny.
Prenumeratę i wysyłkę prac naukowo-badawczych oraz materiałów informacyjnych prowadzi redakcja.

Spis treści

Wstęp 8

Środki smarowe z oznakowaniem ekologicznym EU Ecolabel – co nowego?
Magdalena Monika Jabłońska 10

Płyny obróbkowe oparte na olejach bazowych z recyklingu olejów odpadowych
Bogdan Pawlicki 25

Energooszczędne oleje silnikowe do samochodów osobowych
Stanisław Oleksiak 34

Zmiana parametrów oleju silnikowego w trakcie próby trwałościowej na hamowni silnikowej
Andrzej Suchecki, Joanna Śledź, Krzysztof Brodzik 52

Wpływ biogazu rolniczego na właściwości eksploatacyjne oleju silnikowego
Monika Ziółkowska, Anna Matuszewska, Stanisław Kruczyński, Wojciech Kamela 68

Zmiany właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji – analizy FTIR
Artur Wolak, Piotr Janocha 84

Wpływ struktury chemicznej na wyniki oznaczenia przeciwutleniacza w oleju smarowym
Wojciech Krasodomski, Magdalena Żółty 105

Wpływ warunków tarcia na charakterystyki tribologiczne smarów plastycznych
Jolanta Drabik ... 118

Wpływ smarowania lin nośnych górniczych wyciągów szybowych na zmniejszenie zużycia korozyjnego, a niebezpieczeństwo poślizgu
Ewa Kania ... 131

Badanie zacierania kół zębatych stożkowych o zębach łukowych, smarowanych różnymi olejami przekładniowymi
Marek Kalbarczyk, Waldemar Tuszyński ... 145

Nowoczesne środki smarowe – aspekty normalizacyjne
Zofia Błaszkiewicz ... 156

Indeks autorów

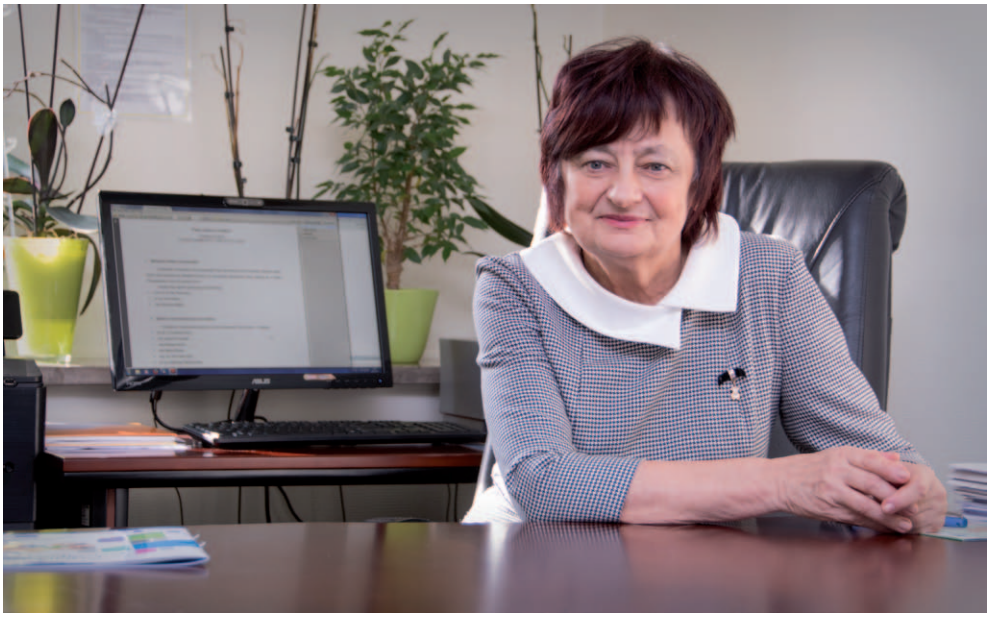
Błaszkiewicz Zofia ... 156
Brodzik Krzysztof ... 52
Drabik Jolanta ... 118
Jabłońska Magdalena ... 10
Janocha Piotr ... 84
Kalbarczyk Marek ... 145
Kamela Wojciech ... 68
Kania Ewa ... 131
Krasodomski Wojciech ... 105
Kruczyński Stanisław ... 68
Matuszewska Anna ... 68
Oleksiak Stanisław ... 34
Pawlicki Bogdan ... 25
Suchecki Andrzej ... 52
Śledź Joanna ... 52
Tuszyński Waldemar ... 145
Wolak Artur ... 84
Ziółkowska Monika ... 68
Żółty Magdalena ... 105

Szanowni Państwo,

Ciągły rozwój przemysłu wymusza stałą ewolucję w dziedzinie środków smarowych, która dokonuje się przez wprowadzanie nowoczesnych urządzeń przemysłowych i procesów technologicznych. Z kolei ochrona środowiska naturalnego wymaga stosowania biodegradowalnych środków smarowych. W konsekwencji prowadzi to do doskonalenia jakości środków smarowych i innych cieczy eksploatacyjnych, opartych na syntetycznych bazach olejowych, olejach roślinnych lub wysokorafinowanych olejowych bazach mineralnych.

Nowoczesne urządzenia przemysłowe wymagają stosowania olejów smarowych, cieczy roboczych i obróbkowych, olejów technologicznych oraz smarów o najwyższej jakości, o odpowiednio dobranych parametrach lepkościowych. Producenci środków smarowych powinni zapewniać przystosowanie ich właściwości do stale rosnących wymagań nowoczesnych technologii oraz norm i standardów międzynarodowych.

Konstruktorzy maszyn i urządzeń oraz ich użytkownicy, słusznie traktują środki smarowe jako element konstrukcyjny, często decydujący o trwałości i niezawodności maszyny. Dzięki współcześnie realizowanym programom monitorowania właściwości użytkowo – eksploatacyjnych możliwy jest ciągły nadzór nad stanem technicznym pracującego urządzenia. Monitoring właściwości środków smarowych jest nieocenionym



Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego Konferencji, Zastępca Dyrektora INiG-PIB ds. Technologii Nafty, mgr inż. Wiesława Urzędowska

narzędziem pozwalającym na wydłużenie trwałości i zmniejszenie awaryjności urządzeń, wydłużenie okresów eksploatacji środków smarowych, prostsze uzyskiwanie informacji o stanie technicznym maszyn, ograniczenie kosztów eksploatacji oraz identyfikację przyczyn źródłowych potencjalnych awarii.

Przewodnicząca
Komitetu Organizacyjnego

Wiesława Urzędowska

Środki smarowe z oznakowaniem ekologicznym EU Ecolabel – co nowego?
EU Ecolabel for Lubricants –what's new?

Magdalena Monika Jabłońska – Polskie Centrum Badań i Certyfikacji S.A.

Streszczenie

W artykule przedstawiono aktualnie obowiązujące przepisy dotyczące przyznawania oznakowania ekologicznego UE (tzw. EU Ecolabel) dla grupy wyrobów smary. Opisano przyszłe zmiany wynikające z wydłużenia okresu obowiązywania kryteriów ekologicznych dla powyższej grupy wyrobów, z wejścia w życie klasyfikacji substancji i mieszanin według rozporządzenia CLP, jak również z wdrożenia przepisów dyrektywy w sprawie zamówień publicznych.

Słowa kluczowe: *EU Ecolabel, kryteria ekologiczne, środki smarowe, zielone zamówienia publiczne (GPP)*

Abstract

The paper presents current regulations of awarding an EU Ecolabel for lubricants and future changes resulting in process of prolonging the validity of criteria for this group of products, entering into force of new classification of substances and mixtures according to CLP Regulation as well as entering into force of new Directives on Green Public Procurement. The author compares those ecological criteria with EU Ecolabel criteria in respect of application areas and presents advantages of using lubricants with EU Ecolabel.

Key words: *EU Ecolabel, ecological criteria, lubricants, green public procurement (GPP)*

EU Ecolabel –wprowadzenie

Europejskie oznakowanie ekologiczne UE (tzw. EU Ecolabel) (Rysunek 1) jest urzędowym oznakowaniem ekologicznym UE przyznawanym wyrobom, spełniającym bardziej rygorystyczne wymagania środowiskowe, niż określone w krajowych przepisach prawnych. Podstawę programu EU Ecolabel stanowi rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 66/2010/WE w sprawie oznakowania ekologicznego UE [9]. Celem programu jest promocja produktów charakteryzujących się pozytywnym oddziaływaniem na środowisko. Program ten stanowi również jeden z elementów społecznych i środowiskowych polityki zrównoważonej konsumpcji, produkcji i ochrony środowiska Unii Europejskiej. Proces oceny zgodności wyrobu z kryteriami ekologicznymi EU Ecolabel jest prowadzony przez niezależne jednostki właściwe. W Polsce, jednostką właściwą ds. oznakowania ekologicznego EU Ecolabel, notyfikowaną w Komisji Europejskiej, jest Polskie Centrum Badań i Certyfikacji (PCBC S.A.).

Rysunek 1. Europejskie Oznakowanie Ekologiczne UE

Szczegółowe kryteria ekologiczne oraz wymagania w zakresie prowadzenia oceny i weryfikacji, w odniesieniu do poszczególnych grup wyrobów, zostały określone w Decyzjach Komisji. Opublikowane kryteria ekologiczne obejmują obecnie 34 wyroby (Tabela 1). Określają one wymagania odnośnie wpływu na środowisko, jak również właściwości użytkowe,

a są opracowywane między innymi na podstawie metody oceny cyklu życia (LCA). Każda grupa wyrobów ma przypisany określony numer (tzw. kod wyrobu). Dla grupy wyrobów „smary" przypisano numer„027".

Tabela 1 – Wykaz Decyzji Komisji ustalających kryteria ekologiczne dla określonych wyrobów

GRUPA WYROBÓW	Nr Grupy	Decyzja	Ważność kryteriów
Produkty kosmetyczne spłukiwane	30	2014/893/UE	09.12.2018
Pochłaniające środki higieniczne	047	2014/763/UE	24.10.2018
Uniwersalne środki czyszczące i środki do czyszczenia urządzeń sanitarnych	020	2011/383/UE	31.12.2016
Detergenty do zmywarek naczyń	015	211/263/UE	31.12.2016
Detergenty przeznaczone do automatycznych zmywarek do naczyń do zastosowań przemysłowych i instytucjonalnych	038	2012/720/UE	14.11.2016
Detergenty do ręcznego zmywania	019	2011/382/UE	31.12.2016
Detergenty pralnicze	6	2011/264/UE	31.12.2016
Detergenty pralnicze do zastosowań przemysłowych i instytucjonalnych	039	2012/721/UE	14.11.2016
Wyroby włókiennicze	016	2014/350/UE	05.06.2018
Obuwie	017	2009/563/WE	31.12.2015
Farby i lakiery wewnętrzne i zewnętrzne	044	2014/312/UE	28.05.2018
Urządzenia do przetwarzania obrazu	43	2013/806/UE	31.12.2015
Komputery osobiste	013	2011/337/UE	31.12.2015
Notebook	018	2011/330/UE	31.12.2015
Odbiorniki telewizyjne	022	2009/300/WE	31.12.2015
Drewniane pokrycia podłogowe	35	2010/18/WE	31.12.2016

GRUPA WYROBÓW	Nr Grupy	Decyzja	Ważność kryteriów
Twarde pokrycia	021	2009/607/WE	30.11.2017
Włókiennicze pokrycia podłogowe	34	2009/967/WE	31.12.2015
Meble drewniane	36	2009/894/WE	31.12.2015
Polepszacze gleby	003	2006/799/WE	31.12.2015
Podłoża uprawne	029	2007/64/WE	31.12.2015
Źródła światła	008	2011/331/UE	31.12.2015
Pompy ciepła zasilane elektrycznie, gazowo lub absorpcyjne pomy ciepła	31	2007/742/WE	31.12.2015
Ogrzewacze wodne	045	2014/314/UE	28.05.2018
Środki smarowe	027	2011/381/UE	31.12.2018
Materace łóżkowe	014	2014/391/UE	23.06.2018
Armatura sanitarna	40	2013/250/UE	21.05.2017
Toalety spłukiwane i pisuary	41	2013/641/UE	07.11.2017
Papier przetworzony	046	2014/256/UE	02.05.2017
Papier gazetowy	037	2012/448/UE	31.12.2018
Papier zadrukowany	028	2012/481/UE	31.12.2018
Papier do kopiowania i papier graficzny	011	2011/333/UE	31.12.2018
Bibuła	004	2009/568/WE	31.12.2018
Usługi kempingowe	026	2009/564/WE	31.12.2016
Usługi zakwaterowania turystycznego	025	2009/578/WE	31.12.2016

Prawo do używania oznakowania ekologicznego EU Ecolabel, przez podmioty, jest przyznawane na czas określony. Wynika to z faktu, że wymagania w zakresie uzyskania zezwolenia na korzystanie z EU Ecolabel, są opracowywane na podstawie wiedzy naukowej i zmieniają się wraz z rozwojem technicznym.

EU Ecolabel – stan obecny w zakresie certyfikacji środków smarowych

Kryteria ekologiczne dla środków smarowych określa Decyzja Komisji Europejskiej z dnia 24 czerwca 2011 roku nr 2011/381/UE [1]. Mają one zastosowanie do pięciu kategorii środków smarowych:

- **Kategoria 1:** ..... Ciecze hydrauliczne i oleje przekładniowe do ciągników.
- **Kategoria 2:** ..... Smary plastyczne i smary plastyczne do tulei wału śrubowego.
- **Kategoria 3**: ..... Oleje do pił łańcuchowych, środki antyadhezyjne do uwalniania betonu z form, smary do lin stalowych, oleje do tulei wału śrubowego korbowego oraz inne smary podlegające całkowitemu zużyciu.
- **Kategoria 4**: ..... Oleje do dwusuwów.
- **Kategoria 5**: ..... Oleje przemysłowe i oleje do przekładni zębatych okrętowych.

Środki smarowe, którym ma zostać przyznane oznakowanie EU Ecolabel, muszą:

- spełniać kryteria klasyfikacji substancji i mieszanin niebezpiecznych (**Kryterium 1 i Kryterium 2**),
- charakteryzować się małą toksycznością w stosunku do organizmów wodnych (**Kryterium 3**),
- wykazywać się wysokim potencjałem biodegradacji (**Kryterium 4**) oraz niskim potencjałem bioakumulacji (**Kryterium 4**), a także
- cechować się dużą zawartością w nich surowców odnawialnych (**Kryterium 5**), oraz
- spełniać wymagania techniczne (**Kryterium 6**).

Dane w zakresie biodegradacji tlenowej są obligatoryjne dla wszystkich substancji, obecnych w produkcie podlegającym ocenie, które stanowią więcej niż 0,1% (*m/m*). Dane

z zakresu bioakumulacji należy dostarczyć tylko w przypadku, gdy któraś z tych substancji została sklasyfikowana jako niebiodegradowalna. Obowiązkowo należy dostarczyć dane z zakresu toksyczności w odniesieniu do każdego głównego składnika, czyli każdej poszczególnej substancji stanowiącej więcej niż 5% (*m/m*) wyrobu podlegającego ocenie. Wnioskodawca dostarcza dane z zakresu toksyczności ostrej preparatu lub toksyczności w odniesieniu do organizmów wodnych w przypadku każdej substancji, której zawartość w ocenianym wyrobie wynosi od 0,1% (*m/m*) do 5,0% (*m/m*).

EU Ecolabel – planowane zmiany w odniesieniu do środków smarowych

Dnia 06.06.2015 r. w Dzienniku Urzędowym UE opublikowano Decyzję Komisji nr 2015/877/UE [2], **przedłużająca okres ważności kryteriów ekologicznych dla środków smarowych do 31 grudnia 2018 r.** Oznacza to, że dotychczas wydane licencje na stosowanie europejskiego oznakowania ekologicznego EU Ecolabel środkom smarowym zostaną automatycznie przedłużone, na podstawie dotychczasowych kryteriów ekologicznych.

Od **1 czerwca 2015 r.** rozporządzenie w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania (CLP) [10] jest jedynym aktem prawnym mającym zastosowanie do klasyfikacji i oznakowania zarówno substancji, jak i mieszanin. W odniesieniu do środków smarowych posiadających lub ubiegających się o przyznanie europejskiego oznakowania ekologicznego EU Ecolabel, można spodziewać się zmian w Kryterium 1, Tabela 1 Na podstawie przeprowadzonej analizy substancji znajdujących się na wykazie LuSC-List [12], okazuje się, że kilka komponentów stosowanych w składzie finalnym środków smarowych (np. Irgalube® 353, Irgalube® 2030 C, Irganox® ML 811, Additin M93.001, i inne) nie spełni wymagań Kryterium 1a Decyzji Komisji 2011/381/UE [1]. Przyczyną tego jest fakt, że zawierają one substancje sklasyfikowanego jako substancje mogące powodować reakcję alergiczną skóry (obecne symbole H317 lub R43), których stosowanie w gotowym wyrobie jest dozwolone w stężeniu < 1,0%. Po 1-szym czerwca 2015 r. klasyfikacja substancji H317 lub R43, będzie dokonywana według dwóch klas:

- **Sens1A** – jako silnie uczulające gdzie **dopuszczalne stężenie wynosi 0,01%** (100 ppm) lub więcej
- **Sens 1B** – jako słabo uczulające, gdzie **dopuszczalne stężenie wynosi 0,1%** (1000 ppm) lub więcej.

Oznacza to dokonanie ponownej oceny danych wykorzystanych do klasyfikacji tych substancji ze względu na możliwość wystąpienia reakcji alergicznej skóry. Jeżeli z analizy okaże się, że substancję należy przeklasyfikować jako Sens 1A, to maksymalne dopuszczalne stężenie takiej substancji w gotowym środku smarowym zmniejsza się z 1% do 0,01%.

Obszary stosowania środków smarowych z EU Ecolabel – zielone zamówienia publiczne

Korzyści płynące z uzyskania oznakowania EU Ecolabel można widzieć w kontekście sprzyjania innowacyjności oraz wspierania rozwoju konkurencyjnych, zielonych wyrobów oraz poszerzania rynku tych produktów. Wyroby z EU Ecolabel stanowią ważne narzędzie marketingowe, umożliwia bowiem pozyskanie nowej grupy klientów **np. w obszarze zielonych zamówień publicznych**.

Nowe regulacje unijne [3-5]* rozszerzają możliwość wykorzystania oznakowania EU Ecolabel w zamówieniach publicznych, poprzez bezpośrednie odwołanie do niego w ramach specyfikacji technicznych, kryteriów udzielenia zamówienia lub warunków realizacji zamówienia. Unijne kryteria w zakresie zielonych zamówień publicznych (GPP) podzielono na kryteria podstawowe, obejmujące kluczowe czynniki oddziaływania na środowisko oraz kryteria kompleksowe, które mogą być stosowane wtedy, gdy zamawiający chce nabyć najlepsze pod względem ekologicznym wyroby na rynku (np. z EU Ecolabel). We wszystkich unijnych kryteriach dotyczących GPP, jednym z dowodów potwierdzających zgodność z określonymi wymaganiami stanowią **ekoetykiety typu I** [6-7], w tym oznakowanie **EU Ecolabel** [9]. Wykorzystując kryteria EU Ecolabel [1] zamawiający nie musi posiadać wiedzy eksperckiej, ponieważ kryteria, o których mowa, są opracowywane wg przejrzystych procedur przy osiągnięciu szerokiego konsensusu zainteresowanych stron. Instytucje zamawiające, które wymagają posiadania określonej etykiety, akceptują wszystkie inne, równoważne etykiety, które spełniają wymagania etykiety wskazanej przez instytucje zamawiające.

Środki smarowe z oznakowaniem EU Ecolabel mogą zatem uzyskać dodatkową punktację przy rozstrzyganiu konkursów ofert organizowanych z uwzględnieniem zasad zielonych zamówień publicznych, w obszarach:

* Termin implementacji dyrektyw do dokumentów prawnych państw członkowskich UE upływa 18 kwietnia 2016 r.

Tereny zielone – produkty i usługi ogrodnicze

Zgodnie z unijnymi kryteriami środowiskowymi zaleca się stosowanie olejów smarowych w celach utrzymania publicznych terenów zielonych, które spełniają poniższe wymagania (Tabela 2):

Tabela 2 – Porównanie kryteriów ekologicznych dla środków smarowe stosowane w maszynach ogrodniczych

Kryteria środowiskowe		Kryteria EU Ecolabel
Oleje smarowe silnikowe i paliwa silnikowe	„Maszyny są skonstruowane w taki sposób, by mogły działać przy użyciu olejów smarowych silnikowych ulegających biodegradacji (w przypadku silników dwusuwowych) (…)"	**Kryterium 4**: Potencjał biodegradacji
Oleje smarowe maszynowe	Zawartość surowca odnawialnego: • ≥ 50% (*m/m*) w przypadku olejów hydraulicznych • ≥ 45% (*m/m*) w przypadku smarów • ≥ 70% (*m/m*) w przypadku olejów do pił łańcuchowych oraz innych smarów ulegających całkowitemu zużyciu • ≥ 50% (*m/m*) w przypadku olejów do silników dwusuwowych	**Kryterium 6**: Zawartość surowca odnawialnego: • ≥ 50% (*m/m*) dla cieczy hydraulicznych i olejów przekładniowych do ciągników • ≥ 45% (*m/m*) dla smarów plastycznych i smarów plastycznych do tulei wału śrubowego • ≥ 70% (*m/m*) dla olejów do pił łańcuchowych, środki antyadhezyjne do uwalniania betonu z form, smary do lin stalowych, oleje do tulei wału śrubowego oraz inne smary podlegające całkowitemu zużyciu • ≥ 50% (*m/m*) dla olejów do dwusuwów • ≥ 50% (*m/m*) dla olejów przemysłowych i olejów do przekładni zębatych okrętowych
	Zagrożenia dla środowiska i zdrowia człowieka: Produkt nie jest określony żadnym ze zwrotów wskazujących zagrożenie dla środowiska i zdrowia człowieka zgodnie z dyrektywami 1999/45/WE i 2001/60/WE	**Kryterium 1**: Substancje i mieszaniny wyłączone bądź ograniczone. **Kryterium 2**:Wyłączenie szczególnych substancji

Kryteria środowiskowe		Kryteria EU Ecolabel
Smary o ograniczonym oddziaływaniu na środowisko	Oleje smarowe, które zostaną użyte w maszynach w ramach świadczenia usługi, muszą ulegać biodegradacji i nie mogą być toksyczne. Dlatego smary muszą zawierać określoną ilość surowców odnawialnych (pochodzących z olejów roślinnych lub tłuszczów zwierzęcych).	**Kryterium 3**: Toksyczność **Kryterium 4**: Potencjał biodegradacji **Kryterium 6**: Zawartość surowca odnawialnego

Transport

Zgodnie z unijnymi kryteriami środowiskowymi zaleca się stosowanie olejów smarowych do następujących grup wyrobów:

- samochody osobowe nabywane bezpośrednio lub leasingowane/wynajmowane,
- pojazdy i usługi transportu publicznego,
- pojazdy do zbiórki odpadów i usługi w tym zakresie, które spełniają wymagania przedstawione w Tabeli 3.

Tabela 3 – Porównanie kryteriów ekologicznych dla olejów smarowych stosowanych w transporcie

Kryteria środowiskowe		Kryteria EU Ecolabel
Oleje smarowe	płyny hydrauliczne i smary stałe nie powinny być opatrzone zwrotami określającymi zagrożenie ani zwrotami R w zakresie środowiska lub zdrowia w momencie stosowania (najniższy limit klasyfikacyjny w rozporządzeniu (WE) nr 1272/2008 lub dyrektywie Rady 99/45/EWG).	Kryterium 1: Substancje i mieszaniny wyłączone bądź ograniczone.
	nie przyznaje się odstępstwa od wyłączenia przewidzianego w art. 6 ust. 6 rozporządzenia (WE) nr 66/2010 w stosunku do substancji określonych jako substancje wzbudzające szczególnie duże obawy i uwzględnionych w wykazie, o którym mowa w art. 59 rozporządzenia (WE) nr 1907/2006, znajdujących się w mieszaninach w stężeniu powyżej 0,010% (*m/m*)	Kryterium 2:Wyłączenie szczególnych substancji

Kryteria środowiskowe		Kryteria EU Ecolabel
Oleje smarowe	zawartość surowca odnawialnego w ≥45%.	Kryterium 6: Zawartość surowca odnawialnego
	Łączna, wyrażona w procentach, masa substancji równocześnie nieulegających biodegradacji i podlegających bioakumulacji nie może przekraczać 0,1%	Kryterium 4: Potencjał biodegradacji

Leśnictwo – usługi z zakresu gospodarki leśnej

Polska zajmuje czołowe miejsce w Unii Europejskiej pod względem powierzchni zajmowanej przez lasy. Pokrywają one 29,2% [8] terytorium kraju i rosną na obszarze 9,1 mln ha. Ponieważ zdecydowana większość to lasy państwowe [13], z czego prawie 7,6 mln ha zarządzane jest przez Państwowe Gospodarstwo Leśne Lasy Państwowe, coraz częściej w umowach na wykonanie określonych usług z zakresu gospodarki leśnej pojawiają się zapisy dotyczące m.in. stosowania biodegradowalnych środków smarowych, np. [15]:

- „(…) 3.1Stosować w pilarkach do smarowania urządzenia tnącego oleje ulegające biodegradacji (…)"
- „(…)Wykonawca stosować będzie przy pozyskaniu drewna do smarowania układów tnących maszyn i pilarek w piłach łańcuchowych olej biodegradowalny. Zamawiający zobowiązuje się zapewnić Wykonawcy prac możliwość zakupu oleju biodegradowalnego w określonej przez Wykonawcę szacunkowej ilości (…). (…)Za nie stosowanie oleju biodegradowalnego Wykonawca może być ukarany przez Zamawiającego karą umowną za niestosowanie oleju biodegradowalnego… Wykonawca może być ukarany przez Zamawiającego karą umowną (…)"
- „(…) Wykonawca jest zobowiązany do stosowania oleju biodegradowalnego do smarowania pił łańcuchowych w urządzeniach eksploatowanych do realizacji przedmiotu zamówienia o parametrze biodegradacji nie gorszym niż 89% (…)."

W polskich lasach stosuje się około 40 000 pił łańcuchowych, które przemieszczając się ruchem ślizgowym po prowadnicy wytwarzają duże tarcie [14]. W celu jego zminimalizo-

wania, wprowadzany jest pomiędzy te elementy olej smarowy, który po spełnieniu swojego zadania jest wyrzucany i spada na glebie leśną. Oleje smarowe do pilarek łańcuchowych stanowią poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. W Polsce przeciętny ciągnik do prac leśnych ma 23 lata. Często zdarzają się rozszczelnienia układów hydraulicznych tych maszyn, w wyniku czego do gleby przedostaje się olej, przyczyniając się do zanieczyszczenia środowiska, w tym wód powierzchniowych (1 litr średniej lepkości oleju mineralnego tworzy na wodzie plamę o powierzchni około 4000 m^2[6,14]).

Dlatego w obszarach, w których występuje ryzyko uwalniania oleju do środowiska, zaleca się stosowanie biodegradowalnych środków smarowych (np. na podstawie stosownych Zarządzeń wydawanych przez właściwych Dyrektorów Regionalnych Lasów Państwowych [15]), posiadających odpowiednie właściwości techniczne oraz ekologiczne (Tabela 4).

Tabela 4 – Porównanie kryteriów ekologicznych dla środków smarowych stosowanych leśnictwie

Kryteria środowiskowe		Kryteria EU Ecolabel
Piły łańcuchowe z silnikiem elektrycznym lub spalinowym o mocy poniżej 2,6 kW	W instrukcji obsługi musza się pojawić: • zalecenie dotyczące stosowania środków ochrony słuchu • zdanie: Środki ochrony słuchu muszą być stosowane zawsze gdy piła pracuje więcej niż 2,5 h/dzień • **zalecenie stosowania szybko biodegradowalnych smarów dla pił spełniających kryteria dla takich smarów** • ostrzeżenie przed modyfikacjami i zmianami mogącymi powodować wzrost emisji hałasu	**Kryterium 4**: Potencjał biodegradacji
Biodegradowalne smary do łańcuchowych pił mechanicznych; Biodegradowalne ciecze hydrauliczne; Smary i oleje smarowe do urządzeń, w których mogą wystąpić straty (np. smary uszczelniające do pomp, smary łożyskowe, smary do prowadnic)	**Substancje wyłączone lub ograniczone:** • substancji, które zgodnie z wiedzą naukową posiadają właściwości rakotwórcze, teratogenne i mutagenne w szczególności wymienione w aneksie I do dyrektywy 67/548/EWG i sklasyfikowane jako: • bardzo toksyczne (T+), toksyczne (T) oraz te, które muszą być oznaczone symbolami R45, R46, R48 i R68 lub • rakotwórcze kategorii 1, 2 lub 3, mutagenne kategorii 1, 2 lub 3, lub wpływające szkodliwie na rozrodczość kategorii 1, 2 lub 3 • substancji posiadających właściwości uczulające lub powodujące inne chroniczne dolegliwości • substancji oraz powstających z nich zanieczyszczeń i produktów rozkładu mogących powodować znaczące ryzyko dla zdrowia ludzi	**Kryterium 1**: Substancje i mieszaniny wyłączone bądź ograniczone. **Kryterium 2**: Wyłączenie szczególnych substancji

Kryteria środowiskowe		Kryteria EU Ecolabel
Biodegradowalne smary do łańcuchowych pił mechanicznych; Biodegradowalne ciecze hydrauliczne; Smary i oleje smarowe do urządzeń, w których mogą wystąpić straty (np. smary uszczelniające do pomp, smary łożyskowe, smary do prowadnic)	Biodegradowalność i ekotoksyczność składników – substancje podstawowe: Za podstawowe składniki uznaje się te, które występują w ilości 5% (*m/m*). Każdy z podstawowych składników musi być przynajmniej w 70% biodegradowalny	**Kryterium 3**: Toksyczność **Kryterium 4**: Potencjał biodegradacji • w badaniach nad biodegradacją całkowitą z wykorzystaniem rozpuszczonego węgla organicznego ≥ 70% • w badaniach nad biodegradacją całkowitą w oparciu o niedobór tlenu lub wytwarzanie dwutlenku węgla ≥ 60% teoretycznych wartości maksymalnych.

Do stosowania przez konsumentów i profesjonalnych użytkowników

W Tabeli 5 przedstawiono kryteria ekologiczne włączone do GPP w odniesieniu do kryteriów ekologicznych określonych w Decyzji Komisji 2011/381/UE [1] dla środków smarowych, stosowanych przez konsumentów i profesjonalnych użytkowników.

Tabela 5 – Porównanie kryteriów ekologicznych dla środków smarowych do zastosowań konsumenckich i profesjonalnych

Kryteria środowiskowe	Kryteria EU Ecolabel
Oleje hydrauliczne, smary, oleje do pił łańcuchowych, oleje do dwusuwów, środki antyadhezyjne do betonu oraz inne smary przelotowe	Wszystkie kryteria EU Ecolabel dla środków smarowych

Kryteria środowiskowe		Kryteria EU Ecolabel
Smary w produkcji szkła	Biodegradowalność i ekotoksyczność składników – substancje podstawowe: Oleje smarowe: • Każdy z podstawowych składników musi być przynajmniej w 70% biodegradowalny. Smary: • Każdy z podstawowych składników musi być przynajmniej w 70% biodegradowalny.	**Kryterium 3**: Toksyczność **Kryterium 4**: Potencjał biodegradacji **Kryterium 6**: Zawartość surowca odnawialnego
Smary w budownictwie do deskowania	Substancje wyłączone lub ograniczone: • substancji, które zgodnie z wiedzą naukową posiadają właściwości rakotwórcze, teratogenne i mutagenne w szczególności wymienione w aneksie I do dyrektywy 67/548/EWG i sklasyfikowane jako: • bardzo toksyczne (T+), toksyczne (T) oraz te, które muszą być oznaczone symbolami R45, R46, R48 i R68 lub • rakotwórcze kategorii 1, 2 lub 3, mutagenne kategorii 1, 2 lub 3, lub wpływające szkodliwie na rozrodczość kategorii 1, 2 lub 3 • substancji posiadających właściwości uczulające lub powodujące inne chroniczne dolegliwości.	**Kryterium 1**: Substancje i mieszaniny wyłączone bądź ograniczone. **Kryterium 2**: Wyłączenie szczególnych substancji

Podsumowanie

Uzyskanie europejskiego oznakowania ekologicznego EU Ecolabel w zakresie środków smarowych sprzyja budowaniu zdolności przedsiębiorstwa pod kątem możliwości sprostania w przyszłości wyzwaniom w dziedzinie środowiska i zasobów. Wpływa w sposób istotny na poprawę wizerunku przedsiębiorstwa, jako przedsiębiorstwa działającego na rzecz poprawy i ochrony środowiska, ale także stanowi istotny atut w uzyskaniu dodatkowej punktacji przy rozstrzyganiu konkursów ofert organizowanych z uwzględnieniem zasad zielonych zamówień publicznych.

Korzyści z posiadania wyrobów certyfikowanych EU Ecolabel w przypadku przedsiębiorcy to również zwiększanie zaufania klientów poprzez doskonałą odpowiedź na rosnące potrzeby klientów w aspekcie ekologicznym, ze względu na bardziej naukowe i wiarygodne

informacje o nabytym produkcie. Również wzmocnienie znaczenia przedsiębiorstwa, gdyż EU Ecolabel stanowi informację o określonym podejściu przedsiębiorstwa do środowiska i jego ochrony oraz jest potwierdzeniem spełnienia przez przedsiębiorstwo rygorystycznych wymagań unijnych, stosowanych w całej Unii Europejskiej, a co za tym idzie także ułatwia dostęp do wszystkich rynków unijnych. Posiadanie EU Ecolabel to także promocja i komunikacja z klientem. Gwarancja jakości dostarczanych wyrobów, ale także łatwość identyfikacji wyrobów, spełniających wymagania środowiskowe. W przypadku klientów kupujących od przedsiębiorstwa produkującego środki smarowe z oznakowaniem EU Ecolabel, a następnie sprzedających te wyroby, to również poprawa wizerunku instytucji dbającej o środowisko, ale także postrzeganie przedsiębiorstw przez klientów jako godnych zaufania uczestników rynku. To także, tworzenie dla nich nowej grupy odbiorców, dla których kwestie środowiskowe mają istotne znaczenie.

Literatura

[1] Decyzja Komisji z dnia 24 czerwca 2011 r. ustanawiająca kryteria ekologiczne przyznawania oznakowania ekologicznego UE smarom.
[2] Decyzja Komisji (UE) 2015/877 z dnia 4 czerwca 2015 r. zmieniająca decyzje 2009/568/WE, 2011/333/UE, 2011/381/UE, 2012/448/UE i 2012/481/UE w celu przedłużenia okresu ważności kryteriów ekologicznych dla przyznawania oznakowania ekologicznego UE niektórym produktom (Dz.U L 142 z 6.6.2015, str. 32—33).
[3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/23/UE z dn. 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania koncesji.
[4] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dn. 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień publicznych, uchylająca dyrektywę 2004/18/WE.
[5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/25/UE z dn. 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień przez podmioty działające w sektorach gospodarki wodnej, energetyki, transportu i usług pocztowych, uchylająca dyrektywę 2004/17/WE.
[6] Jabłońska M.M., Środki smarowe – znakowanie ekologiczne, Nafta-Gaz nr 10/2012, s.721-731.
[7] PN- ISO 14024 „Etykiety i deklaracje środowiskowe. Etykietowanie środowiskowe I typu. Zasady i procedury"
[8] Polskie Lasy Państwowe – http://www.lasy.gov.pl/nasze-lasy/polskie-lasy, dostęp: 05.03.2015 r.

[9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 66/2010 z dnia 25 listopada 2009 r. w sprawie oznakowania ekologicznego UE, (Dz. Urz. L 27 z 30.01.2010, s. 1).
[10] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (Dz. Urz. UE L 353 z 31 grudnia 2008 roku).
[11] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) 66/2010z dnia 25 listopada 2009 r. w sprawie oznakowania ekologicznego UE.
[12] Wykaz LuSC-list – "Lubricant Substance Classification list" źródło: http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/lusclist.pdf
[13]"Wyniki aktualizacji stanu powierzchni leśnej i zasobów drzewnych w Lasach Państwowych na dzień 1 stycznia 2014 r.", praca wykonana przez Biuro Urządzania Lasu i Geodezji Leśnej na podstawie informacji z Banku Danych o Lasach, Sękocin Stary, 2015.
[14] Zembrowski K., Dubowski A., Wojtkowiak R., Biodegradowalne środki smarne dla urządzeń technicznych do pozyskiwania drewna, Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna 1/2010.
[15] Zarządzenie nr 16 Dyrektora Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Zielonej Górze z dnia 26 września 2011 r. oleju biodegradowalnego do smarowania pił łańcuchowych w urządzeniach eksploatowanych na terenie lasów będących w administrowaniu RDLP w Zielonej Górze (znak sprawy EI-883-8/11)

Płyny obróbkowe oparte na olejach bazowych z recyklingu olejów odpadowych

Lubricating fluids based on base oils from recycled waste oils

Bogdan Pawlicki – ORLEN Południe S.A.

Streszczenie

W ramach realizacji projektu współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, wspólnie z Instytutem Nafty i Gazu – Państwowym Instytutem Badawczym w Krakowie oraz Wydział Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, przeprowadzono badania nad wykorzystaniem hydrorafinowanych olejów bazowych (pochodzących z recyklingu olejów odpadowych) do wytworzenia nowoczesnej linii płynów do obróbki i ochrony metali. Opracowano technologię produkcji kilkudziesięciu różnorodnych produktów: olejów nieemulgujących, olejów emulgujących, olejów hartowniczych, olejów do obróbki wykańczającej, a także środków myjących i środków do ochrony czasowej metali. W ramach fazy przygotowania do wdrożenia wykonano partie testowe płynów obróbkowych oraz poddano je walidacji. Przeprowadzono również badania rynku oraz opracowano niezbędne dokumenty do uruchomienia produkcji płynów obróbkowych opartych na bazach z recyklingu olejów odpadowych. Od roku 2015 produkty opracowane w ramach w/w projektu będą systematycznie wdrażane do produkcji.

Słowa klucze: hydrorafinowany olej bazowy, ciecze do obróbki metali

Summary

The project is co-financed by NCBiR, together with the Oil and Gas Institute-National Research Institute in Cracow and WMN AGH in Krakow, a study on the use of hydro--refined base oils (derived from recycled waste oils) to produce a modern line of working fluid and metal protection was made. Production technology dozens of different products: non-emulsifiable oils, emulsifiable oils, quenching oils, oils for finishing, cleaning and polishing preparations means for temporary protection of metals. Within the framework of the preparation phase for the implementation of test batches was made cutting fluids and

subjected to validation. It was also conducted market research and developed the necessary documents to start production of cutting fluids based on databases of recycled waste oils. Since 2015, products developed within the framework of the aforementioned project will be systematically implemented into production.

Key words: hydrotreated base oil, metalworking fluids

Wprowadzenie

Oleje bazowe służące do produkcji płynów do obróbki metali można uzyskiwać w dwojaki sposób.

Pierwszy z nich określają technologie produkcji olejów bazowych opartych o surowiec, jakim jest ropa naftowa. Ciąg operacji technologicznych, których celem jest zmniejszenie ilości węglowodorów aromatycznych, usunięcie węglowodorów o długich prostych łańcuchach węglowych, jak również zredukowanie poziomu siarki i azotu, pozwala na uzyskanie odpowiednich właściwości fizykochemicznych stawianych olejom bazowym.

Drugim sposobem, dzięki któremu możliwe jest uzyskanie olejów bazowych stosowanych do produkcji płynów do obróbki metali jest ich pozyskanie na drodze recyklingu olejów odpadowych.

Olejami odpadowymi nazywamy wszelkiego rodzaju oleje smarowe lub przemysłowe, które nie nadają się już do zastosowania, do którego były pierwotnie przeznaczone. Oleje odpadowe ze względu na ich pochodzenie dzielimy na oleje pochodzące z rynku motoryzacyjnego (w skład których wchodzą oleje silnikowe i przekładniowe) oraz oleje pochodzące z przemysłu (do których zaliczamy oleje hydrauliczne, maszynowe, transformatorowe, przekładniowe, turbinowe oraz grzewcze). Oleje odpadowe pochodzą również z olejów używanych w procesach obróbki metali (oleje emulgujące i nieemulgujące) oraz z innych specjalnych zastosowań. Ze względów środowiskowych, gospodarka olejami odpadowymi powinna przede wszystkim skupiać się na regeneracji, a nie na spalaniu czy składowaniu olejów tego typu.

Instalacja regeneracji olejów odpadowych w ORLEN Południe Zakład Jedlicze opiera się na dwóch głównych procesach.

Jednym z nich jest destylacja olejów odpadowych. Olej przed rozpoczęciem destylacji należy wstępnie oczyścić z zanieczyszczeń stałych, a następnie poddać wstępnemu odwodnieniu. W kolumnie próżniowej następuje rozdestylowanie oleju odwodnionego na frakcje: oleju napędowego i olejów smarowych. Frakcje te są gromadzone w zbiornikach magazynowych.

Następnie destylaty olejów odpadowych poddawane są procesowi katalitycznej hydrorafinacji, w którym następuje uwodornienie zawartych w destylatach nienasyconych węglowodorów alifatycznych, aromatycznych lub poliaromatycznych oraz ich łagodny hydrokraking, a także rozpad związków zawierających w swoim składzie azot, tlen, chlor oraz metale.

Projekt

W 2011 r. powstał pomysł realizacji projektu, mającego na celu opracowanie nowej generacji płynów wykorzystywanych w procesach obróbki mechanicznej i termicznej metali opartych na olejach bazowych otrzymanych w wyniku regeneracji olejów odpadowych.

Innowacyjna linia płynów do obróbki metali jest odpowiedzią na rzeczywiste potrzeby rynku i szeroko rozumiane potrzeby społeczne, odnoszące się głównie do aspektów ekologicznych związanych z recyklingiem olejów odpadowych. Założeniem projektu było wspieranie rozwiązania kluczowego problemu społecznego, jakim jest utylizacja olejów i środków smarowych. Płyny do obróbki metali zestawiane są w oparciu o bazy olejowe z recyklingu olejów odpadowych, a nie z ropy naftowej. Gdy produkty te nie będą się już nadawały do zastosowania, do którego były pierwotnie przeznaczone, zostaną zebrane, następnie poddane kolejnemu procesowi recyklingu i jako oleje bazowe znów zostaną użyte do produkcji płynów do obróbki metali.

W celu zapewnienia skutecznej realizacji Projektu powołano konsorcjum naukowo-przemysłowe, w skład którego weszły jako partner przemysłowy i lider projektu Rafineria Nafty Jedlicze*, natomiast jako jednostki-naukowo badawcze Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy w Krakowie oraz Wydział Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, ze względu na posiadany duży potencjał badawczy oraz naukowy umożliwiający kompleksowe wykonanie interdyscyplinarnych badań.

W 2012 roku podpisano z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju w Warszawie umowę o dofinansowanie projektu w ramach pierwszej edycji programu „INNOTECH" w ścieżce programowej IN-TECH.

Projekt został podzielony na dwie fazy:

1) Faza badawcza – realizacja w 2012 r. i 2013 r.
2) Faza przygotowania do wdrożenia na 2014 rok

* Od stycznia 2015 Rafineria Nafty Jedlicze pozostaje w strukturach Grupy ORLEN, jako jeden z dwóch Zakładów produkcyjnych Spółki ORLEN Południe S.A.

W fazie badawczej poziom dofinansowania badań przemysłowych wyniósł 65%, a prac rozwojowych 25%, natomiast prac przygotowań do wdrożenia 84,2%

W ramach planowanych badań przemysłowych i prac rozwojowych, w związku z potencjałem badawczym jednostek i partnera przemysłowego oraz w celu zapewnienia komplementarności przedsięwzięcia dokonano podziału zadań poszczególnych partnerów konsorcjum.

Zadania Zakładu Jedlicze

Proces regeneracji olejów odpadowych jest procesem złożonym, a jednym z czynników wpływających na stopień trudności procesu jest znany proceder niezgodnego z obowiązującym prawem mieszania zużytych olejów smarowych z innymi odpadami płynnymi. W konsekwencji, zwiększają się koszty wytwarzania dobrej jakości oleju bazowego, niezbędnego do produkcji płynów do obróbki metali. Mieszanie odpadów, brak zintegrowanego systemu kontroli oraz transgraniczne przemieszczanie odpadów to główne przeszkody na drodze do właściwego recyklingu. Problem ten miał kluczowe znaczenie dla uzyskania odpowiedniej jakości olejów bazowych i istotnie wpływał na realizację projektu. Niewiadome pochodzenie składników olejów może stwarzać problemy technologiczne w uzyskaniu powtarzalności parametrów surowca, która jest niezbędna w celu opracowania technologii uzyskiwania płynów do obróbki metali na bazie olejów po procesie regeneracji. Taka sytuacja wymusiła już w pierwszym etapie realizacji projektu opracowanie metod oceny jakości olejów odpadowych umożliwiającej identyfikację niepożądanych zanieczyszczeń oraz ich selekcję. Do segregacji surowca, oprócz dotychczas stosowanych analiz do przyjęcia olejów odpadowych, wykorzystano również spektroskopię w podczerwieni FTIR oraz oznaczanie liczby zmydlenia. Opracowano doświadczalną technologię segregacji, oczyszczania, destylacji i hydrorafinacji olejów odpadowych ukierunkowaną na uzyskanie olejów bazowych spełniających wymagania stawiane płynom do obróbki metali.

Równolegle opracowano doświadczalną technologię wytwarzania lekkiej frakcji z ropy naftowej pochodzenia krajowego, wydobywanej w południowo-wschodnim rejonie Polski, która umożliwia wykorzystanie hydrorafinowanej nafty do produkcji środków ochronnych oraz olejów do honowania.

W ramach fazy przygotowania do wdrożenia wykonano partie próbne 14 płynów do obróbki metali na bazach otrzymanych z olejów odpadowych, a także z wykorzystaniem hydrorafinowanej nafty z ropy pochodzenia krajowego oraz zawierających innowacyjne poliglikolowe komponenty i nanostrukturalne dodatki.

Po wykonaniu badań laboratoryjnych wyprodukowane partie olejów obróbkowych zostały poddane weryfikacji na Wydziale Metali Nieżelaznych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, a następnie przekazane do badań aplikacyjnych w firmach zajmujących się obróbką metali w celu oceny własności użytkowych w warunkach przemysłowych.

Zadania INIG – PIB

W Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym opracowano kryteria wymagań jakościowych stawianych cieczom przeznaczonym do obróbki metali oraz prowadzono badania nad opracowaniem doświadczalnej technologii wytwarzania płynów do obróbki metali w oparciu o bazy olejowe klasy lepkości VG 10 – 15 – 22 i nafty hydrorafinowanej pochodzącej z ropy krajowej.

Jednocześnie prowadzono badania nad opracowaniem doświadczalnej technologii płynów do obróbki metali zawierających poliglikolowe komponenty i dodatki nanostrukturalne.

Dla każdego komponentu wytypowano parametry istotne dla spełnienia wymagań jakościowych gotowych produktów i opracowano Instrukcję odbioru jakościowego surowców. Zawierała ona zestaw wymaganych parametrów fizykochemicznych, które należy sprawdzić przy każdej dostawie.

Przygotowano również zestaw metod i procedur badawczych, obejmujących:

- badania parametrów fizykochemicznych podczas kontroli międzyoperacyjnej procesów produkcyjnych,
- badania szczegółowe obowiązujące przy odbiorze każdej partii produktu,
- badania szczegółowe obowiązujące przy każdorazowej zmianie surowca i/lub technologii.

W rezultacie sporządzono zestaw wytycznych technologicznych, dotyczących składu jakościowego i ilościowego oraz sposobu wytwarzania płynów do obróbki i ochrony czasowej metali.

Opracowano receptury olejów emulgujących i nieemulgujących do obróbki cieplnej, do szybkiego hartowania stali, do procesów wiercenia i głębokiego wiercenia stali, do procesu wiercenia i głębokiego wiercenia metali nieżelaznych, do obróbki wykańczającej, środki o niskiej lepkości, środki do ochrony czasowej przed korozją stali i metali nieżelaznych oraz oleje zawierające polimery tlenków butylenu, a także dodatki nanostrukturalne.

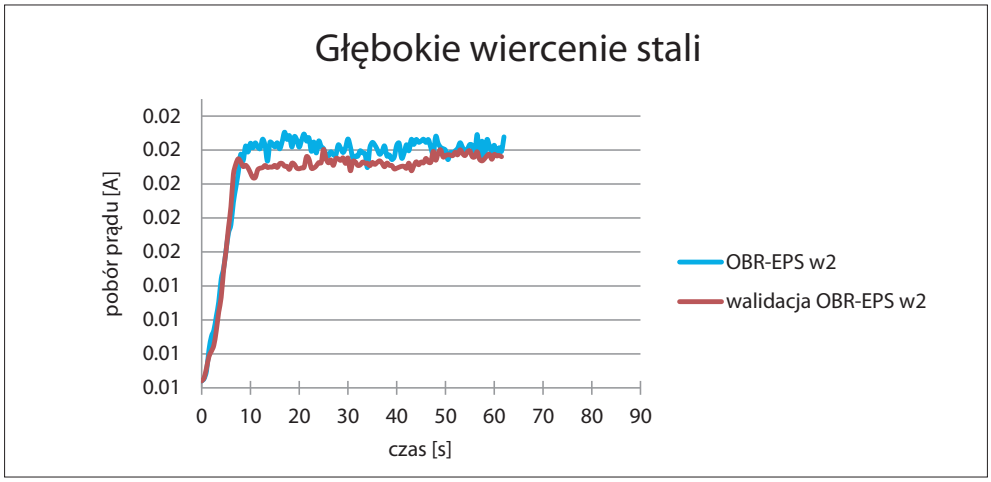
Zestawione próbki gotowych olejów zostały przekazane do Akademii Górniczo-Hutniczej na Wydział Metali Nieżelaznych w celu przeprowadzenia testów eksploatacyjnych.

Zadania AGH WMN

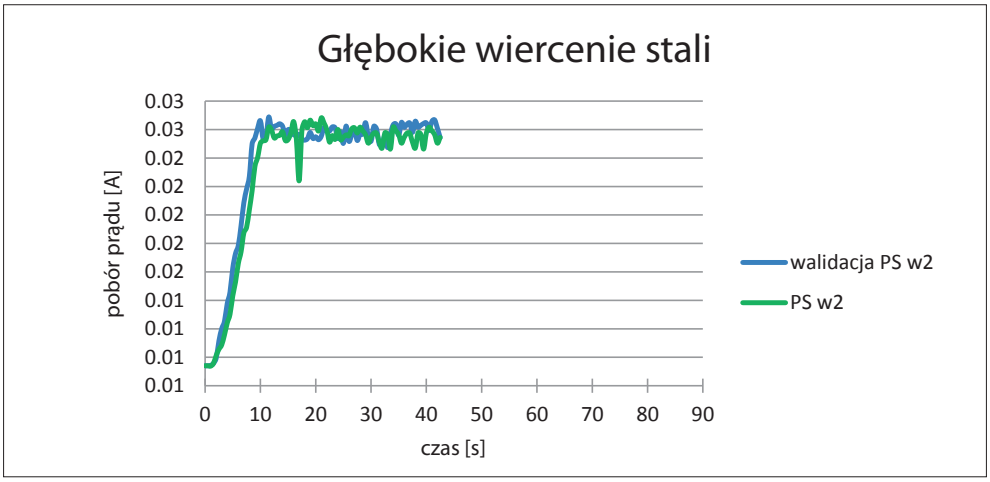
Zebrano i przeanalizowano dane odnośnie płynów do obróbki metali pod kątem ich kompatybilności z obrabianym metalem, narzędziem skrawającym oraz maszyną obróbczą. Na podstawie analizy stworzono metody pozwalające na optymalny dobór środka obróbczego zapewniającego uzyskanie wymaganej jakości wyrobów po obróbce.

Przeprowadzono testy, które miały na celu określenie właściwości eksploatacyjnych płynów obróbkowych zestawionych przez INIG – PIB oraz ocenę ich wpływu na procesy obróbki metali. Wszystkie testy przeprowadzono dla próbek środków wytworzonych przez Instytut Nafty i Gazu w oparciu o oleje z recyklingu olejów odpadowych oraz dla ich odpowiedników krajowych i zagranicznych powszechnie dostępnych na rynku.

Testy wiercenia i głębokiego wiercenia prowadzono wiertłem o stałej geometrii dla różnych stopów aluminium, miedzi, mosiądzu, żeliwa i stali zgodnie z parametrami obróbki zalecanymi przez producenta narzędzi. Przyjęte parametry dla wiercenia różniły się od parametrów głębokiego wiercenia wyższą prędkością posuwu. Testom wiercenia i głębokiego wiercenia poddano oleje nieemulgujące oraz chłodziwa emulsyjne o stężeniu 5%. Wpływ płynów do obróbki metali badany był w oparciu o pobór prądu silnika obrabiarki przy stałym poziomie napięcia (rys.1 i rys.2).



Rys. 1. Pobór prądu w funkcji czasu dla głębokiego wiercenia stali z zastosowaniem oleju nieemulgującego opartego na bazie olejowej klasy lepkościowej VG-22 – porównanie próbki laboratoryjnej i oleju z partii testowej.



Rys. 2. Pobór prądu w funkcji czasu dla głębokiego wiercenia stali z zastosowaniem chłodziwa emulsyjnego opartego na bazie olejowej klasy lepkościowej VG-10 – porównanie próbki laboratoryjnej i oleju z partii testowej.

Zastosowana metoda porównawcza umożliwiła wyeliminowanie wpływu błędów pomiaru oraz błędów wynikających z czynnika ludzkiego. Wyniki prób zestawiono w postaci wykresów poboru prądu w funkcji czasu, dla każdego z metali z zastosowaniem dedykowanego środka chłodząco-smarującego

Po zakończeniu każdej z prób wiertło poddawano wnikliwej ocenie wizualnej, w celu określenia stopnia zużycia narzędzia. Analizie poddano również geometrie wióra uzyskaną po zakończeniu każdej próby (tabela 1).

Tabela 1
Geometria wiórów uzyskanych po procesie wiercenia aluminium z zastosowaniem chłodziw emulsyjnych opartych o bazy olejowe klasy lepkości VG 10-22

PS w2	PS w3	PS w1

Testy honowania przeprowadzono na wałkach ze stali z wykorzystaniem osełek do obróbki zgrubnej i wykańczającej. Po zakończeniu testu mierzono uzyskaną chropowatość w kilku miejscach i wyznaczano średnią chropowatość powierzchni.

Testy olejów hartowniczych przeprowadzone zostały z wykorzystaniem wałków stalowych. Dla każdego z olejów przygotowano po 3 próbki wałków, które wygrzewano w temp. 1000°C, a następnie chłodzono w oleju. Mierzona była geometria próbek, jak również temperatura oleju przed i po hartowaniu.

Badania środków myjąco-konserwujących przeprowadzone zostały z wykorzystaniem 5 gatunków stopów metali: aluminium, miedzi, mosiądzu, żeliwa i stali. Próbki umieszczone zostały w dwóch różnych warunkach środowiskowych, w temperaturze otoczenia oraz w suszarce.

Podsumowanie

Zakładany cel główny projektu został w pełni zrealizowany. Jego istotą było opracowanie i wdrożenie nowej generacji płynów do obróbki metali opartych na bazach olejowych wytwarzanych w procesie głębokiej obróbki wodorem destylatów uzyskanych w procesie recyklingu olejów odpadowych. Posiadana przez ORLEN Południe S.A. technologia recyklingu olejów odpadowych jest unikalna w skali światowej a regeneracja olejów spełnia wysokie wymagania dyrektywy UE 2008/98/WE. Ponadto do produkcji płynów do obróbki metali wykorzystano frakcje z przerobu ropy naftowej pochodzenia krajowego.

Efektem projektu jest opracowanie nowej generacji płynów wykorzystywanych w procesach obróbki mechanicznej i termicznej metali oraz ich ochrony przed korozją. Opracowane produkty mogą być wykorzystywane do obróbki skrawaniem i szlifowania stali oraz metali nieżelaznych, a także do procesów hartowania ciągłego i periodycznego.

Przeprowadzono badania nad wykorzystaniem hydrorafinowanych olejów bazowych do wytworzenia nowoczesnej linii płynów do obróbki i ochrony metali oraz badania nad opracowaniem produktów do obróbki metali z udziałem nanostrukturalnych dodatków oraz produktów z udziałem nowoczesnych komponentów poliglikolowych.

W efekcie, opracowano technologię produkcji kilkudziesięciu produktów płynów obróbkowych, a w ramach fazy przygotowania do wdrożenia wykonano partie testowe płynów obróbkowych oraz poddano je walidacji. Przeprowadzono również badania rynku oraz przygotowano niezbędne dokumenty do uruchomienia produkcji

płynów obróbkowych opartych na bazach z recyklingu olejów odpadowych. Od roku 2015 produkty opracowane w ramach w/w projektu będą systematycznie wdrażane do produkcji.

LITERATURA

[1] J. Magiera, Rerafinacja olejów przepracowanych, Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2006,

Energooszczędne oleje silnikowe do samochodów osobowych

Energy-efficient engine oils for passenger cars

Stanisław Oleksiak – Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Streszczenie

Obniżenie emisji CO_2 i redukcja zużycia paliwa poprzez poprawę sprawności silnika drogą optymalizacji środków smarowych stanowi istotny fragment wspólnych prac przemysłu samochodowego i naftowego. W artykule przedstawiono rozważania dotyczące strat energii spowodowanej tarciem i oporami mechanicznymi w silniku oraz pokazano jak zmiany właściwości oleju silnikowego mogą wpływać na zmniejszenie zużycia paliwa.

Słowa kluczowe: silnik spalinowy, olej, tarcie, reologia, energia

Abstract

Reduction of CO_2 emission and improvement of fuel efficiency is one of the most goals of current common automotive and oil industry development. Maximizing the contribution of lubricants to engine efficiency is a very important part of this process. The article contains considerations concerning energy losses due to friction and mechanical dragin engine and presents how changes of engine oils properties can influence on fuel consumption decreasing.

Key words: engine, oil, friction, rheology, energy

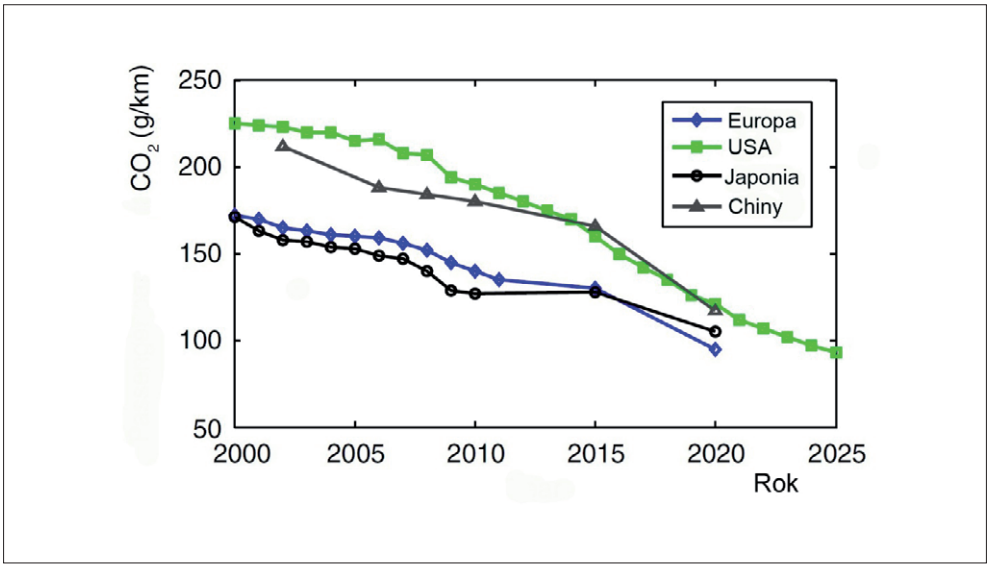
Wstęp

Transport drogowy jest jednym z większych źródeł emisji gazów cieplarnianych, stanowiącym około jednej piątej całkowitej emisji CO_2 w Europie. Od kilku lat wymagania dotyczące ograniczenia emisji ditlenku węgla stanowią jeden z głównych punktów programu rozwoju przemysłu motoryzacyjnego. Ponieważ ograniczenie tej emisji jest ściśle powiązane ze zmniejszeniem zużycia paliwa, stało się ono nie tylko motorem napędowym dla zmian konstrukcyjnych silnika, ale również inspiracją dla zmian w technologii środków smarowych.

Wprowadzane w wielu krajach lub stale zaostrzane normy emisji CO_2 wymuszają coraz większe zainteresowanie przemysłu oszczędnością zużycia paliwa. W maju 2014 r. Komisja Europejska ujawniła nową strategię ograniczenia zużycia paliwa i emisji CO_2 przez pojazdy ciężarowe. Jest ona częścią celu UE, jakim jest 60-procentowa redukcja emisji gazów cieplarnianych generowanych przez transport drogowy do roku 2050 W przypadku samochodów osobowych w Europie w 2015 roku wprowadzono ograniczenie emisji CO_2 wynoszące 130 g CO_2/km (albo 5,3 l/100 km) średnio dla całej floty pojazdów z propozycją redukcji średniej emisji nowych samochodów do poziomu 95 g CO_2/km (3,8 l/100 km) w roku 2020 Przyjęte w 2014 r przez Parlament Europejski rozporządzenie przewiduje, że do 2020 r. również producenci samochodów dostawczych i półciężarówek mają ograniczyć emisje CO_2 w swoich autach do 147 g/km.W USA przygotowany przez CAFE (Corporate Average Fuel Economy) scenariusz zakłada do 2025 r. obniżenie zużycia paliwa przez samochody osobowe i dostawcze do poziomu 54,5 mpg (mpg – mil na galon), co odpowiada ok. 4,3 l/100 km, podczas gdy w Japonii program horyzontalny CAFE ograniczyłby zużycie paliwa w 2020 roku o 24% w odniesieniu do zużycia w roku 2009 [1,2,3].

Jest to oczywiście głównie zadanie dla producentów pojazdów, którzy zmuszeni zostają do wprowadzenia szeregu zmian konstrukcyjnych pozwalających zmniejszyć zużycie paliwa. Obejmują one m.in.: zmniejszenie wielkości silników (downsizing), poprawę zarządzania termicznego, dezaktywację cylindrów, hybrydyzację, energooszczędne oświetlenie LED, ulepszenie klimatyzacji, zaawansowane układy przeniesienia napędu, opony o obniżonych oporach toczenia, technologię stop/start, rekuperację energii hamowania i wiele innych rozwiązań.

Dla wytwórców pojazdów bardzo atrakcyjną drogą do zmniejszenia zużycia paliwa jest wykorzystanie nowej generacji energooszczędnych środków smarowych, stanowiącą prostą i niedrogą do wprowadzenia opcją w porównaniu ze zmianami konstrukcji silników. Oczywiście w przypadku rozwoju środków smarowych zmniejszających zużycie paliwa istotnym wymaganiem jest zapewnienie trwałości silnika zgodnej ze specyfikacjami wytwórców silników.



Rys. 1. Historyczne i planowane ograniczanie emisji CO_2 przez samochody osobowe w cyklu mieszanym NEDC [4]

W ciągu ostatnich trzydziestu lat rozwój technologii dodatków i środków smarowych umożliwiających stosowanie niższych klas lepkości olejów doprowadziły do znaczącej poprawy ekonomii zużycia paliwa. Obserwowana była rosnąca tendencja do stosowania olejów o klasie lepkości SAE 0W-20, a nawet niższej. Należy jednak pamiętać, że dla zapewnienia ochrony przed zużyciem w wysokich temperaturach pracy silnika, lepkość oleju musi być wystarczająco wysoka, aby mógł wytworzyć i utrzymać ciągły film smarujący na współpracujących powierzchniach.

Straty energii w silniku

Sprawność wykorzystania energii paliwa uzależniona jest zarówno od poziomu rozwiązań konstrukcyjnych pojazdu jak i warunków jego eksploatacji. We współczesnym samochodzie osobowym, zależnie od warunków jazdy, tylko 14% do 30% energii z paliwa przekazywane jest na koła jako energia wykorzystywana do napędu pojazdu. Straty energii

zależne od sprawności systemów i oporów ruchu występują w silniku i jego osprzęcie oraz układzie przeniesienia napędu. W tabeli 1 zestawiono bilans energii podczas eksploatacji samochodu osobowego w różnych warunkach eksploatacji [5].

Tabela 1
Bilans energii podczas eksploatacji samochodu osobowego w różnych cyklach jezdnych

Miejsce i rodzaj strat	Straty [%] podczas jazdy w cyklu		
	miasto (stop and go)	autostrada	cykl mieszany
Silnik	71 – 75	64 – 69	68 – 72
• termiczne (chłodzenie i wydech)	60 – 64	56 – 60	58 – 62
• spalanie (niepełne, niecałkowite)	3	3	3
• wymiana ładunku	5	3	4
• tarcie	3	3	3
Osprzęt (m.in. pompa wody, alternator)	5 – 7	3 – 4	4 – 6
Układ przeniesienia napędu	4 – 5	4 – 7	5 – 6
Bieg jałowy	6	0	3
Moc na kołach	14 – 20	22 – 30	18 – 25
• opór powietrza	3 – 5	13 – 19	9 – 12
• opór toczenia kół	3 – 5	6 – 9	5 – 7
• hamowanie	7 – 10	2 – 3	5 – 7

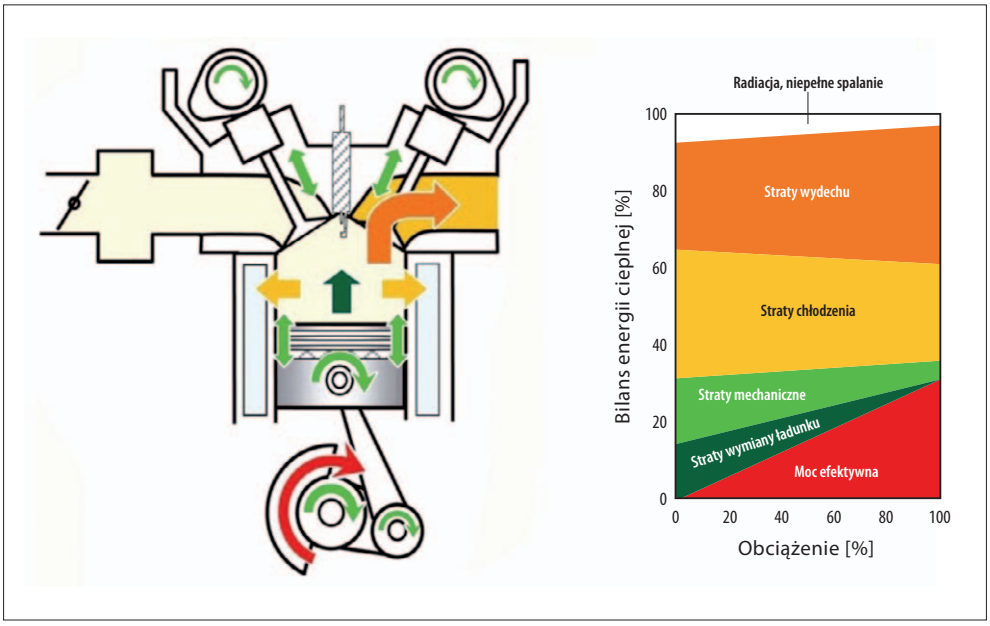
Nawet po ponad stu latach nieustannego rozwoju silnika spalinowego, nadal nie udaje się wykorzystać w nim większości energii zawartej w paliwie. Silnik spalinowy jest maszyną energetycznie niedoskonałą, której sprawność ogólna nie przekracza 45% (55% w silnikach wolnoobrotowych). Oznacza to, że jedynie część energii chemicznej zawartej w paliwie jest zamieniana na pracę użyteczną i może być efektywnie wykorzystana. Pozostała część jest tracona, obejmując straty wylotu lub chłodzenia, straty wymiany ładunku cylindrów, a także straty tarcia w mechanizmach i energię wykorzystywaną do pokonania oporów

wewnętrznych, stawianych przez urządzenia niezbędne do podtrzymania pracy silnika (rozrząd, pompy płynów eksploatacyjnych, pompa wtryskowa i inne).

Straty wynikają między innymi z dużej dynamiki pracy silnika i zmiennych warunków przebiegu procesu spalania w silniku oraz konieczności pokonywania oporów powstających podczas napędzania układów pomocniczych silnika.

Straty występujące w trakcie pracy silnika spalinowego decydują o poziomie osiąganej przez niego sprawności. Dążenie do uzyskania jak najwyższego jej poziomu ma kluczowy wpływ na wiele aspektów współczesnej motoryzacji związanych zarówno z ciągle zaostrzanymi wymaganiami dotyczącymi zarówno emisji związków toksycznych do atmosfery, jak i zmniejszenia zużycia paliwa.

Na rys. 2, poglądowo przedstawiono bilans wykorzystania energii paliwa w tłokowym silniku spalinowym, z uwzględnieniem zmiennych warunków jego obciążenia.



Rys. 2. Bilans energetyczny tłokowego silnika spalinowego [6]

Jak wspomniano, konstrukcje dzisiejszych silników muszą spełniać dwa podstawowe wymagania – ograniczenie emisji szkodliwych związków w spalinach i zmniejszenie emi-

sji CO_2, proporcjonalnej do zużycia paliwa. Oleje, które stanowią bardzo ważny element zapewniający właściwą pracę silnika, stają się istotnym sprzymierzeńcem konstruktora silnika w realizacji tych celów. Zarówno w Europie, jak i w Stanach Zjednoczonych, ciągle zmieniające się normy i przepisy dotyczące olejów silnikowych muszą nadążać za coraz ostrzejszymi przepisami ochrony środowiska i oczekiwaniami konstruktorów silników.

Straty energii zależne od oleju silnikowego

Powszechnie szacuje się, że straty mechaniczne pochłaniają od kilku procent w warunkach znamionowych, do kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu procent w warunkach rzeczywistych, energii dostarczanej w postaci paliwa do silników spalinowych. Chcąc zatem poprawić sprawność ogólną silników spalinowych, szczególnie w najczęściej użytkowanych warunkach ich pracy, należy podjąć m.in. działania w kierunku zmniejszenia strat mechanicznych. Głównymi składnikami strat mechanicznych silników spalinowych są [7]:

- straty związane z wymianą ładunku (czynnika roboczego),
- straty tarcia w węzłach kinematycznych,
- straty związane z napędem mechanizmów pomocniczych i dodatkowych,
- straty wentylacyjne i aerodynamiczne.

Pogłębiona i szeroka analiza strat mechanicznych w rzeczywistych warunkach pracy silników spalinowych, zmiennych obciążeń i stanów cieplnych oraz zróżnicowanego zapotrzebowania na moc silnika, może dać przesłanki konstrukcyjne i eksploatacyjne zmierzające do obniżenia strat mechanicznych i poprawy sprawności silników spalinowych.

Analizując możliwości zmniejszenia strat mechanicznych i w konsekwencji obniżenia zużycia paliwa przez wykorzystanie nowej generacji środków smarowych należy wziąć pod uwagę straty tarcia w poszczególnych węzłach kinematycznych silnika oraz straty mające związek z właściwościami reologicznymi olejów. Potencjalne możliwości obniżenia zużycia paliwa przez formułowanie olejów o niższych lepkościach, uzależnione są przede wszystkim od dalszego rozwoju dodatków – zarówno modyfikatorów tarcia jak i lepkości.

Podstawowe zadania producentów olejów silnikowych obejmują zatem:

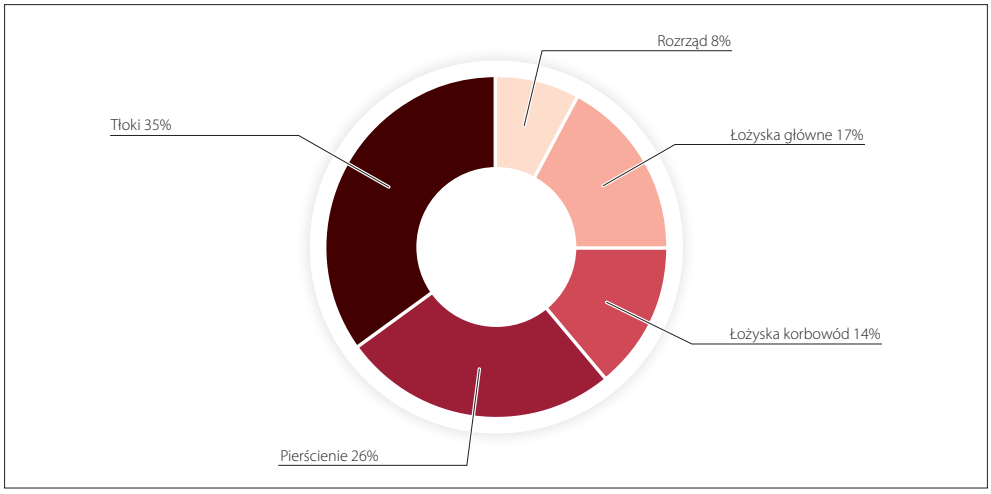
- badania i rozwój nowych pakietów dodatków smarujących, które mogą zapewniać obniżenie tarcia, przy utrzymaniu wymaganej trwałości i niezawodności pojazdów,
- prowadzenie kompleksowej tribologicznej oceny pod względem tarcia, zużycia, i zacierania nowych systemów dodatków smarujących,

- optymalizację pakietów dodatków dla różnych, smarowanych komponentów i systemów w pojazdach,
- potwierdzenie wyników badań laboratoryjnych w testach stanowiskowych i w badaniach eksploatacyjnych.

Straty mechaniczne zależne od tarcia

Straty mechaniczne wynikające z tarcia w silniku, zależne od konstrukcji silnika, warunków jego pracy i właściwości użytkowych stosowanego oleju silnikowego pochłaniają od 3 do 7,5% energii zawartej w paliwie. Powstają one głównie w węzłach tarcia następujących układów:

- tłok – cylinder,
- pierścienie tłokowe – cylinder,
- łożyska korbowodu (na wale korbowym i sworzniu tłokowym),
- łożyska główne wału korbowego,
- układ rozrządu (wał rozrządu, dźwignie zaworowe, sprężyny itd.)



Rys. 3. Straty tarcia w różnych węzłach kinematycznych silnika spalinowego [8]

Powyżej na rys. 3 pokazano rozdział sumarycznych strat tarcia w poszczególnych węzłach kinematycznych typowego silnika spalinowego.

W łożyskach i uszczelnieniach silnika dominuje smarowanie hydrodynamiczne (HD), podczas gdy w układzie rozrządu występuje smarowanie mieszane. Smarowanie mieszane obejmuje efekty smarowania hydrodynamicznego lub elastohydrodynamicznego (EHD) i smarowania granicznego. Smarowanie graniczne jest uważane zwykle za mechanizm smarowania filmem olejowym z częstym kontaktem metal-metal. Kontakty EHD można podzielić na trzy grupy: EHD w kontaktach ślizgowych np. tłok-cylinder i krzywka-popychacz, EHD w kontaktach tocznych, takich jak łożyska kulkowe i rolkowe, gdzie tarcie pochodzi z oporu przepływu środka smarującego i elastycznej histerezy i EHD w kontakcie ślizgowo-tocznym, na przykładkoła zębate, gdzie występuje toczenie z poślizgiem [9]. Kontakty trybologiczne zespołu tłok-cylinder są bardziej skomplikowane niż w innych elementach silnika i zostały podzielone w następujący sposób [9,10,11,12]:

- 40% smarowanie HD, z uwzględnieniem wyciskania filmu smarowego w punktach zwrotnych,
- 40% smarowanie EHDw kontakcie ślizgowym,
- 10% smarowanie mieszane,
- 10% smarowanie graniczne.

W ostatnich latach osiągnięto znaczny postęp w zarówno w technologii i konstrukcji pojazdów, jak i rozwoju środków smarowych, pozwalających zmniejszać tarcie i minimalizować straty zależne od właściwości reologicznych olejów.

Straty związane z reologią oleju

Do najistotniejszych właściwości reologicznych energooszczędnego środka smarowego należy lepkość, definiowana jako opór hamujący (tarcie wewnętrzne), występujący podczas przemieszczania się cząsteczek cieczy względem siebie. Oczywiście przy próbie określenia jak czynnik będzie pracował w zakresie temperatur eksploatacyjnych, należy brać pod uwagę dwa parametry – wskaźnik lepkości i lepkość kinematyczną. Średnia lepkość określa poziom zużycia energii i nie powinna być zbyt wysoka podczas zimnego rozruchu, ani zbyt niska w temperaturach eksploatacji. Należy pamiętać również o konsekwencjach zmian lepkości, które mogą być szkodliwe dla eksploatacji silnika, takich jak nadmierne zużycie elementów, niskie ciśnienie oleju, wysokie zużycie oleju, trudny rozruch i utrudniony przepływ lub całkowity jego brak podczas rozruchu zimnego silnika.

Modyfikatory lepkości stanowią jeden z podstawowych dodatków do olejów silnikowych. Ich kluczowe funkcje obejmują [13]:

- redukcję zmiany lepkości w funkcji temperatury,
- umożliwienie rozruchu silnika w niskich temperaturach (lepkość CCS),
- zapewnienie trwałości silnika w warunkach smarowania granicznego układu rozrządu i pary pierścień/tuleja cylindrowa (lepkość HTHS),
- posiadanie innych dodatkowych właściwości takich jak korzystny wpływ na czystość tłoka, osady, redukowanie wzrostu lepkości powodowanej sadzą, utrzymanie trwałości uszczelnień i innych trących części silnika,
- zapewnienie właściwego spełniania wtórnej, hydraulicznej funkcji oleju silnikowego -w dzisiejszych silnikach, ze zmiennym sterowaniem faz rozrządu i wzniosu zaworów, oraz dezaktywacją cylindrów, olej silnikowy pracuje dodatkowo jako ciecz hydrauliczna.

Ogólnie uznano, że złożenie tłok-cylinder oraz łożyska pracują w przeważającej mierze w hydrodynamicznym reżimie smarowania, podczas gdy układ zaworowy w smarowaniu mieszanym i granicznym. Dlatego najprostszym podejściem do zmniejszania zużycia paliwa jest rozwój energooszczędnych środków smarnych o zredukowanej lepkości (korzyści w tłokach i łożyskach) z jednoczesnym dodawaniem efektywnych modyfikatorów tarcia (korzyści w układzie rozrządu). Jednakże wciąż niezbędne pozostaje spełnienie wymagań testów silnikowych, zachowanie niskiej odparowalności, i najważniejsze, utrzymanie odpowiedniej trwałości silnika. Istotne są również inne czynniki związane z formulacją oleju, które wpływają na osiągnięty poziom oszczędzania energii np. czy niższą lepkość osiągnięto poprzez zastosowanie oleju bazowego o niskiej lepkości i dużą ilość dodatków poprawiających wskaźnik lepkości (VII – Viscosity Index Improver), czy też przez użycie oleju bazowego o wyższej lepkości i mniejszej zawartości VII. Zagadnienia, istotne dla rozwoju, wymagają również odpowiedzi na pytania czy modyfikator lepkości będzie współdziałał z dodatkiem przeciwzużyciowym, jaki powinien być olej bazowy (mineralny czy syntetyczny) i jakich dodatków użyć do poprawy wskaźnika lepkości [13].

Analizując wpływ parametrów reologicznych oleju na zużycie paliwa należy brać pod uwagę zarówno aspekty konstrukcji silnika jak i warunki jego eksploatacji. Zachowanie środka smarnego w poszczególnych elementach silnika takich jak układ tłok-cylinder, w łożysku korbowodu lub w łożysku wału korbowego w warunkach wysokich temperatur i dużych prędkości ścinania opisuje lepkość HTHS (High Temperature High Shear Rate), zwana także lepkością dynamiczną. Lepkość HTHS może być powiązana z jednej strony z trwałością silnika eksploatowanego w warunkach wysokich prędkości i obciążeń, z drugiej

ma wyraźny wpływ na oszczędność paliwa. Presję do obniżania lepkości HTHS wywierają dyrektywy unijne i rządowe przepisy w wielu krajach,wymagające poprawy ekonomii zużycia paliwa i obniżenia emisji gazów cieplarnianych. Niższa lepkość HTHS wykazuje tendencję do poprawy zużycia paliwa i obniżenia emisji CO_2 w nowszych pojazdach zaprojektowanych do pracy z olejami silnikowymi o niskiej wartości HTHS, ale wiąże się z ryzykiem wzrostu tarcia i zacierania tulei cylindrowej [14].

Ocena i klasyfikacja olejów energooszczędnych

Aby kwalifikować oleje silnikowe jako paliwooszczędne (fuel efficient oils, fuel economy oils), dwie wiodące organizacje: API -Amerykański Instytut Naftowy (American Petroleum Institute) i ACEA- Stowarzyszenie Europejskich Producentów Samochodów (Association des Constructeurs Européens d'Automobiles) opracowały testy silnikowe służące do porównawczej oceny zużycia paliwa przy zastosowaniu badanego środka smarowego w odniesieniu do oleju referencyjnego. Ponadto udział w opracowywaniu wymagań dla środków smarowych ma ILSAC – Międzynarodowy Komitet ds. Aprobat i Standaryzacji Środków Smarowych (International Lubricants Standardization and Approval Committee), który został powołany przez AAMA – Stowarzyszenie Producentów Samochodów Amerykańskich (American Automobile Manufacturers Association) oraz JAMA – Stowarzyszenie Producentów Samochodów Japońskich (Japan Automobile Manufacturers Association). Celem jego działania było określenie potrzeb, parametrów, licencji oraz zarządzania danymi technicznymi środków smarowych. Opracowana przez ILSAC klasyfikacja olejów silnikowych wymagała m.in. dla olejów klasy ILSAC GF-4 (która jest zbliżoną do API SM w kategorii serwisowej), dodatkowego testu; Sequence VI-B, na zmniejszenie zużycia paliwa (ASTM D6837). Wprowadzona w październiku 2010 dla pojazdów z roku 2011 i starszych klasa ILSAC GF-5 (równoważna API SN – SAE 0W, 5W and 10W), opracowana została z myślą o zabezpieczeniu tłoków i turbosprężarek przed powstawaniem osadów w wysokich temperaturach, bardziej rygorystycznym ograniczeniu odnośnie osadów szlamowych, poprawie ekonomiki zużycia paliwa, poprawie kompatybilności z układami wydechowymi, kompatybilności z uszczelnieniami oraz zabezpieczeniu silników zasilanych paliwem z zawartością etanolu do 85% (E85). Efektywne, skuteczne zmniejszenie zużycia paliwa – EFEI (Effective Fuel Economy Increase) badanego oleju (ubiegającego się o oznaczenie jako fuel efficient) w odniesieniu do oleju referencyjnego, musi być wyższe od określonych w specyfikacji limitów [15].

W Europie do oceny wpływu oleju na zużycie paliwa wykorzystywany jest test z prowadzony na stanowisku hamownianym z silnikiem Mercedes M111 o pojemności 2 l. Badania prowadzone są zgodnie z procedurą CEC L-54-96 „Fuel Economy Effects of Engine Lubricants (MB M111 E20)". Wyniki badań odnoszone są do rezultatów testu z zastosowaniem oleju wzorcowego CEC RL-191 o klasie lepkości 15W/40 Cykliczny test składający się z elementów europejskich cykli drogowych ECE-15 i EUDC trwa 24 godziny. Test M111 znajduje zastosowanie do oceny wpływu na zmniejszenie zużycia paliwa olejów klas A1/B1, A5/B5, C1, C2, C3 and C4 w klasyfikacji ACEA (2012), która wymaga odpowiednio minimalnej procentowej poprawy zużycia paliwa 2,5; 2,5; 3,0; 2,5; 2,0 i 1,0% w odniesieniu od oleju wzorcowego [15].

Na rys. 4. pokazano wyniki przeprowadzonych przez firmę Shell badań w teście M111 różnych klas lepkości olejów silnikowych ze wskazaniem obszaru możliwego do osiągnięcia przy zastosowaniu nowych koncepcji olejów [16].

Rys. 4. Wyniki badań olejów silnikowych różnych klas lepkości w teście M111 [16]

W przypadku samochodów osobowych z silnikiem o zapłonie iskrowym w USA, wpływ oleju na zużycie paliwa oceniany jest w teście silnikowym Sequence VI-D (ASTM D7589

– 15 Standard Test Method for Measurement of Effects of Automotive Engine Oils on Fuel Economy of Passenger Cars and Light-Duty Trucks in Sequence VI-D Spark Ignition Engine), który zastępuje poprzedni test Sequence VI-B. Wykonywane są dwa pomiary poprawy zużycia paliwa (FEI – Fuel Economy Improvement) w odniesieniu do oleju referencyjnego. Pierwszy pomiar, FEI1 wykonywany jest z olejem starzonym przez 16 godzin i wskazuje poprawę zużycia paliwa dla oleju nowego lub świeżego. Drugi, podobny pomiar, FEI2, wykonywany jest z zastosowaniem oleju starzonego dodatkowo 84 godziny (całkowity czas starzenia 100 godzin) i daje informacje o utrzymaniu poprawy zużycia paliwa przez olej zużyty. Szczegółowe wymagania odnośnie wyników testów zestawiono w tabeli 2 [17].

Tabela 2
Porównanie wymagań dotyczących poprawy zużycia paliwa dla olejów ILSAC GF-4 i GF-5

Rodzaj testu	Klasy lepkości SAE	Poprawa zużycia paliwa – min. FEI [%]	
		ILSAC GF-4	ILSAC GF-5
Sequence VI-D Fuel Economy Improvement (FEI)		16-godz. FEI / 96-godz. FEI	Suma FEI / 100-godz. FEI
	xW-20 0W-30, 5W-30 10W-30	2.3 / 2.0 1.8 / 1.5 1.1 / 0.8	2.6 / 1.2 1.9 / 0.9 1.5 / 0.6

Wymagania testu dla oleju GF-5 wydają się być dużo ostrzejsze niż limity dla oleju GF-4 Nie można jednak bezpośrednio porównywać tych wartości, ponieważ w teście Sequence VI-D stosowany jest nowszy silnik GM V-6 o pojemności 3.6 l, podczas gdy w teście Sequence VI-B wykorzystywano silnik Ford V-8 o pojemności 4.6 l. Limity nowego testu zostały tak dobrane, aby osiągnąć 0,5% wzrost ekonomiki paliwa w porównaniu z wysokiej jakości olejami silnikowymi GF-4.

Poniżej w tabeli 3 zestawiono prezentowane przez R. Dixona i R. Mainwaringa [18] wyniki badań dwóch olejów silnikowych SAE 5W-30 w teście M111 i SAE 0W-20 w teście Sequence VI-D.

Tabela 3
Charakterystyka olejów i wyniki badań uzyskane w testach silnikowych M111 i Sequence VI-D [18]

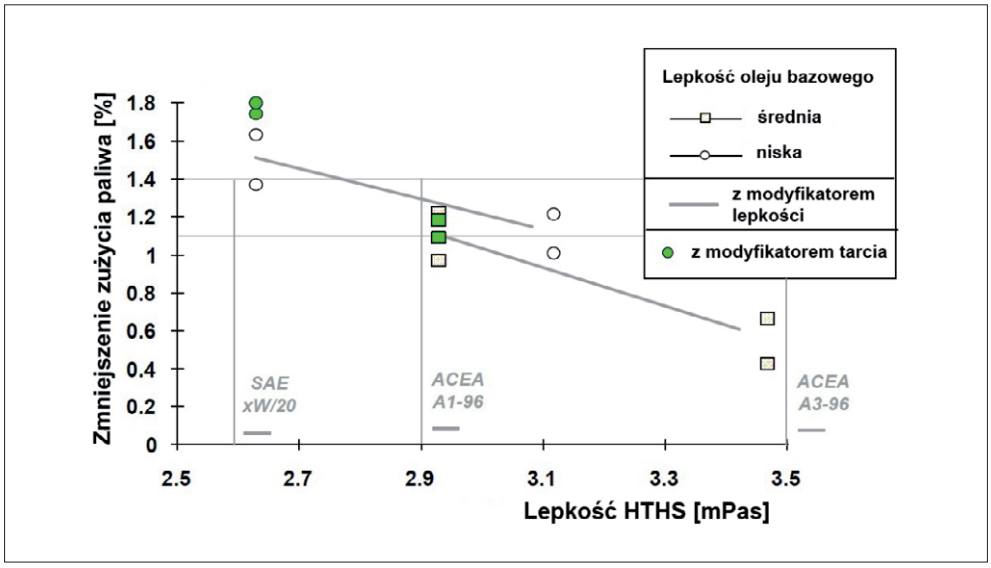
Test FE	M 111		Sequence VI-D	
Olej silnikowy	RL 191 (wzorcowy)	olej badany	olej referencyjny	olej badany
Klasa lepkości SAE	15W-40	5W-30	20W-30	0W-20
Lepkość w temp. 40°C [mm^2/s]	101,30	38,62	102,00	28,63 (świeży) 31,69 (starzony)
Lepkość w temp. 100°C [mm^2/s]	14,12	9,85	12,06	7,33 (świeży) 7,21 (starzony)
Modyfikator lepkości	tak	tak	nie	tak
Modyfikator tarcia	nie	nie	nie	tak
Limit [%]	-	> 2,5	-	FEI1 = 1,40 FEI2 = 1,20
Wynik [%]	-	3,45	-	FEI1 = 2,50 FEI2 = 1,56

Obecne prace ILSAC obejmują m.in. przygotowanie specyfikacji GF-6 z uwzględnieniem olejów o klasie lepkości xW-16 i ustaleniem nowych limitów dla testu Sequence VI-D.

Potencjalne możliwości oleju

Przy ocenie możliwego wpływu oleju na zużycie paliwa, oprócz omówionych wcześniej kwestii dotyczących parametrów fizykochemicznych i użytkowych oleju, należy wziąć po uwagę inne czynniki. Istotny wpływ na efektywność oleju w zmniejszeniu zużycia paliwa ma konstrukcja silnika. Na przykład, silnik z czterema zaworami na cylinder i z kontaktem ślizgowym bezpośredniego napędu zaworów, będzie miał wysoki udział strat tarcia w układzie rozrządu. W tym przypadku decydującą rolę w zmniejszeniu zużycia paliwa przez olej odgrywać będzie skuteczny modyfikator tarcia, który nie będzie już tak efektywny w silniku, który ma układ rozrządu z popychaczami rolkowymi.

Duże znaczenie ma również sposób eksploatacji samochodu. W przypadku kierowców często jeżdżących na krótkich dystansach, gdy silnik nie jest w pełni dogrzany, istotna będzie lepkość oleju w końcowej niskiej temperaturze pracy silnika. Kierowcy, którzy korzystają głównie z autostrad, eksploatując silnik w pełni dogrzany, będą wymagać, by oleje były optymalizowane dla wysokiej końcowej temperatury pracy. Wyższe efekty oszczędzania energii łatwiejsze będą do uzyskania w przypadku kierowców jeżdżących na krótkich trasach [11, 12]. W tym przypadku nabiera również znaczenia rozruch zimnego silnika, który stał się jest jednym z powodów niedawnego szybkiego wzrostu zastosowania w Europie olejów o klasach lepkości 0W/x i 5W/x [13].

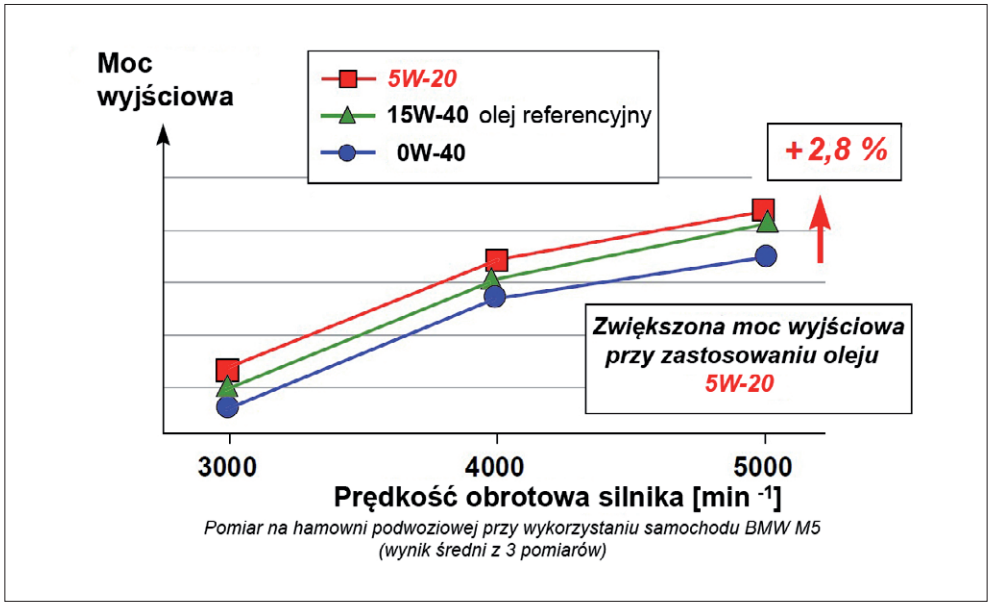


Rys. 5. Wyniki badań olejów silnikowych w teście Sequence VI-A [10]

Na rys. 5 pokazano prezentowane przez R. Taylora i R. Coya [10] wyniki badań oceny wpływu lepkości dynamicznej oleju na zużycie paliwa, prowadzonych kilkanaście lat temu w teście SequenceVI-A. Procentowa poprawa ekonomiki zużycia paliwa rośnie prawie liniowo ze zmniejszaniem lepkości HTHS, a efekty zastosowania modyfikatora tarcia są niewielkie, wynosząceokoło 0,2% przy lepkości HTHS równej 2,6 mPa.s, i niezauważalne przy 2,9 mPa.s. Wyniki sugerują również, że dla danej wartości HTHS, niższa lepkość oleju bazowego dałaby lepsze efekty obniżenia tarcia. Należy zauważyć, że olej referencyjny

użyty w teście SequenceVI-A ma lepkość HTHS około 3,5 mPa.s. Opracowany później dla potrzeb specyfikacji ILSAC GF-3 test Sequence VI-B wykonywany był przy zastosowaniu tego samego silnika z użyciem oleju świeżego i starzonego.

Inne, prezentowane przez R. Taylora iR. Coya [10] wyniki badań samochodu osobowego, przeprowadzone przez niezależne laboratorium potwierdzają, że oleje o niższej lepkości dają wyraźny przyrost mocy silnika, co jest wyraźną oznaką, że straty tarcia są niższe. Na rys. 6 graficznie przedstawiono wyniki badania mocy użytecznej samochodu osobowego BMW M5 uzyskane na hamowni podwoziowej.



Rys. 6. Przyrost mocy użytecznej przy zastosowaniu oleju silnikowego SAE 5W-20. Pomiar przeprowadzony przez niezależne laboratorium [10]

Podsumowanie

Ponieważ transport drogowy jest jednym z większych źródeł emisji gazów cieplarnianych w Europie, od kilkunastu lat wymagania dotyczące ograniczenia emisji CO_2 stanowią jeden z głównych punktów programu rozwoju przemysłu motoryzacyjnego, co stało się

motorem napędowym nie tylko dla zmian konstrukcyjnych silnika, ale również inspiracją dla zmian w technologii środków smarowych.

Konstrukcje współczesnych silników muszą spełniać dwa podstawowe wymagania – ograniczać emisję szkodliwych związków w spalinach stosownie do wymagań EURO oraz spełniać stale zaostrzane normy emisji CO_2, proporcjonalnej do zużycia paliwa. Oleje, które stanowią bardzo ważny element zapewniający właściwą pracę silnika, stają się istotnym sprzymierzeńcem konstruktora silnika w realizacji tych celów.W ostatnich latach osiągnięto znaczny postęp w zarówno w technologii i konstrukcji pojazdów, jak i rozwoju środków smarowych, pozwalających zmniejszać tarcie i minimalizować straty zależne od właściwości reologicznych olejów.

Dla wytwórców pojazdów bardzo atrakcyjną drogą do zmniejszenia zużycia paliwa jest wykorzystanie nowej generacji energooszczędnych środków smarowych, będącą prostą i niedrogą do wprowadzenia opcją w porównaniu ze zmianami konstrukcji silników. Oczywiście, w przypadku rozwoju środków smarowych zmniejszających zużycie paliwa, istotnym wymaganiem pozostaje zapewnienie trwałości silnika zgodnej ze specyfikacjami wytwórców silników.

W ciągu ostatnich trzydziestu lat rozwój technologii dodatków i środków smarowych umożliwiających stosowanie niższych klas lepkości olejów doprowadziły do znaczącej poprawy ekonomii zużycia paliwa. Obserwowana była rosnąca tendencja do stosowania olejów o klasie lepkości SAE 0W-20, a nawet niższej. Specyfikacje europejskie i amerykańskie stopniowo zaostrzają wymagania dotyczące oszczędności paliwa przez oleje silnikowe. Obecne prace ILSAC obejmują m.in. przygotowanie specyfikacji GF-6 z uwzględnieniem olejów silnikowych o klasie lepkości xW-16 i ustalenie nowych limitów dla testu oceniającego wpływ oleju na zużycie paliwa. Niektórzy producenci silników domagają się opracowania olejów silnikowych o ultra niskich lepkościach, np. SAE 0W-12, 0W-8, a nawet 0W-4 [25]. Wymagania dla olejów klas SAE 16, 12 i 8 pojawiły się w aktualizowanej w styczniu 2015 klasyfikacji lepkościowej SAE J300 [26].

Literatura

[1] http://moto.onet.pl/aktualnosci/od-2020-roku-nowy-limit-emisji-co2-dla-nowych-samochodow/g8h55 (dostęp marzec 2015)

[2] http://miastowruchu.pl/wp-content/uploads/CEE-briefing-ga_PL_final.pdf (dostęp marzec 2015)

[3] http://www.ekologia.pl/wiadomosci/srodowisko/limit-emisji-co2-w-samochodach-uzytkowych-147-g-km-do-2020-r,14000.html (dostęp marzec 2015)

[4] Mock P. (2012) European CO_2 emission performance standards for passenger cars and light commercial vehicles, Technical report, The International Council on Clean Transportation.
[5] http://www.fueleconomy.gov/feg/atv.shtml (dostęp marzec 2015)
[6] Mazda's new SKYACTIV gasoline and diesel engines are steps on the road to its "Ideal Engine"; focus on compression ratio – http://www.greencarcongress.com/2011/08/skyactiv-20110804.html (dostęp marzec 2015)
[7] Wrona J, Wrona R., Straty mechaniczne silników spalinowych – WSEI, Lublin 2012 http://www.synlube.com/HowEngineWorks.html (dostęp marzec 2015)
[8] de Vincente J, Stokes RJ, Spikes HA. Rolling and sliding friction in compliant, lubricated contact. Journal of Engineering Tribology, Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers 2006;220:J55–63
[9] Rosenberg RC. General friction considerations for engine design. SAE Paper 821576; 1981, p. 59–70.
[10] Taylor R, Coy R. "Improved fuel efficiency by lubricant design: a review", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers 2000;214J:1–15
[11] Holmberg K., Andersson P., Erdemir A., "Global energy consumption due to friction in passenger cars" Tribology International 47 (2012) s. 221–234
[12] http://www.hddeo.com/ViscosityModifierPart2.html(dostęp marzec 2015)
[13] Sheahan T.J, Romig W.S., "Lubricant Related Fuel Savings in Short Trip, Cold Weather Service", SAE 750676
[14] http://www.oilspecifications.org/ilsac.php (dostęp marzec 2015)
[15] http://www.cectests.org/disptestdoc1.asp (dostęp marzec 2015)
[16] S. Gunsel, (2010) "Fuel Economy: Hardware Design, Lubricants and Collaboration" http://www.automotiveworld.com/img/webinars/10-11-18-fuel-economy.pdf
[17] http://www.ocsoil.fi/upload/News%20on%20Lubes/ILSAC-GF-5.pdf (dostęp kwiecień 2015)
[18] Dixon R., Mainwaring R. "Demonstrating the fuel economy potential for passenger car motor oils" – Innovations in Fuel Economy and Sustainable Road Transport –wyd. IMechE – materiały konferencyjne, Puna, Indie 8-9.11.2011 s.89-96
[19] Korcek S.i in."Sequence VIB Engine Test for Evaluation of Fuel Efficiency of Engine Oils – Part I Aging Procedure for Determination of Fuel Efficiency Retention", SAE982623
[20] Fenske G., Lubricants – Pathway to Improving Fuel Efficiency of Legacy Fleet Vehicles, DEER Conference, October 2011

[21] http://www.machinerylubrication.com/Read/28317/Shell-Lubricant-Fuel-Benefit (dostęp marzec 2015)
[22] ACEA European Oil Sequences 2012 (dostęp marzec 2015)
[23] S. Oleksiak, M. Żółty „Wybrane metody badań do monitoringu środków smarowych", NAFTA-GAZ 11/2012 s. 834-841
[24] S. Oleksiak „Ocena odporności na ścinanie samochodowych olejów przekładniowych", NAFTA-GAZ 5/2014 s. 313-319
[25] http://www.infineuminsight.com/insight/march-2015/ultra-low-viscosity-challenges (dostęp kwiecień 2015)
[26] D. Smolensky. "Is Fuel Economy Hiding in SAE J300", Lubes'n'Greases, III/2015, s. 28-32

Zmiana parametrów oleju silnikowego w trakcie próby trwałościowej na hamowni silnikowej
Changing engine oil parameters during durability bench test

Andrzej Suchecki – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsku-Białej
Joanna Śledź – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Krzysztof Brodzik – Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o. w Bielsku-Białej

Streszczenie:

Niniejsze opracowanie przedstawia wyniki badań czterech rodzajów olejów silnikowych o podobnej klasie lepkościowej, różnych producentów. Badania polegały na przeprowadzeniu 400 godzinnych testów trwałościowych na hamowni silnikowej, na czterech nowych silnikach o zapłonie samoczynnym o pojemności 1.9 l. Przedstawiono wyniki analiz chemicznych próbek olejów pobranych w trakcie testów. Zaprezentowano analizę zmian podstawowych parametrów określających jakość oleju w trakcie próby trwałościowej, takich jak lepkość kinematyczna, zawartość sadzy, wartość TBN i ilości pierwiastków metali. Zaproponowano limity podstawowych parametrów oleju określające jego własności trwałościowe.

Słowa kluczowe: olej silnikowy, testy silnikowe.

Summary

This paper presents the results of four types of engine oils of similar viscosity grade, from various manufacturers. The investigation consisted of 400 hour durability tests, performed on an engine test bench, using four new diesel engines of displacement 1.9 liters. This paper presents the results of a chemical analysis of oil samples taken during the test. It presents an analysis of changes in the basic parameters determining the quality of the oil during the durability trial, such as kinematic viscosity, soot content, the TBN value and the amount of metal elements. It proposed to limit the basic parameters defining the oil durability properties.

Key words: engine oil, engine tests.

Wstęp

Oleje silnikowe spełniają w silniku szereg funkcji, od typowo trybologicznych takich jak zagwarantowanie pracy wszystkich węzłów tarcia (skojarzeń trących), przez uszczelnianie cylindrów aż do transportowania do filtra oleju zanieczyszczeń z układu.

Główne wymagania stawiane olejom silnikowym:

- smarowanie elementów współpracujących w celu zmniejszenia tarcia i zapobieganie zniszczeniom powierzchni i zatarciom,
- wymywanie zanieczyszczeń i zapobieganie korozji,
- odprowadzanie ciepła,
- wydłużenie trwałości oleju ze względu na bardzo duże przebiegi,
- ograniczenie emisji związków szkodliwych,
- doszczelnienie komory spalania.

Zapewnienie wymaganej wszechstronności oleju silnikowego uzyskuje się poprzez połączenie odpowiedniej bazy olejowej z dodatkami uszlachetniającymi. Nawet najlepszej jakości oleje bazowe nie są w stanie jednocześnie zapewnić odpowiednich właściwości nisko- i wysokotemperaturowych, odpowiedniej odporności na utlenianie prowadzącej do tworzenia nierozpuszczalnych wydzielin i osadów, oraz usunąć zanieczyszczeń z układu. Wymienione wyżej główne wymagania stawiane olejem silnikowym sprawiają, że niezbędne jest stosowanie dodatków pełniących różne funkcje (Tabela 1).

Tabela 1 Funkcje dodatków uszlachetniających i ich przykłady

Funkcja	Przykład
Modyfikatory lepkości	Kopolimery olefinowe, poliizobutyleny, polimetakrylany, kopolimery styrenowo-izoprenowe, kopolimery styrenowo-butadienowe
Inhibitory utleniania	Pochodne fenolu, aminy aromatyczne, organiczne związki siarki, fosforyny, związki miedzi, związki boru

Funkcja	Przykład
Detergenty	Sulfoniany, fenolany, salicylany metali (głównie Ca i Mg)
Dyspergatory	Alkilowe pochodne fenoli, oligomery poliizobutylenu i etylenu-propylenu z O i N w grupach funkcyjnych
Przeciwzużyciowe (AW)	Alkiloditiofosforany metali, fosforyny, karbaminiany
Przeciwzatarciowe (EP)	Organiczne związki S, P i Cl
Inhibitory korozji	Pochodne kwasu bursztynowego, aminy, fosforany, sulfoniany, tiazole

Jednymi z najważniejszych właściwości oleju silnikowego z punktu widzenia eksploatacji są:

Lepkość kinematyczna: parametr ten odpowiada za zachowanie się oleju w warunkach smarowania. Lepkość w 100°C odpowiada lepkości oleju w normalnych warunkach pracy a w 40°C odpowiada pracy na zimnym silniku.

Całkowita liczba zasadowa (TBN – Total Basic Number): wskazując na ilość dodatków o charakterze zasadowym charakteryzuje ona zdolności myjąco-dyspergujące oleju. TBN jest miarą zawartości detergentów i dyspergatorów w oleju. Im większa, tym lepsze są właściwości myjące i neutralizujące kwaśne produkty spalania paliwa czy oleju. Im większa zawartość siarki w paliwie, tym większa powinna być liczba zasadowa oleju. Oleje do silników wysokoprężnych powinny mieć wyższą TBN ze względu na cięższe warunki pracy.

Zawartość pierwiastków: jeden z podstawowych parametrów monitorowanych w olejach eksploatowanych. W początkowym etapie eksploatacji oleju najbardziej istotne są stężenia takich pierwiastków jak: Ca, Mg, P, Zn i Ba, który ze względu na toksyczność został praktycznie wyeliminowany jako dodatek przeciwzużyciowy i przeciwzatarciowy. Niektóre formulacje i dodatki mogą zawierać również B, Na, K i Mo.

Źródłem pochodzenia poszczególnych pierwiastków w oleju mogą być [1], [2]:

- Dodatki do olejów – Ca, Zn, B, Ba, Mg, P, Si, S,
- Si – tłoki,
- S – paliwo (w procesie spalania paliwa z zawartych w nim związków siarki tworzą się ditlenek i w niewielkich ilościach tritlenek siarki, a w obecności wody powstają odpowiednie kwasy, reagujące z dodatkami, tworzącymi rezerwę alkaliczną),
- Fe – cylindry, popychacze, blok silnika, pompa oleju, układ rozrządu, wał korbowy,
- Cr – tuleje, pierścienie tłokowe,
- Al – tłoki, łożyska, popychacze, chłodnica powietrza, pompa oleju, dodatki,
- Cu – łożyska,
- Pb – łożyska,
- Sn – łożyska.

Zawartość sadzy: monitorowanie tego parametru w trakcie eksploatacji oleju silnikowego pozwala na ocenę efektywności dyspergatorów obecnych w oleju. Ich słaba efektywność może prowadzić do tworzenia się dużych cząstek sadzy (blokujących filtr oleju i kanały olejowe), będących jedną z przyczyn powstawania szlamów w misce olejowej. Wzrost ilości aglomeratów sadzy w oleju powoduje wzrost sił tarcia i zwiększenie zużycia współpracujących elementów [5-7].

W celu monitorowania jakości oleju silnikowego w trakcie pracy istotne jest również określenie takich parametrów jak [8-10]:

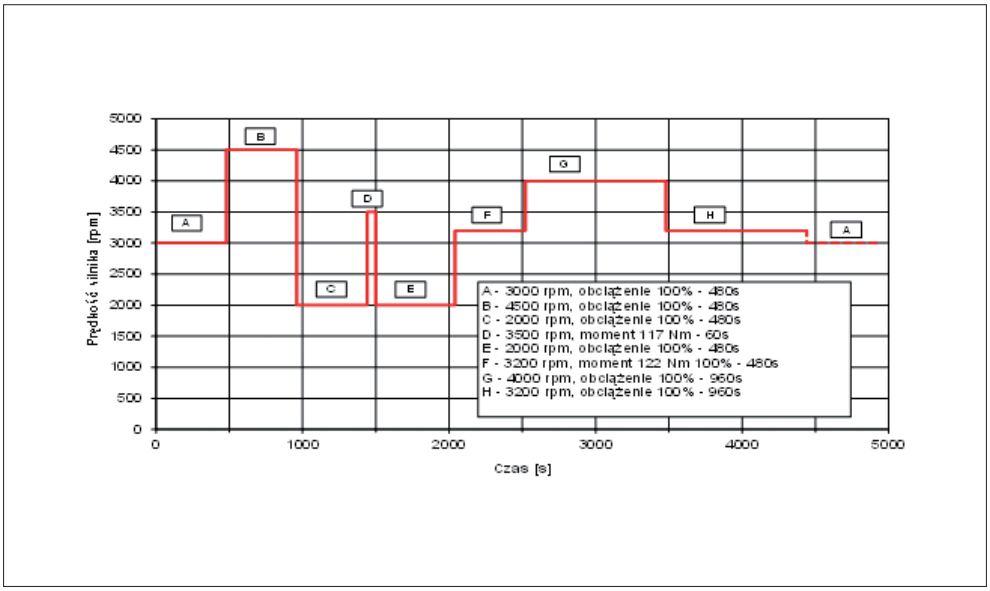
- **ilość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych/cząstek stałych:** może być problematyczne w przypadku olejów zawierających dużo sadzy, gdy zliczanie cząstek zazwyczaj opiera się na metodach optycznych,
- **liczba kwasowa:** mówiąca o ilości zanieczyszczeń kwaśnych w oleju pochodzących z przedmuchów spalin (tlenki siarki) i/lub częściowego utleniania składników oleju z wytworzeniem kwasów organicznych, zwiększenie liczby kwasowej wskazuje na podwyższone ryzyko korozji,
- **zawartość wody:** ilość wody w oleju jest najczęściej oznaczana metodą Karla Fischera (wolumetrycznie lub kulometrycznie), a jej obecność może wynikać z przecieków płynu chłodniczego, kondensacji atmosferycznej, przerywanej pracy silnika oraz obsługi w niskiej temperaturze. Na dokładność oznaczenia ma wpływ m.in. obecność dodatków zawierających siarkę,
- **temperatura zapłonu i rozcieńczenie paliwem:** obecność paliwa w oleju istotnie wpływa na efektywność oleju silnikowego, szczególnie na parametry lepkościowe i może powodować zagrożenie pożarem.

Metodą analityczną, pozwalającą na stwierdzenie obecności sadzy, wody, glikolu i paliwa w próbce oleju w czasie eksploatacji, jest **spektroskopia w podczerwieni.** Umożliwia ona również monitorowanie zmian ilości produktów degradacji oleju, np.: produktów utleniania, nitroksydacji czy sulfonowania.

Dążenie do wydłużenia czasu pracy olejów silnikowych bez istotnych negatywnych skutków dla silnika zaowocowało opracowaniem wielu metod badawczych pozwalających na powtarzalne i odtwarzalne określanie właściwości oleju. Wspólny wysiłek producentów samochodów, paliwa i środków smarowych pozwolił na przestrzeni kilkudziesięciu lat ograniczyć zarówno ilość zużywanego paliwa, jak i nawet w większym stopniu ilości środków smarowych. Trzy podstawowe systemy specyfikacji właściwości olejów: Trójstronny system API (Ameryka Północna), system ILSAC (Japonia zbliżony do API) oraz system ACEA (Europa) z czasem stają się coraz bardziej jednolite. W Ameryce trójstronny system API opiera się na pracy organizacji ASTM (American Society for Testing and Materials), definiującej metody badawcze i wymagania, stowarzyszenia SAE (Society of Automotive Engineers – Stowarzyszenie Inżynierów Motoryzacji) wskazującego potrzeby i łączącej zebrane informacje w swoich poradnikach oraz Instytutu API (American Petroleum Institute), który oprócz prowadzenia prac badawczych dotyczących produktów naftowych rozwija i kontroluje oznaczenia oraz język komunikacji z użytkownikami [10]. W Europie rolę zbliżoną do amerykańskiego ASTM pełni CEC, przy czym jego aktywność ogranicza się do badań silnikowych, metody badawcze dotyczące środków smarowych są opracowywane przez instytucje takie jak Energy Institute (dawniej Institute of Petroleum) czy Niemiecki Komitet Normalizacyjny (DIN). Wymagania jakościowe dotyczące olejów silnikowych są również opracowywane przez producentów samochodów (OEM) takich jak Volkswagen, GM, Daimler-Benz, Peugeot czy Fiat. W niniejszej pracy skoncentrowano się na analizie wyników uzyskanych na podstawie wymagań specyfikacji Fiat.

Opis badań

Badaniom poddano cztery rodzaje olejów silnikowych o podobnej klasie lepkościowej ale różnych producentów. Badania polegały na przeprowadzeniu 400 godzinnych testów trwałościowych na hamowni silnikowej. Do badań użyto 4 nowych silników o zapłonie samoczynnym, tego samego typu o pojemności 1.9 l. Elementarny cykl testu trwałościowego trwał 74 min (4440 s) i był powtarzany 325 razy, dla osiągnięcia całkowitego czasu 400 godzin. Elementarny cykl pracy silnika w teście przedstawiono na rys. 1.

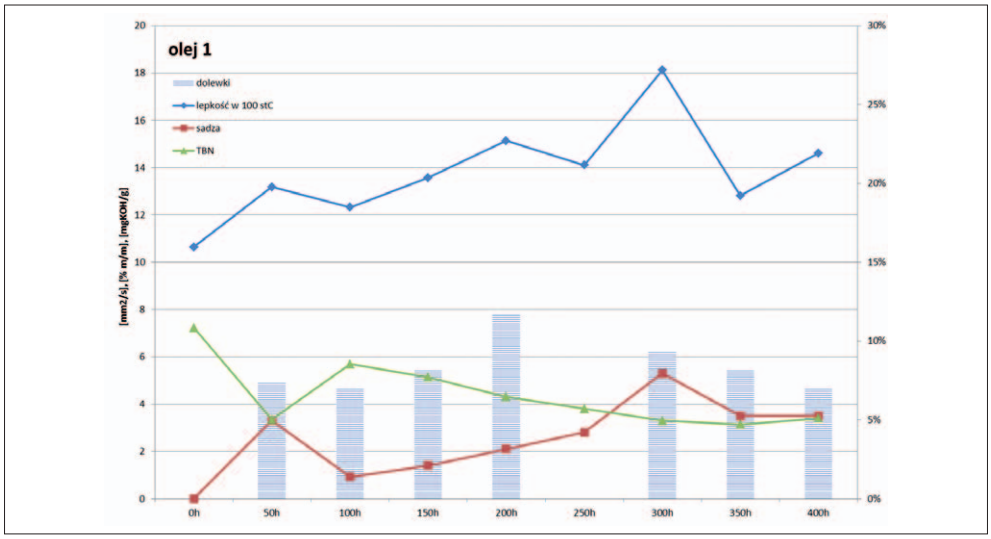


Rys. 1. Elementarny cykl testu

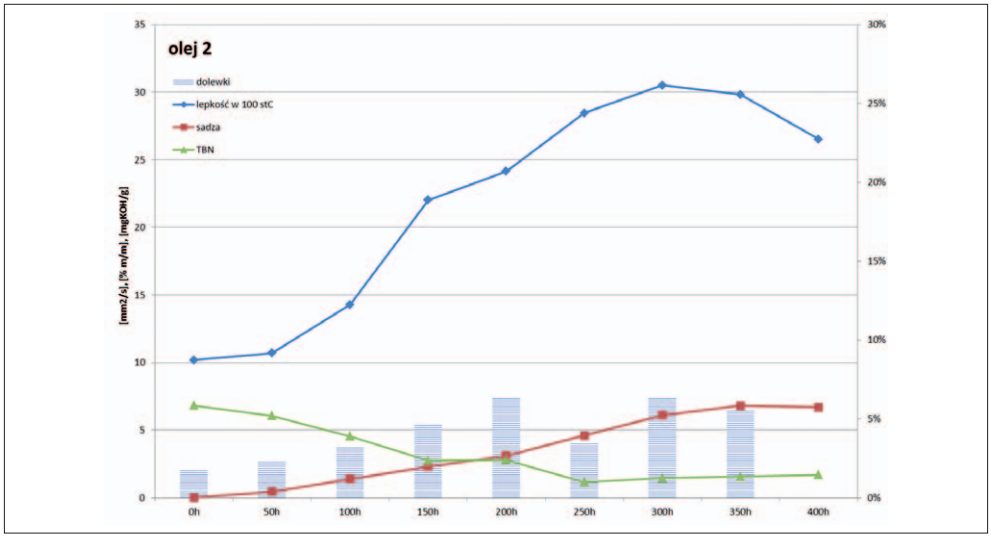
W trakcie testu, co 50 godzin, pobierano próbkę oleju i przeprowadzono analizę chemiczną zmian podstawowych parametrów oleju, jak również ilości zanieczyszczeń. Do analiz użyto następującą aparaturę:

- spektrometr emisyjny ICP-OES Optima 4300 DV (Perkin-Elmer, USA),
- waga analityczna (Radwag, Polska),
- lepkościomierz Mini AV-X (Cannon, USA),
- titrator GT-200 (Mitsubishi, Japonia),
- spektrometr FTIR Nicolet 6700 (Thermo, USA).

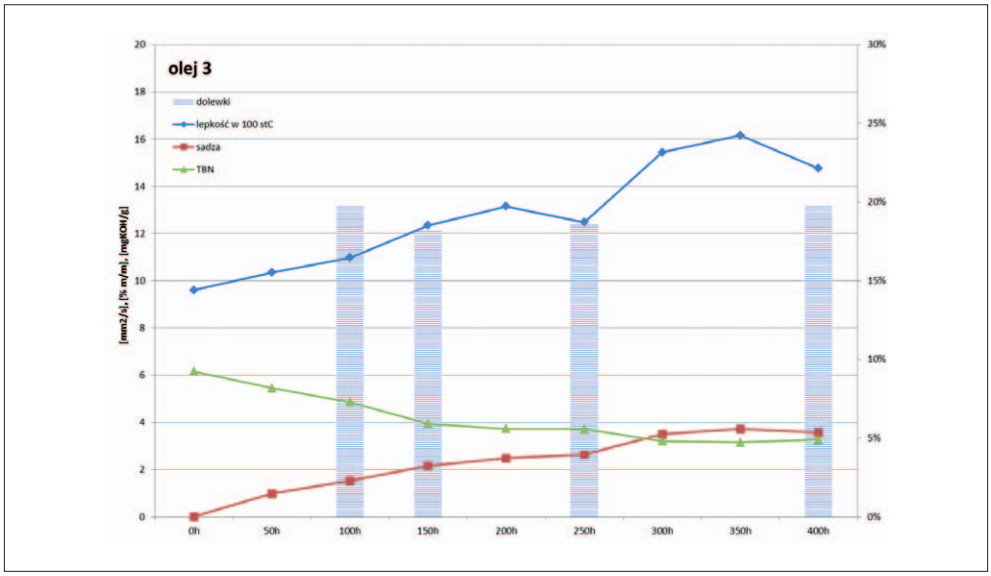
Wyniki badań



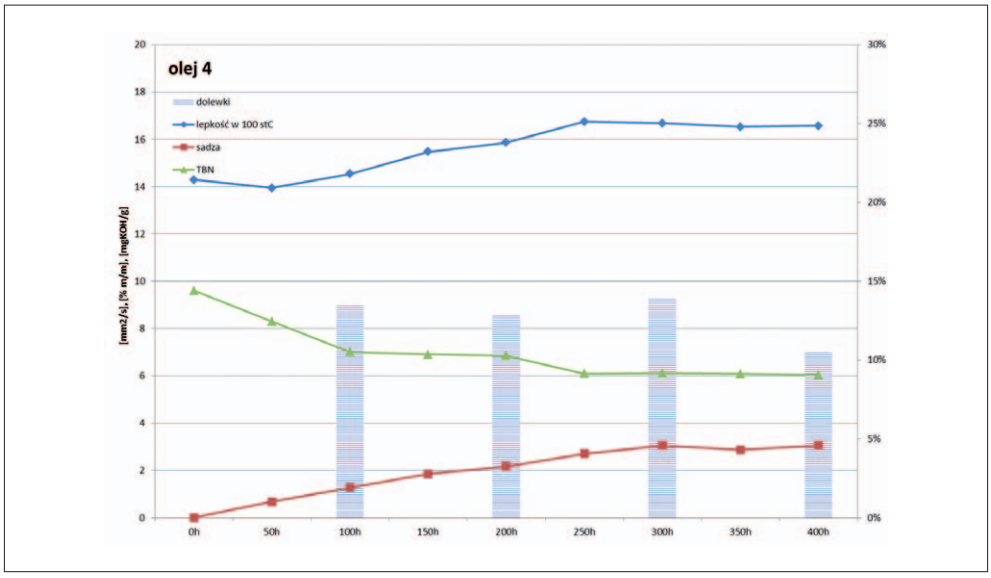
Rys. 2. Zestawienie wyników badań dla oleju 1



Rys. 3. Zestawienie wyników badań dla oleju 2

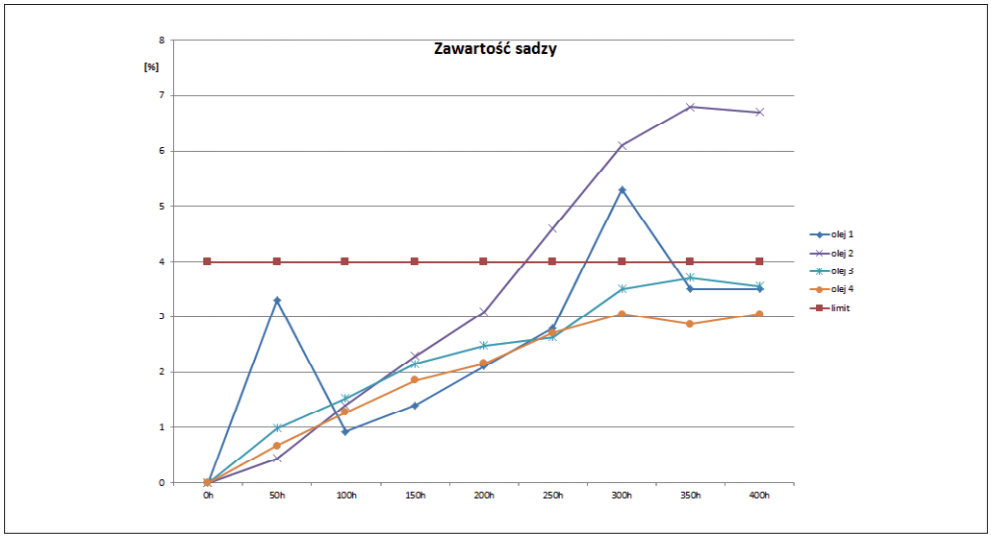


Rys. 4. Zestawienie wyników badań dla oleju 3



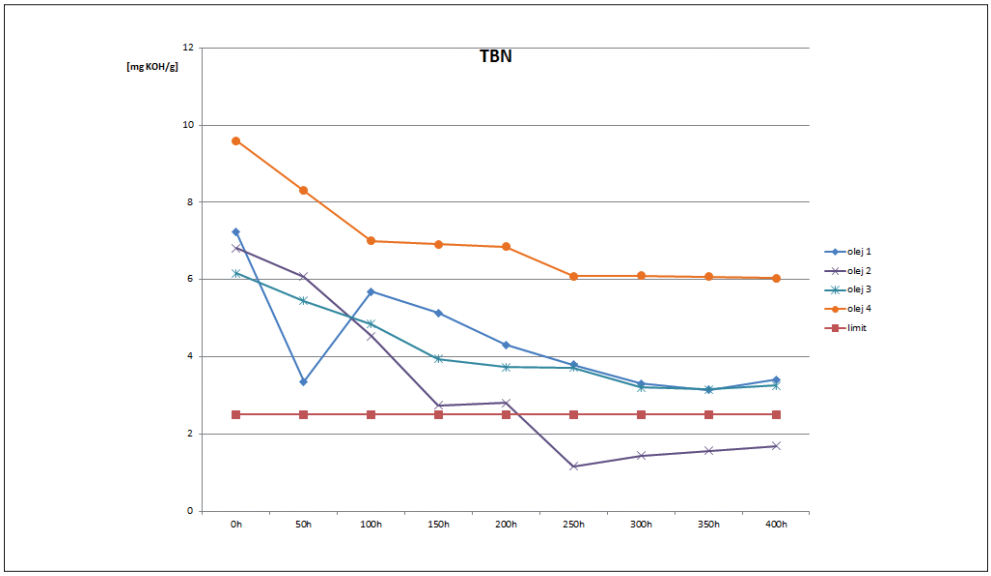
Rys. 5. Zestawienie wyników badań dla oleju 4

Zmiany właściwości olejów silnikowych odniesiono do wymagań norm uznanych producentów silników spalinowych jak również do doświadczeń własnych i zaproponowano następujące limity niektórych parametrów oleju: **zawartość sadzy–maks. 4%, Fe–maks. 550 mg/kg, TBN–min. 2,5 mgKOH/g.**

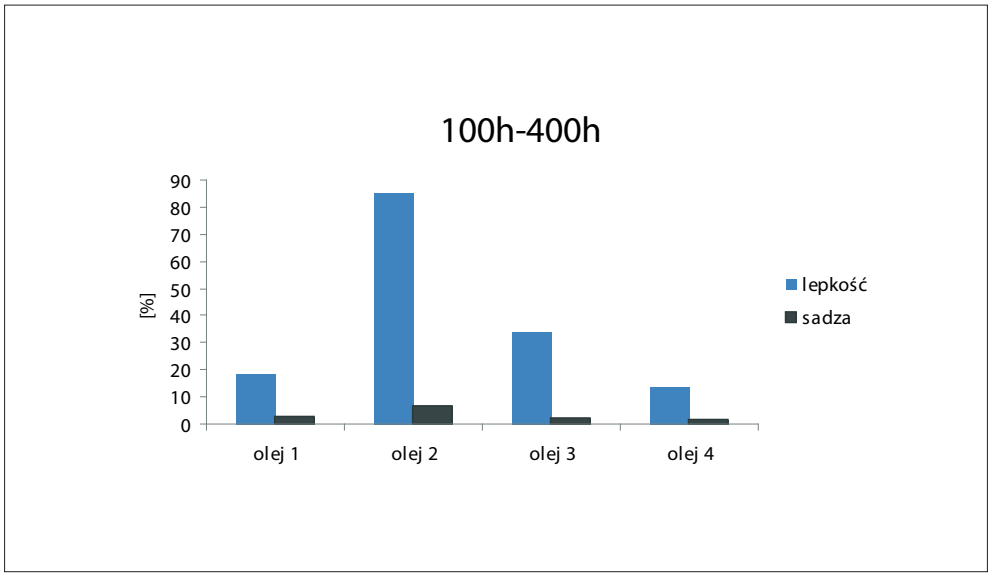


Rys. 6. Zawartość sadzy w olejach w trakcie próby

W trakcie próby 400 godzinnej w olejach 3 i 4 nie została przekroczona zawartości sadzy 4%, a chociaż w pozostałych olejach wartość ta została przekroczona, jednak nie zaobserwowano większego wpływu tego przekroczenia. Zwiększaniu zawartości sadzy w oleju silnikowym w trakcie testu towarzyszy zwiększanie lepkości, przy czym w przypadku oleju 3 i 4 zmiany te występują w największym stopniu. W trakcie eksploatacji widocznie zmniejsza się liczba zasadowa wskazując na zużywanie się dodatków odpowiadających za neutralizacje kwaśnych produktów spalania paliwa oraz degradacji oleju. Na rysunkach 2÷5 oprócz zmian lepkości, zawartości sadzy i TBN przedstawiono również wielkość dolewek świeżego oleju w trakcie badań. Porównanie udziału dolewek w całkowitej objętości oleju silnikowego z oznaczonymi właściwościami pozwala na wyciągnięcie wniosków świadczących o poprawie jakości środka smarowego na skutek dodatku jego świeżej porcji. Szczególnie w przypadku oleju 3 i 4 każda z zastosowanych dolewek powodowała zmniejszenie szybkości degradacji oleju, co jest wyraźnie widoczne na podstawie zmian TBN.



Rys. 7. Wielkość TBN w olejach w trakcie próby

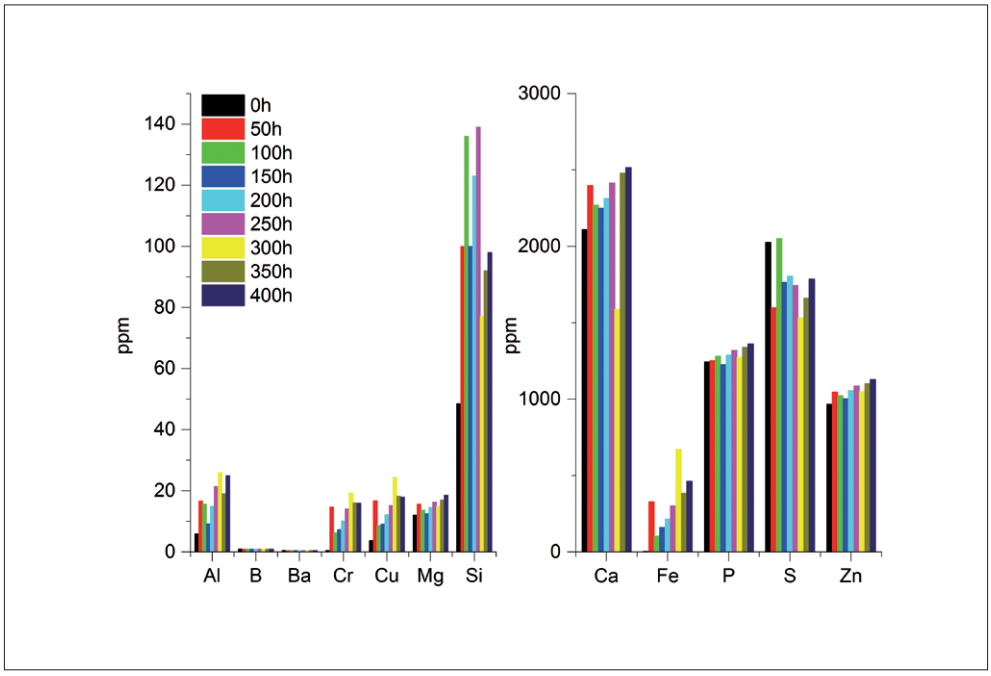


Rys. 8. Porównanie % wzrostu lepkości w stosunku do % wzrostu zawartości sadzy

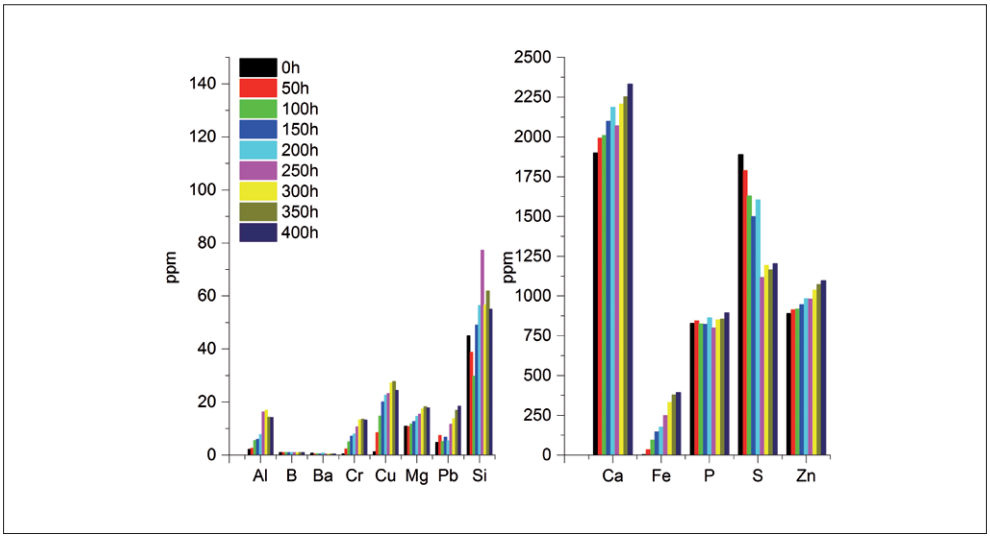
Wartość TBN dla olejów 1, 3 i 4 była większa od 3 mgKOH/g. Jedynie dla oleju 2 spadła do wartości 1,16 mgKOH/g. Z tego można wnioskować, że pakiet dodatków uszlachetniających zastosowany w oleju 2 nie zapobiegał degradacji oleju w wystarczającym stopniu. Z kolei pomimo dobrych parametrów lepkość, zawartość sadzy i TBN w oleju 1 zmieniają się w sposób nieregularny. Może to być spowodowane dolewkami oleju lub może świadczyć o pewnych nieprawidłowościach przy współpracy newralgicznych elementów silnika.

Pomiędzy olejami stwierdzono również znaczące różnice zmian stosunku zawartości sadzy do lepkości. Olej 2 wykazuje największy procentowy wzrost lepkości w stosunku do wzrostu zawartości sadzy. W tym oleju odnotowano największy przyrost zawartości sadzy. W oleju 4 natomiast zauważyć można najmniejsze zmiany lepkości pomimo, że przyrost ilości sadzy w olejach 1, 3 i 4 był na podobnym poziomie.

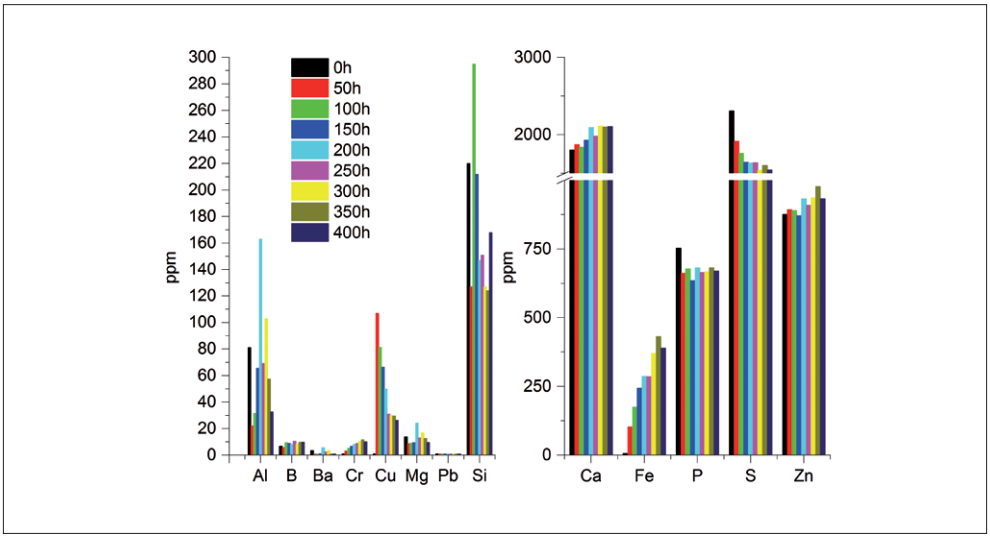
W trakcie próby monitorowano również ilości pierwiastków w oleju. Wyraźny wzrost takich pierwiastków jak Fe, Al, Cu, Si, Pb może świadczyć o nieprawidłowej współpracy smarowanych elementów.



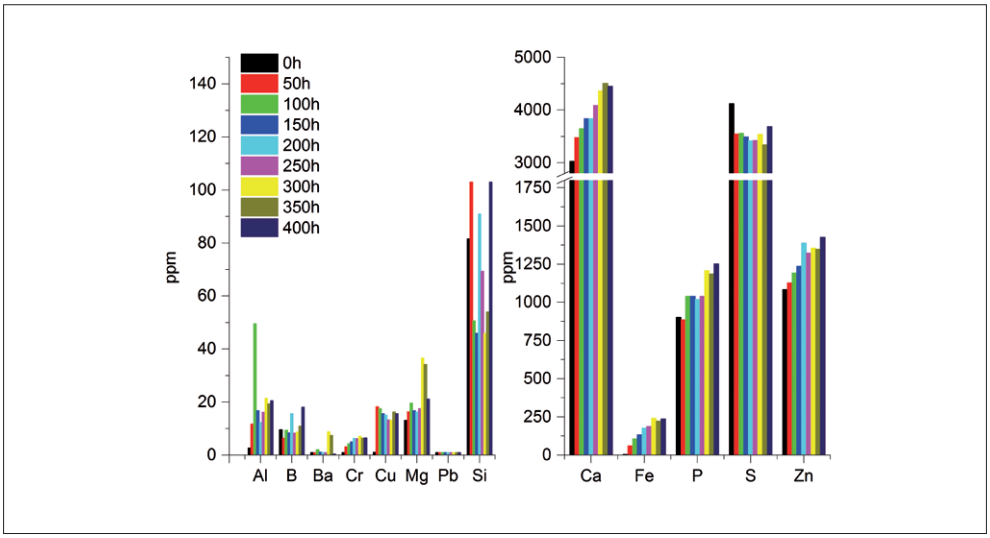
Rys. 9. Zmiany zawartości pierwiastków w oleju 1



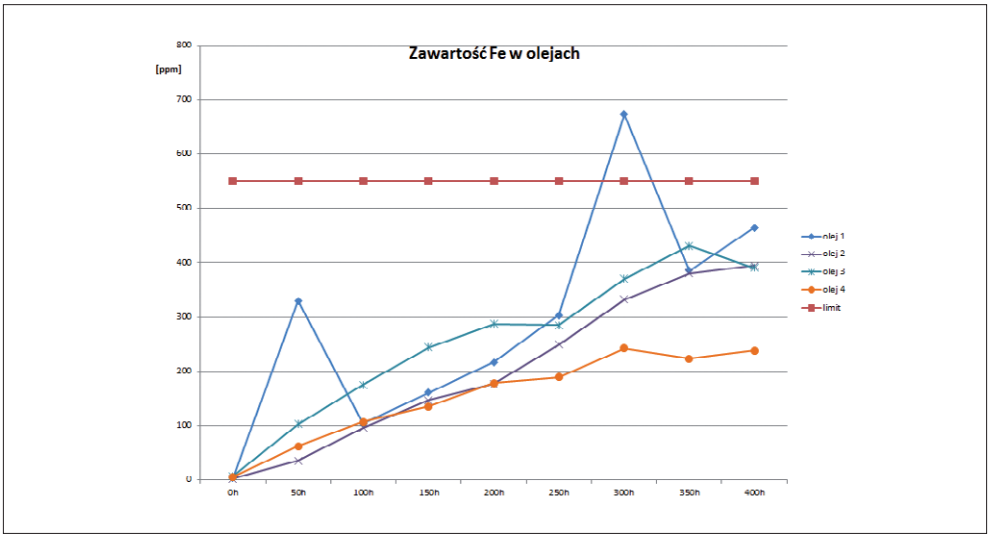
Rys. 10. Zmiany zawartości pierwiastków w oleju 2



Rys. 11. Zmiany zawartości pierwiastków w oleju 3



Rys. 12. Zmiany zawartości pierwiastków w oleju 4



Rys. 13. Zawartość Fe w olejach w trakcie próby

Przyjmując limit dla zawartości żelaza (Fe) 550 ppm stwierdzono, że jedynie w przypadku oleju 1 norma została przekroczona po około 300 godzinach pracy, co może świadczyć o nadmiernym zużyciu elementów takich jak cylindry, popychacze, wał korbowy itp. (Rys. 9). Znaczny wzrost sadzy w oleju w tym samym czasie może świadczyć o nieprawidłowej współpracy tłoków i pierścieni z tuleją cylindrową. Jednak pomiary metrologiczne po próbie nie potwierdziły jednoznacznie tego zjawiska. Analiza składu pierwiastkowego próbek oleju 1 i 2 jednoznacznie wykluczyła obecność w nich dodatków opartych na borze i barze, a dodatki zawierające wapń były obecne na poziomie zbliżonym do oleju 3 W trakcie badań stanowiskowych stwierdzono znaczące zmniejszenie stężenia siarki w olejach wskazujące na postępujące zużycie dodatków uszlachetniających. W oleju 2 stwierdzono największy przyrost ilości ołowiu pochodzącego najprawdopodobniej z półpanewek łożysk. Natomiast zawartość miedzi mogącej pochodzić również z półpanewek łożysk zwiększyła się znacznie na początku testu w oleju 3, po czym jej zawartość zmniejszała się prawdopodobnie na skutek dolewek świeżego oleju. Zmiany zawartości pozostałych pierwiastków zachodziły w podobny sposób dla wszystkich olejów. Analiza wyników wskazuje, że najlepszy z punktu widzenia eksploatacji wydaje się być olej nr 4, ponieważ przy znacznym zanieczyszczeniu oleju sadzą po 100 i 200 godzinach pracy, wzrost wartości lepkości kinematycznej był najmniejszy w stosunku do wzrostu zawartości samej sadzy. Zmiany lepkości w tym oleju przez cały czas były najmniejsze. Zmiany zawartości pierwiastków zużyciowych również świadczą o jego dobrych właściwościach użytkowych. Co jest zapewne wynikiem większej zawartości dodatków uszlachetniających, olej ten charakteryzował się największą zawartością wapnia i siarki. Wartość TBN także odnotowywuje najmniejszy spadek dla tego oleju co oznacza, że jego zdolnosc do neutralizowania zanieczyszczeń kwaśnych pogorszyła się w znacznie mniejszym stopniu niż w innych olejach. Olej nr 3 zawiera najwięcej dodatków opartych na krzemie (ok. 200 ppm w świeżym oleju) i był jedynym spośród porównywanych zawierającym również dodatki oparte na borze. Pomimo różnic w ilości poszczególnych pierwiastków w olejach pomiary metrologiczne wykonane przed i po próbie wykazały bardzo zbliżone wartości zużyć newralgicznych części silnika dla wszystkich czterech silników. W trakcie próby kontrolowano również zawartość oleju napędowego w oleju silnikowym. Zbyt duża zawartość oleju napędowego może spowodować znaczny spadek lepkości oleju silnikowego [3]. W tych badaniach zawartość oleju napędowego w oleju silnikowym była nieznaczna bliska zeru.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że testy olejów silnikowych na stanowiskach hamownianych są szybką i dobrą metodą oceniającą jakość badanego oleju. Czas trwania testu i jego przebieg powinien być dostosowany do klasy oleju i do rodzaju jego zastosowania w trakcie eksploatacji silnika. Próba 400 godzin potwierdzająca jakość danego oleju może być przeprowadzona na hamowni silnikowej w ciągu jednego miesiąca.

Podstawowymi parametrami służącymi do określenia jakości i przydatności nowego oleju do danego zastosowania są:

- Zawartość sadzy w oleju. Przyjęto wartość graniczną max. 4% jednak należy przeprowadzić dodatkowe analizy i badania w celu potwierdzenia czy można zwiększyć tę wartość do 5%.
- Wartość TBN. Przyjęto wartość graniczną min. 2,5 mgKOH/g. Należy przeprowadzić analizy czy można zmniejszyć tę wartość do 2 mgKOH/g.
- Zawartość Fe. Przyjęto wartość graniczną 550 ppm jednak na podstawie przeprowadzonych badań można zaproponować wartość 500 ppm.
- Lepkość kinematyczna. Nie powinna się zmienić o 50%. Zjawisko spadku lepkości związane jest głównie z rozrzedzaniem oleju silnikowego olejem napędowym podczas regeneracji filtra DPF oraz ze wzrostem zawartości sadzy. Jeżeli ilość oleju napędowego w oleju silnikowym jest na poziomie do 1% odnotowujemy wzrost lepkości oleju spowodowany wzrostem ilości sadzy.
- Nagły wzrost (powyżej 100 ppm) takich pierwiastków jak Al, Pb, Cu, Sn, Cr, Si może świadczyć o nieprawidłowej współpracy takich elementów silnika jak tłoki, pierścienie tłokowe, łożyska.

Przeprowadzone badania i analizy potwierdziły również starą zasadę, że korzystne są nawet niewielkie dolewki świeżego oleju w trakcie eksploatacji silnika. Dolewki te powodują, że parametry oleju wolniej podlegają degradacji.

Literatura:

[1] E. Totten ed., *Fuels and lubricants handbook: technology, properties, performance and testing*. ASTM International, 2003

[2] Urzędowska W., Stępień Z., *Wybrane zagadnienia dotyczące zmian właściwości silnikowego oleju smarowego w eksploatacji.* NAFTA-GAZ, 12/2012.

[3] Suchecki A., Nowakowski J., Górna H., *Rozcieńczanie oleju silnikowego olejem napędowym*. Środki Smarowe 2014, Muszyna.
[4] T. Mang, W Dresel, eds. *Lubricants and lubrication, 2nd Edition,* WILEY-VCH Verlag, 2007.
[5] Andrzej Mruk, *Wpływ obecności sadzy w oleju silnikowym na jego własności tribologiczne*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej z 7-M/2008.
[6] D. A Green, R Lewis, *Effect of soot on oil properties and wear of engine components,* Journal of Physics D: Applied Physics, 40, 2007
[7] D. A Green, R. Lewis, *The effects of soot-contaminated engine oil on wear and friction: a review,* Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering, 222 (9), 2008
[8] M. A Al-Ghouti, L. Al-Atoum, *Virgin and recycled engine oil differentiation: A spectroscopic study,* Journal of Environmental Management, 90 (1), 2009
[9] ASTM International, E-2412 *Standard practice for condition monitoring of used lubricants by trend analysis using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Specrometry,* 2010
[10] S. C. Tung, G. E. Totten eds., *Automotive Lubricants and Testing,* ASTM International, 2012

Wpływ biogazu rolniczego na właściwości eksploatacyjne oleju silnikowego

Influence of agricultural biogas on operating properties of engine oil

Monika Ziółkowska – Przemysłowy Instytut Motoryzacji
Anna Matuszewska – Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
Stanisław Kruczyński, Wojciech Kamela – Politechnika Warszawska, Instytut Pojazdów Wydziału Samochodów i Maszyn Roboczych

Streszczenie

W artykule przedstawiono proces starzenia oleju silnikowego handlowego przy zasilaniu biogazem rolniczym na podstawie badań rzeczywistych. Badania prowadzone były w testach eksploatacyjnych na ciągniku rolniczym CASE IH MX 135 wyposażonym w silnik o zapłonie samoczynnym z dwupaliwowym systemem zasilania przystosowanym do zasilania biogazem z pilotującą dawką oleju napędowego (ON/Biogaz). Badania prowadzone były początkowo na biogazie syntetycznym o składzie 60% CH_4 oraz 40% CO_2, a następnie na biogazie produkowanym w gospodarstwie rolniczym Poldanor S.A. w czasie 100mth. Czasookres wymiany oleju wynosił 100 mth, w trakcie którego pobierane były próbki oleju do badań zgodnie z harmonogramem.

W dalszej części artykułu przedstawiono wyniki badań właściwości fizykochemicznych oleju silnikowego w trakcie eksploatacji oraz określono wpływ biogazu na proces starzenia. Przeprowadzone badania potwierdziły wysoką jakość testowanego oleju silnikowego przeznaczonego do smarowania silników o dużych obciążeniach termicznych.

Słowa kluczowe: biogaz, olej silnikowy, eksploatacja, olej napędowy, zasilanie dwupaliwowe

Abstract

This paper described research results of influence of agriculture biogas on the deterioration process of engine oil. The field tests were conducted with the use of CASE IH MX 135 agricultural tractor. The tractor was equipped with a diesel engine with dual fuel supply system which was adapted to supply biogas and diesel fuel (ON/Biogas). Initially the studies were conducted on a model biogas composed of 60% methane and 40% carbon dioxide, and then on the biogas produced in agricultural company Poldanor S.A The time of tractor work was 100 mth. After that time the engine oil was replaced. During operating period the samples of the oil were taken for testing.

The authors presented research results of the physico-chemical properties of engine oil samples which were taken during field tests. They also determined influence of biogas on the aging process of engine oil. Conducted research confirmed high quality of tested engine oil for engines working under high thermal conditions.

Key words: biogas, engine oil, operations, diesel fuel, dual fuel supply system

1 Wprowadzenie

Biogaz jest paliwem gazowym, który powstaje w wyniku fermentacji beztlenowej związków organicznych pod wpływem mikroorganizmów. Głównymi składnikami biogazu są metan i ditlenek węgla. W zależności od rodzaju substratów, z których powstaje biogaz jego skład może się wahać w granicach:

- metan od 40 do 80%,
- ditlenek węgla od 20 do 55%,
- siarkowodór od 0,1 do 5,5%,
- w śladowych ilościach mogą wystąpić: wodór, tlenek węgla, azot i tlen [1-3].

Biogaz może powstawać samorzutnie w procesach rozkładu substancji organicznych lub można go produkować. Biogaz wykorzystywany jako paliwo może być produkowany z odpadów rolniczych (roślinnych i zwierzęcych), komunalnych i przemysłowych [4-6].

Tempo rozkładu substratów organicznych zależy przede wszystkim od rodzaju i rozdrobnienia, temperatury i czasu trwania procesu. Na przebieg procesu fermentacji korzystnie wpływa utrzymanie stałej wysokiej temperatury, wysokiej wilgotności (powyżej 50%), pH (powyżej 6,8) oraz ograniczenie dostępu powietrza [2, 7].

Badania eksploatacyjne ciągnika rolniczego CASE IH MX 135 prowadzone były w przedsiębiorstwie rolnym Poldanor S.A.. Firma posiada obecnie 14 biogazowni w całej Polsce, w których produkowany jest biogaz pochodzący z surowców i odpadów rolniczych. Do badań eksploatacyjnych, do zasilania silnika ciągnika rolniczego wykorzystywany był biogaz otrzymywany w biogazowni Pawłówko, w której głównym wsadem do produkcji biogazu była gnojowica świńska i kiszonka kukurydziana. Okresowo jako surowce dodatkowe stosowane były także produkty uboczne i półprodukty produkcji roślinnej i produkcji pasz, gliceryna oraz odpady poubojowe [8].

Ze względu na stosowanie odpadów poubojowych, konieczne było stosowanie higienizacji. Z tego powodu proces fermentacyjny prowadzony był w warunkach termofilnych w temperaturze ok 54°C. Wyprodukowany biogaz oczyszczany był z siarkowodoru metodą biologicznego utleniania H_2S do siarki elementarnej przez mikroorganizmy. Zawartość metanu w uzyskiwanym biogazie jest zmienna i wynosi od ok. 50% do ok. 62%, w zależności od stosowanych substratów.

2 Przygotowanie badań eksploatacyjnych

Do badań eksploatacyjnych wytypowany został przez Politechnikę Warszawską (PW) ciągnik rolniczy CASE IH MX 135, który charakteryzował się w czasie dotychczasowej eksploatacji bezawaryjną pracą. W pojeździe tym nie zaobserwowano również nadmiernego zużycia paliwa ani ubytków oleju silnikowego.

Ciągnik CASE IH MX 135 został zmodernizowany przez pracowników PW i przystosowany do dwupaliwowego systemu zasilania. Oprócz zmian w układzie zasilania, do nadbudówki pojazdu została przytwierdzona rama, na której zamontowano 4 butle z biogazem stanowiące tzw. magazyn gazowy. Każda z butli miała pojemność wodną 40 dm^3, co daje całkowitą pojemność magazynu gazowego równą 160 dm^3. W trakcie badań magazyn paliwa gazowego napełniano do ciśnienia 125 barów. Na Rysunku 1 oraz Rysunku 2 przedstawiono widok ogólny ciągnika oraz magazyn sprężonego gazu.

Na podstawie przeprowadzonych w PW badań hamownianych został opracowany algorytm dawkowania biogazu do silnika, w zależności od warunków jego pracy, a następnie na tej podstawie zaprogramowano układ elektroniczny, sterujący czasem otwarcia wtryskiwaczy gazowych, w zależności od prędkości obrotowej i obciążenia silnika. Przy dużych obciążeniach ciągnik zasilany jest głównie paliwem ciekłym (ON), natomiast przy obciążeniach niższych mieszanką paliwa ciekłego i biogazu. Maksymalna dawka dozowa-

nego biogazu wynosiła 30% w stosunku do paliwa ciekłego. Wprowadzenie większej ilości biogazu nie było możliwe bez dodatkowych zmian konstrukcyjnych silnika ze względu na występowanie zjawiska spalania stukowego.

Rys.1. Widok ogólny ciągnika Case IH MX 135

Rys. 2. Widok zbiorników biogazu zainstalowanych na dachu ciągnika Case IH

Podczas badań eksploatacyjnych ciągnik rolniczy zasilany był biogazem o składzie podanym w tabeli 1 oraz handlowym olejem napędowym zawierający do 7% estrów metylowych kwasów tłuszczowych.

Tabela 1: Skład biogazu produkowanego w biogazowni Pawłówko

Lp.	Składnik	Zawartość w % (V/V)
1.	Metan (CH_4)	51,0
2	Ditlenek węgla (CO_2)	47,9
3.	Tlen (O_2)	1,1
4.	Siarkowodór (H_2S)	0,0

Silnik ciągnika rolniczego CASE IH MX 135 smarowany był olejem silnikowym, przeznaczonym do silników z zapłonem samoczynnym, o podwyższonej odporności na utlenianie ze względu na specyfikę spalania paliwa gazowego. Paliwa gazowe powodują wzrost temperatury w komorze spalania, co przyczynia się do szybszej termoksydacji oleju silnikowego. Dlatego oleje stosowane do silników gazowych powinny być odporne na działanie wysokich temperatur.

Do badań eksploatacyjnych wybrano handlowy olej silnikowy w klasie lepkości SAE 15W/40 i klasie jakości API CI-4, który opracowany został na bazie mineralnych i syntetycznych olejów bazowych wzbogaconych odpowiednio dobranym zestawem dodatków uszlachetniających. Powyższy olej przeznaczony jest do smarowania wysokoobrotowych, czterosuwowych silników wysokoprężnych. Szczególnie zalecany do silników gazowych i silników z recyrkulacją gazów spalinowych. Według producenta olej zapewnia doskonałe smarowanie w każdych warunkach eksploatacyjnych, charakteryzuje się podwyższoną odpornością na powstawanie tzw. czarnych szlamów (tworzenie się tego typu szlamów jest typowe dla silników gazowych) oraz zapewnia idealną czystość współpracujących elementów.

3 Wykonanie badań eksploatacyjnych

Przed rozpoczęciem badań eksploatacyjnych w ciągniku rolniczym wymieniono olej silnikowy, przepłukano i wymyto resztki dotychczasowego oleju znajdującego się w układzie smarowania oraz wymieniono filtry: oleju, paliwa i powietrza.

W trakcie badań próbki oleju silnikowego pobierane były zgodnie z opracowaną procedurą poboru. Próbki oleju silnikowego w czasie eksploatacji, pobierane były co 40 mth, aż do wymiany oleju (czyli do 100 mth). Pierwsza próbka, tak zwana „zerowa", została pobrana po wymianie oleju i pracy silnika przez 10 minut na biegu jałowym, kolejne po 40 mth, 80 mth i po 100 mth.

Właściwości eksploatacyjne oleju silnikowego zostały ocenione na podstawie analizy parametrów pracy silnika, zachodzących zmian właściwości fizykochemicznych oleju w czasie eksploatacji, oceny stopnia zanieczyszczenia silnika przez osady, laki i nagary, jak również zużycia elementów silnika.

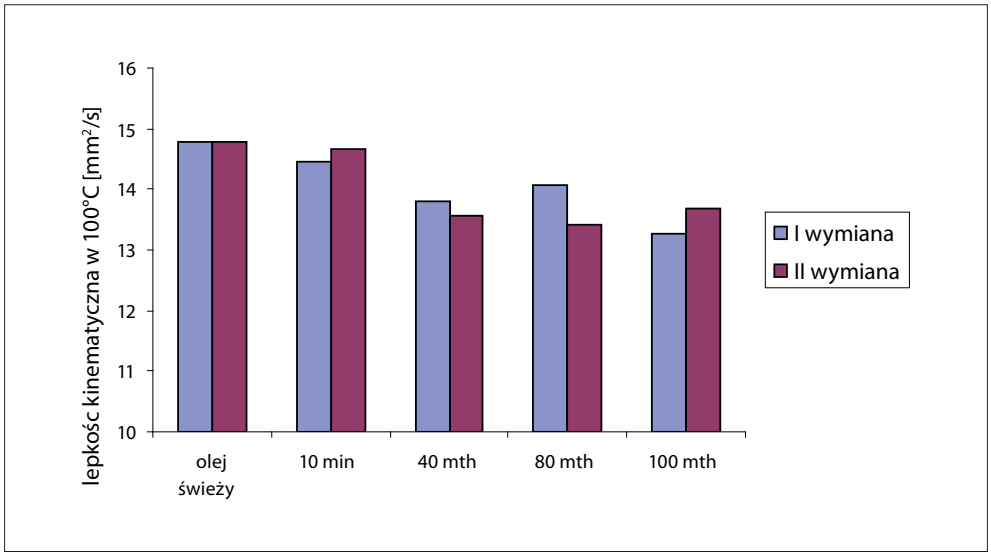
Zmiany właściwości fizykochemicznych oleju zostały ocenione na podstawie badań laboratoryjnych próbek olejów, w których oznaczono następujące parametry:

- lepkość kinematyczną w temperaturze 40°C i 100°C;
- liczbę zasadową;
- popiół siarczanowy;
- pozostałość po koksowaniu;
- osady całkowite;
- temperaturę zapłonu w tyglu zamkniętym;
- zawartość paliwa;
- zawartość pierwiastków metalicznych pochodzących z elementów konstrukcji silnika.

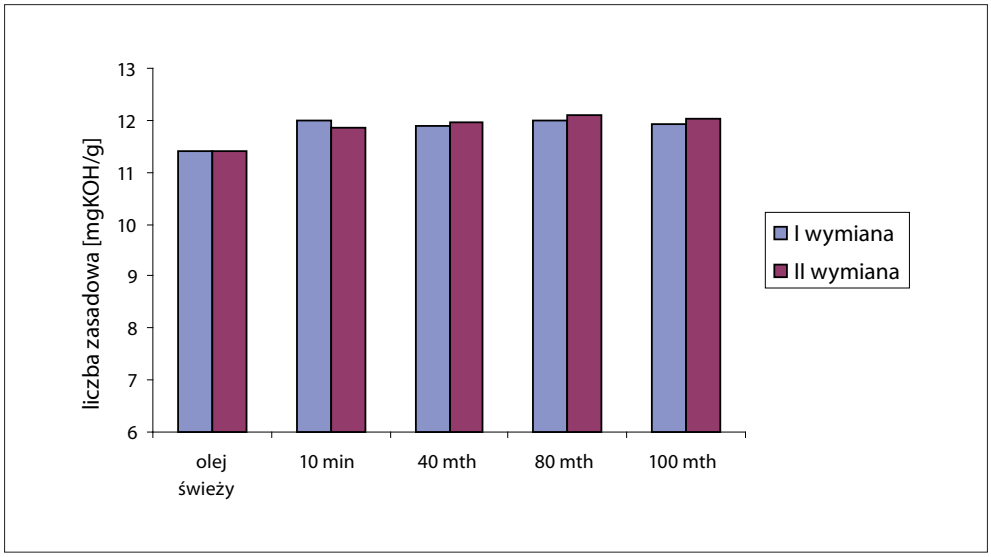
3.1 Wyniki badań eksploatacyjnych oleju silnikowego

Pierwsza seria testów trakcyjnych i pobór próbek początkowo prowadzone były na terenie Politechniki Warszawskiej, a następnie kontynuowane w przedsiębiorstwie Poldanor S.A., natomiast druga seria testów i pobory próbek prowadzona była wyłącznie w przedsiębiorstwie Poldanor S.A.

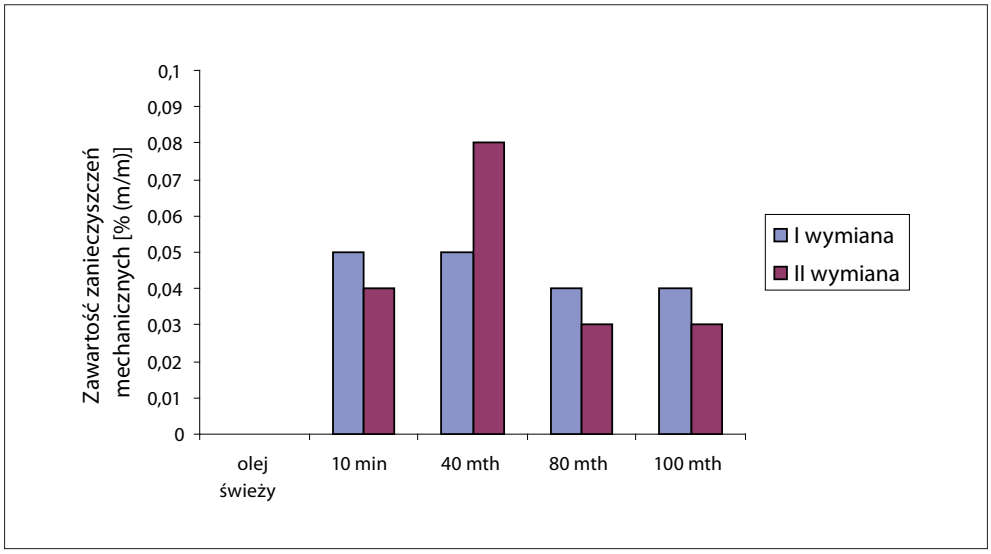
Uzyskane wartości wybranych parametrów fizykochemicznych dla I i II wymiany oleju silnikowego, pobranego podczas badań eksploatacyjnych przy zasilaniu silnika ciągnika rolniczego dwupaliwowo ON/Biogaz przedstawiono na Rysunkach 3-10.



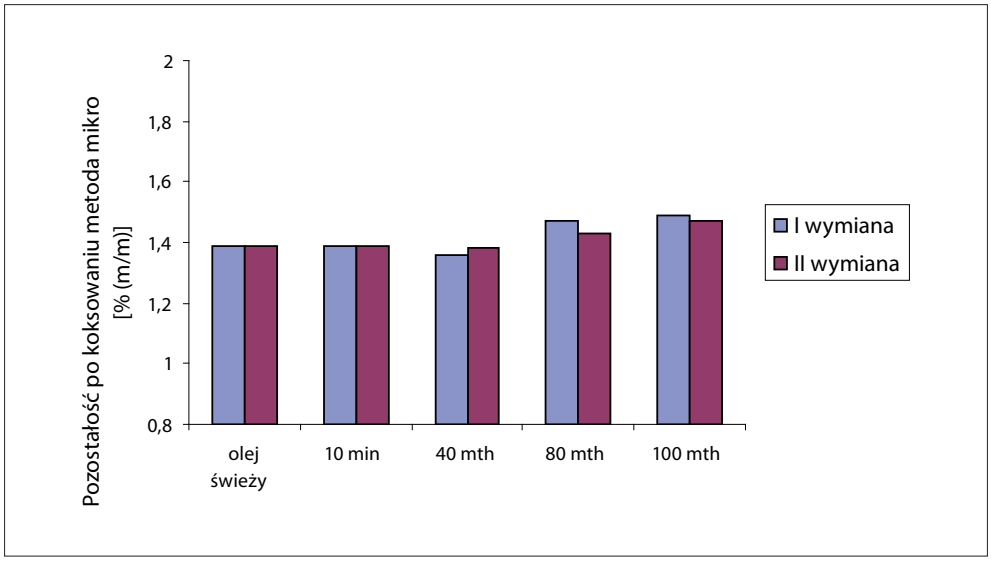
Rys.3. Zmiana lepkości kinematycznej w temperaturze 100°C dla I i II wymiany oleju



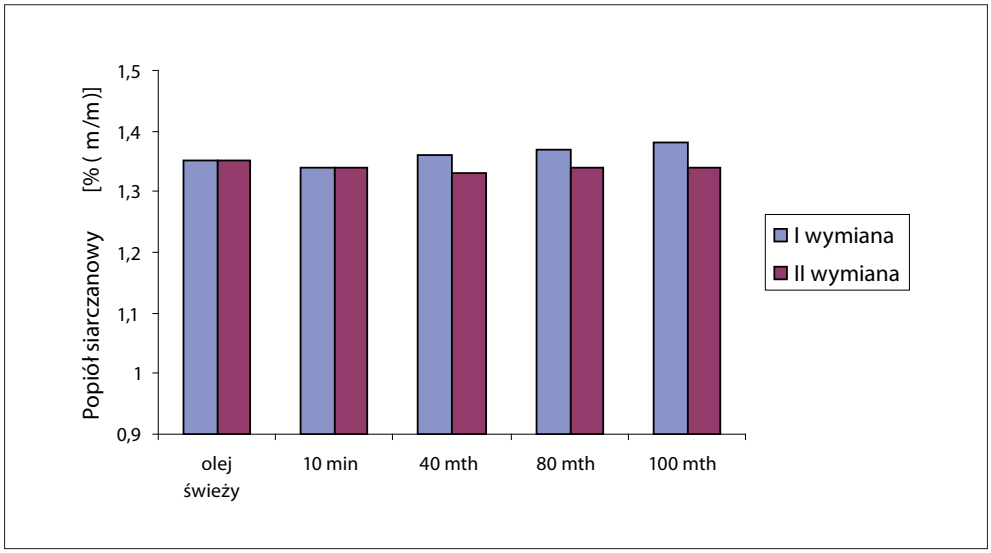
Rys.4. Zmiana liczby zasadowej dla I i II wymiany oleju



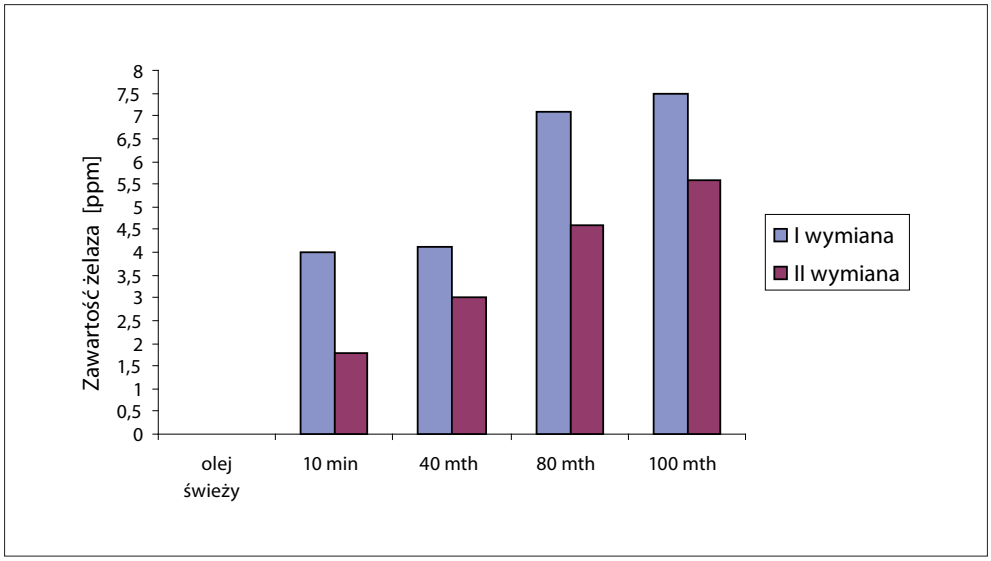
Rys. 5. Zawartość zanieczyszczeń mechanicznych – osadów całkowitych dla I i II wymiany oleju



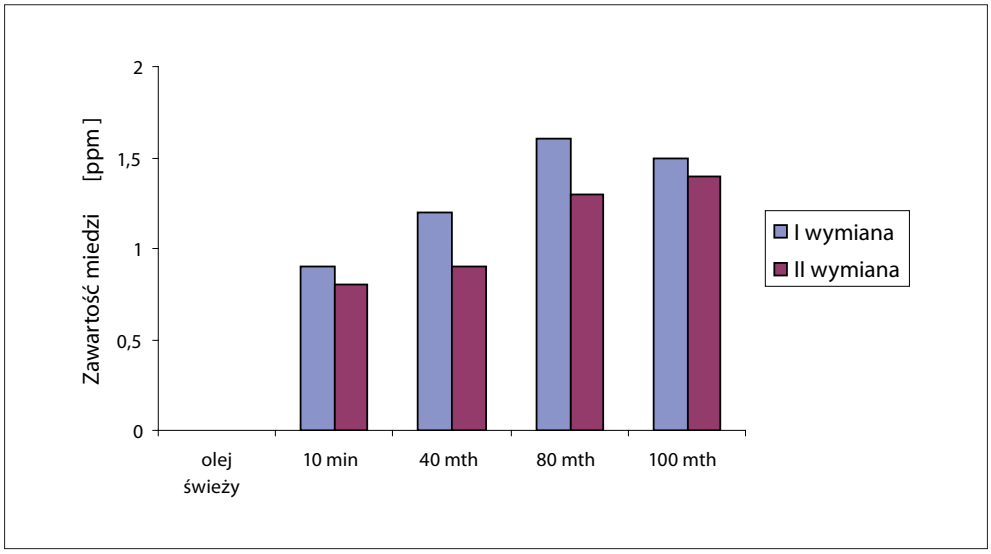
Rys. 6. Pozostałość po koksowaniu metoda mikro dla I i II wymiany oleju



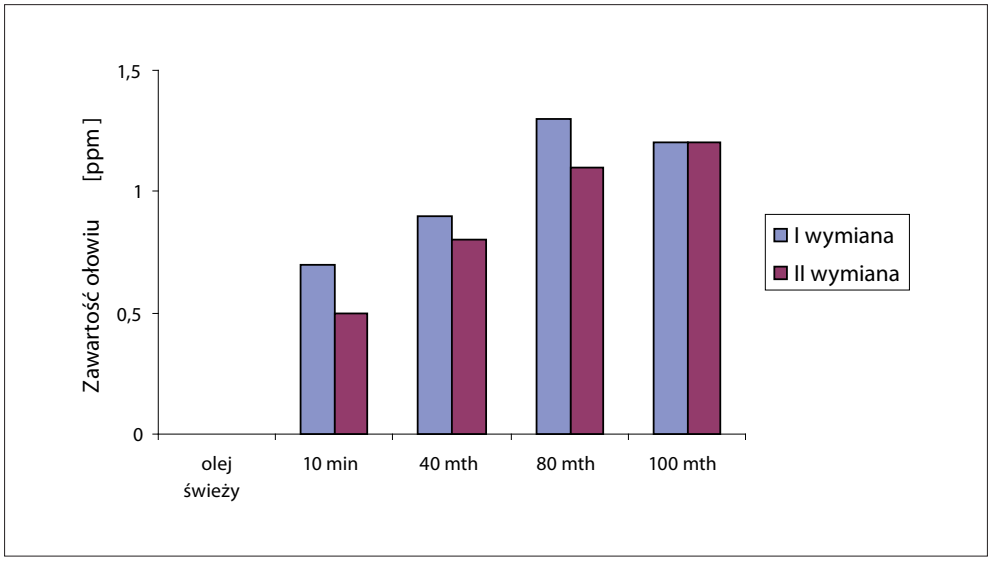
Rys. 7. Popiół siarczanowy dla I i II wymiany oleju



Rys. 8. Zawartość żelaza dla I i II wymiany oleju



Rys. 9. Zawartość miedzi dla I i II wymiany oleju



Rys. 10. Zawartość ołowiu dla I i II wymiany oleju

3.2 Omówienie wyników badań eksploatacyjnych oleju silnikowego

Pomimo dwupaliwowego systemu zasilania ON/Biogaz w ciągniku rolniczym CASE IH MX 135 nie zaobserwowano nadmiernego zużycia ani ON ani biogazu. W trakcie badań nie zaobserwowano również żadnych ubytków oleju silnikowego.

Podczas eksploatacji ciągnika nie wystąpiły też kłopoty z jego uruchamianiem. Pomimo modernizacji ciągnika polegającej m.in. na zamontowaniu instalacji doprowadzania i dozowania biogazu do układu paliwowego, wszystkie parametry eksploatacyjne ciągnika, takie jak: zadymienie w trakcie rozruchu, nagrzewanie silnika, poziom hałasu przy zasilaniu dwupaliwowym ON/Biogaz były na poziomie, jaki występował podczas zasilania jednopaliwowego – olejem napędowym.

Uzyskane wyniki badań właściwości fizykochemicznych oleju silnikowego w trakcie eksploatacji odniesiono do próbki zerowej, która była pobrana po wymianie oleju i pracy silnika na biegu jałowym przez 10 minut. Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono, że:

- nie wystąpiły gwałtowne zmiany lepkości kinematycznej; obserwowane spadki lepkości miały charakter łagodny, zarówno dla I, jak i dla II wymiany oleju;
- liczba zasadowa praktycznie nie uległa zmianie (co świadczy o małym przebiegu ciągnika) i była adekwatna do ilości przejechanych motogodzin, zarówno dla I, jak i dla II wymiany oleju;
- zawartość osadów całkowitych dla wszystkich próbek badawczych pozostawała na bardzo niskim poziomie i wraz z ilością przejechanych motogodzin praktycznie nie ulegała zmianie zarówno dla I jak i dla II wymiany oleju. Wyjątek stanowi próbka oleju pobrana po 40 mth w II wymianie, której zawartość osadów całkowitych była wyższa niż w przypadku pozostałych próbek. Przyczyną zaistniałej sytuacji była prawdopodobnie niewłaściwie pobrana próbka;
- uzyskane wartości pozostałości po koksowaniu praktycznie nie uległy zmianie, wartości były podobne, co wskazuje, że proces starzenia oleju zachodzi bardzo powoli;
- popiół siarczanowy w próbkach oleju z I i II wymiany praktycznie nie uległ żadnym zmianom z upływem czasu pracy ciągnika i pozostawał na poziomie analogicznym, jak dla oleju świeżego;

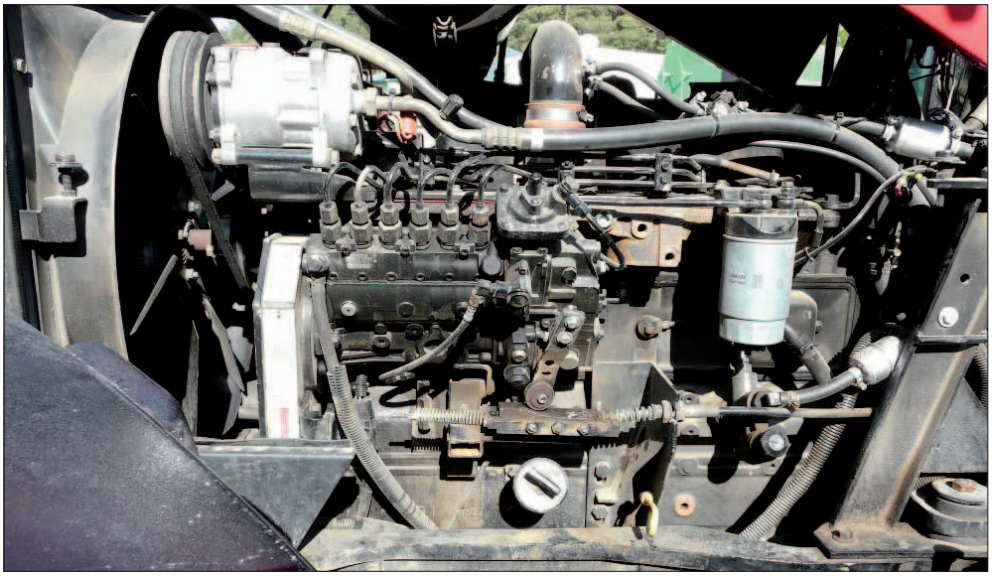
- w trakcie eksploatacji nie stwierdzono gwałtownych przyrostów zawartości pierwiastków metalicznych, pochodzących z elementów konstrukcji silnika (żelazo, ołów, miedź). Wystąpiły jednak różnice w wartościach tych pierwiastków między wymianami oleju. Dla obu wymian zawartość żelaza, miedzi i ołowiu stopniowo wzrastała wraz z ilością przejechanych motogodzin; jednak dla II wymiany oleju ten wzrost był łagodniejszy niż dla I wymiany. Różnice w wartościach mogą wynikać z faktu, że dla I wymiany oleju badania eksploatacyjne prowadzone były początkowo na Politechnice Warszawskiej, a następnie kontynuowane w firmie Poldanor S.A (w trakcie I wymiany ciągnik pracował w zmiennych warunkach rzeczywistych i zasilany był paliwem ON/Biogaz o różnym składzie biogazu). Natomiast dla II wymiany oleju ciągnik pracował w takich samych warunkach w firmie Poldanor S.A., zaś silnik zasilany był paliwem ON/Biogaz o stałej zawartości biogazu. Łagodne przyrosty zawartości pierwiastków Fe, Cu, Pb świadczą o prawidłowym przebiegu procesu smarowania, czyli o dobrych właściwościach smarowych oleju.

Po zakończeniu badań eksploatacyjnych, po zdjęciu pokrywy zaworowej, dokonano wizualnej oceny stanu silnika ciągnika rolniczego CASE IH MX 135 W jej wyniku stwierdzono, że na silniku zarówno po I wymianie oleju (Rysunek 11), jak i po II wymianie (Rysunek 12):

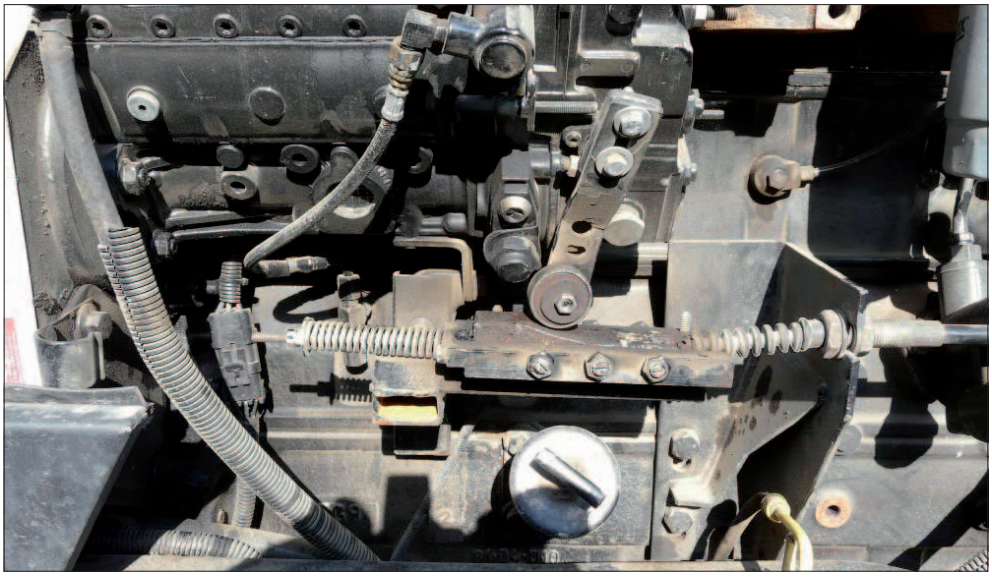
- nie zaobserwowano widocznych śladów zużycia na elementach układu zaworów, krzywek i popychaczy,
- wnętrza pokryw zaworów były czyste,
- nie zaobserwowano widocznych osadów na elementach układu zaworów, krzywek i popychaczy,
- na filtrach paliwa i oleju nie stwierdzono żadnych osadów i zanieczyszczeń (Rysunek 13 i 14).

4 Wnioski

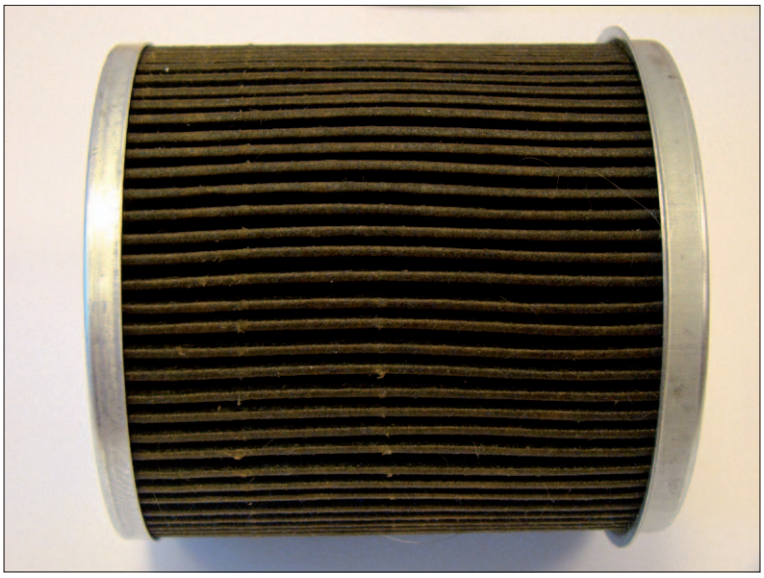
Na podstawie otrzymanych wyników badań w warunkach eksploatacji ciągnika rolniczego CASE IH MX 135 zasilanego dwupaliwowo ON/Biogaz można stwierdzić, że:



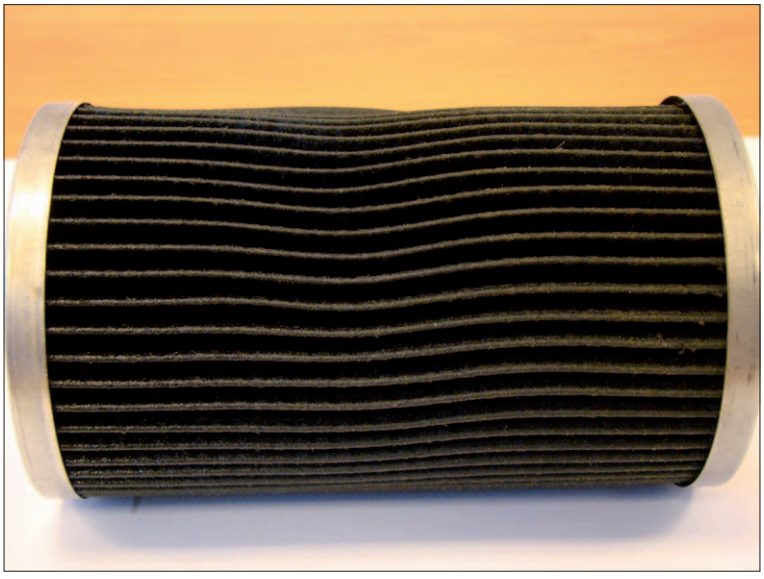
Rys. 11. Widok silnika po I wymianie



Rys. 12. Widok silnika po II wymianie



Rys. 13. Filtr paliwa po badaniach eksploatacyjnych



Rys. 14. Filtr oleju po badaniach eksploatacyjnych

- oceniane parametry badanego oleju w czasie eksploatacji w ciągniku rolniczym zasilanym paliwem ON/Biogaz uległy niewielkim zmianom i były adekwatne do ilości przejechanych motogodzin;
- w czasie badań przy zasilaniu ON/Biogaz olej silnikowy SAE 15W/40 charakteryzował się dobrą stabilnością termo-oksydacyjną, co stwierdzono na podstawie niewielkich zmian parametrów: lepkości kinematycznej, pozostałości po koksowaniu, osadów całkowitych i liczby zasadowej;
- w/w olej silnikowy podczas smarowania silnika ciągnika rolniczego zasilanego paliwem ON/Biogaz charakteryzował się dobrymi właściwościami przeciwutleniającymi, myjąco-dyspergującymi i przeciwzużyciowymi;
- badany olej silnikowy przy zasilaniu paliwem ON/Biogaz zapewnił zachowanie czystości elementów silnika na wysokim poziomie (niewielka ilość osadów całkowitych oraz brak widocznych osadów i zanieczyszczeń na filtrze olejowym);
- uzyskane wyniki badań oleju silnikowego przy zasilaniu paliwem ON/Biogaz wskazują na jego dalszą przydatność do eksploatacji;
- paliwo ON/Biogaz nie wpłynęło negatywnie na procesy starzenia oleju silnikowego; zmiany we właściwościach fizykochemicznych były podobne jak w przypadku zasilania samym ON w zbliżonych warunkach eksploatacji i podobnym przebiegu.

Biorąc pod uwagę powyższe wnioski można stwierdzić, że olej silnikowy SAE 15W/40 API CI-4 może być stosowany do smarowania silników wysokoprężnych zasilanych dwupaliwowo, w którym jednym z paliw jest biogaz otrzymywany m.in. z surowców rolniczych, produktów ubocznych i odpadów poubojowych.

Literatura

[1] Ryckebosch E., Drouillon M., Vervaeren H.: Techniques for transformation of biogas to biomethane, *Biomass and Bioenergy*, 2011, 35(5), 1633–1645.
[2] Deublein D., Steinhauser A.: Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, 2008.
[3] Myinta M., Nirmalakhandanb N., Speece R.E.: Anaerobic fermentation of cattle manure: modeling of hydrolysis and acidogenesis, *Water Research*, 2007, 41, (2), 323–332.

[4] Oniszek-Popławska A., Zowsik M., Wiśniewski G.: Produkcja i wykorzystanie biogazu rolniczego. EC BREC/IBMER, Gdańsk – Warszawa 2003.
[5] Olsson L., Fallde M.: Waste(d) potential: a socio-technical analysis of biogas production and use in Sweden. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 98, 107-115.
[6] Bernat K. i in.: Biogas production from different size fractions separated from solid waste and the accompanying changes in the community structure of methanogenic Archaea. *Biochemical Engineering Journal,* 2015, 100, 30–40.
[7] Chen Y., Cheng J. J., Creamer K. S.: Inhibition of anaerobic digestion process: A review; Bioresource Technology, July 2008, 99(10), 4044–4064.
[8] http://www.poldanor.com.pl/pl/produkcja-energii-z-biogazu/biogazownia-pawowko

Zmiany właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji – analizy FTIR

Changes in functional properties of engine oils during exploitation – FTIR

Artur Wolak – Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Wydział Towaroznawstwa, Katedra Towaroznawstwa Przemysłowego,
Piotr Janocha – Orlen laboratorium w Jedliczu

Streszczenie

Artykuł zawiera analizę właściwości użytkowych olejów silnikowych w warunkach eksploatacji w oparciu o zmianę liczb oksydacji, nitracji i sulfonowania. Wyniki uzyskane tradycyjną, akredytowaną metodą, porównano z wynikami uzyskanymi z pomocą nowoczesnej aparatury (Fluidscan), która poziomy utleniania, nitracji i sulfonowania, umożliwia określić w czasie kilkudziesięciu sekund. W warunkach eksploatacyjnych analizie poddano trzy oleje silnikowe zakodowane jako: CE, MS oraz PE. Porównanie wybranych olejów obejmowało cały zakres eksploatacji, to znaczy od momentu zalania olejem silnika do momentu wymiany oleju [przebieg 11 300 km (δ=2580km)].

Słowa klucze: olej silnikowy, środki smarowe, FTIR, FulidScan, eksploatacja

Abstract

The article presents the analysis of functional properties of engine oils during operation based on degree of oxidation, degree of nitration and degree of sulfonation. The results obtained with the application of the traditional, accredited research method have been compared with the results of the study conducted with the use of a modern tool (FluidScan) which allows to determine the degrees of oxidation, nitration and sulfonation value in less than a minute. Three types of engine oils have been analyzed and each of them

was given a separate letter code: CE, MS and PE. The oils have been compared during the entire exploitation process from the first application until the oil change [mileage: 11 300 km (δ=2580km)].

Keywords: engine oil, lubricants, FTIR, FluidScan, exploitation

1 Wprowadzenie

Zgodnie z aktualnym stanem wiedzy, jakość oleju silnikowego może być określona za pomocą szeregu testów, które obejmują laboratoryjną ocenę właściwości fizykochemicznych, jak również ocenę właściwości po długotrwałych i kosztownych badaniach eksploatacyjnych [2, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 25, 30, 32]. Znajomość i zrozumienie cech charakterystycznych dla olejów silnikowych oraz opracowanie skutecznych metod ich analizy umożliwia stworzenie systemów monitorowania jakości prowadzonych w cyklu długości życia silnika. W Urzędowska oraz Z Stępień w swoich opracowaniach również zaznaczają, że dla zagwarantowania bezpiecznej i niezawodnej eksploatacji silnika konieczne jest prowadzenie monitorowania wielokierunkowych zmian właściwości silnikowego oleju smarowego podczas jego użytkowania, do czego niezbędne są odpowiednie procedury i normy [28, 29, 30]. Typując właściwości fizykochemiczne oleju silnikowego, których monitorowanie ma stanowić kryterium oceny jego stopnia degradacji, wzięto pod uwagę następujące procesy zachodzące podczas eksploatacji [3, 5, 14]:

1) reakcje oksydacji węglowodorów związanych wysokotemperaturowym oddziaływaniem tlenu obecnego w komorze spalania,
2) reakcję nitracji, przez którą należy rozumieć reakcje zachodzące podczas kontaktu składników olejów smarowych, głównie węglowodorów, z tlenkami azotu, powstałymi w warunkach pracy silnika, prowadzące do powstawania azotanów organicznych,
3) reakcję sulfonowania, przez którą należy rozumieć reakcje oleju z tlenkami siarki.

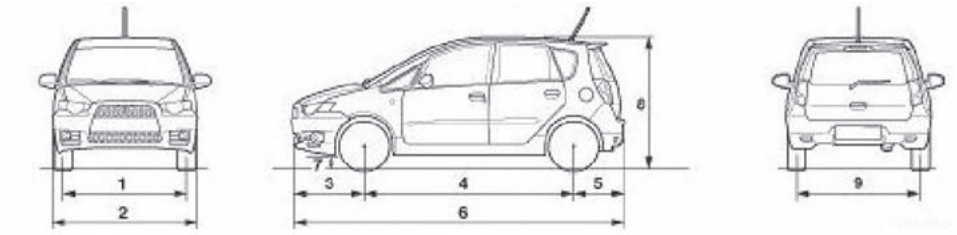
Do analizy zmian właściwości fizykochemicznych silnikowego oleju smarowego wykorzystano metody spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera. Wyniki otrzymano dzięki dwóm różnym przyrządom:

a) spektrometr FTIR, którym zarejestrowano widma IR w Zakładzie Analiz Instrumentalnych Instytutu Nafty i Gazu – Państwowego Instytutu Badawczego w Krakowie,
b) przenośny spektrometr w podczerwieni (Aparat FluidScan).

2 Charakterystyka materiału badawczego

Do badań przyjęto smarowe oleje silnikowe spełniające wewnętrzne specyfikacje firmy Mitsubishi, będącej wytwórcą silnika stosowanego do prowadzonych badań. Materiał doświadczalny stanowiły oleje silnikowe, zakodowane jako CE, MS oraz PE. Oceniono jakość olejów eksploatowanych w identycznych samochodach i przez ten sam okres czasu. Samochody, które zostały wykorzystane do badań stanowią jednolitą pod względem zarówno marki jak i typu oraz warunków eksploatacji flotę Małopolskiego Ośrodku Ruchu Drogowego. Łączenie 9 pojazdów egzaminacyjnych o pojemności skokowej 1332 cm^3 z silnikami benzynowymi, eksploatowanymi na tej samej partii paliwa. Na rys.1 przedstawiono widok ogólny floty MORD-u oraz dokładną specyfikację wybranego modelu. Wszystkie wytypowane samochody służyły kursantom w celach egzaminacyjnych do przeprowadzania egzaminów na prawo jazdy. Każdy z olejów został zaaplikowany do trzech samochodów. Na starcie zbadano próbkę oleju świeżego, a następnie co kwartał przez okres jednego roku. Łącznie po pierwszym, drugim, trzecim oraz czwartym kwartale zostało pobranych po 9 próbek badanych olejów. Sumarycznie pobrano po 4 kwartałach 36 próbek.

Rys. 1, cz. I. Widok ogólny samochodów Mitsubishi Colt Z30 wytypowanych do badań eksploatacyjnych olejów silnikowych oraz ich specyfikacja. Źródło: opracowanie własne, na podstawie mord.pl oraz P.U.H.Auto-Complex Zdzisław Czerwiński



Element			Z30
			XNLHL6/XNLHR6
Wymiary pojazdu [mm]	Rozstaw kół - przód	1	1,460
	Szerokość pojazdu	2	1,695
	Zwis przedni	3	845
	Rozstaw osi	4	2,500
	Zwis tylny	5	595
	Długość pojazdu	6	3,940
	Prześwit pod pojazdem (bez ładunku)	7	154
	Wysokość pojazdu (bez ładunku)	8	1,550
	Rozstaw kół - tył	9	1,445
Waga pojazdu [kg]	Masa własna pojazdu	Bez dodatkowego wyposażenia	970
		Z dodatkowym wyposażeniem	1,038
	Maksymalna masa brutto pojazdu		1,460
	Maksymalny nacisk na oś (przód)		745
	Maksmalny nacisk na oś (tył)		745
	Możliwość holowania	Przyczepka z hamulcem	1000
		Przyczepka bez hamulca	500
	Maksymalna masa przedniej przyczepy		50
Liczba miejsc			5
Silnik	Kod modelu		4A90
	Typ		DOHC MIVEC
	Objętość skokowa cylindra [ml]		1,332
	Moc maksymalna [kW/rpm]]		80/6,000
	Maksymalny moment obrotowy [N-m/rpm]		145/4,000
Zasilanie paliwem	System zasilania paliwem		MPI
Skrzynia biegów	Kod modelu		F5MGA
	Typ		5-cio biegowa, ręczna
Promień zawracania [m]	Nadwozie		5.4
	Koło		5.1

Rys. 1. Widok ogólny samochodów Mitsubishi Colt Z30 wytypowanych do badań eksploatacyjnych olejów silnikowych oraz ich specyfikacja. Źródło: opracowanie własne, na podstawie mord.pl oraz P.U.H.Auto-Complex Zdzisław Czerwiński

W tabeli nr 1, zostały zestawione wyselekcjonowane do badań oleje klasy SAE 5W/30 wraz z podanymi przez producenta wymaganiami klasyfikacji API, ACEA oraz producentów silników.

Tabela 1 Klasyfikacje jakościowe oraz lepkościowe wybranych do badań olejów silnikowych

OLEJ	SAE	ACEA	API	Klasyfikacja według producentów silników
CE	5w-30	A3, C3	SH	VW 504 00; BMW Longlife-04; MB-Approval; 229.31/ 229.51; Porsche C30
MS	5w-30	C3	SM/SL	General Motors Service Fill dexos2TM (license number GB1A0914015); BMW Longlife 04; Dopuszczenie MB 229.31/229.51; Volkswagen (benzyna) 502 00 / 505 00
PE	5w-30	C2	-	JASO – DL-1

Źródło: opracowanie własne

Z dodatkowych informacji podawanych przez producentów wynika, że:

1) Olej CE spełnia wymagania VW, BMW, Audi, Mini, Smart, Seat, Mitsubishi, Honda, Skoda, Subaru, Mercedes-Benz;
2) Olej MS spełnia najnowsze specyfikacje dla olejów silnikowych określone przez głównych producentów samochodów i jest kompatybilny z większością nowoczesnych filtrów zanieczyszczeń dla silników Diesla oraz wszystkich konwerterów katalitycznych dla silników benzynowych. Oferuje doskonałe parametry zarówno przy bardzo wysokiej jak i bardzo niskiej temperaturze roboczej oraz przedłuża zabezpieczenie silnika przed zużyciem, powstawaniem osadów i szlamu. Olej MS jest szczególnie zalecany do użytku w pojazdach marki Mercedes-Benz

(dla których wymagane jest dopuszczenie MB 229.31 lub 229.51), w pojazdach marki BMW (w których wymagany jest olej Longlife Oil 04) jak również w pojazdach marki Volkswagen (dla których wymagane jest dopuszczenie VW 502 00 / 505 00). Olej MS posiada dopuszczenie General Motors Service Fill dexos2 TM, które jest wymagane dla wszystkich nowych modeli 2010 GM/Opel/Vauxhall/Chevrolet z silnikami Diesla oraz benzynowymi. Producenci GM/Opel zalecają stosowanie specyfikacji dexos2TM jako kompatybilnej ze starszymi specyfikacjami GM/Opel (GM-LL-A-025 oraz GM-B-LL-025). Oleje spełniające wymogi dexos2TM mogą być stosowane w większości pojazdów GM/Opel/Vauxhall/Chevrolet z silnikami na paliwo Diesla jak i na benzynę.

3) Olej PE to produkt stworzony specjalnie z myślą o samochodach marek japońskich. Jest to olej rekomendowany do silników, o zapłonie iskrowym i samoczynnym z turbodoładowaniem lub bez, takich samochodów jak: Mazda, Toyota, Suzuki, Nissan oraz Mitsubishi. Świetnie sprawdza się zarówno w ruchu miejskim, jak i na trasach szybkiego ruchu. Olej jest kompatybilny z urządzeniami obróbki spalin takimi jak: DPF i TWC. Olej PE gwarantuje niezawodną pracę silnika zarówno latem jak i zimą. Jest rekomendowany do pojazdów spełniających normy emisji spalin Euro 5.

Przy analizie zmian właściwości olejów silnikowych, należy uwzględnić, że warunki eksploatacyjne pojazdów były „trudne". Przez to pojęcie rozumie się rzeczywiste warunki pracy pojazdów, na które składały się:

- eksploatacja samochodu wymagająca dużego, zmiennego obciążenia silnika (naprzemienne, gwałtowne przegrzewanie i chłodzenie silnika),
- przedłużona praca silnika na biegu jałowym (jazda i przestoje samochodu w korkach ulicznych),
- jazda samochodem na krótkich odcinkach (wielokrotne rozgrzewanie i chłodzenie silnika),
- częste uruchamianie silnika w niskich temperaturach,
- jazda w korkach ulicznych (warunki jazdy określane jako „jazda – stop").

W tabeli 2 zaprezentowano szczegóły związane z liczbą przejechanych kilometrów przez każdy wytypowany samochód.

Tabela 2 Liczba przejechanych kilometrów

Kod próbki	Przebieg samochodu – start eksperymentu [km]	Przebieg po I-ym kwartale [km]	Liczba przejechanych kilometrów [km]	Przebieg po II-im. kwartale [km]	Liczba przejechanych kilometrów [km]	Przebieg po III-im. kwartale [km]	Liczba przejechanych kilometrów [km]	Przebieg po IV-ym kwartale [km]	Liczba przejechanych kilometrów [km]
CE 17760	12858	17259	4401	20789	7931	24216	11358	26078	13220
CE 17977	6033	9006	2973	11673	5640	14829	8796	16008	9975
CE 18716	9477	12557	3080	15837	6360	19486	10009	21646	12169
MS 18011	13486	15691	2205	18685	5199	20751	7265	22491	9005
MS 18128	14571	16379	1808	19789	5218	23344	8773	25374	10803
MS 18793	6223	7041	818	7343	1120	9463	3240	12323	6100
PE 17939	12370	16550	4180	21176	8806	24360	11990	25436	13066
PE 18024	11694	15452	3758	17575	5881	21897	10203	23442	11748
PE18689	13290	17234	3944	22039	8749	27264	13974	28821	15531

Źródło: opracowanie własne

3 Metodyka badań

W ostatnich latach opracowuje się i wykorzystuje coraz więcej procedur monitorowania zmian właściwości silnikowego oleju smarowego w eksploatacji [2, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 30, 31, 32]. Dzieje się tak, aby zapewnić wymagane właściwości użytkowo-eksploatacyjne oleju smarowego poprzez weryfikację interwałów jego wymian w zależności od warunków eksploatacji, ściśle związanych z ilościowymi i jakościowymi procesami degradacji oleju smarowego.

Podejmując zaprezentowaną tematykę, skoncentrowano się na ocenie zmian właściwości fizykochemicznych, silnikowego oleju smarowego, przy wykorzystaniu metody spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera do analizy: stopnia utleniania oleju, produktów nitrowania oraz sulfonowania [8, 9, 11, 12, 16, 23].

Spektrometria w podczerwieni służy do oceny jakości lub zmian jakości oleju przez analizę widma oleju w świetle podczerwieni [4]. Spektroskopia IR należy do grupy metod analizy instrumentalnej i jest oparta na badaniach widm elektronowych związków chemicznych, zawierających w cząsteczce określone wiązania chemiczne [1, 6, 27, 33]. Jest również metodą stosowaną do oznaczania zawartości niektórych związków chemicznych w mieszaninach, w których pomiar jest dokonywany przy ustalonej długości fali. Na podstawie uzyskanych widm i widm wzorców wnioskuje się o zawartości związku w badanej substancji [1, 6, 7, 10, 22]. Metody spektroskopii w podczerwieni są stosowane między innymi do oznaczania zawartości składników niepożądanych oraz zawartości niektórych dodatków.

Wykorzystując opisywane metody, monitoruje się proces starzenia oleju, który postępuje w wyniku jego eksploatacji na skutek występowania trzech procesów:

1) oksydacji (przyłączania tlenu do zawartych w oleju węglowodorów),
2) sulfonowania (przyłączania tlenków siarki) oraz
3) nitracji (przyłączania tlenków azotu).

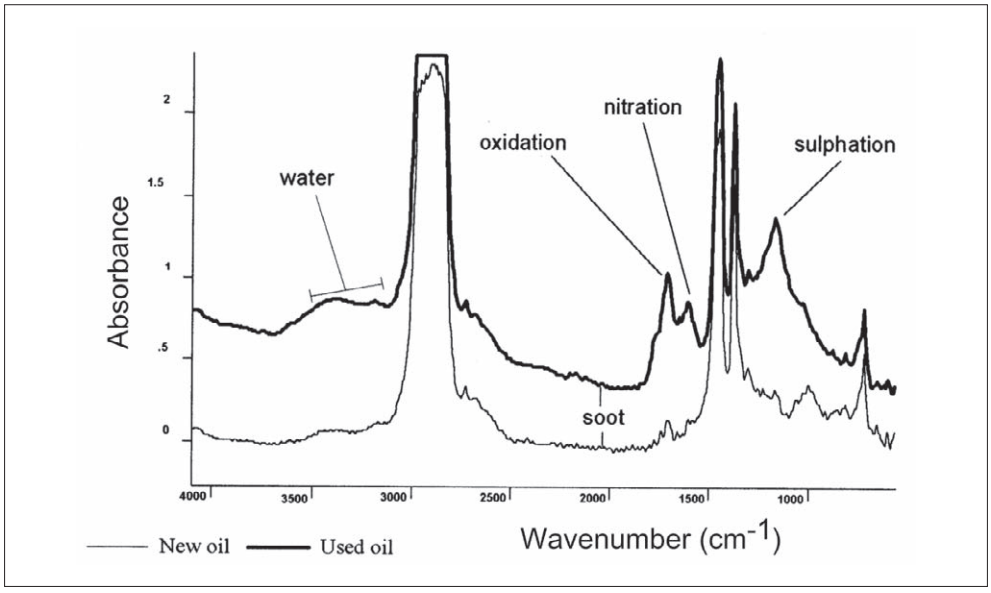
Mieszanina związków o różnych właściwościach fizycznych i chemicznych oraz skład grupowy oleju silnikowego wpływa na szerokość spektrum związków mogących się tworzyć w czasie eksploatacji oleju. Wydzielające się w czasie pracy silnika ciepło, kontakt z paliwem i produktami jego spalania przy powszechnej obecności tlenu z powietrza, powodują degradację podstawowego składnika olejów silnikowych – węglowodorów. Towarzyszące temu inne przemiany chemiczne i mechaniczno-chemiczne powodują obniżanie zawartości dodatków uszlachetniających wprowadzonych do oleju silnikowego dla nadania mu wymaganych cech jakościowych.

Na podstawie charakteru widma eksploatowanego oleju dokonano analizy pomiaru sygnału w określonym obszarze absorpcji promieniowania podczerwonego (tabela 3) oraz rys. 2.

Tabela 3 Pasma absorpcji promieniowania IR wybranych zanieczyszczeń eksploatowanych olejów silnikowych

Rodzaje zanieczyszczeń	Charakterystyka pasma [cm^{-1}]
Produkty utleniania	1660 – 1800 wiązania karbonylowe
Produkty nitracji	1610 – 1650 grupy nitrowe
Produkty sulfonowania	1150 – grupy sulfonowe

Źródło: opracowanie własne, na podstawie konsultacji z pracownikami Zakładu Analiz Naftowych, Laboratorium Analiz Instrumentalnych.



Rys. 2. Widma nałożonych na siebie próbek wykazujące wzrost utleniania, nitrowania oraz sulfonowania. Źródło: [1]

Niekompatybilność zgromadzonych w oleju silnikowym inhibitorów, może doprowadzić do niepokojących zmian oraz zmniejszenia właściwości smarnych substancji. Poziomy pasm omawianych wcześniej grup karbonylowych, nitrowych i sulfonowych dla olejów przepracowanych wyznaczono nie bezpośrednio z ich widm, lecz z widm różnicowych tj. widm powstałych w wyniku operacji matematycznej: widmo oleju przepracowanego minus widmo oleju świeżego.

Stopień utleniania, nitrowania oraz sulfonowania uzyskano również dla porównania stosując przyrząd FluidScan (rys. 3).

Rys. 3. FluidScan

FluidScan umożliwia bardzo szybkie pomiary następujących parametrów:

1) Stopień oksydacji, nitracji oraz sulfonowania (ASTM D7412 (FTIR)
2) Zawartość glikolu (ASTM D7624(FTIR)
3) Zawartość sadzy (ASTM D5967)
4) Całkowita liczba zasadowa (TBN) (wg ASTM D4739)
5) Całkowita liczba kwasowa (TAN) (wg ASTM D664)
6) Zawartość wody (ASTM D6304)

3.1 FluidScan® – przenośny spektrometr w podczerwieni

Aparat FluidScan® to przenośny spektrometr w podczerwieni umożliwiający ocenę właściwości eksploatacyjnych cieczy zgodnie z międzynarodowymi normami ASTM oraz kompleksowym programem analiz olejowych JOAP. Dostarcza w szybki sposób informacji służącej do oceny właściwości eksploatacyjnych badanej cieczy. Dzięki zastosowaniu opatentowanej kuwety pomiarowej napełnianej od góry, Fluid Scan nie wymaga procedury przygotowania próbki oraz czasochłonnego czyszczenia układu pomiarowego. Takie rozwiązanie ułatwia prowadzenie analiz olejowych w miejscu pracy maszyn.

„Serce" aparatu Fluid Scan stanowi innowacyjny spektrometr ze źródłem promieniowania w zakresie średniej podczerwieni. Spektrometr odbiera promieniowanie podczerwone przechodzące przez próbkę olejową w kuwecie pomiarowej za pomocą falowodu. Następnie falowód przenosi promieniowanie na pryzmatyczną siatkę dyfrakcyjną, która kieruje je na detektor matrycowy, rejestrujący obraz widma w podczerwieni badanej próbki. Takie rozwiązanie maksymalizuje ilość promieniowania, które dociera do spektrometru co zwiększa wydajność optyczną oraz rozdzielczość spektralną.

Fizycznie, pomiar polega na wprowadzeniu próbki od góry do układu pomiarowego, zatwierdzeniu informacji o próbce i wykonaniu analizy z wykorzystaniem intuicyjnego interfejsu. Po kilkudziesięciu sekundach wyświetlany jest na ekranie aparatu status próbki oraz wyniki pomiaru parametrów, które zostają zapisane w pamięci aparatu. Oprogramowanie FluidScan Manager umożliwia transfer danych do oprogramowania zainstalowanego na komputerze. Program ten umożliwia rejestrację danych, tworzenie trendów oraz ostrzega o wystąpieniu potencjalnej awarii. Aparat Fluid Scan nie potrzebuje komputera do prowadzenia analiz, jednak oprogramowanie FluidScan Manager ułatwia gromadzenie i opracowywanie uzyskanych danych. Wyniki pomiarów zgromadzone w bazie danych urządzenia mogą zostać zsynchronizowane z oprogramowaniem FluidScan Manager – umożliwiając wygenerowanie pełnych raportów diagnostycznych badanych płynów.

Wyniki uzyskiwane w procesie pomiarowym na spektrometrze FluidScan pozwalają określić stopień degradacji środka smarowego oraz wielkość zanieczyszczenia innymi cieczami (woda, glikol, niewłaściwy olej) w miejscu pracy maszyny. Aparat umożliwia również pomiar kluczowych właściwości eksploatacyjnych środków smarowych i płynów pochodzenia syntetycznego oraz naftowego.

Niewielki rozmiar spektrometru umożliwia osobom obsługującym diagnozowane maszyny (samochody ciężarowe, turbiny wiatrowe, sprzęt wojskowy itp.) wdrożenie programu 'predyktywnej obsługi' w oparciu o badane właściwości środków smarowych.

Głównymi zaletami prowadzenia analiz olejowych 'na bieżąco' i 'na miejscu' (w miejscu pracy maszyn) są:

- wydłużenie okresu czasu pomiędzy kolejnymi serwisami olejowymi,
- brak konieczności oczekiwania na wyniki analiz laboratoryjnych,
- obniżenie kosztów obsługi i użytkowania maszyn,
- zapobieganie występowaniu nieplanowanych czynności serwisowych,
- zapobieganie poważnym awariom.

Inną cechą tego urządzenia analitycznego jest wykorzystanie w jego budowie technologii zaprojektowanej z myślą o obniżeniu zużycia energii elektrycznej, co pozwoliło na produkcję wytrzymałego, bardzo dokładnego urządzenia zasilanego bateriami litowo-jonowymi umożliwiającymi czas pracy do ośmiu godzin.

Twórcy i projektanci aparatu stworzyli produkt, który jest przyjazny dla użytkownika, łatwy w obsłudze, pozwalający na wykonywanie serii pomiarów według ustalonego i zaprogramowanego porządku oraz odczyt lub transmisję wyników pomiarów po zakończeniu badań w parku nadzorowanych maszyn.

4 Prezentacja i analiza wyników badań

Z przeprowadzonych badań wynika, że zachodzące w czasie zmiany w każdej grupie olejowej każdorazowo wykazywały w przybliżeniu charakter liniowy.

Najniższą odpornością na utlenianie cechują się oleje z grupy PE. Nieznacznie lepszą odporność na rozkład oleju wywołany utlenianiem posiadają oleje MS i CE. Spośród przepracowanych olejów, największy przyrost procentowy z pierwszego na drugi kwartał zanotował olej PE 018689 o 90% (z 0,128 do 0,244 (Abs/0,1mm)). Obserwowano systematyczny wzrost stopnia utleniania, spowodowany między innymi wzrostem liczby kwasowej (wyników nie umieszczano w tym artykule). Produkty utleniania oleju, jak również innych procesów destrukcji, zwiększały swój udział w oleju wraz ze wzrostem okresu eksploatacji (czemu towarzyszył spadek liczby zasadowej). Efektem oksydacji są również zmiany lepkości oleju, jego przedwczesne starzenie się i ograniczanie możliwości smarnych wraz ze wzrostem ilości przejechanych kilometrów.

Do podobnych wniosków można dojść analizując wyniki stopnia nitracji. Zaobserwowano, że każdorazowo zachodzące w czasie zmiany we wszystkich grupach olejowych wykazywały w przybliżeniu charakter liniowy. W okresie od (0 – 15 000) przejechanych kilometrów, oleje silnikowe PE wykazały wzrost stopnia nitracji średnio o 200%. Przepracowany olej PE 018689 wykazał skok z 0,17 do 0,56 (Abs/0,1mm) po przebiegu 15 531 km.

Zastosowanie techniki FT-IR do analiz olejów w czasie eksploatacji pozwoliło również ustalić, że w przypadku olejów PE oraz CE występują wyższe wielkości sulfonowania smarowych olejów silnikowych. W przypadku olejów z badanych grup, każdorazowo zachodzące w czasie zmiany wykazywały w przybliżeniu charakter liniowy. Największy przyrost procentowy z pierwszego na czwarty kwartał przy przebiegu w granicach (13 000 – 16 000) kilometrów, zanotował olej PE 018689 o 266% (z 0,12 do 0,42 (Abs/0,1mm)).

Tabela 4 Zmiany stopnia utleniania badanych olejów silnikowych (analiza FT-IR) [Abs/ (0,1 mm)] – Marka samochodu – Mitsubishi Colt Z30 (Pojemność skokowa1332cm^3)

Olej	Kod próbki	Metoda	stopień utleniania [Abs/ (0,1 mm)]				Współczynnik korelacji
			Po I kwartale	Po I kwartale	Po III kwartale	Po IV kwartale	
CE	CE 017760	INiG – PIB	0.133	0.207	0.281	0.355	1.0000
		FluidScan		0.239	0.290	0.341	
	CE 017977	INiG – PIB	0.048	0.104	0.134	0.139	0.9724
		FluidScan	0.158	0.177	0.199	0.207	
	CE 018716	INiG – PIB	0.091	0.162	0.237	0.312	0.9175
		FluidScan	0.181	0.216	0.256	0.250	
MS	MS 018011	INiG – PIB	0.089	0.149	0.184	0.249	0.9899
		FluidScan	0.165	0.195	0.213	0.232	
	MS 018128	INiG – PIB	0.100	0.166	0.235	0.316	0.9822
		FluidScan	0.168	0.200	0.238	0.255	
	MS 018793	INiG – PIB	0.045	0.071	0.098	0.127	0.9476
		FluidScan	0.130	0.130	0.154	0.180	
PE	PE 017939	INiG – PIB	0.138	0.260	0.312	0.393	0.9179
		FluidScan	0.202	0.245	0.263	0.259	
	PE 018024	INiG – PIB	0.113	0.184	0.249	0.314	0.8761
		FluidScan	0.184	0.244	0.246	0.257	
	PE 018689	INiG – PIB	0.128	0.244	0.340	0.425	0.9644
		FluidScan	0.191	0.235	0.282	0.283	

Źródło: opracowanie własne

Tabela 5 Zmiany stopnia nitracji badanych olejów silnikowych (analiza FT-IR) [Abs/ (0,1 mm)] – Marka samochodu – Mitsubishi Colt Z30 (Pojemność skokowa1332cm^3)

Olej	KOD PRÓBKI	Metoda	stopień nitracji [Abs/ (0,1 mm)]			
			Po I kwartale	Po II kwartale	Po III kwartale	Po IV kwartale
CE	CE 017760	INiG – PIB	0.189	0.300	0.410	0.492
		FluidScan		0.095	0.085	0.149
	CE 017977	INiG – PIB	0.101	0.179	0.197	0.204
		FluidScan	0.002	0.016	0.053	0.052
	CE 018716	INiG – PIB	0.140	0.245	0.343	0.412
		FluidScan	0.028	0.071	0.113	0.010
MS	MS 018011	INiG – PIB	0.173	0.250	0.293	0.361
		FluidScan	0.026	0.053	0.082	0.103
	MS 018128	INiG – PIB	0.187	0.266	0.359	0.442
		FluidScan	0.031	0.057	0.106	0.121
	MS 018793	INiG – PIB	0.072	0.145	0.166	0.197
		FluidScan	0.012	0.008	0.010	0.030
PE	PE 017939	INiG – PIB	0.197	0.348	0.431	0.530
		FluidScan	0.049	0.109	0.128	0.122
	PE 018024	INiG – PIB	0.154	0.255	0.353	0.419
		FluidScan	0.038	0.110	0.117	0.124
	PE 018689	INiG – PIB	0.167	0.307	0.475	0.556
		FluidScan	0.038	0.096	0.143	0.141

Źródło: opracowanie własne

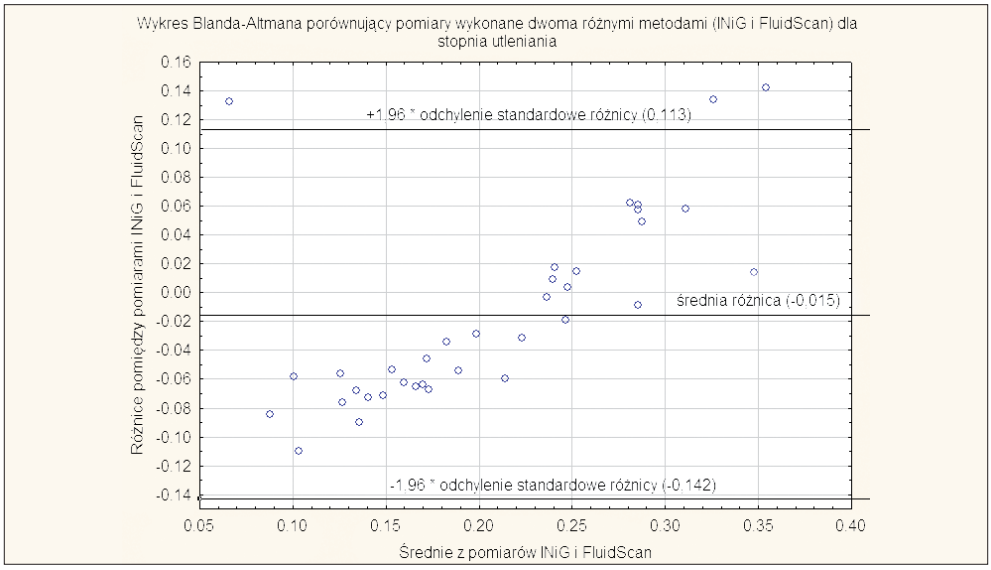
Tabela 6 Zmiany stopnia sulfonowania badanych olejów silnikowych (analiza FT-IR) [Abs/ (0,1 mm)] – Marka samochodu – Mitsubishi Colt Z30 (Pojemność skokowa1332cm^3)

Olej	KOD PRÓBKI	Metoda	stopień sulfonowania [Abs/ (0,1 mm)]				Współczynnik korelacji
			Po I-kwartale	Po II kwartale	Po III kwartale	Po IV kwartale	
CE	CE 017760	INiG – PIB	0.148	0.245	0.305	0.381	0.9798
		FluidScan		0.260	0.303	0.427	
	CE 017977	INiG – PIB	0.053	0.102	0.153	0.177	0.9960
		FluidScan	0.184	0.206	0.225	0.231	
	CE 018716	INiG – PIB	0.098	0.208	0.272	0.354	0.9366
		FluidScan	0.199	0.240	0.273	0.270	
MS	MS 018011	INiG – PIB	0.079	0.177	0.191	0.259	0.9941
		FluidScan	0.198	0.227	0.238	0.257	
	MS 018128	INiG – PIB	0.095	0.201	0.240	0.317	0.9752
		FluidScan	0.203	0.233	0.263	0.276	
	MS 018793	INiG – PIB	0.030	0.055	0.068	0.132	0.9382
		FluidScan	0.178	0.175	0.195	0.217	
PE	PE 017939	INiG – PIB	0.133	0.286	0.332	0.424	0.9399
		FluidScan	0.223	0.265	0.281	0.280	
	PE 018024	INiG – PIB	0.104	0.219	0.257	0.327	0.9343
		FluidScan	0.203	0.264	0.264	0.274	
	PE 018689	INiG – PIB	0.115	0.259	0.338	0.422	0.9695
		FluidScan	0.207	0.254	0.296	0.298	

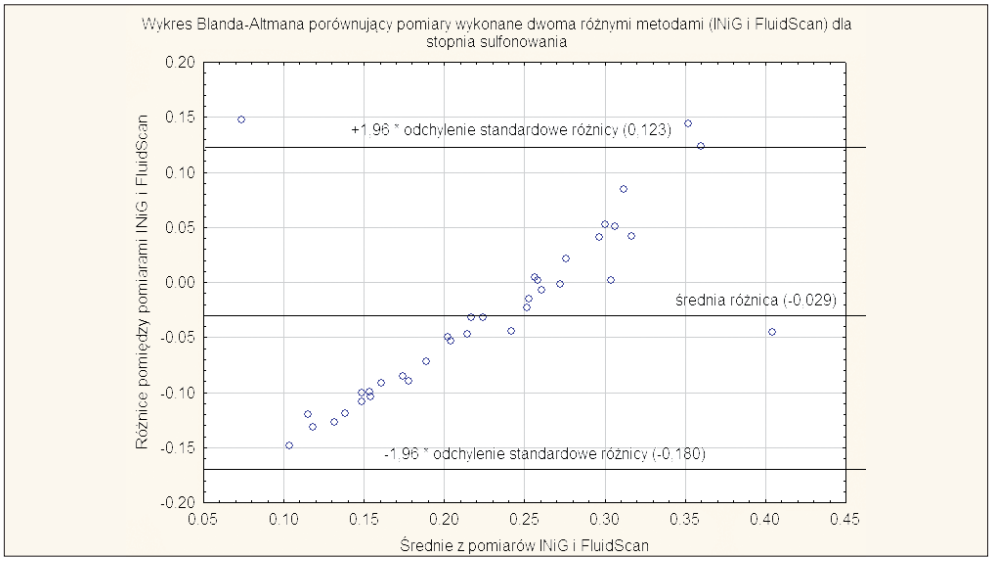
Źródło: opracowanie własne

Końcowy etap prowadzonych badań to próba określenia zależności wyników otrzymanych różnymi metodami (stanowisko akredytowane w INiG – PIB oraz aparat mobilny FluidScan). W pierwszej kolejności wyliczono współczynniki r-Pearsona dla wyników INiG – PIB z odpowiedziami aparatu. Korelacja informująca o sile związku, określana jako wartość w przedziale od -1 do 1, dla każdej analizowanej próbki umieszczona została w ostatniej kolumnie tabel 4 i 6 Analizując poszczególne współczynniki korelacji, stwierdzono, że najwyższy, zaobserwowano w odniesieniu do stopnia oksydacji oraz sulfonowania. Korelacja pomiędzy wynikami jest dodatnia, natomiast jej siła jest na wysokim poziomie (od 0,8761 do 1). Oznacza to, że wyniki uzyskane różnymi metodami, pokrywają się i w zależności od celu wykonywanych oznaczeń mogą być stosowane zamiennie. W przypadku stopnia nitracji, zauważono, że w większości przypadków (np. CE 018716, MS 018793) wyniki znacząco od siebie odbiegają (obliczanie współczynników korelacji było bezcelowe). Przykłady różnic oznaczeń wyróżniono w tabelach pogrubioną czcionką oraz podkreśleniem.

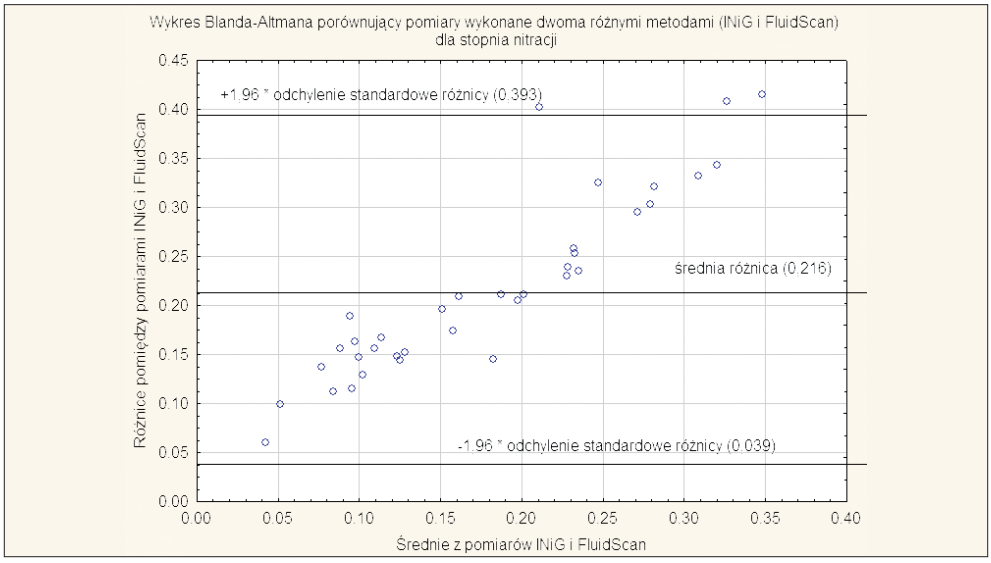
W drugiej kolejności zastosowano zdaniem autorów zdecydowanie trafniejszą metodę do porównania metod. Wykonano wykres Blanda Altmana. Na osi X umieszczono średnie z obu pomiarów, a na osi Y różnicę pomiarów.



Rys. 4. Wykres Blanda-Altmana porównujący pomiary wykonane dwoma różnymi metodami (INiG – PIB i FluidScan) dla stopnia utleniania. Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5.Wykres Blanda-Altmana porównujący pomiary wykonane dwoma różnymi metodami (INiG – PIB i FluidScan) dla stopnia sulfonowania. Źródło: opracowanie własne.



Rys. 6.Wykres Blanda-Altmana porównujący pomiary wykonane dwoma różnymi metodami (INiG – PIB i FluidScan) dla stopnia nitracji. Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że metody dają wyniki porównywalne w stopniu średnio zadawalającym. W przypadku wykresu Blanda-Altmana, celem uzyskania potwierdzenia otrzymywania porównywalnych wyników, pożądany jest brak ewidentnego trendu na wykresie oraz losowość punktów porozrzucanych po obu stronach średniej różnic na całej rozciągłości osi X. W odniesieniu do uzyskanych wyników różnymi metodami (stopień sulfonowania oraz nitracji), zauważalny jest ewidentny trend co podważa w dużej mierze porównywalność pomiarów obiema metodami. Najbardziej satysfakcjonujące wyniki uzyskano dla stopnia utleniania.

Należy przeprowadzić większą ilość pomiarów, żeby ostatecznie stwierdzić, czy aparatem FluidScan można uzyskiwać wiarygodne wyniki. Dodatkowo celowym wydaje się sprawdzenie jakości pozostałych parametrów oznaczanych przez przyrząd i porównanie ich ze znormalizowanymi.

5 Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że:

- wyniki stopnia oksydacji i sulfonowania, uzyskane różnymi metodami są ze sobą zbieżne w stopniu zadowalającym. W zależności od celu oznaczenia, może się okazać, że jest to cenna informacja, szczególnie dla właścicieli flot pojazdów, którzy będą w stanie samodzielnie wykonywać analizy, umożliwiające monitoring wybranych właściwości olejów silnikowych. Skorzystanie z nowoczesnych metod wiąże się z jednej strony z możliwością osiągnięcia znacznych korzyści z drugiej strony z wysoką inwestycją w aparaturę. Jest to blokada, która wciąż stoi na drodze kierowcom indywidualnym, którzy jak to już stwierdzili W. Urzędowska oraz Z. Stępień, w odniesieni do określenia optymalnego momentu wymiany oleju na świeży, zdani są praktycznie na własne „wyczucie"[30].
- w większości laboratoriów, analizy właściwości eksploatacyjnych środków smarowych są wykonywane za pomocą stacjonarnych spektrometrów fourierowskich oraz metod opartych o miareczkowanie. Otrzymane wyniki pozwalają optymistycznie patrzeć w przyszłość jeśli chodzi o rozwój i udoskonalanie powszechnie znanych konwencjonalnych urządzeń laboratoryjnych. Wiąże się to ze sporą oszczędnością czasu, oraz pieniędzy, które przeznaczane są na odczynniki niezbędne do wykonania wybranych analiz (np. oznaczenie TBN). Zaprezentowany przyrząd niesie ze sobą bardzo wiele korzyści również dla środowiska

(brak produktów ubocznych oznaczenia), co w dzisiejszych czasach również stanowi istotne kryterium przy wyborze procedury badawczej.

- zaletą aparatu Fluid Scan względem spektroskopów FTIR jest zdolność do uzyskiwania za ich pomocą pełnowartościowych wyników takich parametrów jak: całkowita liczba kwasowa (TAN), całkowita liczba zasadowa, zawartość wody, glikolu i zanieczyszczenie sadzą. Fluid Scan klasyfikuje płyny eksploatacyjne na poszczególne typy, biorąc pod uwagę skład chemiczny, zastosowanie oraz obraz ich spektrum w podczerwieni. Spektrum każdego płynu danego typu zmienia się w podobny sposób w zależności od stopnia zanieczyszczenia oraz degradacji. Za pomocą odpowiednich algorytmów możliwe jest dokładne określenie tego stopnia, co czyni z aparatu Fluid Scan bardzo wartościowe narzędzie w procesie nadzoru nad stanem urządzeń poprzez analizy olejowe.
- wyniki stopnia nitracji, uzyskane dzięki FluidScan, pozwalają na sformułowanie stwierdzenia, że przyrząd w odniesieniu do tego oznaczenia jest mało precyzyjny. Niezbędnym będzie wykonanie większej ilości badań porównawczych, celem sprawdzenia wiarygodności uzyskiwanych wyników.
- zdiagnozowano potrzebę kolejnych opracowań w odniesieniu do zanieczyszczenia oleju (wody) – metodą porównawczą. W swoich opracowaniach W Urzędowska i Z Stępień zaznaczają, że FTIR nie pozwala na jednoznaczne wykrywanie wielu zanieczyszczeń w oleju (np. wody). Być może, oznaczenia te zostaną pozytywnie zweryfikowane aparatem FluidScan.
- Stosowanie FTIR do analizy olejów przepracowanych wymaga dużego doświadczenia w analizie widmowej i interpretacji uzyskanych wyników. Aparat Fluid Scan nie wymaga procedury przygotowania próbki oraz czasochłonnego czyszczenia układu pomiarowego. Po kilkudziesięciu sekundach wyświetlane są na ekranie aparatu wyniki pomiaru parametrów.
- Niezbędny jest nieustanny rozwój i wprowadzanie nowych metod badań zmian właściwości oleju smarowego w eksploatacji dostosowanych do zmian jakościowych produktów wprowadzanych na rynek i warunków ich eksploatacji.

Literatura

[1] Adams M.J., Romeo M.J., Rawson P., *FTIR analysis and monitoring of synthetic aviation engine oils,* Talanta 73 (2007).

[2] Agoston A., Ötsch C, Jakoby B., *Viscosity sensors for engine oil condition monitoring – Application and interpretation of results,* Sens. Actuators, A 121 (2005).

[3] Al-Ghouti, M.A., Al-Degs, Y.S., Amer, M., *Application of chemometrics and FTIR for determination of viscosity index and base number of motor oils*, Talanta 81 (2010).

[4] Al.-Ghouti M., Al. Toum L., *Virgin and recycled engine oil differentiation: A spectroscopic study*, Journal of Environmental Management 90 (2009)

[5] Alistair G., *Infrared Analysiis as a Tool for Assessing Degradation in Used Engine Lubricants*, Wearcheck Africa WZA-002, 1996

[6] Balabin R., Safieva R., Lomakina E., *Near-infrared (NIR) spectroscopy for motor oil classification: From discriminant analysis to support vector machines, Microchen 2011;98*

[7] Bassbasi M., Hafid A., Platikanov S., Tauler R., Oussama A., *Study of motor oil adulteration by infrared spectroscopy and chemometrics methods,* Fuel 2013;104

[8] Braga J.W.B., Araci Araujo dos Santos Junior, Martins I.S., *Determination of viscosity index in lubricant oils by infraread spectroscopy and PLSR*, Fuel 120 (2014)

[9] Besser C., C. Schneidhofer, N. Dörr, F. Novotny-Farkas, and G. Allmaier, "Investigation of long-term engine oil performance using lab-based artificial ageing illustrated by the impact of ethanol as fuel component," *Tribol. Int.*, vol. 46, no. 1, pp. 174–182, Feb. 2012.

[10] Caneca A., Pimentel M., Galvão R., da Matta C., de Carvalho F., Raimundo Jr., Pasquini C., Rohwedder, J., *Assessment of infrared spectroscopy and multivariate techniques for monitoring the service condition of diesel-engine lubricating oils*, Talanta 2006;70.

[11] Felkel Y., Dorr N., Glatz F., Varmuza K., *Determination of the total acid numer (TAN) of used gas engine oils by IR and chemometrics applying a combined strategy for variable selection.* Chemometrics an Intelligent Laboratory Systems 2010;101.

[12] GeachA., *Infrared Analysis as a Tool for Assessing Degradation in Used Engine Lubricants.* wearcheck.ca/literature/techdoc/WZA002.htm

[13] Hannon J. B., *Performance Evaluation of New and In-Service Turbine Oils* Practicing Oil Analysis Magazine 2002.

[14] Jakóbiec J., *Monitorowanie właściwości użytkowych oleju silnikowego w eksploatacji.* Transport samochodowy Warszawa 2008

[15] Jakóbiec J., Budzik G., Czynniki mające wpływ na stopień degradacji oleju silnikowego w okresie eksploatacji *Archiwum Mororyzacji* Wydawnictwo Naukowe PTNM 3/2007

[16] Janian Z.P., Pawel K.*, Differentiation of motor oils by infrared spectroscopy and elemental analysis for criminalistic purposes*. Journal of Molecular Structure, 1999

[17] Kral J., Konecny B., Kral J., Madac K., Fedorko G., Molnar V., *Degradation and chemical change of longlife oils following intensive use in automobile engines*, Measurement 50 (2014).

[18] Litwiński M., *Badania wybranych właściwości olejów silnikowych w warunkach eksploatacji.* Praca doktorska Kraków 2011.

[19] Litwiński M., Piec P., *Badania wpływu czasu eksploatacji samochodu na zmianę widma oleju silnikowego* Jakość, bezpieczeństwo i ekologia w pojazdach Kraków 2007

[20] Podniało A., *Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 2002

[21] Podniało A., *Oleje i smary w technice smarowania maszyn i pojazdów samochodowych* Opole 2012

[22] Rawson P., Morris G., *FTIR Based Oil conditio Monitoring for Synthetic Turbine OIls, DSTO-TR-1467*, Melbourne, Australia, 2003.

[23] Robinson N., *Monitoring Oil Degradation with Infrared Spectoscopy.* Practicing Oil Analysis Magazine 2007

[24] Robinson N., Hons B.Sc. *Monitoring Oil Degradation with Infrared Spectoscopy.* Technical Bulletin 5/2000

[25] Scott B., Frances E., William B.b, Zhiqiang Z., *Measurements of Elasticity in Multigrade Motor Oil at Elevated Pressure,* Tribol, Trans. 50 (2007).

[26] Silverstein R. M., *Spektroskopowe metody identyfikacji związków organicznych.* Warszawa 2008

[27] Trojan R., Krasodomski M., *Oleje przepracowane, sposoby utylizacji i metody badań. Część II. Metody analizy instrumentalnej.* Biuletyn ITN Kraków 2005

[28] Urzędowska W., Stępień Z., *Oddziaływanie paliwa na zmiany właściwości użytkowych oleju smarowego w silniku z ZI typu FlexFuel.* Nafta-Gaz, Kraków 2012

[29] Urzędowska W., Stępień Z., *Porównawcze badanie degradacji oleju smarowego w silniku wysokoprężnym z bezpośrednim, wysokociśnieniowym wtryskiem paliwa, zasilanym standardowym olejem napędowym lub olejem napędowym zawierającym FAME.* DK-4100-85/08, Kraków 2008.

[30] Urzędowska W., Stępień Z., *Wybrane zagadnienia dotyczące zmian właściwości silnikowego oleju smarowego w eksploatacji* Nafta-Gaz grudzień, Kraków 2012

[31] Urzędowska W., Stępień Z., *Wybrane zagadnienia dotyczące zmian właściwości silnikowego oleju smarowego w eksploatacji. Materiały z Konferencji Naukowej – Zagadnienia eksploatacji środków smarowych w urządzeniach przemysłowych, transporcie i komunikacji* 16-18.05.2012 – Muszyna Złocie

[32] Usman L., Franz L., *Conductometric Sensors for Monitoring Degradation of Automotive Engine Oil*, Sensors (Peterboroug) 11 (2011).

[33] Zieliński W., Rajca A., *Metody spektroskopowe i ich zastosowanie do identyfikacji związków organicznych.* WNT, Warszawa2000

Wpływ struktury chemicznej na wyniki oznaczenia przeciwutleniacza w oleju smarowym

Influence of the chemical structure on results of the determination an antioxidant in lubricating oil

Wojciech Krasodomski – Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
Magdalena Żółty – Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Streszczenie

W niniejszym artykule omówiono wyniki badań przeciwutleniaczy, stosowanych w celu poprawy odporności na utlenianie olejów smarowych. Badania miały na celu określenie wpływu struktury chemicznej przeciwutleniacza na możliwość jego oznaczenia. Testowano wytypowane metody badawcze: metodę woltamperometryczną i FT-IR.

Słowa klucze: RULER, FT-IR, przeciwutleniacz, olej smarowy

Abstract

This article presents results of the determination of antioxidants, which are used for improving the oxidation stability of lubricating oils. The study were aimed at recognized the effect of an antioxidant chemical structure to the possibility of determination antioxidant content. The linear sweep voltammetry and the FT-IR method were tested.

Key words: RULER, FT-IR, antioxidant, lubricating oil

Wstęp

Nieustannie wzrastające wymagania dotyczące ochrony środowiska naturalnego, wymuszają na użytkownikach zminimalizowanie ilości odpadów powstających w skutek starzenia się olejów smarowych [8]. Każdy środek smarowy ulega temu procesowi, dlatego musi być okresowo wymieniany. Dominującym procesem starzenia, bezpośrednio wpływającym na okres użytkowania środka smarowego, jest utlenianie. Czynnikami, które mu sprzyjają są temperatura, obecność wody oraz metali pochodzących z procesów zużycia [5,6].

Jednym ze sposobów ograniczenia zużycia środków smarowych jest prowadzenie monitoringu właściwości użytkowo-eksploatacyjnych oleju w czasie, co umożliwia maksymalne wykorzystanie jego potencjału jakościowego [8,10]. Prawidłowo dobrany system kontroli jakości oleju smarowego 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 eksploatacji urządzeń [9].

Dodatki przeciwutleniające, mające największy wpływ na czas eksploatacji olejów smarowych, można zaliczyć do dwóch grup substancji: związki indywidualne – inhibitory podstawowe oraz ich mieszaniny, zwykle wykazujące właściwości synergetyczne. Do podstawowych inhibitorów utleniania należą miedzy innymi aminy aromatyczne, które działają efektywnie w warunkach wysokiej temperatury (> 120°C), oraz związki fenolowe, przeznaczone do stosowania w niższych temperaturach (< 120°C). 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 [9].

Do monitorowania zmian zawartości przeciwutleniacza w środku smarowym wykorzystywane są głównie dwie grupy technik: analiza spektralna w podczerwieni (IR) oraz liniowa woltamperometria (RULER) [7,9].

Spektroskopia w podczerwieni (FT-IR) pozwala na zaobserwowanie pasm drgań niezasocjowanych grup hydroksylowych w zakresie 3700 cm^{-1} do 3600 cm^{-1} i aminowych w zakresie 3500 cm^{-1} do 3300 cm^{-1}. Pasma te są obserwowane głównie dla struktur o dużym zatłoczeniu sterycznym, gdy utrudnione jest tworzenie wiązań wodorowych pomiędzy grupami OH lub NH. Wzorcowy antyutleniacz, 2,6-di-tert-

-butylo-4-metylofenol (BHT – *ButylHydroxyToluene*), posiada w swej strukturze dwie grupy *tert*-butylowe o dużej zawadzie przestrzennej otaczające grupę hydroksylową, co uniemożliwia asocjację grup hydroksylowych przeciwutleniacza i utworzenie wiązania wodorowego. Dzięki temu w widmie w podczerwieni obserwuje się charakterystyczne dla tego rodzaju przeciwutleniaczy fenolowych ostre pasmo ok. 3650 cm^{-1}, w zakresie praktycznie wolnym od sygnałów analitycznych innych wiązań. Zostało to wykorzystane w normie PN-93/C-04189 [13], w której w celu oznaczenia zawartości inhibitora utleniania w przeliczeniu na BHT, wykorzystuje się pomiar absorbancji w maksimum piku ok. 3650 cm^{-1}. Zawartość inhibitora można również oznaczać wykorzystując krzywą wzorcową. Częściej jednak procentowy ubytek inhibitora określany jest jako wartość względna, przez porównanie absorbancji pasm wiązania grupy hydroksylowej w zarejestrowanym widmie oleju z eksploatacji względem widma oleju świeżego. Oznaczanie przeciwutleniaczy aminowych techniką spektroskopii w podczerwieni jest trudniejsze, ze względu na mniejszą intensywność pasm w obszarze 3300-3500 cm^{-1} [9,10].

Metoda RULER (*Remaining Useful Life Evaluation Routine*), jest techniką woltametryczną pozwalającą, poprzez ocenę poziomu zawartości przeciwutleniaczy, określić możliwość dalszego stosowania środka smarowego. Próbkę o objętości 200 – 400 μl umieszcza się w naczynku pomiarowym zawierającym odpowiedni bufor-elektrolit i sorbent. W wyniku wytrząsania przeciwutleniacze fenolowe, aminowe i inne rozpuszczalne w elektrolicie składniki oleju ekstrahowane są do roztworu elektrolitu, natomiast wydzielony na sorbencie olej opada na dno naczynia. W czasie pomiaru do elektrody zanurzonej w badanym elektrolicie przykłada się napięcie wzrastające liniowo. Podczas narastania potencjału na powierzchni elektrody następuje utlenianie cząsteczek inhibitorów (amin i fenoli) i spadek ich aktywnego stężenia w roztworze, czemu towarzyszy wykładniczy wzrost szybkości utleniania do momentu osiągnięcia maksimum na krzywej woltamperometrycznej. Poszczególne przeciwutleniacze ulegają reakcji red-ox przy różnych wartościach napięcia, dzięki czemu możliwe jest ich rozróżnienie, a uzyskiwane wartości natężenia prądu są funkcją zawartości oznaczanych przeciwutleniaczy [1,2,4,9].

W metodzie woltametrycznej należy w pierwszej kolejności zdefiniować typ przeciwutleniacza (grupa podstawowa czy mieszanina synergiczna), na podstawie którego dokonuje się doboru odpowiedniego roztworu testowego. W momencie, gdy analizowany jest olej zawierający jedynie inhibitor fenolowy, używamy roztworu testowego o charakterze zasadowym. W przypadku, gdy badany jest olej zawierający mieszaninę synergiczną (inhibitor fenolowy i aminę aromatyczną), należy zastosować roztwór testowy o charakterze obojętnym. Zawartość fenolowego inhibitora utleniania

odczytuje się z wykresu zależności czasu od natężenia prądu [11,12]. W przypadku badania olejów zawierających jedynie przeciwutleniacz fenolowy z zawadą przestrzenną, używamy do oznaczenia jego zawartości zasadowy roztwór testowy, będący mieszaniną alkoholu etylowego i wody destylowanej oraz rozpuszczonego w nim zasadowego elektrolitu. W takim przypadku pik określający jego zawartość powinien wystąpić między 3 a 5 sekundą czasu narastania napięcia (0,3 – 0,5 V). Natomiast, gdy badamy oleje zawierające mieszaninę przeciwutleniaczy (aminy aromatycznej i przeciwutleniacza fenolowego z zawadą przestrzenną) stosuje się roztwór obojętny, wówczas pik określający zawartość aminy aromatycznej występuję pomiędzy 8 a 12 sekundą (0,8 – 1,2 V), a przeciwutleniacza fenolowego z zawadą przestrzenną między 13 a 16 sekundą (co odpowiada napięciu 1,3 – 1,6 V) [11,12].

Krzywa uzyskana dla świeżego oleju stanowi odniesienie, dla którego 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, która jest następnie porównywana z powierzchnią piku wyznaczoną dla próbki świeżego oleju. Jeżeli maksymalna powierzchnia pod pikiem dla oleju badanego jest o połowę mniejsza od powierzchni dla oleju świeżego, to 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 jest podawana w procentach [3,5,9].

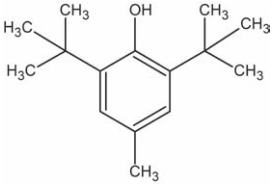
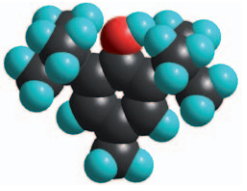
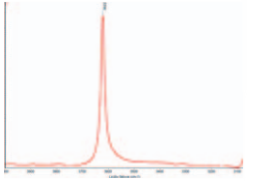
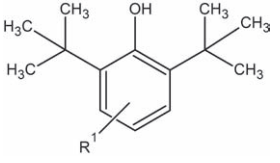
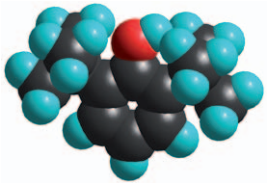
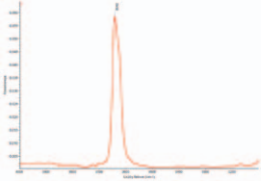
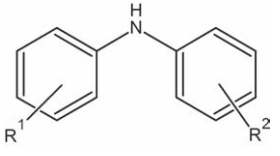
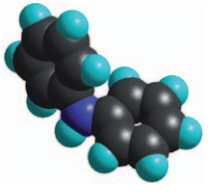
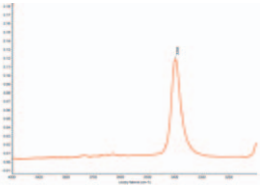
Część doświadczalna

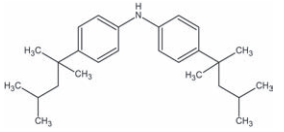
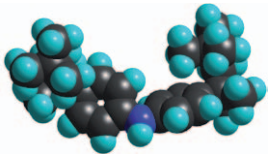
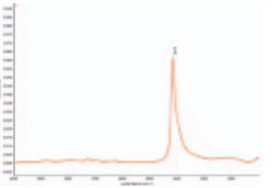
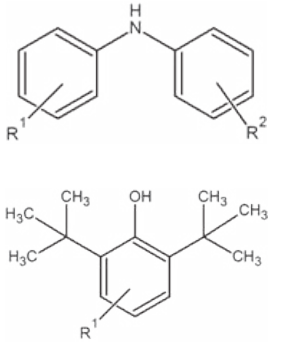
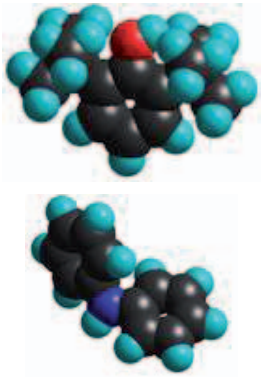
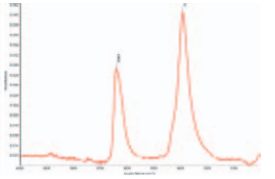
W niniejszym artykule podjęto próbę oceny wpływu struktury antyutleniacza na możliwość oznaczenia jego poziomu za pomocą metody woltamperometrycznej RULER oraz porównanie jej z metodą FT-IR.

Do badań wytypowano po dwa przeciwutleniacze fenolowe (A i B) i aminowe (C i D) oraz przeciwutleniacz mieszany fenolowo-aminowy (E). Informacje o strukturze wraz z widmem FT-IR w zakresie 4000 – 2000 cm^{-1} zostały przedstawione w tabeli 1.

Analizy prowadzono na próbkach technologicznych zawierających 99,5% *(m/m)* oleju bazowego oraz 0,5%*(m/m)* przeciwutleniacza.

Tabela 1. Przeciwutleniacze wytypowane do badań

Przeciwutleniacz	Rodzaj przeciwutleniacza	Wzór strukturalny	Model zdefiniowanego elementu struktury	Widmo FTIR
A (5)	fenolowy – BHT			 3651 cm-1
B (3)	fenolowy (pochodna 2,6–di-tert-butylofenolu)			 3649 cm-1
C (1)	aminowy (pochodna difenyloaminy)			 3410 cm-1

Przeciwutleniacz	Rodzaj przeciwutleniacza	Wzór strukturalny	Model zdefiniowanego elementu struktury	Widmo FTIR
D (4)	aminowy (bis (4-(1,1,3,1-tetrametylobutylo) fenylo)amina)			 3435 cm-1
E (2)	aminowo-fenolowy (alkilowana difenyloamina + 2,6-ditertbutylofenol)			 3648 cm-1, 3435 cm-1

Metody badań

FTIR

Rejestrację widm prowadzono w spektrometrze podczerwieni f-my Bio-rad FTS 175, analizowano zakres 3000 – 400 cm^{-1}. Stosowano kuwetę z chlorku sodu o stałej grubości warstwy ok. 1 mm.

RULER

Badania prowadzono z użyciem aparatu RULER CE 520.

Podczas badania próbek olejów smarowych z eksploatacji metodą woltamperometryczną zaobserwowano, w niektórych przypadkach, przesuniecie maksimum pików na wykresach zależności czasu od natężenia prądu. W celu wyjaśnienia przyczyn tego zjawiska zestawiono próbki technologiczne zawierające 99,5%*(m/m)* oleju bazowego oraz 0,5%*(m/m)* przeciwutleniacza. Do badań wytypowano po dwa przeciwutleniacze fenolowe (A i B) i aminowe (C i D) oraz przeciwutleniacz mieszany fenolowo-aminowy (E). W tabeli 1 zestawiono ich charakterystykę.

Omówienie wyników badań

Próbki technologiczne oceniano metodą spektroskopii w podczerwieni i metodą RULER. Dla przygotowanych próbek technologicznych zarejestrowano widmo w podczerwieni (tabela 2 – widma czystych przeciwutleniaczy, tabela 3 – widma próbek technologicznych zestawionych z wykorzystaniem poszczególnych przeciwutleniaczy), równocześnie odczytując długość pasma, przy którym znajduje się maksimum piku oraz wykres zależności czasu od natężenia prądu metodą woltamperometryczną, odczytując zakres piku i jego maksimum.

Na podstawie wykresów zależności natężenia prądu w czasie określających zawartość przeciwutleniaczy w przygotowanych próbkach technologicznych zaobserwowano, że w przypadku przeciwutleniacza fenolowego B, położenie maksimum piku znajduje się dokładnie w środku obszaru pomiędzy 3 a 5 sekundą zgodnie z normą ASTM D 6810 (maksimum 4,5 sek.). Natomiast maksimum piku zarejestrowane dla przeciwutleniacza fenolowego A jest przesunięte i znajduje się poniżej wyznaczonego obszaru (2,4 sek.). Analizując wykresy próbek technologicznych w skład, których wchodziły aminy aromatyczne, zauważono, że dla przeciwutleniacza D maksimum piku znajduje się w obszarze pomiędzy 8 a 12 sekundą zgodnie z normą ASTM D 6971 (11,1 sek.), a przeciwutleniacza C zaobserwowano jego przesuniecie poza ten obszar (12,6 sek.). Dokonano również analizy wykresu otrzymanego dla próbki technologicznej zawierającej przeciwutleniacz z grupy mieszanej (składający

się z aminy aromatycznej i przeciwutleniacza fenolowego z zawadą przestrzenną). W tym przypadku również zaobserwowano przesunięcie maksimum pików odpowiadających odpowiednim przeciwutleniaczom. Maksimum piku dla przeciwutleniacza aminowego zarejestrowano przy 12,6 sek., a fenolowego przy 16,2 sek.

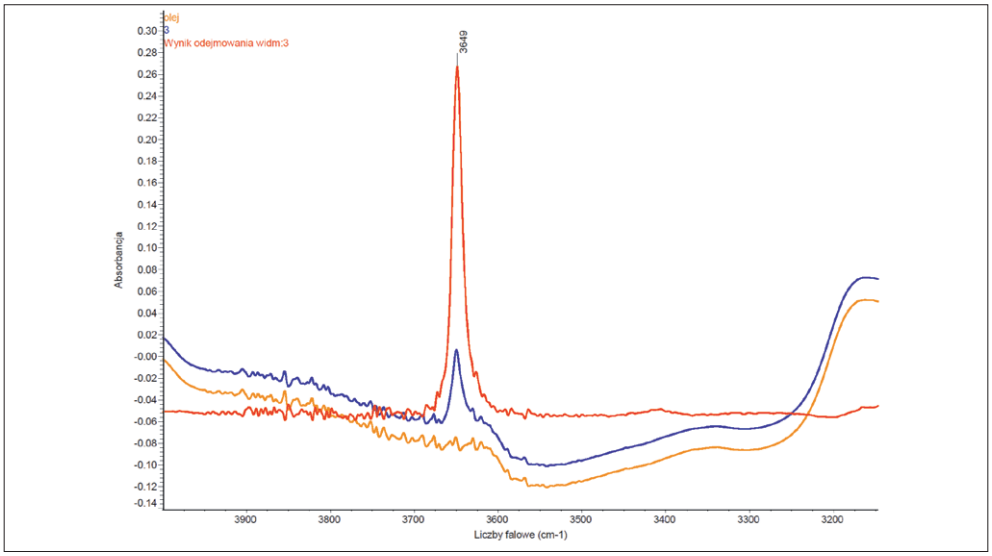
W przypadku widm w podczerwieni, oceniano absorbancję najintensywniejszych pasm, równocześnie odczytując ich liczbę falową.

Pomiar bezpośredni dla 0,5%-wych roztworów antyutleniaczy był możliwy tylko w przypadku zastosowania antyutleniaczy fenolowych. W pozostałych przypadkach musiano zastosować widma różnicowe względem oleju bazowego, aby zaobserwować pasma analityczne (Rys. 1). Dodatkowo stwierdzono, że w przypadku widm różnicowych łatwiejsza jest ocena piku, z powodu m.in. istotnego zwiększenia się stosunku sygnał do szum.

Analizując widma przeciwutleniaczy fenolowych (A, B), jak i próbek technologicznych zawierających te przeciwutleniacze, można zauważyć, że w przepadku czystych A i B pasma drgań OH mają podobne położenie, jednakże w przypadku B pasmo to ma inny kształt oraz jest nieco szersze co wskazuje na obecność mieszaniny fenoli. Skutkiem tego, w roztworze, chociaż już kształt pasma ~3650 cm^{-1} jest podobny, to różnią się one zdecydowanie absorbancją, przy tym samym dozowaniu. W przypadku analizy zawartości w oleju przeciwutleniacza fenolowego w przeliczeniu na BHT, może prowadzić do błędnych wniosków o stanie oleju. Optymalnym przypadkiem jest odniesienie do czystego przeciwutleniacza i bazy olejowej, a jeśli to jest niemożliwe to przynajmniej do świeżego oleju. W tym ostatnim przypadku, możemy określić procent zużycia przeciwutleniacza w czasie eksploatacji. Dodatkowo wykorzystanie widm różnicowych, zamiast pomiaru bezpośredniego pozwala na osiągnięcie lepszej precyzji pomiarów.

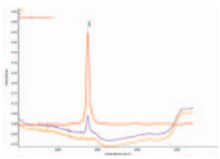
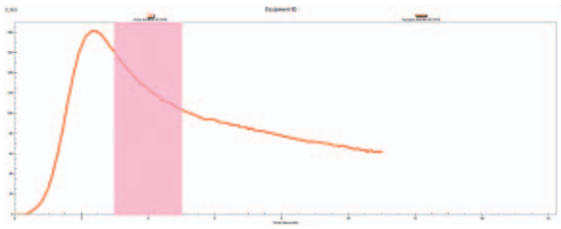
W przypadku przeciwutleniaczy aminowych (C, D), jak i próbek technologicznych zawierających te przeciwutleniacze można zauważyć, że w pasma drgań NH mają różne położenie, kształt i intensywność. W przypadku widm roztworów C i D, za względu na małą intensywność sygnałów NH w widmie FTIR niezbędne było wykorzystanie widm różnicowych. W przypadku widm roztworów C i D obserwuje się poszerzone wynikowe pasmo powstałe na skutek nakładania się kilku różnych pasm. Wskazuje to na obecność w preparatach kilku składników. Dodatkowo w widmie przeciwutleniacza D pojawia się dodatkowo słabe szerokie pasmo ok. 3300 cm^{-1}, co może świadczyć o częściowej asocjacji grup NH w roztworze, a co za tym idzie mniejszej zawadzie przestrzennej w przypadku struktur obecnych w przeciwutleniaczu D niż C. W przypadku przeciwutleniacza mieszanego E struktura pasm wskazuje, że zawiera on struktury podobne do obecnych w przeciwutleniaczach C i A.

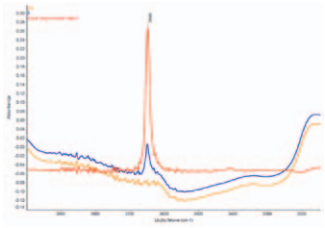
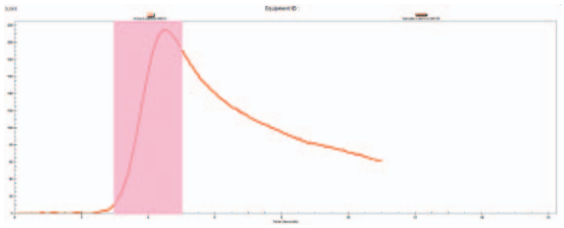
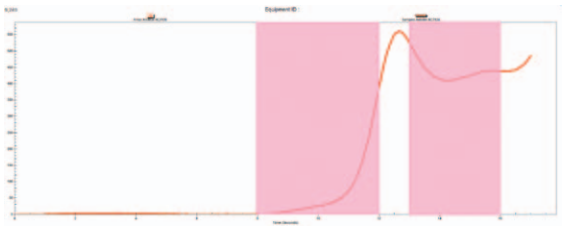
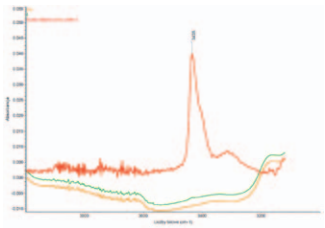
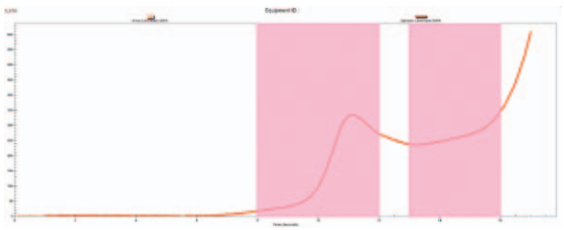
Wyniki pomiarów w podczerwieni wraz z widmami oraz wykresy zależności czasu od natężenia prądu metodą woltamperometryczną zamieszczono w tabeli 2.

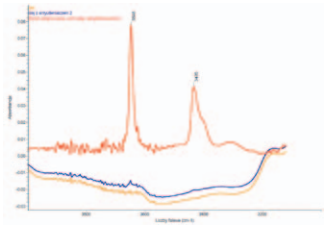
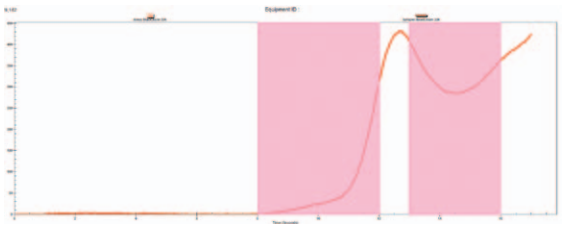


Rys. 1. Porównanie widm w podczerwieni wykorzystywanych do oceny zawartości antyutleniacza w oleju smarowym: widmo oleju bazowego (żółty), widmo oleju zawierającego 0,5% antyutleniacza fenolowego (niebieski) oraz widmo różnicowe (czerwony)

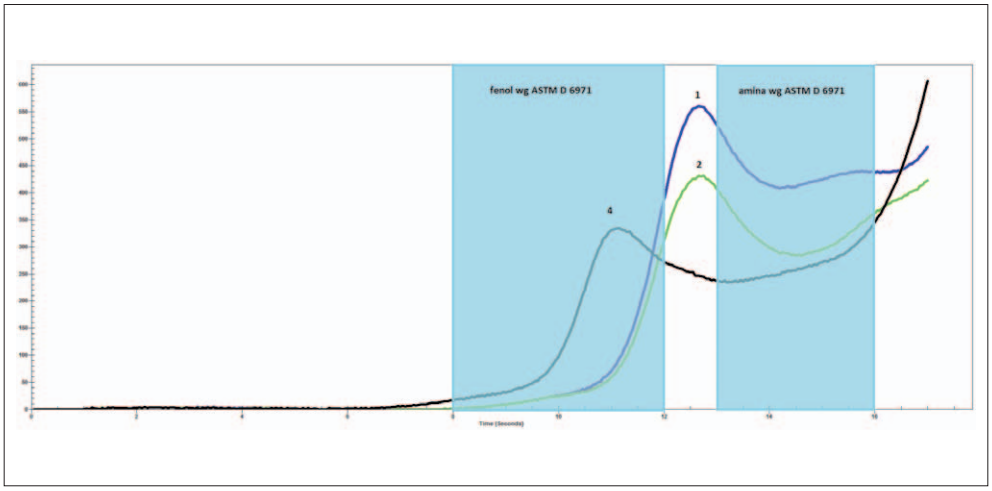
Tabela 2. Wyniki pomiarów w podczerwieni oraz wyniki uzyskane metodą woltamperometryczną

Widmo FTIR [abs]	Maksimum piku na wykresie RULER [sek]
Próbka technologiczna z przeciwutleniaczem A	
Fenol – 0,45 przy długości fali ~3651 cm^{-1}	2,4 s
	

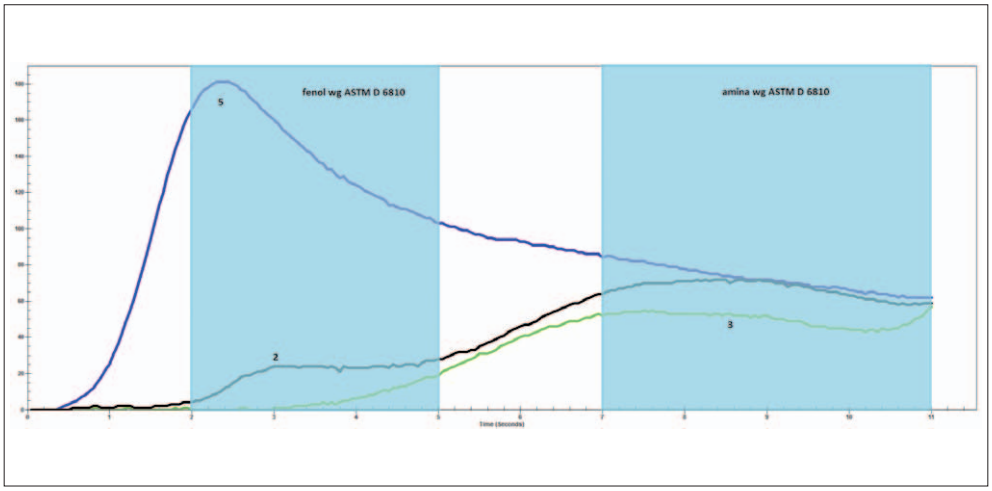
Widmo FTIR [abs]	Maksimum piku na wykresie RULER [sek]
Próbka technologiczna z przeciwutleniaczem B	
Fenol – 0,30 przy długości fali ~3649 cm^{-1}	4,5 s
	
Próbka technologiczna z przeciwutleniaczem C	
Amina – 0,06 przy długości fali 3410 cm^{-1}	I pik – 12,6 s II pik – 15,5 s
	
Próbka technologiczna z przeciwutleniaczem D	
Amina – 0,035 przy długości fali 3435 cm^{-1}	I pik – 11,1 s II pik – przesunięty poza możliwość rejestracji
	

Widmo FTIR [abs]	Maksimum piku na wykresie RULER [sek]
Próbka technologiczna z przeciwutleniaczem E	
Fenol – 0,073 przy długości fali 3435 cm^{-1} Amina – 0,035 przy długości fali ~3650 cm^{-1}	I pik – 12,6 s II pik – 16,2 s
	

ANa poniższych wykresach (rys. 2 i 3) zestawiono przebieg pików zarejestrowanych dla poszczególnych grup przeciwutleniaczy z uwzględnieniem obszarów, w których zgodnie z danymi normy ASTM D 6971, powinny wystąpić maksyma pików odpowiadające badanym przeciwutleniaczom.



Rys. 2. Zestawienie krzywych otrzymanych metodą RULER'a dla próbek technologicznych zawierających przeciwutleniacze z grupy mieszanej (1, 4) oraz przeciwutleniacz aminowo-fenolowy (2)



Rys. 3. Zestawienie krzywych otrzymanych metodą RULER'a dla próbek technologicznych zawierających przeciwutleniacze fenolowe (5,3) oraz przeciwutleniacz aminowo-fenolowy (2)

Wnioski

Podsumowując przeprowadzone badania można stwierdzić, że pomiary prowadzone techniką spektroskopii w podczerwieni w obszarze 4000 cm^{-1} – 3000 cm^{-1} pozwalają na jednoznaczne określenie typu przeciwutleniacza, ponieważ położenie obserwowanych pasm jest mało wrażliwe na strukturę przeciwutleniacza danego typu. Natomiast należy zauważyć, że mierzona intensywność pasm jest silnie zależna od struktury i w przypadku podobnego dozowania różnych przeciwutleniaczy, odpowiedź analityczna jest różna.

Natomiast metoda RULER jest wrażliwa nie tylko na typ, ale również na strukturę przeciwutleniacza, a uzyskiwany wynik nie jest jednoznaczny.

Literatura

[1] Fluitec International: Operation and Instruction Manual Version 2.0. R-DMS 2. RULER Data Management Software, 2006.

[2] 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
[3] Johnson M., Spurlock M.: Strategic Oil Analysis: Estimating Remaining Lubricant Life. Tribology and Lubrication Technology 2010, January, s. 2–10.
[4] 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.].
[5] Oleksiak S., Żółty M.: Wybrane metody badań do monitoringu środków smarowych, NAFTA-GAZ listopad 2012 ROK LXVIII s. 834 – 841
[6] http://www.machinerylubrication.com/Read/596/lubricant-oxidation
[7] http://www.machinerylubrication.com/Read/305/fourier-transform-infrared-spectroscopy
[8] Rogoś E., Urbański A.: Związek pomiędzy dielektrycznymi a wybranymi fizykochemicznymi właściwościami olejów turbinowych, PROBLEMY EKSPLOATACJI 2-2012, s. 145 – 154
[9] Żółty M.: Ocena korelacji stopnia wyczerpywania inhibitora utleniania typu fenolowego w bezcynkowych olejach turbinowych wyznaczonego metodami IR i RULER, NAFTA-GAZ, ROK LXX, Nr 12 / 2014, s. 961 – 967
[10] http://www.machinerylubrication.com/Read/28747/antioxidant-monitoring-gas-engines

Akty normatywne

[11] ASTM D 6971, Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic and Aromatic Amine Antioxidant Content in Non-zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry
[12] ASTM D 6810, Standard Test Method for Measurement of Hindered Phenolic Antioxidant Content in Non-Zinc Turbine Oils by Linear Sweep Voltammetry
[13] PN-93/C-04189 Przetwory naftowe – Wykrywanie i oznaczanie dodatków przeciwutleniających obecnych w olejach elektroizolacyjnych

Wpływ warunków tarcia na charakterystyki tribologiczne smarów plastycznych
The impact of friction conditions on tribological properties of greases

Jolanta Drabik – Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych realizowanych w różnych warunkach tarcia, w obecności nietoksycznych smarów plastycznych. Oceniono wpływ warunków tarcia na charakterystyki przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe oraz trwałość użytkową ekologicznych smarów plastycznych. Charakterystyki tarciowe smarów wyznaczono na podstawie testów realizowanych w warunkach stałego jak i liniowego wzrostu obciążenia węzła tarcia oraz w warunkach działania wymuszeń cieplnych. Po testach oceniono wpływ warunków tarcia na zmiany zachodzące na powierzchni tarcia oraz na zmianę jakości badanych smarów. Do identyfikacji zmian zachodzących w warstwie wierzchniej pod wpływem tarcia zastosowano technikę SEM/EDS. Natomiast do oceny zmian odporności oksydacyjnej smarów zastosowano różnicową kalorymetrię skaningową DSC. Na podstawie uzyskanych rezultatów oceniono skuteczność działania zastosowanych smarów plastycznych i ich możliwość pracy w węzłach tarcia narażonych na działanie wymuszeń mechanicznych i cieplnych.

Słowa kluczowe: smar plastyczny, właściwości tribologiczne, warunki testu, odporność oksydacyjna, analiza powierzchni, zmiana właściwości

Abstract

The article presents the results of tribological tests carried out under different conditions of friction, in the presence of non-toxic greases. Rated influence of friction on the

characteristics antiscuffing non-toxic greases. Friction characteristics were determined on the basis of tests carried out under constant and linear load increases friction and heat extortion operating conditions. After testing rate the influence on the changes on the surface friction and change the quality of the tested lubricants. To identify changes in the surface layer due to the friction applied analysis SEM/EDS. The change in the oxidation resistance of lubricants was determined by differential scanning calorimetry DSC. Based on the results evaluated possible use of lubricants in under conditions of mechanical and thermal.

Keywords: grease, tribological properties, test conditions, oxidation resistance, surface analysis, change properties

Wprowadzenie

Środki smarowe na bazie surowców naftowych charakteryzują się korzystnymi właściwościami eksploatacyjnymi, jednak mogą one stanowić istotne zagrożenie dla środowiska naturalnego poprzez emisję do otoczenia szkodliwych produktów przemian powstających w trakcie użytkowania. Zgodnie z wymaganiami ustawodawczymi dotyczącymi ochrony środowiska perspektywiczny jest rozwój środków smarowych w oparciu o nietoksyczne komponenty, w tym mineralne, syntetyczne i roślinne oleje bazowe zakwalifikowane do IV i V grupy wg klasyfikacji API [1, 2]. Składniki roślinne ze względu na ich nietoksyczność i biodegradację odgrywają kluczowe znaczenie przy pozyskiwaniu nowych baz surowcowych. Dzięki możliwości sterowania ich ilościami, jak również w pewnym stopniu ich składem chemicznym oleje roślinne są coraz częściej stosowane jako komponenty środków smarowych bezpiecznych dla środowiska naturalnego [6, 7, 10].

Zmiany zachodzące w środkach smarowych podczas eksploatacji związane są przede wszystkim z warunkami pracy węzłów tarcia, a w szczególności z oddziaływaniem wymuszeń mechanicznych, czynników utleniających czy temperatury [4, 5, 8]. Działanie wysokich obciążeń, prędkości obrotowych, wstrząsów, wibracji jak również obecność metali katalizujących utlenianie, wody czy zanieczyszczeń substancjami chemicznymi stanowi główną przyczynę pogorszenia jakości eksploatowanych środków smarowych, co w konsekwencji prowadzić do uszkodzenia współpracujących elementów trących [6, 9].

Zapewnienie trwałości eksploatacyjnej skojarzeń trących, odpowiedniej do warunków użytkowania jest jednym z ważniejszych aspektów przy wyborze metod oceny właściwości funkcjonalnych smarów plastycznych [11, 12]. W tym kontekście zasadne jest podejmowanie badań dotyczących oceny kinetyki zmian jakości nowo opracowanych środków

smarowych, które zachodzą pod wpływem wymuszeń cieplnych i mechanicznych oraz dążenia do wyznaczenia charakterystyk tribologicznych ocenianych środków [3, 5, 6]. Wymaga to przeprowadzenia testów w zróżnicowanych warunkach modelowych węzłów tarcia oraz zastosowania odpowiednich metod identyfikacji zachodzących zmian pod wpływu czynników destrukcyjnych oddziaływujących na system tribologiczny.

Celem pracy było zbadanie wpływu warunków tarcia na charakterystyki tribologiczne badanych smarów plastycznych, które różniły się składem. Zaprezentowano wyniki testów tribologicznych realizowanych w warunkach wymuszeń mechanicznych, przy stałym oraz liniowo wzrastającym obciążeniu węzła tarcia, jak również w warunkach wymuszeń mechanicznych i **cieplnych. Przyjęte założenia wymagały przeprowadzenia testów tar**ciowych w środowisku badanych smarów oraz zidentyfikowania zmian zachodzących na powierzchniach trących pod wpływem wymuszeń.

Metodyka badań

Wybrane smary plastyczne uzyskane na bazie oleju mineralnego, syntetycznego i roślinnego poddano testom tribologicznym, tabela 1 Testy realizowano za pomocą aparatu czterokulowego T02, w temperaturze otoczenia, w warunkach stałego i liniowego obciążenia węzła tarcia oraz za pomocą testera T11 w skojarzeniu typu kula – tarcza, w warunkach stałego obciążenia i działania temperatury.

Za pomocą testera T02 w godzinnym teście, prowadzonym w warunkach stałego obciążenia (P) węzła tarcia wynoszącego 392 N, stałych obrotach wrzeciona 500±20 obr/min i w temperaturze 20±5°C wyznaczono właściwości przeciwzużyciowe badanych smarów. Po zakończeniu testu mierzono średnicę skaz (d) powstałych na nieruchomych kulkach, a następnie obliczano wartość graniczne obciążenie zużycia z zależności Goz=0,52·P/d2, w której uwzględniono obciążenie węzła tarcia (P) oraz średnią średnicę śladu zużycia (d). Pomiary średnicy śladów zużycia kulek wykonano za pomocą mikroskopu optycznego Nikon NM-40 mierząc wielkość śladów zużycia, w kierunku równoległym i prostopadłym do kierunku tarcia. Wyznaczony parametr Goz przyjęto jako miarę skuteczności przeciwzużyciowej badanych smarów w warunkach testu (rys. 1). Natomiast w warunkach liniowego wzrostu obciążenia węzła tarcia, przy zachowaniu stałej szybkości przyrostu obciążenia 409 N/s, obrotach wrzeciona 500±20 obr/min i prędkości poślizgu 0,19 m/s, wyznaczono odporność węzła tarcia na zacieranie na podstawie odczytanej z wykresu wartości obciążenia zacierającego Pt (rys. 3).

Tabela 1 Przedmiot badań i wykaz wykonanych testów tribologicznych

Smar plastyczny	Komponenty smaru			Testy tribologiczne		
	baza olejowa	zagęszczacz	dodatek	Tester T02	Tester T11	Test wg ASTMD 3336
P	mineralna	mydlany	-	x	x	-
P-T			polimerowy T	x	x	x
F	syntetyczna	nieorganiczny	-	x	-	-
F-T			polimerowy T	x	-	x
R	roślinna	nieorganiczny	-	x	x	-
R-S			roślinny S	x	x	-

Za pomocą testera T11 realizowano testy tribologiczne w skojarzeniu typu kula-tarcza, w warunkach izotermicznych, w trzech różnych temperaturach t_1=20°C, t_2=60°C, t_3=120°C, przy stałym obciążeniu węzła tarcia 50 N i prędkości poślizgu 0,25 m/s, na drodze tarcia 3000 m. Elementy testowego węzła tarcia, zarówno tarcza, jak i kulka wykonane były ze stali łożyskowej 100Cr6. Po testach tribologicznych oceniono stan powierzchni elementów trących skojarzenia typu kula-tarcza po testach prowadzonych przy zadanej i utrzymywanej, stałej temperaturze (t_1=20°C, t_2=60°C, t_3=120°C). Poza zmiennym czynnikiem cieplnym pozostałe parametry testu takie jak: obciążenie, prędkość oraz droga tarcia były jednakowe dla wszystkich ocenianych kompozycji smarnych. Przedstawiono zależność pomiędzy temperaturą testu, a zmianą śladu zużycia stalowego węzła tarcia typu kula – tarcza smarowanego badanymi smarami (rys. 4).

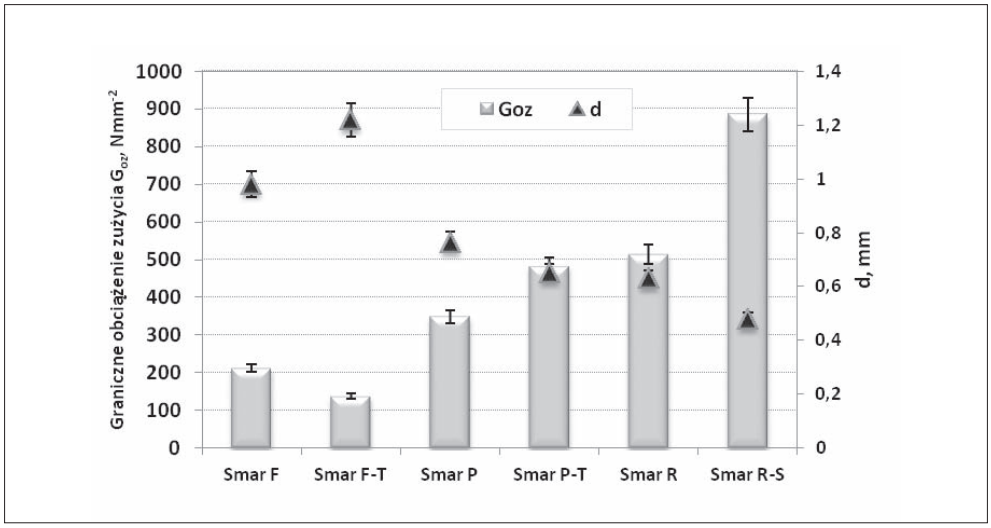
Po przeprowadzonych testach tribologicznych (T11) wyznaczono odporność oksydacyjną badanych smarów metodą skaningowej kalorymetrii różnicowej DSC, co umożliwiło ocenę wpływu wymuszeń cieplnych i mechanicznych na zmianę odporności smarów na proces utleniania (rys. 5). Porównanie uzyskanych wyników przed i po testach umożliwiło ocenę skuteczności działania zastosowanych dodatków: polimerowego T oraz preparatu roślinnego S.

Trwałość użytkową smarów plastycznych pracujących w łożysku typ SAE No 204 wyznaczono zgodnie z normą ASTM D 3336, w ustalonych warunkach: przy obciążeniu 22±2N, obrotach 10 tys. obr/min oraz w warunkach izotermicznych, w temperaturze 100°C, 120°C, 150°C. Badanie prowadzono w cyklu dobowym (20 godzin pracy/4 godziny przerwy) aż do wystąpienia warunków zakończenia testu, a mianowicie 3-krotnego wzrostu oporów

toczenia, bądź wzrostu temperatury o ponad 15°C lub niemożliwości uruchomia stanowiska po postoju. Dla badanego smaru wyznaczono czas trwania testu, który świadczy o trwałości użytkowej smaru w warunkach testu i skuteczności jego przeciwdziałania wystąpieniu awarii łożyska.

Wyniki i dyskusja

Porównanie charakterystyk tribologicznych badanych smarów plastycznych wyznaczone w warunkach stałego obciążenia przedstawiono na wykresie, rys. 1 Jak wynika z zamieszczonych danych każdy z badanych smarów charakteryzuje się odmiennym zachowaniem w warunkach tarcia granicznego. Stwierdzono, że smar plastyczny na bazie oleju roślinnego charakteryzuje się znacznie korzystniejszymi właściwościami przeciwzużyciowymi niż smary mineralne i syntetyczne. W przypadku smaru roślinnego (smar R), do którego wprowadzono preparat S (smar R-S), zaobserwowano wyraźny wzrost odporności na zużywanie.



Rys. 1. Charakterystyki tribologiczne badanych smarów plastycznych w warunkach stałego obciążenia – graniczne obciążenie zużycia G_{oz} oraz średnia średnica śladu zużycia, d

W przypadku smaru mineralnego (smar P), gdy do modyfikacji użyto dodatek polimerowy T (smar P-T) zaobserwowano wzrost właściwości przeciwzużyciowych smaru, które wyznaczono w warunkach tarcia granicznego.

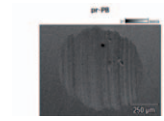
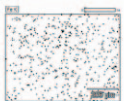
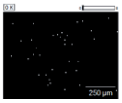
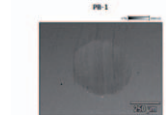
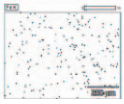
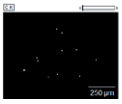
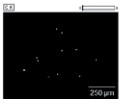
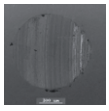
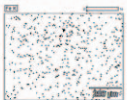
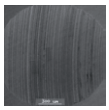
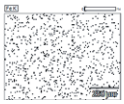
Stwierdzono, że zastosowany do mineralnego smaru plastycznego dodatek polimerowy (smar P-T) działa jako dodatek przeciwzużyciowy. Wprowadzenie do smaru mineralnego dodatku skutkowało zmniejszeniem średnicy skazy kulki o ok. 15%, co bezpośrednio wpłynęło na wartości granicznego obciążenia zużycia G_{oz}. Świadczy to o korzystnym wpływie dodatku polimerowego na właściwości przeciwzużyciowe smaru. Natomiast dodatek takiej samej ilości polimeru T do smaru syntetycznego (Smar F-T) spowodował odwrotny skutek. Nastąpił wzrost średnicy skazy na kulkach testowych i obniżenie wartości granicznego obciążenia zużycia (rys. 1). Wyniki badań potwierdziły, że należy bardzo starannie dobierać dodatki uszlachetniające, odpowiednio do rodzaju smaru plastycznego i warunków eksploatacji.

Pod wpływem wymuszeń mechanicznych realizowanych podczas testów tribologicznych następują zarówno zmiany jakościowe smaru, jak również zmianie ulega warstwa wierzchnia współpracujących elementów trących. Po godzinnym teście zużyciowym z udziałem badanych smarów plastycznych, bez i z dodatkami funkcjonalnymi przeprowadzono analizę powierzchni śladu zużycia na kulkach testowych. W tabeli 2 przedstawiono obrazy SEM oraz mapy EDS rozmieszczenia na powierzchni tarcia pierwiastków charakterystycznych dla materiału węzła tarcia.

Na podstawie analizy rentgenograficznej EDS, porównując zawartość pierwiastków zaadsorbowanych na powierzchni kulki po teście zużyciowym G_{oz} stwierdzono, że wprowadzenie dodatku polimerowego do mineralnego (smar P-T) i syntetycznego (smar F-T) smaru powoduje nieznaczne zmniejszenie ilość żelaza na powierzchni kulki z jednoczesną zmianą zawartość procentowej badanych pierwiastków węgla, tlenu, krzemu (rys. 2), co świadczy o przenoszeniu składników dodatku na powierzchnię stalowej kulki. Badania techniką EDS powierzchni kulki potwierdziły, że na powierzchni kulki występują sygnały tlenu, krzemu i węgla wskazujące na obecność pierwiastków pochodzących od zastosowanego dodatku T.

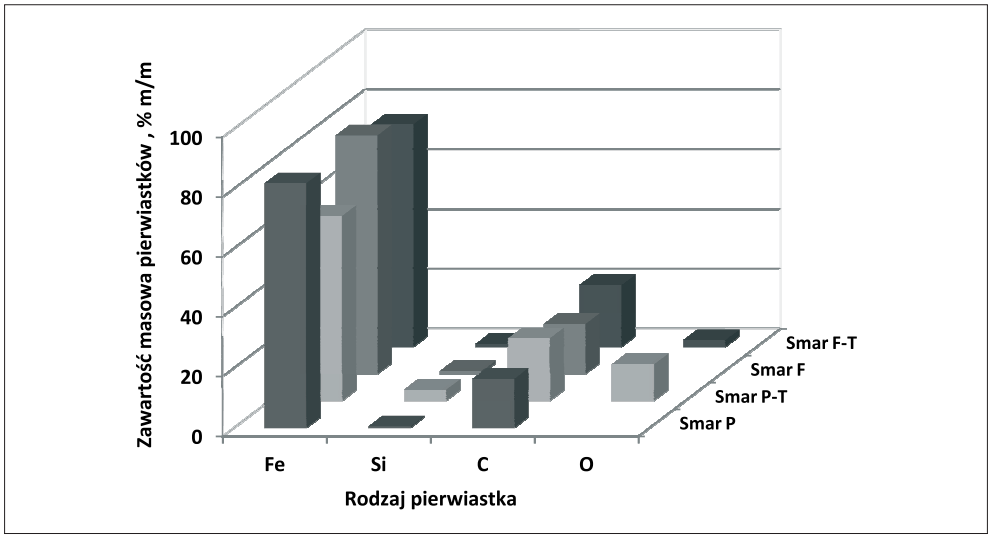
Smary plastyczne będące przedmiotem badań wykazują odmienny przebieg zmian momentu tarcia w funkcji liniowo narastającego obciążenia, charakteryzują się zmienną odpornością na działanie wymuszeń w warunkach zacierania. Na podstawie uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że warstwy graniczne utworzone z udziałem smaru P-T z dodatkiem polimerowym są trwalsze niż w przypadku stosowania smaru P jako medium smarowego.

Tabela 2
Obraz skaningowy SEM powierzchni śladów zużycia z analizą EDS rozmieszczenia pierwiastków na powierzchni kulki, po godzinnym teście prowadzonym w warunkach stałego obciążenia w środowisku badanego smaru plastycznego – Smar P, Smar P-T, Smar F, Smar F-T

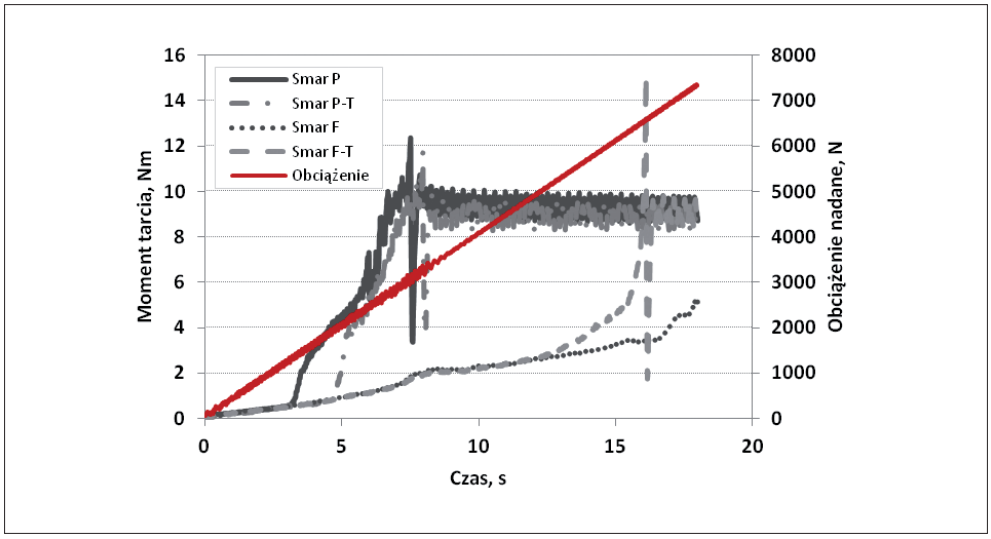
Rodzaj smaru	Obraz SEM	Rozmieszczenie pierwiastków w śladzie tarcia		
		Żelazo Fe	Węgiel C	Tlen O
Smar P				
Smar P-T				
Smar F				
Smar F-T				

W kolejnym teście zbadano wpływ warunku testu na charakterystyki tribologiczne badanych smarów i odporność na zacieranie testowego węzła tarcia smarowanego badanymi smarami (rys. 3). Na podstawie wartości obciążenia zacierającego P_t, które świadczy o nośności filmu smarowego oceniono właściwości przeciwzatarciowe smarów.

Odmienny przebieg zacierania obserwujemy dla smaru syntetycznego F i smaru F-T (rys. 3). W tym przypadku dodatek polimeru wpłynął na obniżenie trwałości filmu smarowego, co powoduje szybsze zacieranie testowego węzła tarcia.

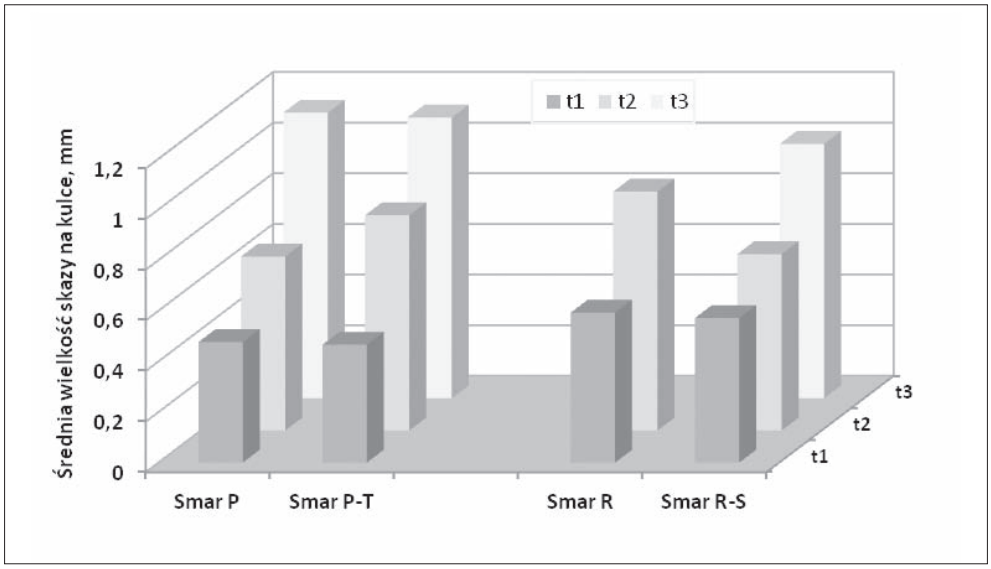


Rys. 2. Wyniki analizy rentgenowskiej EDS z powierzchni kulki po godzinnym teście zużyciowym prowadzonym w środowisku badanych smarów – Smar P, Smar P-T, Smar F, Smar F-T



Rys. 3. Charakterystyki tribologiczne badanych smarów plastycznych w warunkach liniowego wzrostu obciążenia – obciążenie zacierające P_t

Następnie wyznaczono charakterystyki tribologiczne smarów plastycznych poddanych działaniu wymuszeń mechanicznych i cieplnych w procesie tarcia. Testy prowadzono w warunkach stałego obciążenia i w zaprogramowanej temperaturze (t_1=20°C, t_2=60°C, t_3=120°C). Po zakończeniu testu oceniono wpływ warunków tarcia na zużycie kulki skojarzenia trącego typu kula –tarcza (rys. 4). Po testach sprawdzono wpływ warunków testu na zmianę jakości badanych smarów wyznaczając ich odporność oksydacyjną (rys. 5).



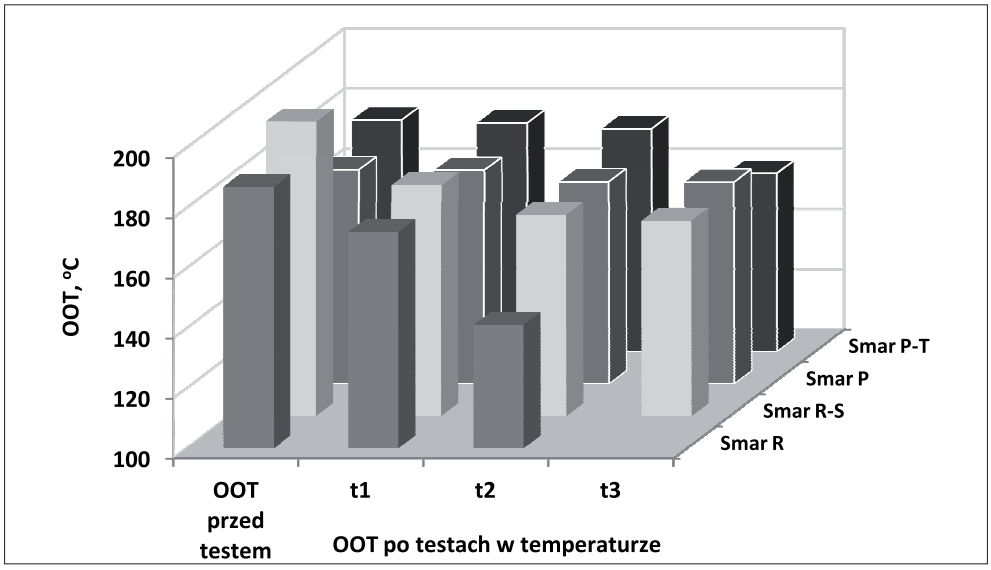
Rys. 4. Charakterystyki tribologiczne badanych smarów plastycznych w warunkach stałego obciążenia i działania wymuszeń cieplnych – wpływ temperatury na zużycie kulki węzła tarcia typu kula – tarcza

Pomiary prowadzone w trzech różnych temperaturach wykazały istotny wpływ czynnika cieplnego na zużycie elementów węzła tarcia smarowanego badanymi smarami plastycznymi.

Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem temperatury testu nastąpił wyraźny wzrost zużycia elementów węzła tarcia smarowanego badanymi smarami. W przypadku smarów roślinnych stwierdzono, że dodatek preparatu S do smaru (Smar R-S) powoduje skuteczną ochronę węzła tarcia przed zużyciem w warunkach testu prowadzonego w temperaturach 20°C, 60°C i 120°C.

Po teście prowadzonym w temperaturze t_2 (60°C) zaobserwowano, że smar R podczas tego testu uległ zżelowaniu. Prawdopodobną przyczyną zżelowania tego smaru była polimeryzacja nagromadzonych produktów utleniania roślinnego oleju bazowego, która wystąpiła podczas trwania testu pod wpływem zadanej temperatury i obciążenia. Z tego względu, dla smaru R, nie było możliwe wykonanie testu w najwyższej temperaturze t_3.

Następnie po przeprowadzonych testach oceniono wpływ warunków tarcia na zmiany odporności oksydacyjnej badanych smarów. Za pomocą metody DSC wyznaczono temperaturę początku utleniania OOT smarów przed i po testach (rys. 5).

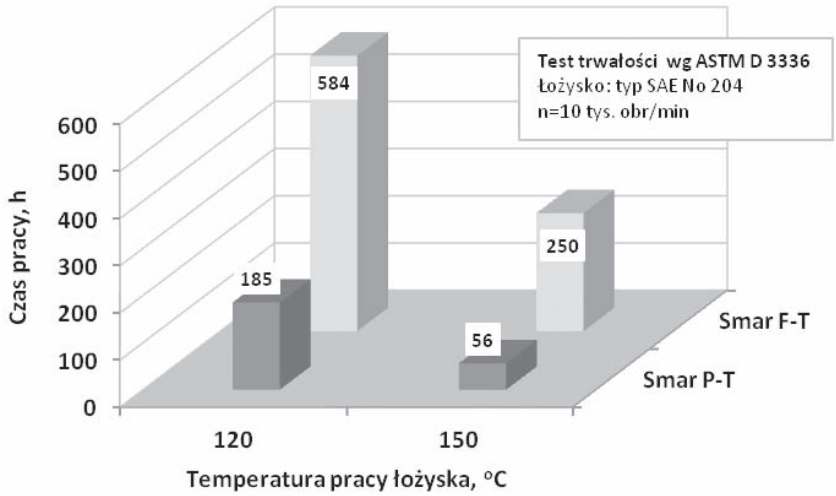


Rys. 5. Zmiana odporności oksydacyjnej smaru roślinnego (Smar R, Smar R-S) i mineralnego (Smar P, Smar P-T) po testach prowadzonych w warunkach stałego obciążenia i w stałej temperaturze t_1, t_2, t_3

Porównując odporność oksydacyjną badanych smarów plastycznych przed i po testach tribologicznych prowadzonych w podwyższonych temperaturach (t_1= 20°C, t_2= 60°C, t_3= 120°C) zaobserwowano wyraźny spadek odporności oksydacyjnej w przypadku roślinnego smaru R w porównaniu do smaru R-S stabilizowanego dodatkiem S oraz smarów mineralnych P i P-S (rys. 5). Stwierdzono, że warunki testu (temperatura 60°C

i obciążenie 50 N) były zbyt ekstremalne dla niestabilizowanego smaru R i spowodowały zniszczenie jego struktury. Zastosowany dodatek S umożliwił podwyższenie odporności na proces utleniania roślinnego smaru R i dopasowanie jakości tego smaru do trudnych warunków oddziaływania wymuszeń cieplnych i mechanicznych w procesie tarcia.

W następnym teście sprawdzono trwałość użytkową smarów plastycznych w wysokiej temperaturze, co wymagało przeprowadzenia badań w znormalizowanych warunkach wg normy ASTM D 3336. Modyfikowane smary plastyczne – smar P-T oraz smar F-T poddano badaniom w łożysku pracującym w temperaturach 100°C, 120°C, 150°C, rys. 6.



Rys. 6. Trwałość użytkowa smarów plastycznych pracujących w łożysku w temperaturach 120°C i 150°C – smar P-T oraz smar F-T

Wyznaczona trwałość użytkowa badanych smarów w temperaturze 100°C była jednakowa, a test zakończono po 930 godzinach pracy, gdyż nic nie wskazywało na wystąpienie symptomów świadczących o awarii łożyska. Stwierdzono, że smary pracujące w tej temperaturze, zarówno smar P-T, jak i smar F-T spełniają swoją funkcję i skutecznie chronią łożysko przed zatarciem. Zróżnicowanie czasu pracy łożysk smarowanych badanymi smarami nastąpiło w wyższych temperaturach, w 120°C i 150°C. Zaobserwowano istotne wydłużenie czasu pracy łożyska smarowanego smarem F-T opracowanym na bazie oleju

syntetycznego w porównaniu do smaru P-T na bazie oleju mineralnego, w każdej badanej temperaturze. Stwierdzono, że smar syntetyczny z powodzeniem może być stosowany w łożyskach pracujących w warunkach podwyższonej temperatury.

Wnioski

Przeprowadzone testy i wyznaczone charakterystyki tribologiczne badanych smarów mogą stanowić wskazówki do komponowania smarów o wymaganych właściwościach oraz wytyczne do odpowiedniego doboru smaru w zależności od warunków pracy węzłów tarcia.

Stwierdzono, że podczas pracy elementów skojarzenia węzła tarcia narażonego na jednoczesne działanie wymuszeń cieplnych i mechanicznych występują sprzyjające okoliczności do intensywnego procesu utleniania smaru. Zwiększenie odporności oksydacyjnej smaru poprzez dobór odpowiedniego dodatku przyczynił się do poprawy odporności na proces utleniania i charakterystyki tribologiczne smarów roślinnych. Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość opracowania smarów plastycznych o wymaganych zastosowaniem właściwościach smarnych również na bazie olejów roślinnych.

Przeprowadzony test łożyskowy w warunkach dynamicznych, porównywalnych do rzeczywistych warunków pracy występujących podczas eksploatacji, umożliwił wyznaczenie i ocenę wpływu zastosowanych komponentów na trwałość użytkową badanych smarów plastycznych.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki" w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

Literatura

[1] API Publication 1509 Engine oil and licensing certification system. 14th ed. American Petroleum Institute, 1996.

[2] Bartz W.J., Ecotribology: Environmentally acceptable tribological practices. Tribol. Int., 2006, 39, 728–733.

[3] Bystrzejewski M., Huczko A., Lange H., Drabik J., Pawelec E.: Influence of C60 and fullerene soots on the oxidation resistance of vegetable oils. Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures (2007), 15:6, pp 427-438.
[4] Drabik J. Wymuszenia cieplne w testach tribologicznych a skuteczność działania nietoksycznych smarów plastycznych. Tribologia nr 4 (2012), s. 49-58.
[5] Drabik J., Trzos M.: Improvement of the resistance to oxidation of the ecological greases by the additives. J Therm Anal Calorim (2013) 10.1007/s10973-013-3090-7.
[6] Gatzen M.M. et al.: Correlation between performance and boundary layers in high speed bearings lubricated with polymer-enhanced greases. Tribology International 43 (2010) 981–989.
[7] Iłowska J., Gniady J., Kozupa M., Drabik J.: Stabilizacja ekologicznych środków smarowych otrzymywanych na bazie oleju rzepakowego. Przem. Chem., 2011, 90 (10), s. 1818-1822.
[8] Lawal S. A.: A review of application of vegetable oil-based cutting fluids in machining non-ferrous metals. Indian Journal of Science and Technology Vol: 6 Issue: 1 January 2013
[9] Matthew, T.S., Nader, S., Bigyan, A., Lambert, A.D.: Influence of fatty acid composition on the tribological performance of two vegetable-based lubricants. Journal of Synthetic Lubrication 2007;24:101–10.
[10] Reyes-Gavilan J., Odorisio P.: Evaluation of the thermal-oxidative characteristics of grease by pressurized differential scanning calorimetry. NLGI Spokesman, Vol. 67, 2004, pp 20-27.
[11] Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. Zacieranie. ITeE. Radom, 2000
[12] Szczerek M.: Metodologiczne problem systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych. Biblioteka Problemów Eksploatacji, Radom 1997

Wpływ smarowania lin nośnych górniczych wyciągów szybowych na zmniejszenie zużycia korozyjnego, a niebezpieczeństwo poślizgu

The lubrication impact of carring ropes of shaft hoist on the reduction of corrosion consumption and the danger of slipping

Ewa Kania – Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego Sp. z o.o.

Streszczenie

W referacie przedstawiono główne cele smarowania lin nośnych z napędem ciernym.

Wykazano wpływ smarowania na naprężenia w drutach przeginanych lin stalowych oraz wpływ smarowania na sprzężenie cierne pomiędzy liną, a wykładziną koła pędnego.

Omówiono metodykę oznaczania parametrów smarowania lin nośnych.

Przedstawiono metody badawcze oraz wymagania co do ilości smaru w splotkach i w rdzeniu w oparciu o normy PN-G-46607:1993, DIN 21258:2007-04 oraz atesty producenta smaru i producenta liny.

Słowa kluczowe: smarowanie lin nośnych.

Summary

The paper presents the main objectives lubrication of bearing ropes with driven friction. The influence of lubrication on stresses in knitting bending in tench of steel and influence of lubrication of friction coupling between rope and the lining was demonstrated. The methodology for determination of parameters of lubrication ropes was discussed.

Research methods and the requ irements as to the amount of lubricant in the strands and in the core according to standards PN-G-46607:1993, DIN 21258:2007-04 were presented as well as certificates of lubricant manufacturer and the manufacturer of the rope.

Keywords: lubrication of bearing ropes.

Sformułowanie problemu smarowania lin

Liny stalowe smaruje się głównie po to, aby zwiększyć ich odporność na korozję. W czasie produkcji lin smaruje się rdzenie lin, poszczególne druty i splotki jak i całe liny. Zalecane jest również smarowanie uzupełniające w czasie eksploatacji lin. To są pozytywne efekty smarowania lin. Niestety smarowanie lin stwarza zagrożenie bezpieczeństwa w napędach ciernych stosowanych powszechnie w urządzeniach transportu linowego. Najczęstszymi rodzajami uszkodzeń typu katastroficznego górniczych wyciągów szybowych są przejazdy skrajnych poziomów technologicznych przez naczynia wyciągowe. W przypadku górniczych wyciągów szybowych, które są wyposażone w koła (bębny) pędne (cierne pędnie linowe), główną przyczyną ww. przejazdów są poślizgi lin nośnych względem kół lub bębnów pędnych. Każda awaria tego typu na ogół kończy się – jeżeli wyciąg jest wyposażony jedynie w prowadniki zgrubione – zniszczeniem naczyń, stałych belek odbojowych, trzonów wież wyciągowych, zerwaniem lin nośnych i wyrównawczych itp. co zawsze jest związane z dużymi startami materialnymi, a także stanowi poważne zagrożenie dla życia i zdrowia transportowanych ludzi.

Z jednej strony wykazano pozytywne aspekty smarowania lin, z drugiej strony wykazano, że nadmiar smaru w linie może stwarzać poważne zagrożenie, a nawet może być przyczyną katastrofy.

2. Wpływ smarowania na zużycie korozyjne lin stalowych

Zmienne obciążenie, jak i położenie drutów w linie, wynikające ze złożonej jej konstrukcji, powodują, że poszczególne druty pracują w warunkach wieloosiowego stanu naprężeń zmiennych.

W wyniku tego w linie występują złomy zmęczeniowe drutów, które obniżają jej nośność i po pewnym czasie pracy powodują zerwanie liny.

Zagadnienie czasu pracy lin łączy się bezpośrednio z pojęciem trwałości zmęczeniowej.

Trwałość zmęczeniową można przedstawić w postaci funkcji (1)

$$N = f(R_m, n, \delta, d, D, r_1, E_2, \nu, \alpha_{op}, \mu, c, K, S) \qquad (1)$$

gdzie:
R_m – wytrzymałość na rozciąganie materiału drutu liny,
n – współczynnik bezpieczeństwa,
δ – średnica drutu,
d – średnica liny,
D – średnica przeginania,
r_2 – promień rowka,
E_2 – moduł sprężystości materiału rowka,
v – prędkość nabiegania liny na koło (bęben) linowy,
α_{op} – kąt opasania koła (bębna) przez linę,
μ – współczynnik tarcia (sprzężenie cierne)
c – liczba przegięć w jednostce czasu,
K – konstrukcja liny, współzwita, przecizwita
S – styk drutów w splotkach, punktowy, liniowy, powierzchniowy.

Ponadto działanie korozyjne na liny stalowe wywierają następujące czynniki środowiskowe:

- opady atmosferyczne,
- wilgotność powietrza,
- wody o wysokiej zawartości jonów chlorkowych,
- zanieczyszczenia pyłowe.

Działanie zużyciowe, razem z czynnikami środowiskowymi, powodują rozwój korozji, która w konsekwencji doprowadza do pęknięć drutów, a te z kolei w przypadku braku kontroli i narastającej liczby pęknięć, mogą doprowadzić do zerwania liny.

Korozja lin może być zapoczątkowana już podczas ich składowania u producenta lub użytkownika.

W pracach badawczych wykazano, że zużycie korozyjne lin stalowych wywiera znacznie większy wpływ na trwałość zmęczeniową lin i własności mechaniczne drutów niż na wartości rzeczywistej siły zrywającej linę w całości.

Z uwagi na trudność w wykrywaniu i ocenie stopnia zużycia lin na skutek korozji, można uznać, że czynnik ten należy do grupy najbardziej niebezpiecznych, wpływających na stan techniczny lin wyciągowych, a tym samym bezpieczeństwo ich pracy.

Smar zwiększa odporność liny przed korozją.

Poza wzrostem odporności na korozję smarowanie lin przyczynia się do obniżenia wartości współczynników tarcia pomiędzy drutami w splotkach oraz pomiędzy splotkami.

Im mniejsze są wartości tych współczynników tarcia tym mniejsze są naprężenia powstające w drutach w czasie przeginania lin na kołach i bębnach linowych. Wzrost odporności na korozję drutów oraz obniżenie naprężeń w drutach ma istotny wpływ na wzrost trwałości zmęczeniowej przeginanych lin stalowych.

Bardzo ważną rolę odgrywa smarowanie rdzenia, bowiem:

- zmniejsza tarcie między włóknami rdzenia,
- zapobiega gromadzeniu wilgoci,
- zapobiega rozwojowi mikroorganizmów – dotyczy rdzenia naturalnego.

Decyduje tutaj zarówno jakość smaru jak i jego ilość. Według niektórych prac badawczych trwałość liny smarowanej w stosunku do liny suchej wzrasta ponad dwa razy.

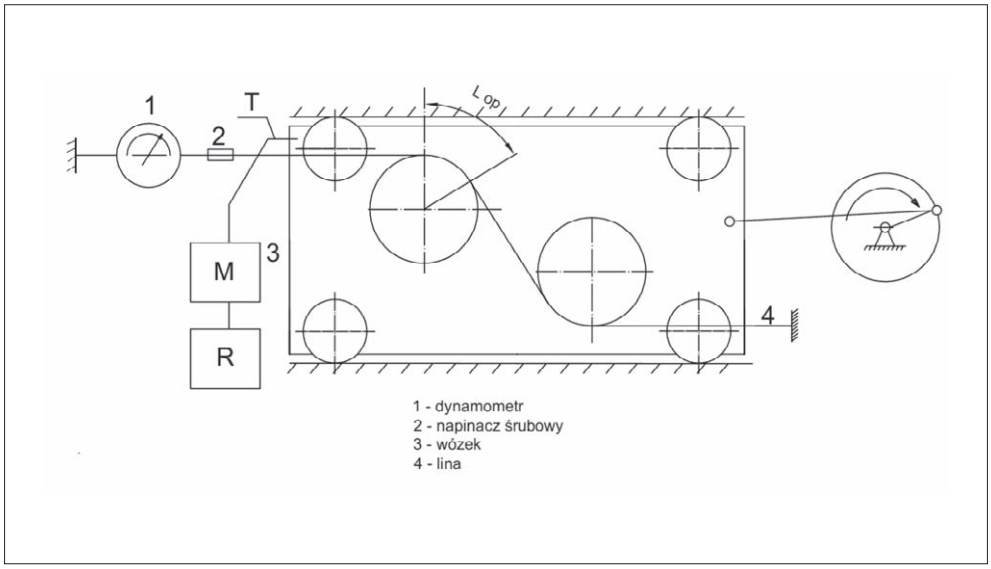
2.1 Wyniki badań wpływu smarowania na naprężenia w drutach lin

Należy pamiętać, że bezpośredni wpływ na trwałość zmęczeniową lin mają naprężenia zastępcze działające w najbardziej obciążonych drutach oraz zakresy zmian naprężeń w czasie przeginania liny.

Badania wpływu smarowania liny na naprężenia σ_g zostały potwierdzone badaniami przeprowadzonymi w laboratorium Katedry Transportu Linowego Akademii Górniczo-Hutniczej. Badania te zostały wykonane na stanowisku badawczym (rys. 1) dla liny o konstrukcji $6\times7+A_o$, którą przeginano na kole o średnicy 0,240 [m]. Naprężenia mierzono za pomocą czujników tensometrycznych naklejonych na co najmniej 2 druty warstwy zewnętrznej splotki.

Pomiar przeprowadzono dla dwóch wartości siły rozciągającej S_1 = 3500 N i S_2 = 38000 N oraz następujących kątów opasania: α_{op} = 2°06'; 4°30'; 8°10'; 12°50'; 15°; 20°; 30°10'; 37°; 49°30'. Po wykonaniu tych pomiarów linę moczono przez 24 godziny w oleju maszynowym i następnie całą serię powtórzono. Na podstawie otrzymanych wyników badań wysunięto następujące wnioski:

- wartość naprężeń pochodzących od przeginania liny σ_g zależy od kąta opasania. Graniczna
- wartość kąta, powyżej której nie występuje wzrost naprężeń σ_g wynosi około 30°.
- **smarowanie liny obniżyło wartości naprężeń pochodzących od przeginania σ_g o około 20%**.



Rys. 1 Schemat stanowiska badawczego

3. Wpływ smarowania na niebezpieczeństwo poślizgu

Jedynym negatywnym skutkiem smarowania lin, jest obniżenie współczynnika tarcia pomiędzy liną a wykładziną koła pędnego, co ma bardzo istotne znaczenie przede wszystkim ze względów bezpieczeństwa w napędach ciernych. Najczęstszymi rodzajami uszkodzeń typu katastroficznego górniczych wyciągów szybowych są przejazdy skrajnych poziomów technologicznych przez naczynia wyciągowe. W przypadku górniczych wyciągów szybowych, które wyposażone są w koła (bębny) pędne (cierne pędnie linowe), główną przyczyną ww. przejazdów są poślizgi lin nośnych względem kół lub bębnów pędnych.

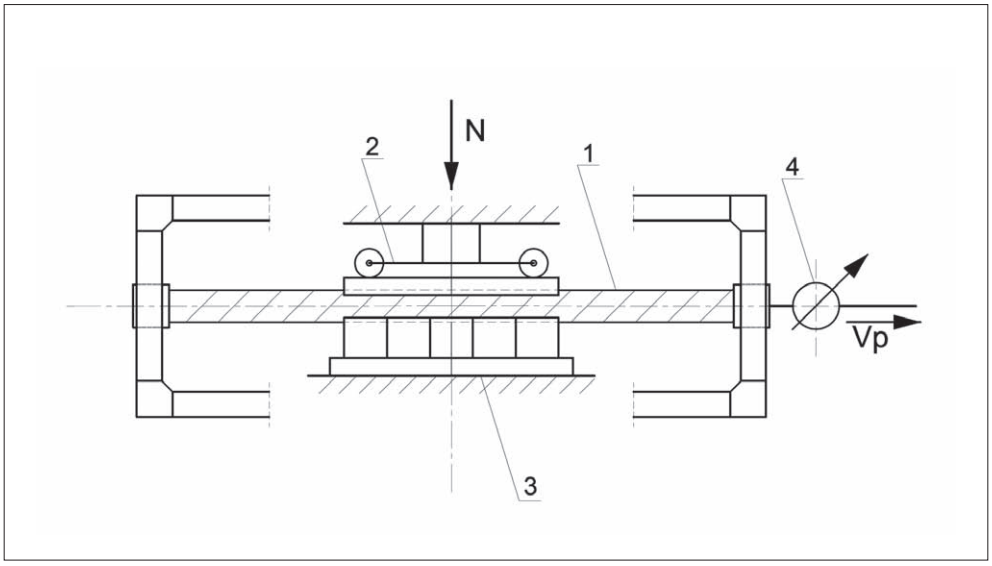
Współczynnik tarcia pomiędzy liną i wykładziną koła (bębna) pędnego powinien być wystarczający, aby zapewnić odpowiednie sprzężenie cierne. Zgodnie z obowiązującymi polskimi przepisami górniczymi dla kół pędnych jednolinowych i wielolinowych, wartość współczynnika tarcia liny o wykładzinę z tworzywa sztucznego nie może być mniejsza od $\mu \geq 0{,}25$ (niezależnie od warunków pracy tej pary ciernej).

Rzeczywista wartość współczynnika zależy w głównej mierze od rodzaju wykładziny, ale również od:

- kształtu rowka wykładziny,
- jakości i ilości smaru,
- temperatury otoczenia, wilgotności, zapylenia,
- powierzchni liny,
- nacisków pomiędzy liną i wykładziną.

Opisane poniżej badania wpływu smaru na współczynnik tarcia przeprowadzono w laboratorium Katedry Transportu Linowego Akademii Górniczo-Hutniczej. Do badań przeprowadzonych na stanowisku badawczym (rys. 3) użyto:

- różnych mieszanek tworzyw syntetycznych,
- linę współzwitą o średnicy 20 mm i konstrukcji S6×19+A_o-Z/z,
- smarów: Elaskon II Sar i Nyrosten N113.



Rys. 3 Schemat stanowiska do badań współczynnika tarcia [17]

Badanie przeprowadzono poprzez napięcie w sztywnej ramie liny stalowej (1), która jest dociskana do wykładziny (3) z siłą N za pomocą ruchomego wózka (2). Badana

wykładzina ma rowek o promieniu (0,53-0,55) średnicy liny (1). Badanie prowadzono w różnych temperaturach:

- 10°C, 0°C, 20°C, 40°C, dla liny:
- niesmarowanej, suchej;
- niesmarowanej, mokrej;
- smarowanej smarem Elaskon II Star, suchej;
- smarowanej smarem Elaskon II Star, mokrej;
- smarowanej smarem Nyrosten N113, suchej;
- smarowanej smarem Nyrosten N113, mokrej.

W tabeli nr 1 przedstawiono wartości średnie współczynnika tarcia pomiędzy liną a wykładziną:

Tabela nr 1. Wartości średnie współczynnika tarcia $\mu_{śr}$ pomiędzy liną 22 S6×19+A_o-Z/z a wykładziną Modar R-3/Mz i naciskach p=2,0MPa:

Temperatura [°]	Stan powierzchni liny i wykładziny					
	Niesmarowane		smarowane smarem Elaskon II Star		smarowane smarem Nyrosten N113	
	suche	mokre	suche	mokre	suche	mokre
-10	0,425	-	0,495	-	0,392	-
0	0,566	0,652	0,584	0,553	0,407	0,440
20	0,682	0,591	0,442	0,445	0,399	0,420
40	0,687	0,601	0,286	0,311	0,270	0,281

Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

Smarowanie lin przyczynia się do obniżenia współczynników tarcia, a więc **smarowanie lin ma istotny wpływ na wartości współczynnika tarcia pomiędzy liną a wykładziną Modar R-3/M_Z.**

W temperaturze 40°C wartości te maleją od wartości μ=0,687 dla niesmarowanej liny do μ=0,270 dla liny nasmarowanej smarem Nyrostem N113.

W temperaturach ok. 30°C i wyższych następuje wyciskanie smaru z rdzenia liny, które w konsekwencji może obniżyć wartości współczynnika tarcia.

Z powyższych wyników badań wynika, że dobór optymalnej zawartości smaru w linie, zarówno ze względów zwiększenia maksymalnej odporności liny na korozję oraz trwałość zmęczeniową, jak i z drugiej strony zapewnienia bezpieczeństwa pracy, a więc odpowiedniego współczynnika tarcia, ma ogromne znaczenie.

Okazuje się, że jeśli liny są nieodpowiednio smarowane, mogą wystąpić problemy eksploatacyjne takie jak przenikanie smaru w stronę powierzchni liny nośnej, zwane też wyciskaniem smaru z liny i jego nagromadzenie się na powierzchni liny i na wykładzinach kół (smar powinien wykazywać się minimalną tendencją do przenikania w stronę powierzchni liny). Nagromadzenie smaru na linie może być przyczyną poślizgów podczas awaryjnego hamowania.

Do czynników mających wpływ na wyciskanie smaru należą:

- własności zastosowanego smaru w splotkach i rdzeniu liny,
- ilość smaru w splotkach i rdzeniu liny,
- jakość włókna stosowanego w linie,
- konstrukcja liny (kształt splotek, zwicie liny),

również czynniki zewnętrzne mają istotny wpływ na wyciskanie smaru:

- parametry eksploatacyjne wyciągu szybowego,
- siły dynamiczne w linie nośnej i ich różnorodność,
- obciążenia liny nośnej,
- zmiany temperaturowe liny,
- wykładzina.

4. Metody określania parametrów smarowania lin nośnych wyciągów ciernych

Bezpieczna eksploatacja maszyn wyciągowych z kołem pędnym wymaga informacji od użytkownika informacji o parametrach smarowania liny nośnej na podstawie świadectwa liny lub z bezpośrednich badań próbki nowo założonej liny.

Podstawowymi i zarazem najważniejszymi parametrami smarowania liny są:

- ilość smaru na drutach splotek wyrażona w % [*m/m*] lub w gramach na 1m liny [g/m] wg procedury badawczej opracowanej przez CBiDGP,
- zawartość substancji ekstrahowanej (którą stanowi: smar linowy, tłuszcze i woski pochodzące z naturalnego włókna oraz środki impregnujące stosowane podczas obróbki włókna) w rdzeniu liny wyrażona w % [*m/m*] wg PN-G-46607:1993,
- zawartość substancji ekstrahowanej w włóknie wyrażona w % [*m/m*],
- zawartość wilgoci w rdzeniu w % [*m/m*] wg PN-G-46607:1993.

Ocena parametrów smarowania lin wykonywana przez pracowników CBiDGP obejmuje w/w analizy (poza zawartością substancji ekstrahowanej w włóknie wyrażoną w % [*m/m*]), a dodatkowo przeprowadza się badania mające na celu określenie jakości smaru do których należą:

- analiza smaru za pomocą spektroskopii w podczerwieni (widma IR),
- oznaczenie temperatury kroplenia,
- oznaczenie penetracji.

Próbkę liny przeznaczonej do badań pobiera się z nowej liny u jej producenta lub z pozostałego odcinka liny u jej użytkownika. Po uprzednim wykonaniu na końcach próbki objemek odcina się szlifierką kątową dwa odcinki liny o długości około 500 mm każdy.

Pierwszy etap analizy polega na określeniu zwartości smaru w splotkach. Badana próbka zostaje rozplątana na splotki stalowe oraz rdzeń. Sploty stalowe zostają zważone, a następnie rozplecione na pojedyncze druty.

Z rozplecionych drutów smar zostaje usunięty przez wymycie odpowiednim rozpuszczalnikiem w myjce. Po wysuszeniu oczyszczone druty zostają zważone.

Z różnicy mas obliczona zostaje procentowa zawartość smaru w splotkach.

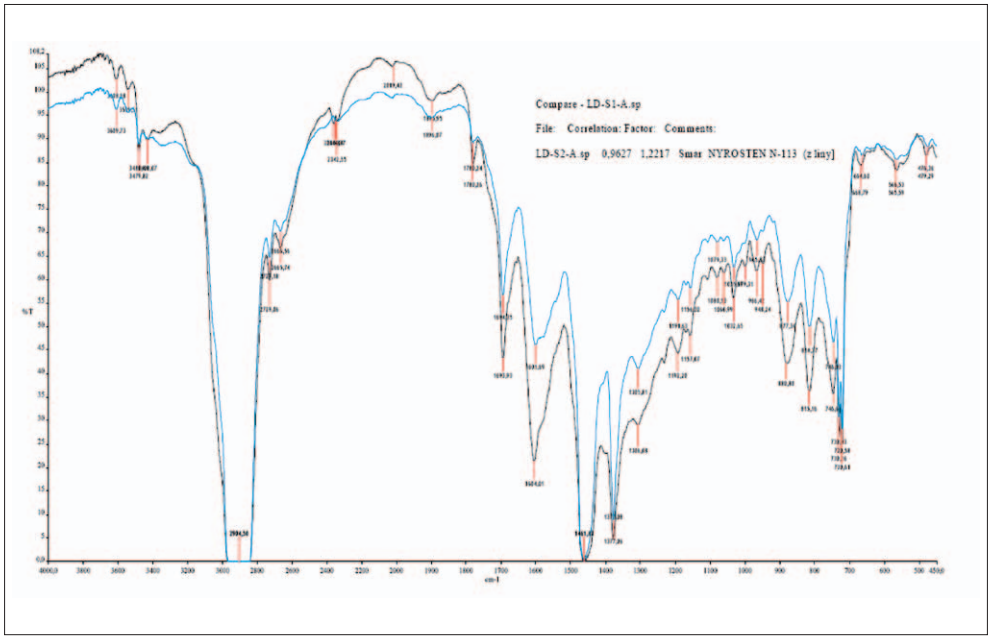
Drugi etap analizy obejmuje oznaczenie zawartości wody i smaru w rdzeniu liny wg PN-93/G-46607. W celu określenia zawartości substancji ekstrahowanej przeprowadza się ekstrakcję w aparacie Soxhleta za pomocą chlorku metylenu jako rozpuszczalnika. Zważoną próbkę liny (m_1) umieszcza się w aparacie Soxhleta po uprzednim wysuszeniu i zważeniu kolby ekstrakcyjnej. Następnie prowadzi się proces ekstrakcji stosując 150 ml chlorku metylenu do momentu, kiedy ekstrahent całkowicie wypłucze smar z próbki liny. Zawartość wody oznacza się metodą destylacyjną, oddestylowując azeotropowo z próbki rdzenia (m_2) wodę za pomocą ksylenu. Zawartość substancji ekstrahowanej wyraża się jako procentowy udział masy suchego materiału włókiennego pozostającego po ekstrakcji.

Trzeci etap analizy obejmuje badania mające na celu analizę identyfikacyjną badanego smaru na które składają się:

- analiza jakościowa smaru za pomocą widma w podczerwieni.

W tym celu wykonuje się widmo badanej próbki smaru oraz widmo smaru wzorcowego. Za pomocą odpowiedniego oprogramowania określa się współczynnik zgodności widm oraz analizuje się zgodność poszczególnych grup funkcyjnych przy określonych liczbach falowych (potwierdza się skład surowcowy badanego smaru oraz obecność ewentualnych zanieczyszczeń).

Porównawcze widmo badanej próbki smaru oraz smaru wzorcowego przedstawia rys. 4.



Rys 4. Spektrogram porównawczy próbki smaru pobranego (kolor niebieski) z liny do próbki smaru wzorcowego NYROSTREN N 113Oznaczenie temperatury kroplenia smaru (wg PN-ISO 2176) pobranego z próbki liny i jej porównanie z temperaturą kroplenia smaru wzorcowego lub z wynikami zamieszczonymi na świadectwie dostarczonym przez producenta smaru,

Oznaczenie penetracji w celu określenia klasy konsystencji wg NLGI. Pomiar polega na oznaczeniu głębokości zagłębienia znormalizowanego stożka w badanym smarze w czasie 5 sekund pod obciążeniem masą 150 g, temp. badania 25°C.

Uzyskany wynik porównuje się z penetracją smaru wzorcowego lub z wynikami zamieszczonymi na świadectwie dostarczonym przez producenta smaru (w celu potwierdzenia zgodności).

Czwarty etap analizy badania parametrów smarowania lin wyciągów górniczych polega na interpretacji wyników. Wyniki badań etapu I i II interpretuje się porównując uzyskane wartości do wartości zamieszczonych w świadectwie producenta liny i świadectwie producenta smaru.

Znając parametry smarownicze liny, uwzględniając temperaturę otoczenia pracy liny można przewidzieć w pierwszym okresie eksploatacji liny takie zdarzenia jak:

- wyciskanie smaru z liny i jego nagromadzenie się na powierzchni liny i na wykładzinach kół (można dokonać ocenę tendencji do wyciskania smaru w kierunku powierzchni liny. Określa się ją przez wyznaczenie z trzech parametrów smarowania liny ilości punktów. Z łącznej sumy punktów dokonuję się oceny wyciskania smaru z nowej liny),
- nagromadzenie smaru na linie w strefach przyspieszeń i opóźnień,
- ewentualne poślizgi przy hamowaniu,
- występowanie nierównych sił przy wyciągach wielolinowych.

Znając parametry smarowania nowej liny można przedsięwziąć środki mechanicznego usuwania jego nadmiernych ilości (smar z lin można usuwać za pomocą np.: obciągaczy, zgarniaczy, urządzeń szczotkujących, specjalnych urządzeń do czyszczenia).

Znajomość parametrów smarowania liny jest również potrzebna do przeprowadzenia procesu nanoszenia smaru konserwacyjnego w czasie eksploatacji.

5. Wymagania ilościowe smaru w splotkach i rdzeniu liny stalowej

Ilość smaru w splotkach i w rdzeniu liny (parametry smarowania liny) podana jest w normach: PN-G-46607:1993 oraz DIN 21258 oraz podawana jest w atestach (świadectwach) producenta liny lub producenta smaru. Zawartość smaru w rdzeniu i w splotkach podawaną przez dokumenty normalizacyjne oraz poszczególne świadectwa przedstawiono w tabeli nr 2.

Tabela nr 2

Parametry smarowania	Dane z atestu producenta		Wymagania – norma	
	smaru	liny	DIN 21258	PN-G-46607:1993
Zawartość smaru na drutach splotek	1,4–1,6% (*m/m*)	należy podać w ateście	75 g/m^2 (przy zł. ρ = 0,9 g/cm^3 warstwa smaru o grubości 80 µm)	nie określono ilościowo
Zawartość smaru w rdzeniu: sizalowym NF	14–16% (*m/m*)	11–13% (*m/m*)	<25%	<25%*
				12%–18% **
Zawartość substancji ekstrahowanej w przędzy naturalnej sizalowej	-	należy podać w ateście	-	<5%

* – zawartość substancji ekstrahowanej w ukończonym rdzeniu włókiennym
** – w przypadku przędzy, do których smary i środki impregnujące zostały dodane wcześniej podczas procesu produkcyjnego.

Należy zwrócić szczególna uwagę na zawartość smaru w rdzeniu. Przede wszystkim ze względu na to, że rdzeń jest elementem lin wpływającym na jej trwałość. Smar zawarty w rdzeniu ma za zadanie zapewnić ochronę przed korozją splotek i drutów.

Rdzenie organiczne wymagają odpowiedniej konserwacji również z uwagi na wysoką higroskopijność, gdyż zawilgocone, a nienasycone odpowiednią ilością smaru prowadzą do szczególnie niebezpiecznej korozji liny od wewnątrz.

W wielu przypadkach, niedostateczna ilość smaru w rdzeniu może być powodem krótszej eksploatacji liny.

Mała ilość smaru w procesie produkcji liny uzasadnia przeprowadzanie przez użytkownika smarowania uzupełniającego. W celu przeprowadzenia procesu smarowania uzupełniającego niezbędna jest wiedza użytkownika o parametrach smarowania lin.

6. Wnioski i podsumowanie

1) Potrzeba smarowania lin zarówno podczas produkcji jak i eksploatacji jest oczywista, ze względu na zwiększenie odporności na korozję, zmniejszenie naprężeń, a tym samym zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej przeginanych lin stalowych.

2) Zarówno jakość i ilość smaru w linie zwłaszcza na jej powierzchni, ma istotny wpływ na współczynnik tarcia między liną a wykładziną koła pędnego. W związku z powyższym bardzo istotny jest dobór właściwego smaru, zarówno podczas produkcji jak i podczas eksploatacji lin, jak również bardzo ważna jest kontrola zawartości smaru w linie.
3) W celu zapewnienia odpowiednio długiego i bezpiecznego okresu eksploatacji lin nośnych w urządzeniach wyciągowych należy przestrzegać zasad konserwacji lin poprzez stosowanie zaleceń instrukcji smarowania uzupełniającego.
4) W celu przeprowadzenia smarowania uzupełniającego niezbędna jest wiedza użytkownika o parametrach smarowania lin oraz znajomość parametrów eksploatacyjnych wyciągu szybowego.

7. Literatura

[1] Hansel J.: Wyznaczenie wpływu własności wykładzin kół kierujących na trwałość zmęczeniową lin stalowych w oparciu o analizę naprężeń w drutach. Praca doktorska. AGH Kraków 1972.
[2] Cholewa W.: Korelacje rzeczywistych sił zrywających ze wskaźnikami zużycia lin w czasie eksploatacji. Praca doktorska. AGH Kraków 1981.
[3] Hansel J., Kawecki Z. „Transport pionowy. Urządzenia szybowe i przyszybowe. Część I" AGH, Kraków 1989.
[4] PN-G-46607:1993: „Splotkowe liny stalowe dla wyciągów kopalnianych. Składniki włókienne. Wymagania i badania.
[5] PN-ISO 4346:1996: „Liny stalowe ogólnego przeznaczenia – smary -podstawowe wymagania."
[6] PN-ISO 3156:1999: „Splotkowe liny stalowe dla wyciągów kopalnianych. Środki impregnujące oraz smary stosowane w produkcji i eksploatacji."
[7] Slanina F.: „Smary do lin nośnych wyciągów ciernych, stosowane podczas produkcji lin i ich eksploatacji. Seminarium CBiDGP „Poślizgi lin w górniczych wyciągach szybowych", Szczyrk, maj 2001.
[8] Tytko A.: „Eksploatacja lin stalowych", Wydawnictwo Naukowe „Śląsk" Sp. Z o.o., Katowice 2003.
[9] Instrukcja konserwacji lin dźwigowych „Drumet S.A.", Warszawa 2003.
[10] Carbogno A., Fundalewicz Z., Mateja S., Pypłacz J.: „Brak smarowania uzupełniającego a stan bezpieczeństwa lin wyciągowych", Międzynarodowa Konferencja, październik 2004, Szczyrk.

[11] Carbogno A., S. Mateja, J. Pypłacz.: „Smarowanie uzupełniające lin w górniczych wyciągach szybowych podczas eksploatacji", Międzynarodowa Konferencja, październik 2004, Szczyrk."
[12] Carbogno A., Slanina F..: „Wpływ smarowania lin nośnych na bezpieczeństwo pracy górniczych wyciągów ciernych", II Międzynarodowa Konferencja, maj 2006, Ustroń.
[13] Carbogno A., Adamecki D.: „Badanie wpływu smaru na współczynnik tarcia pomiędzy liną wyciągową a wykładziną koła pędnego", II Międzynarodowa Konferencja, maj 2006, Ustroń.
[14] DIN 21258: „Konservierungsstoffe fur Triebscheiben- Forderseile im. Berggau. Sicherheitstechnische Anforderungen und Prufung". April 2007.
[15] Carbogno A., Fundalewicz Z., Mateja S.,.: „Wpływ korozji na wytrzymałość drutów lin wyciągowych", Międzynarodowa Konferencja, czerwiec 2007, Ustroń.
[16] Carbogno A., Slanina F., Żołnierz M.: „Wybrane zagadnienia dotyczące smarowania lin stalowych górniczych urządzeń transportowych", III Międzynarodowa Konferencja, kwiecień 2008, Ustroń.
[17] Hansel J.: „Badania wpływu smarowania na sprzężenie cierne pomiędzy liną a wykładzinami kół i bębnów linowych", III Międzynarodowa Konferencja, kwiecień 2008, Ustroń.
[18] Mańka E., Skrok T., Styp-Rekowski M., „Czynniki determinujące czas eksploatacji lin nośnych w górniczych wyciągach szybowych". Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie". IV Międzynarodowa Konferencja 5-7 listopad 2008r. Ustroń
[19] Slanina F. „Metody oceny tendencji do wyciskania smaru linowego". Bezpieczeństwo pracy urządzeń transportowych w górnictwie". IV Międzynarodowa Konferencja 5-7 listopad 2008r. Ustroń.
[20] Hansel J.: „Wpływ smarowania na naprężenia w drutach przeginanych lin stalowych", IV Międzynarodowa Konferencja, kwiecień 2010, Ustroń.
[21] F. Slanina.: „Metodyka badań parametrów smarowania lin nośnych górniczych wyciągów szybowych" V Międzynarodowa Konferencja, maj 2011, Ustroń.
[22] PN-ISO 2137:2011: „Przetwory naftowe i środki smarowe – Oznaczanie stożkiem penetracji smarów plastycznych i petrolatum".
[23] PN-ISO 2176:2011: „Przetwory naftowe. Smary plastyczne. Oznaczanie temperatury kroplenia".
[24] Hansel J.: „Wykładziny kół i bębnów linowych". AGH, Kraków 2012

Badanie zacierania kół zębatych stożkowych o zębach łukowych, smarowanych różnymi olejami przekładniowymi

The scuffing investigation of spiral bevel gears lubricated with various gear oils

Marek Kalbarczyk, Waldemar Tuszyński – Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu, Zakład Tribologii

Streszczenie

W artykule przedstawiono, opracowane w Instytucie Technologii Eksploatacji – PIB w Radomiu, urządzenie i metodykę badania zacierania kół zębatych stożkowych o łukowej linii zęba. Koncepcja opracowania takiego urządzenia wynikła z problemu, zgłaszanego przez niektórych wytwórców urządzeń wykorzystujących koła zębate stożkowe, związanego ze zwiększeniem wiarygodności badań – do tej pory szeroko stosowane są urządzenia i metody badania głównie kół zębatych walcowych o zębach prostych, których geometria wyraźnie różni się od geometrii kół stożkowych.

Wobec braku norm dotyczących badań zacierania kół zębatych stożkowych, opracowano własną metodykę badawczą. Zbadano wpływ rodzaju oleju przekładniowego na zacieranie, uwzględniając także olej ekologiczny. Dla każdego z olejów wykonano też badania oporów ruchu mierzonych momentem sił tarcia. Konieczność takich badań podyktowana jest potencjalnymi wymaganiami stosowania olejów ekologicznych (z bazami naturalnymi) oraz tendencją do obniżania temperatury pracy w przekładniach, do czego konieczna jest redukcja tarcia.

Uzyskane wyniki pokazują wysoką rozdzielczość metody badania zacierania.

Słowa kluczowe: Urządzenie badawcze, zacieranie, koła stożkowe o zębach łukowych

Summary:

The paper presents a new, developed at ITeE-PIB in Radom, testing device and test method for scuffing investigation of spiral bevel gears. The idea of the new test rig resulted from an issue often expressed by manufacturers of machines equipped with gears, concerning a necessity to improve the reliability of tests – popular gear tests are run mostly on spur gears having the tooth geometry significantly different than bevel gears.

Due to the lack of standard test procedures, the authorial method for testing scuffing of bevel gears was designed and verified. Gear oils representing various performance levels, including an ecological oil, were investigated in terms of the scuffing prevention. For each the tested oil the motion resistance in the form of the friction torque was measured. The aforementioned approach is caused by the potential requirements concerning the application of ecological lubricants, as well as the tendency to reduce the temperature of gears, being an effect of reducing friction.

The results of the conducted tests indicate that the new test method has a good resolution.

Keywords: Test rig, scuffing, spiral bevel gears

Wprowadzenie

Weryfikacja jakości nowoopracowywanych olejów przekładniowych wymaga wykonywania badań z użyciem testowej przekładni zębatej. Stosowane obecnie metody badawcze dotyczą głównie kół zębatych walcowych o zębach prostych, których geometria jest inna od geometrii kół stożkowych. Wskazane było zatem opracowanie urządzenia i metodyki badawczej dla kół zębatych stożkowych.

Pomimo długoletniego rozwoju technologii wytwarzania kół zębatych stożkowych, producenci zespołów napędowych z przekładniami zębatymi stożkowymi zgłaszają postulaty natury eksploatacyjnej. Jednym z nich jest redukcja tarcia, wpływająca, oprócz ograniczenia zużycia energii, także na zmniejszenie wydzielanego ciepła. Istotna jest także ochrona środowiska poprzez stosowanie nowej generacji (ekologicznych) olejów smarowych przy zachowaniu dobrych właściwości eksploatacyjnych przekładni. Ten ostatni wymóg wynika przede wszystkim ze spodziewanych, nowych uregulowań prawnych UE, nakazujących stosowanie biodegradowalnych środków smarowych w określonych obszarach techniki [1].

Realizacja ww. postulatów wymaga użycia stanowiska do tribologicznego badania kół zębatych stożkowych. Na świecie istnieją jedynie nieliczne firmy opracowujące urządzenia

przeznaczone do takich badań. Przykładem może być urządzenie do badania przekładni zębatych hipoidalnych (w tym stożkowych) opracowane w FZG [10] czy stanowisko opracowane w NASA Glenn Research Center (USA) dla potrzeb aeronautyki [2]. Istnieje także stanowisko TS 30 firmy Oerlikon [4]. To ostatnie pozwala na zastosowanie jedynie smarowania natryskowego.

Oprócz urządzenia badawczego, czynnikiem nieodzownym w procesie badania kół zębatych stożkowych, jest użycie właściwej metodyki badawczej. Niestety, brak jest znormalizowanych metod tribologicznego badania kół zębatych stożkowych. Problemy te omówiono szerzej w artykule [8]. Do tego autorskie propozycje metod tribologicznych badań przekładni zębatych stożkowych przedstawiane są w literaturze niezwykle rzadko, np. [10].

Z wyżej wymienionych powodów, w Zakładzie Tribologii ITeE – PIB opracowano i zweryfikowano urządzenie do tribologicznych badań różnych form zużywania kół zębatych stożkowych (nadano mu symbol T-30) oraz własną metodykę badania zacierania.

Urządzenie badawcze

Ponieważ opracowane urządzenie jest przedmiotem artykułu [8], tutaj przytoczona zostanie jedynie jego skrócona charakterystyka.

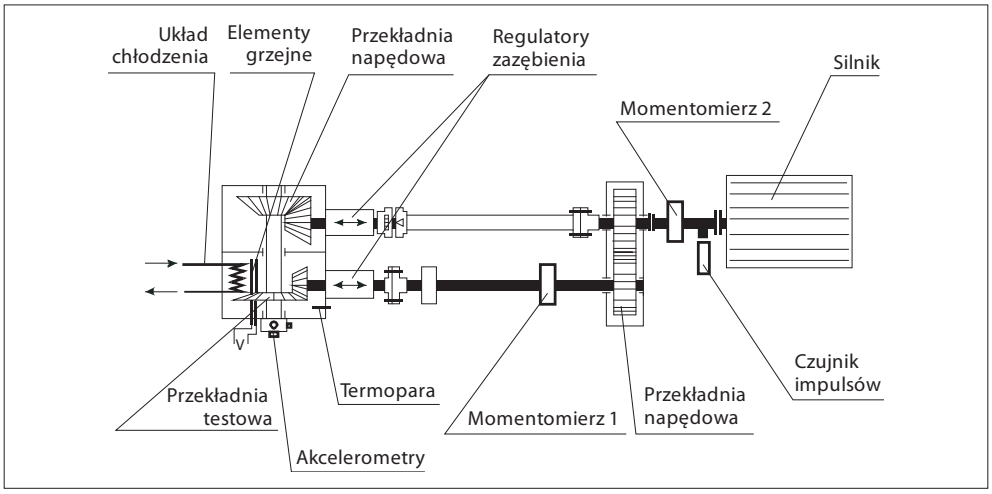
Układ kinematyczny opracowanego urządzenia przedstawiono na rys. 1.

Podstawowa część opracowanego urządzenia składa się z trzech przekładni – testowej stożkowej, napędowej stożkowej oraz napędowej walcowej. Przekładnia testowa składa się z pary testowych kół zębatych stożkowych – zębnika i koła talerzowego, zanurzonych w badanym oleju. Olej podgrzewany jest przed rozpoczęciem badań – za pomocą elementów grzejnych – do żądanej temperatury. W przypadku metod badawczych wymagających utrzymywania w czasie badań stałej temperatury oleju, dostępny jest wymiennik ciepła, który w zamkniętym obiegu chłodzi przekładnię testową poprzez kanały chłodzące umieszczone w komorze przekładni.

Wszystkie przekładnie urządzenia połączone są wałkami skrętnymi. Po skręceniu wałków i zaciśnięciu sprzęgła śrubami, w układzie krąży moment obciążający, mierzony momentomierzem (na rys. 1 „momentomierz 1"). Obciążenie (skręcenie wałków) wywierane jest układem dźwigniowym z zespołem obciążników, zapewniającym uzyskanie momentu obciążającego do ok. 720 Nm.

Pomiar momentu sił tarcia realizowany jest za pomocą momentomierza (na rys. 1 „momentomierz 2"), umieszczonego pomiędzy przekładnią napędową walcową a silnikiem.

Urządzenie zaopatrzone jest w skomputeryzowany system sterująco-pomiarowy. Na rys. 2 pokazano zdjęcie urządzenia z systemem pomiarowym, szafą sterowniczą oraz wymiennikiem ciepła.



Rys. 1. Układ kinematyczny urządzenia do badania kół zębatych stożkowych

Rys. 2. Zdjęcie urządzenia do badania kół zębatych stożkowych, z systemem sterująco-pomiarowym (po lewej stronie) oraz wymiennikiem ciepła (po prawej stronie)

System sterujący pozwala m.in. na włączenie i automatyczne wyłączenie silnika po osiągnięciu zadanej liczby obrotów zębnika testowej przekładni zębatej stożkowej, ustawianie prędkości obrotowej silnika, zmianę kierunku obrotów silnika w celu zmiany warunków smarowania testowej przekładni stożkowej, ustawianie i kontrolę temperatury oleju.

W skład systemu pomiarowego wchodzi wzmacniacz cyfrowy, zestaw przetworników pomiarowych oraz komputer ze specjalnym programem. W skład zestawu przetworników pomiarowych wchodzą dwa momentomierze i termopara. Wielkościami mierzonymi są: moment obciążający koła zębate (skrętny), moment sił tarcia, prędkość obrotowa zębnika, liczba obrotów zębnika, temperatura badanego oleju i czas badania.

Po wzmocnieniu we wzmacniaczu cyfrowym, sygnały z przetworników pomiarowych przekazywane są do komputera. Specjalny program komputerowy wyświetla przebiegi mierzonych wielkości w funkcji czasu i dokonuje ich zapisu na dysku komputera.

Metodyka badań

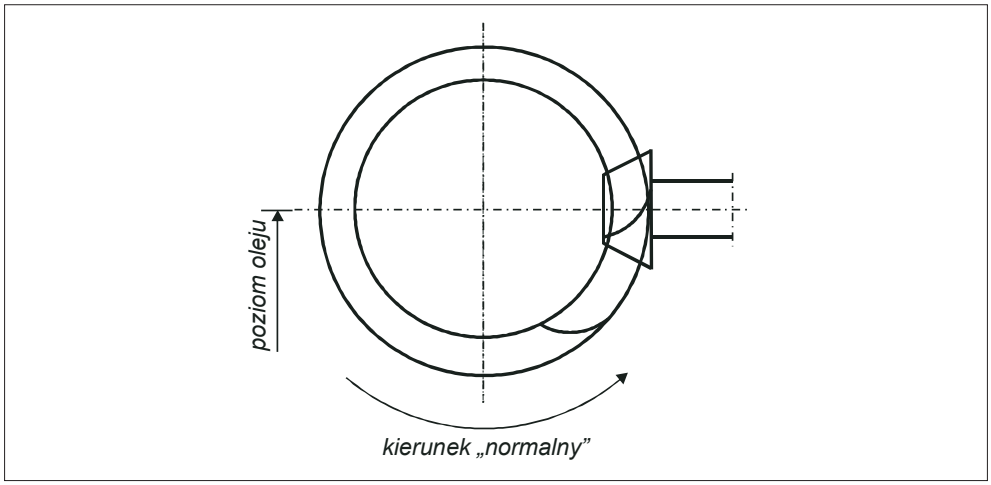
Procedura badawcza

Opracowana metodyka badawcza dotyczy badań zacierania testowych kół zębatych stożkowych o łukowej linii zęba.

Jak wspomniano wcześniej, para testowych kół zębatych stożkowych składa się z zębnika oraz koła talerzowego – rys. 3.

Wykorzystany w metodzie kierunek obrotów został nazwany kierunkiem „normalnym" – patrząc od strony pokrywy czołowej komory badawczej koło talerzowe obraca się w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Patrząc od tej samej strony zębnik zajmuje pozycję za kołem talerzowym, co dla uproszczenia na rys. 3 pominięto. Przy wynikającym z konstrukcji kierunku zadawania obciążenia wypukła część zęba zębnika (ang. *convex flank*) jest dociskana do wklęsłej części zęba koła talerzowego (ang. *concave flank*). Stąd powierzchnią roboczą (badaną) zęba zębnika jest część wypukła. Przyjęto, że poziom oleju będzie sięgać do osi kół.

W czasie badania testowe koła zębate pracują w warunkach podanych poniżej, przy stałej prędkości obrotowej, wzrastającym stopniowo obciążeniu oraz przy temperaturze początkowej badania jednakowej na początku każdego biegu badawczego, aż do uzyskania stopnia obciążenia niszczącego (FLS), ocenianego poprzez pomiar pola powierzchni śladów zużycia (wybłyszczenia, bruzdy, zacieranie) na poszczególnych zębach zębnika.



Rys. 3. Uproszczony schemat układu testowych kół zębatych stożkowych

Warunki badań:

- typ kół testowych ..... stożkowe o łukowej linii zęba;
- prędkość obrotowa silnika ..... 3000 obr/min;
- prędkość obwodowa średnia ..... 7,7 m/s;
- czas biegu badawczego ..... 15 min;
- kierunek obrotów ..... „normalny” (rys. 3)
- min. i maks. stopień obciążenia ..... od 1 do 12 (dopuszcza się 14);
- moment obciążający ..... od 3 do 535 Nm, zmieniany stopniowo;
- maks. nacisk wg Hertza ..... od 0,1 do 1,5 GPa;
- początkowa temp. oleju ..... 90°C (nie stabilizowana w czasie badań);
- rodzaj smarowania ..... zanurzeniowe (ilość oleju ok. 1,5 – 2 l);
- poziom oleju ..... do osi kół.

Badania prowadzi się do momentu osiągnięcia stopnia obciążenia niszczącego powodującego powstanie uszkodzeń zajmujących obszar o powierzchni jednego lub więcej zębów zębnika, lub do osiągnięcia 14 stopnia obciążenia.

Przed badaniem koła testowe myje się w benzynie ekstrakcyjnej. W czasie montażu koła ustawia się według klasycznej procedury ustawiania kół stożkowych, aby osiągnąć odpowiedni luz i ślad współpracy, używając specjalnej farby do badania położenia śladu współpracy.

Koła testowe

Testowymi kołami zębatymi są koła zębate stożkowe o zębach łukowych, wykonane w wysokiej, 5 klasie dokładności (według DIN 3965), nawęglane na głębokość 0,6 – 0,9 mm i hartowane do twardości 56 – 60 HRC. Wykonane są ze stali 18H2N2 i obrabiane metodą Klingelnberga. Liczba zębów zębnika wynosi 7, zaś koła talerzowego 18. Kąt między osiami kół wynosi 90°.

Parę kół zębatych stożkowych – testowych pokazano na fotografii – rys. 4.

Rys. 4. Fotografia przekładni zębatej stożkowej – testowej

Badane oleje smarowe

Do badań zastosowano handlowe oleje do mechanicznych przekładni samochodowych, klasy jakościowej API GL-1 i GL-5, z bazą mineralną, a także olej ekologiczny do przekładni przemysłowych, w klasie lepkościowej VG 220. Charakterystykę badanych olejów zestawiono w tab. 1.

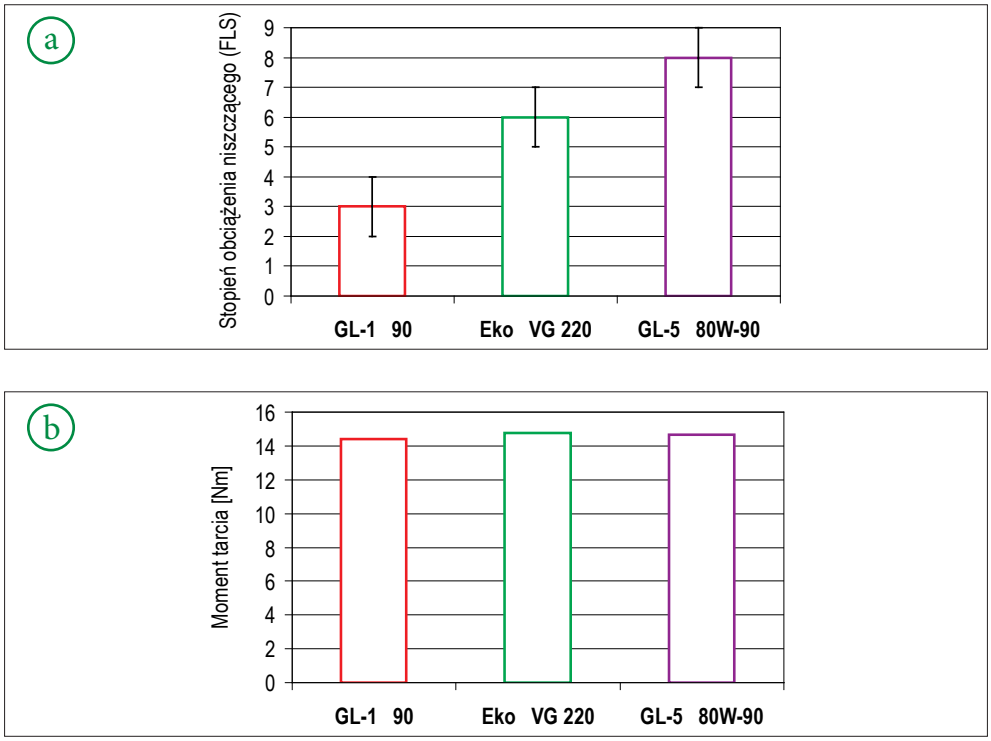
Olej oznaczony symbolem Eko VG 220 został opracowany w ITeE – PIB jako ekologiczny zamiennik oleju handlowego Transol SP 220 [9].

Tab. 1. Charakterystyka badanych olejów przekładniowych

Oznaczenie	Klasa jakościowa	Klasa lepkościowa	Rodzaj oleju bazowego	Charakterystyka oleju
GL-1 90	API GL-1	SAE 90	Mineralny	Niesynchronizowane ręczne skrzynie biegów pracujące przy niskich wymuszeniach, a także przekładnie stożkowe o zębach łukowych i ślimakowe w niektórych samochodach ciężarowych, ciągnikach i maszynach rolniczych. Brak dodatków smarnościowych.
Eko VG 220	–	VG 220	Naturalny (roślinny): mieszanina oleju rzepakowego i rycynowego	Mechaniczne przekładnie urządzeń przemysłowych, obrabiarek i maszyn stosowanych w przemyśle papierniczym. Zawiera 2% sublimowanej siarki, działającej jak dodatki smarnościowe typu EP.
GL-5 80W-90	API GL-5	SAE 80W/90	Mineralny	Przekładnie zębate, w szczególności hipoidalne, pracujące w zmiennych, bardzo trudnych warunkach. Zawierają do 6,5% dodatków smarnościowych typu EP – przeciwzatarciowych.

Wyniki badań i ich dyskusja

Na rys. 5a przedstawiono wartości stopnia obciążenia niszczącego (FLS) uzyskane dla badanych olejów przekładniowych. Na wykresie przedstawiono też słupki błędów, które obrazują oszacowaną powtarzalność metody. Natomiast na rys. 5b przedstawiono średnie wartości momentu tarcia. Pod uwagę wzięto wyniki uzyskane pod trzecim stopniem obciążenia. Są to wartości średnie uzyskane pomiędzy 5 a 15 min biegu badawczego.



Rys. 5. Stopień obciążenia niszczącego dla badanych olejów przekładniowych (a) oraz wartość średnia momentu tarcia (b) pod 3 stopniem obciążenia

Analiza uzyskanych wartości stopnia obciążenia niszczącego wskazuje na bardzo dobrą rozdzielczość metody badania zacierania – różnice między stopniem obciążenia niszczącego dla wszystkich zbadanych olejów są statystycznie istotne. Także, co bardzo ważne, dla żadnej zbadanej sytuacji nie przekroczono 12 stopnia obciążenia – maksymalna wartość FLS jest tu nie wyższa niż 8, co dodatkowo podkreśla dobrą rozdzielczość nowej metody.

Uzyskane wyniki korelują z wynikami przekładniowych badań zacierania na kołach zębatych walcowych [7]. W konfiguracji stal-stal olej GL-1 90 bez dodatków smarnościowych wykazuje słabe właściwości przeciwzatarciowe (niski stopień obciążenia niszczącego FLS), zaś olej GL-5 80W-90, zawierający znaczącą ilość dodatków smarnościowych typu EP (przeciwzatarciowych) pozwala osiągnąć najwyższą wartość FLS. Olej Eko VG 220 daje wartości FLS pośrednie, co wskazuje na to, że można go stosować do smarowania przekładni

zębatych stożkowych, ale tylko tych, które pracują w warunkach niskich i umiarkowanych wymuszeń, co i tak może przynieść wymierny efekt ekologiczny.

Inaczej niż w przypadku stopnia obciążenia niszczącego, pomiędzy wartościami momentu tarcia występują jedynie znikome różnice. Znacznie lepsze rezultaty w redukcji tarcia daje pokrycie zębów jednego lub dwóch kół cienką twardą powłoką niskotarciową [3].

Więcej danych na temat interpretacji uzyskanych wyników można znaleźć w pracy [5].

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono urządzenie i metodykę badania zacierania kół zębatych stożkowych. W celu weryfikacji urządzenia i metodyki badawczej zbadano wpływ rodzaju oleju przekładniowego na zacieranie. Wykonano też badania oporów ruchu mierzonych momentem sił tarcia. Uzyskane wyniki pokazują bardzo dobrą rozdzielczość metody badania zacierania.

Opracowane urządzenie i metodyka badawcza mogą znaleźć zastosowanie w laboratoriach przemysłu petrochemicznego, a także w laboratoriach wyższych uczelni technicznych prowadzących zajęcia dydaktyczne z tribologii kół zębatych i PKM.

Opracowane urządzenie wraz z metodyką badawczą zostało ujęte w obowiązującym w ITeE – PIB w Radomiu i ciągle aktualizowanym tzw. Systemie Badań Tribologicznych [6].

Spis literatury

[1] Górski W.: Biogazy – składnik cieczy eksploatacyjnych. Materiały III. Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Środki Smarowe 2010", Rytro. 2010 (referat dostępny w postaci elektronicznej).

[2] Hadschuh R.F.: Testing of face-milled spiral bevel gears at high-speed and load. NASA/TM-2001-210743, March 2001, s. 1-8.

[3] Kalbarczyk M., Tuszyński W., Esparza Lastra M.A., Wulczyński J., Mydlarz J., Kiser B.: Friction reduction and improvement of the scuffing resistance of spiral bevel gears by a low-friction coating. Tribologia. 2014, nr 2, s. 67-77.

[4] Klingelnberg: Product Range (katalog produktów).

[5] Michalczewski R., Kalbarczyk M., Tuszyński W., Szczerek M.: The scuffing resistance of WC/C coated spiral bevel gears. Key Engineering Materials. 2014, t. 604, s. 36-40.

[6] Szczerek M.: Metodologiczne problemy systematyzacji eksperymentalnych badań tribologicznych. Wyd. ITeE, Radom 1997.
[7] Tuszyński W.: Problemy tribologicznych badań właściwości przeciwzatarciowych samochodowych olejów przekładniowych. Wyd. ITeE – PIB. Radom 2012.
[8] Tuszyński W., Kalbarczyk M., Michalak M.: Badania tribologiczne kół zębatych stożkowych. Cz. I – urządzenie i metodyka badawcza. Tribologia. 2012, nr 2, s. 83-96.
[9] Tuszyński W., Rogoś E., Urbański A.: Kompleksowe porównanie dwóch olejów przekładniowych przemysłowych – z bazą naturalną i mineralną. Tribologia. 2009, nr 5, s. 179-192.
[10] Winter H., Richter M.: Scuffing load capacity of hypoid and bevel gears. Materiały 8 Sympozjum JSME „Gearing", Sendai (Japonia). 1975, s. 1-12.

Realizacja projektu została dofinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu rozwojowego nr N R03 0019 06/2009

Nowoczesne środki smarowe – aspekty normalizacyjne

Modern Lubricants – standardisation aspects

Zofia Błaszkiewicz – Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Normalizacji

Streszczenie:

W artykule omówiono formalne aspekty opracowania dokumentów normalizacyjnych przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną ISO, Europejski Komitet Normalizacyjny CEN i Polski Komitet Normalizacyjny PKN. W szczególności podano informacje o organach technicznych ww. organizacji zajmujących się tematyką środków smarowych, którymi są: Komitet Techniczny ISO/TC28 Przetwory naftowe i produkty podobne pochodzenia syntetycznego i biologicznego (*Petroleum products and related products of synthetic or biological origin*), Podkomitet ISO/TC28/SC2 Pomiar przetworów naftowych i produktów podobnych (*Measurement of petroleum and related products*) i ISO/TC28/SC4 Klasyfikacje i specyfikacje (*Classifications and specifications*), Grupa Robocza WG33 Biośrodki smarowe (*Bio-lubricants*) Komitetu Technicznego CEN/TC19 Paliwa ciekłe i gazowe, środki smarowe i produkty podobne pochodzenia naftowego, syntetycznego i biologicznego (*Gaseous and liquid fuels, lubricants and related products of petroleum, synthetic and biological origin*), Podkomitet PKN/KT222/PK2 Olejów smarowych Komitetu Technicznego PKN/KT222 Przetworów Naftowych i Cieczy Eksploatacyjnych. Przedstawiono formalne podstawy systemu normalizacyjnego w Polsce. Omówiono zasady numeracji Polskich Norm, określenia związane ze stosowaniem norm jak: powołanie datowane i niedatowane, wymaganie, norma aktualna, norma wycofana. Podano informację o zamiarze powołania przez PKN nowego Komitetu Technicznego ds. Produktów Biobazowych.

Słowa kluczowe: normalizacja, środki smarowe, procedury ISO, CEN, PKN.

Summary:

The article discusses the formal aspects of the development standardization documents by International Organization for Standardization ISO, European Committee for Standardization CEN and Polish Committee for Standardization (Polski Komitet Normalizacyjny) PKN. In particular, given the information of the technical bodies dealing with issues of lubricants: Technical Committee ISO/TC28 *Petroleum products and related products of synthetic or biological origin,* Subcommittee ISO/TC28/SC2 *Measurement of petroleum and related products* and ISO/TC28/SC4 *Classifications and specifications*, Work Group WG/33 *Bio-lubricants* of CEN/TC 19 *Gaseous and liquid fuels, lubricants and related products of petroleum, synthetic and biological origin,* Subcommittee PKN/KT222/PK2 *Lubricants* of PKN/KT222 *Petroleum and related products.* The article presents a formal basis standardization system in Poland. The principles of numbering Polish Standards, the terms associated with the use of standards like: references dated and undated, requirement, current standard, withdrawn standard. Given the intention of the appointment by PKN's new Technical Committee PKN/KT Bio-based products.

Key words: standardization, lubricants, ISO, CEN, PKN procedures.

Dlaczego normalizacja?

W latach 2009 – 2015 Polski Komitet Normalizacyjny zatwierdził i opublikował 70 dokumentów normalizacyjnych z zakresu środków smarowych: specyfikacje, metody badań, normy klasyfikacyjne. Dokumenty te zostały opracowane przez Podkomitet ds. Olejów Smarowych KT222/PK3, którego zakres obejmuje: oleje smarowe i specjalne środki smarowe pochodzenia naftowego, produkty podobne pochodzenia syntetycznego i biologicznego [6]. Na stronie www Polskiego Komitetu Normalizacyjnego można uzyskać podstawowe informacje o normach, między innymi o kodzie ICS, cenie normy i liczbie stron [1].

Ustawa o normalizacji – PKN

Ustawa o normalizacji z dnia 12 września 2002 r. o normalizacji stanowi, że Polski Komitet Normalizacyjny"PKN" jest krajową jednostką normalizacyjną [9]. Misją PKN jest sprawnie organizować działalność normalizacyjną zgodnie z rozwiązaniami europejskimi i międzynarodowymi, wypracowanymi przy aktywnym współudziale krajowych ekspertów, wspierającą krajową politykę techniczną, w celu ułatwienia wymiany handlowej, zapewnienia konkurencyjności polskim producentom; dostarczać wszystkim zainteresowanym produkty

normalizacyjne o wysokiej jakości, w uzgodnionych terminach, odpowiadające wymaganiom rynku, a jednym z celów: „aktywne współuczestnictwo w działalności międzynarodowych i regionalnych organizacji normalizacyjnych" [6]. Ustawa o normalizacji Rozdział 3 Art. 5 stanowi: „Polskie Normy korzystają z ochrony jak utwory literackie, a autorskie prawa majątkowe do nich przysługują krajowej jednostce normalizacyjnej". Dokumenty normalizacyjne są udostępnianie organom technicznym wyłącznie do prac normalizacyjnych. Z treścią Polskich Norm, jak również innych dokumentów normalizacyjnych, można się zaznajomić na zasadach określonych przez procedury PKN. Dokumenty normalizacyjne można nabyć w Polskim Komitecie Normalizacyjnym w wersji papierowej bądź elektronicznej.

Ustawa o normalizacji – Polska Norma

Ustawa o normalizacji w Rozdziale 3 *Polskie Normy i inne dokumenty normalizacyjne* definiuje Polską Normę jako normę krajową, przyjętą w drodze konsensu i zatwierdzoną przez krajową jednostkę normalizacyjną, powszechnie dostępną, oznaczoną – na zasadzie wyłączności – symbolem PN. Polska Norma może być wprowadzeniem normy europejskiej lub międzynarodowej. Wprowadzenie to może nastąpić w języku oryginału [9]. Postanowienie ustawy ma odzwierciedlenie w systemie numeracji Polskich Norm – Tabela 1.

Tabela 1 – Numeracja Polskich Norm – symbole

PN-EN	PN wprowadzająca Normę Europejską EN
PN-ISO	PN wprowadzająca Normę Międzynarodową ISO
PN-EN ISO	PN wprowadzająca Normę Europejską EN, wprowadzającą Normę Międzynarodową ISO
PN-C-…	PN własna, Chemia
PKN-CEN/TR	Polski dokument normalizacyjny wprowadzający Raport Techniczny CEN
PKN-CEN/TS	Polski dokument normalizacyjny wprowadzający Specyfikację techniczną CEN

gdzie:

- CEN oznacza Europejski Komitet Normalizacyjny (*European Committee for Standardization, Comité Européen de Normalisation*);
- ISO oznacza Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (*International Organization for Standardization*).

Ustawa w Rozdziale 3 stanowi: Stosowanie Polskich Normy jest dobrowolne [9]. W poprzednim systemie, do 31 grudnia 1993 roku stosowanie PN było obowiązkowe – normy pełniły rolę przepisów. Od 1 stycznia 1994 roku stosowanie PN jest dobrowolne, przy czym do 31 grudnia 2002 istniała możliwość, przez właściwych ministrów i w pewnych przypadkach nakładania obowiązku stosowania PN. Od 1 stycznia 2003 stosowanie PN jest już całkowicie dobrowolne. Często jeszcze spotykane sformułowanie „obowiązująca norma" dotyczy faktycznie aktualności normy. Norma może być aktualna lub wycofana przez zastąpienie inną, bądź wycofana bez zastąpienia. Normy znajdujące się w zbiorze Polskich Norm, zatwierdzone przed 1994 rokiem, są nieaktualne i powinny być wycofane lub nowelizowane. Zbiór norm wycofanych nie jest zbiorem norm, których stosowanie jest zakazane. Normy wycofane zawierają rozwiązania mniej nowoczesne, ale to nie znaczy, że są błędne [6]. Informacja o tym, że norma jest już wycofana, powinna być przekazana klientowi przez laboratorium wykonujące badanie.

Środki smarowe w ISO

Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO rozpoczęła działalności w 1947 r. PKN znalazł się wśród założycieli ISO. Obecnie ISO liczy 163 członków. Respektowanie norm ISO jest dobrowolne. Członkostwo w Organach Technicznych ISO może być: czynne P-Member lub bierne O-Member.

Członkostwo czynne (P) zobowiązuje do aktywnego uczestniczenia w pracach danego komitetu technicznego (TC *Tchnical Committee*) lub podkomitetu (SC *Subcommittee)*. Uczestnictwo polega głównie na:

1) Obligatoryjnym głosowaniu nad przyjęciem projektów Norm Międzynarodowych (FDIS) oraz innych międzynarodowych dokumentów normalizacyjnych (DTR, DTS, itp.);
2) Obligatoryjnym głosowaniu na propozycje nowego tematu pracy (NP), a w przypadku deklarowania aktywnego uczestnictwa w dalszych pracach nad NP, zgłoszeniu eksperta do grupy roboczej lub zespołu zadaniowego;
3) Obligatoryjnym głosowaniu na CD i REV oraz udzielaniu odpowiedzi na wszystkie formalnie przeprowadzane ankiety i głosowania;
4) Terminowym opiniowaniu dokumentów roboczych (zgłaszaniu uwag merytorycznych lub redakcyjnych do NP, CD, CDV, DIS itp.);
5) Uczestniczeniu (w miarę możliwości) w posiedzeniach danego TC lub SC (dopuszczalne jest korespondencyjne zgłaszanie stanowisk zgodne z porządkiem obrad).

Członkostwo bierne (O) upoważnia do uczestniczenia w pracach i posiedzeniach danego TC lub SC na zasadzie obserwatora, z prawem opiniowania oraz głosowania na niektóre dokumenty robocze [4].

Organami technicznymi ISO, w których umiejscowiona jest tematyka środków smarowych są:

- komitet techniczny ISO/TC28 *Petroleum products and related products of synthetic or biological origin* poprzednio *Petroleum products and lubricants*, w którym PKN ma członkostwo czynne;
- podkomitety:
  - » TC28/SC2 *Measurement of petroleum and related products* (O-Member)
  - » TC28/SC4 *Classifications and specifications* (P-Member) [4].

Środki smarowe w CEN

Europejski Komitet Normalizacyjny CEN zrzesza 33 członków. Członkami CEN są krajowe jednostki normalizacyjne 28 państw Unii Europejskiej oraz Macedonii, Turcji, Islandii, Norwegii i Szwajcarii. Tematyka środków smarowych umiejscowiona jest w Grupie Roboczej (WG) CEN/TC 19 *Gaseous and liquid fuels, lubricants and related products of petroleum, synthetic and biological origin* WG/33 *Bio-lubricants* [3].

Obecnie w programie CEN/TC19/WG33 znajduje się projekt normy prEN 16807 *Liquid petroleum products – Bio-lubricants – Criteria and requirements of bio-lubricants and bio-based lubricants* (prPN-prEN 16807E Ciekłe przetwory naftowe – Bio-środki smarowe – Kryteria i wymagania bio-środków smarowych i bio-bazowych środków smarowych), której zakres obejmuje określenie terminu *bio-środek smarowy* i minimalne wymagania dla wszystkich rodzajów bio-środków smarowych i bio-bazowych środków smarowych (…). W normie opisano również krótko odpowiednie metody badań w odniesieniu do charakterystyki bio-środków smarowych. Przedstawiono wytyczne dla powiązanych norm w obszarze biodegradowalności, funkcjonalności produktu oraz ilości zużytych surowców odnawialnych i/lub różnej zawartości bio-bazy wykorzystywanej podczas wytwarzania tych bio-środków smarowych tworzących jedną grupę produktów [7].

CEN – PKN

Od 1 stycznia 2004 r. PKN jest członkiem CEN. W wyniku tego wszystkie Normy Europejskie stają się zgodnie z procedurami normami PN. W Przedmowie każdej normy PN wprowadzającej Normę Europejską znajduje się zapis: „Niniejsza Norma Europejska

powinna uzyskać status normy krajowej, przez opublikowanie identycznego tekstu lub uznanie, najpóźniej do …, a normy krajowe sprzeczne z daną normą powinny być wycofane najpóźniej do ……...". Przy czym określenie „powinien" (shall) w słownictwie normalizacyjnym oznacza wymaganie. Określenie „shall" tłumaczy się również „należy". Oba te określenia oznaczają wymaganie, czyli konieczność. W normalizacji nie używa się formy „must" jako alternatywy dla „shall". Pozwala to uniknąć wszelkich nieporozumień między wymaganiami normy a zewnętrznymi zobowiązaniami ustawowymi [6].

Środki smarowe w PKN

W Polskim Komitecie Normalizacyjnym tematyka środków smarowych umiejscowiona jest w Sektorze Chemii, w Komitecie Technicznym PKN/KT222 ds. Przetworów Naftowych i Cieczy Eksploatacyjnych w Podkomitecie PKN/KT222/PK3 Olejów Smarowych. Sekretariaty Komitetu Technicznego PKN/KT222 i Podkomitetu KT222/PK3 Olejów Smarowych prowadzi Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy. Organ techniczny PKN – KT222/PK3 jest wiodącym w zakresie współpracy z odpowiednimi organami technicznymi Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN i Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO:

- CEN – CEN/TC/19/WG33
- ISO – ISO/TC28; ISO/TC28/SC2; ISO/TC28/SC4

Przewodniczącym KT222/PK3 jest Pan Jerzy Franek, Sekretarzem – Pani Joanna Moskała. Liczba członków Podkomitetu wynosi 11, a liczba delegowanych przez Podmioty reprezentantów 21. Każdy podmiot ma prawo delegować trzech reprezentantów, przy czym w zgłoszeniu określa, który z nich ma prawo głosu [6].

Tabela 2 – Podmioty – Członkowie KT222/PK3 ds. Olejów Smarowych

Członkowie KT222/PK3 Olejów Smarowych	
Grupa LOTOS SA	Lotos Oil SA
Instytut Badań i Rozwoju Motoryzacji BOSMAL Sp. z o.o.	ORLEN Laboratorium Sp. z o.o.
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy	ORLEN OIL Sp. z o.o.

Członkowie KT222/PK3 Olejów Smarowych	
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych	PKN, Polski Komitet Normalizacyjny
Instytut Transportu Samochodowego	Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego
LOTOS Lab Sp. z o.o.	Przemysłowy Instytut Motoryzacji

Numeracja Polskich Norm

Numer Polskiej Normy jest stałym i niepowtarzalnym identyfikatorem tematu normalizacyjnego objętego normą i nie ulega zmianie w związku z nowelizacją normy: np. PN-ISO 8068.

Numer referencyjny Polskiej Normy jest identyfikatorem normy, związanym z datą jej publikacji: np. PN-ISO 8068:2009.

Od 2013 roku PKN wprowadził nowe zasady: Numer referencyjny zawiera dodatkowo miesiąc publikacji normy np. PN-EN 12345:2013-03,w którym „03" oznacza miesiąc (marzec) publikacji normy. Wszystkie wersje językowe PN mają ten sam numer referencyjny – niezależnie od różnych dat publikacji wersji językowych PN.

Przykłady numerów referencyjnych:

- PN-ISO 6615:2012 Przetwory naftowe – Oznaczanie pozostałości po koksowaniu – Metoda Conradsona
- PN-ISO 6617:2013-03 Mineralne oleje smarowe – Odporność na utlenianie – Oznaczanie zmiany pozostałości po koksowaniu metodą Conradsona po utlenianiu, wersja polska
- PN-ISO 6743-10:2014-10 Środki smarowe, oleje przemysłowe i produkty podobne (klasa L) – Klasyfikacja – Część 10: Grupa Y (Inne zastosowania), wersja polska. [6]

Numer referencyjny wersji polskiej PN – przykłady

Przykład 1:

PN-EN ISO 12922:2013-05 – wersja angielska (23-05-2013)

Środki smarowe, oleje przemysłowe i produkty podobne (klasa L) – Grupa H (Układy hydrauliczne) – Wymagania dla cieczy hydraulicznych kategorii HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR i HFDU

Wprowadza: EN ISO 12922:2012 [IDT], ISO 12922:2012 [IDT]

czwarta wersja językowa

PN-EN ISO 12922:2013-05 – wersja polska (10-03-2014)

Środki smarowe, oleje przemysłowe i produkty podobne (klasa L) – Grupa H (Układy hydrauliczne) – Wymagania dla cieczy hydraulicznych kategorii HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR i HFDU

Wprowadza: EN ISO 12922:2012 [IDT], ISO 12922:2012 [IDT]

Wersja polska normy jest czwartą wersja językową normy EN. Wersja polska EN ISO 12922 ukazała się w marcu 2014 roku, jednak jej numer referencyjny zawiera datę wprowadzenia normy EN do zbioru PN w wersji oryginału (uznanie) czyli 2013-05 [6].

Przykład 2:

PN-EN ISO 14935:2002 – wersja angielska (15-09-2002)

Przetwory naftowe i produkty podobne – Oznaczanie skłonności do palenia cieczy trudnopalnych Wprowadza:

Wprowadza: EN ISO 14935:1998

Poprawka: nr ref. PN-EN ISO 14935:2002/Ap1:2015-04

czwarta wersja językowa

prPN-EN ISO 14935:2002 – wersja polska (…-…-…….)

Przetwory naftowe i produkty podobne – Oznaczanie trwałości palenia knota cieczy trudnopalnych

Norma PN-EN ISO 14935:2002 została uznana za PN, czyli wprowadzona w języku oryginału w roku 2002. Obecnie trwają prace nad polską wersją. Obie wersje powinny mieć identyczny tytuł w języku polskim. W związku z tym ukazała się poprawka korygująca tytuł wersji angielskiej PN-EN ISO 14935:2002/Ap1:2015-04. Termin ukazania się wersji polskie normy przewidziany jest na listopad 2015. Mimo tego polska wersja językowa będzie miała numer zawierający datę wprowadzenia normy w wersji angielskiej do zbioru PN [2].

Numeracja – powołanie datowane i niedatowane

Powołanie datowane obejmuje numer referencyjny, czyli numer zawierający datę publikacji, np.:

PN-ISO 3771:2012

PN-ISO 3987:2014-05

Powołanie niedatowane obejmuje numer normy, który nie zawiera daty publikacji, np.: PN-ISO 3987

W normach w Rozdziale *Powołania normatywne* znajduje się postanowienie dotyczące powołań datowanych i niedatowanych: „W przypadku powołań datowanych ma zastosowanie wyłącznie wydanie cytowane. W przypadku powołań niedatowanych stosuje się ostatnie wydanie dokumentu powołanego normy (łącznie ze zmianami)." [6].

Numeracja – zmiana, poprawka

- zmiana – ratyfikowany dokument dodatkowy do EN już rozesłanej do członków krajowych CEN w celu wprowadzenia jej na szczeblu krajowym, który należy czytać razem z daną EN i który zmienia i/lub dodaje postanowienia, do wcześniej uzgodnionych postanowień technicznych w danej EN
- poprawka – dokument dodatkowy do jednej, dwu lub wszystkich trzech wersji publikacji CEN, poprawiający jeden lub więcej błędów lub niejasności nieumyślnie wprowadzonych podczas jej redagowania lub drukowania, i które mogą się przyczyniać do niewłaściwego lub niebezpiecznego wykorzystania tych wersji [8].

Nowy Komitet Techniczny w PKN ds. Produktów biobazowych

Polski Komitet Normalizacyjny na swojej stronie w zakładce Nowe inicjatywy normalizacyjne informuje o zamiarze powołania w Sektorze Chemii nowego Komitetu Technicznego ds. Produktów biobazowych. Zakres tematyczny KT obejmować będzie produkty biobazowe: terminologię, wymagania, metody badań, pobieranie i przygotowywanie próbek, kryteria zrównoważonego rozwoju. Zakres współpracy międzynarodowej będzie dotyczył: CEN/TC411 *Bio-based products*. Sekretariat KT będzie prowadzony przez PKN. Instytucje zainteresowane udziałem w pracach nowego KT proszone są o delegowanie swoich przedstawicieli [5].

Podsumowanie

Polski Komitet Normalizacyjny jest członkiem międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO i Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN. Uczestnictwo w pracach KT222/PK3 – organu technicznego PKN, w którego zakresie znajduje się tematyka środków smarowych, daje możliwość włączenia się do prac normalizacyjnych na poziomie

europejskim i międzynarodowym. Włączenie się w prace grup roboczych (WG) w CEN daje dostęp do informacji normalizacyjnych na najwcześniejszym etapie.

Wykaz oznaczeń i akronimów występujących w tekście

CD.....*committee draft,* projekt komitetu
CEN.....*Comité Européen de Normalisation*, Europejski Komitet Normalizacyjny
DIS.....*draft International Standard,* projekt Normy Międzynarodowej ISO
DTR.....*draft Technical Report,* projekt Raportu Technicznego
DTS.....*draft Technical Specification,* projekt Specyfikacji Technicznej
EN.....symbol Normy Europejskiej
FDIS.....*final draft, International Standard,* końcowy projekt Normy Międzynarodowej
ICS.....*International Classification for Standards*, Międzynarodowa Klasyfikacja Norm, stanowiąca podstawę do szeregowania dziedzinowego norm w katalogach Norm Międzynarodowych, regionalnych i krajowych
ISO.....*International Organization for Standardization*, Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna, także symbol normy ISO
NP.....*new work item propos al,* propozycja nowego tematu pracy
PKN.....Polski Komitet Normalizacyjny
REV.....*systematic review,* okresowy przegląd publikacji ISO
SC.....*Subcommittee,* Podkomitet ISO
TC.....*Tchnical Committee*, Komitet Techniczny CEN
TS.....*Technical Specification*, Specyfikacja Techniczna
WG.....*Work Group*, Grupa Robocza

Literatura

[1] Błaszkiewicz Z.: Normalizacyjne aspekty kryteriów zrównoważonego rozwoju biopaliw – normy EN 16214, Nafta-Gaz 2014, nr8, s. 541–547
[2] Błaszkiewicz Z.: Zmiany w procedurach normalizacyjnych – numeracja Polskich Norm i czwarta wersja językowa Normy Europejskiej, Nafta-Gaz 2014, nr10, s. 728–733
[3] CEN Europejski Komitet Normalizacyjny, http://www.cen.eu (dostęp: kwiecień 2015)
[4] ISO Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna, http://www.iso.org (dostęp: kwiecień 2015)

[5] *Ogłoszenie zamiaru powołania KT*, http://www.pkn.pl/ogloszenie-zamiaru-powolania-kt (dostęp: kwiecień 2015)
[6] Polski Komitet Normalizacyjny, http:// (www.pkn.pl (dostęp: kwiecień 2015)
[7] prPN-prEN 16807E Ciekłe przetwory naftowe – Biośrodki smarowe – Kryteria i wymagania biośrodków smarowych i biobazowych środków smarowych –abstrakt, http:// (www.pkn.pl (dostęp: kwiecień 2015)
[8] *Przepisy wewnętrzne CEN/CENELC część 2, Wspólne reguły prac normalizacyjnych*, Styczeń 2012 r. PKN
[9] *Ustawa o normalizacji z dnia 12 września 2002 r.*