

Anna M. RYNIWICZ<sup>1</sup>, Łukasz BOJKO<sup>1</sup>, Tomasz MADEJ<sup>1</sup>

## OCENA LEPKOŚCI OLEJÓW SILNIKOWYCH Z WYKORZYSTANIEM REOMETRU ROTACYJNEGO

**Streszczenie.** Kryteria eksploatacyjne, zapewnienie energooszczędności i ochrona środowiska narzucają na parametry pracy samochodowych olejów silnikowych bardzo zróżnicowane wymagania w obszarze właściwości reologicznych. Celem artykułu była ocena parametrów reologicznych wybranych olejów silnikowych przy kontrolowanym naprężeniu ścinającym, w szerokim zakresie temperatur, z wykorzystaniem reometru rotacyjnego. Materiałem badań były handlowe oleje mineralne, półsyntetyczne i syntetyczne – wielosezonowe, przynależne do różnych klas lepkościowych. Wyznaczono dla nich charakterystyki lepkości w zależności od temperatury w węźle badawczym w układzie płaskich płytek. Wyniki badań w temperaturach ujemnych i niskich wskazują na znaczne zróżnicowanie właściwości reologicznych olejów silnikowych. Można sądzić, że w eksploatowanych węzłach tarcia, szczególnie w warunkach tarcia płynnego i mieszanego, najmniejszą lepkość mają oleje syntetyczne z badanej grupy 5W i olej półsyntetyczny Orlen Gas Semisynthetic 10W-40. Odbiega od nich olej półsyntetyczny Platinum Rally Sport 10W-60, którego lepkości w ujemnych i niskich temperaturach są większe niż olejów mineralnych z badanej grupy 15W-40. W temperaturach wysokich można wyróżnić olej Elf Sporti SRI 15W-40, którego lepkość bardzo nieznacznie zmniejsza się. Przeprowadzone badania olejów potwierdziły ich parametry katalogowe i przynależność do klas lepkościowych.

**Słowa kluczowe:** oleje silnikowe, lepkość, temperatura, eksploatacja, tribologia

## ESTIMATION OF VISCOSITY ENGINE OILS USING ROTATIONAL RHEOMETER

**Summary.** The operating criteria, the assurance of energy-efficiency and environmental protection impose very diversified rheological requirements on the parameters of work of car engine oils. The aim of the work was the estimation of rheological parameters of selected car engine oils at controlled shear stress in a wide range of temperatures, using a rotational rheometer. Investigated mineral engine oils, semi-synthetic and synthetic ones that belong to different viscosity classes. The characteristics of viscosity in relation to temperature in the testing node were determined. The results of tests at sub-zero and low temperatures indicate significant differentiation of rheological properties of engine oils. It can be claimed that in the exploited friction nodes, especially in the conditions of fluid and mixed friction, the smallest viscosity is characteristic to the fully synthetic oils from the tested group 5W and the semi-synthetic oil Orlen Gas Semisynthetic 10W-40. Semi-synthetic oil Platinum Rally Sport 10W-

<sup>1</sup> Faculty of Mechanical Engineering and Robotics, AGH The University of Science and Technology, Kraków, Poland, e-mail: anna@ryniewicz.pl

60 stands out as its viscosity values at sub-zero and low temperatures are greater than the ones of mineral oils from the tested group 15W-40. At high temperatures one can distinguish the oil called Elf Sporti SRI 15W-40 whose viscosity very slightly decreases. The conducted oil tests confirmed their catalog parameters and affiliation to viscosity classes.

**Keywords:** engine oils, viscosity, temperature, exploitation, tribology

## 1. WPROWADZENIE

Samochodowe oleje silnikowe stanowią podstawowe ogniwo w funkcjonowaniu i zabezpieczeniu trwałości zespołu tłoki – pierścienie – cylinder [13]. Oprócz podstawowej funkcji smarowania tego układu, zmniejszenia oporów ruchu, obniżania strat energii na tarcie, utrzymania produktów zużycia i utleniania w stanie zdyspergowanym oraz przeciwdziałania awaryjnemu zużyciu zabezpieczają szczelność i czystość zespołu, chłodzenie oraz tłumienie drgań [1, 7, 8, 15, 16]. Pracują w szerokim przedziale temperatur, szczególnie gdy pojazdy są eksploatowane w zróżnicowanych strefach klimatycznych. Swoje zadania muszą spełniać zarówno w warunkach zimnego rozruchu zimą, jak przy silnie obciążonym i dogrzanym silniku. Ze względu na parametry eksploatacyjne oleje silnikowe przynależą do określonych klas lepkościowych [2], a modyfikacja pakietu dodatków oraz bazy jest tak opracowana, że są one wielosezonowe – najczęściej przystosowane do silników z zapłonem iskrowym, samoczynnym lub są uniwersalne [3, 11]. Kryteria eksploatacyjne, zapewnienie energooszczędności i ochrony środowiska narzucają na tę grupę płynów bardzo zróżnicowane wymagania reologiczne i tribologiczne [5, 6, 10, 12]. O przynależności do określonych klas lepkościowych w warunkach zimowych i letnich decydują parametry lepkości strukturalnej, dynamicznej i kinematycznej, które są obligatoryjne dla producenta w przypadku sygnowania oleju silnikowego oznaczeniem klasyfikacyjnym.

## 2. CEL

Celami pracy były porównanie i ocena parametrów reologicznych wybranych samochodowych olejów silnikowych przy kontrolowanym naprężeniu ścinającym, w przedziale temperatur od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $100^{\circ}\text{C}$ , z wykorzystaniem nowoczesnego reometru rotacyjnego.

Badania pozwoliły odpowiedzieć na następujące pytania:

- jak zmienia się lepkość olejów silnikowych w warunkach kontrolowanych naprężeń w zależności od temperatury?,
- jakie parametry reologiczne mają oleje silnikowe przynależne do tej samej klasy lepkościowej 15W-40 dopuszczone do dystrybucji, a wytworzone przez różnych producentów?,
- jakie parametry lepkości w szerokim przedziale temperatur mają oleje przynależne do zimowej klasy lepkościowej 10W, lecz różniące się klasą przewidzianą dla warunków letnich?,
- jakie parametry lepkości w temperaturach wysokich, do  $100^{\circ}\text{C}$ , mają oleje silnikowe przynależne do zimowej klasy lepkościowej 5W, lecz różniące się klasą przewidzianą dla warunków letnich?

### 3. MATERIAŁ I METODA BADAŃ

Materiałem badań były wybrane handlowe silnikowe oleje mineralne, półsyntetyczne i syntetyczne, które zostały podzielone na trzy grupy. Pierwszą grupą były oleje mineralne oznaczone klasą lepkości 15W-40 wytworzone przez różnych producentów. Drugą grupą były oleje półsyntetyczne o zimowej klasie lepkościowej 10W, lecz o zróżnicowanych klasach dla warunków letnich, a mianowicie 40 i 60, wyprodukowane przez różnych producentów. Grupa trzecia to oleje syntetyczne o oznaczeniu klasy zimowej 5W, ale zróżnicowane w klasach letnich: 30, 40 i 50, wyprodukowane przez różnych wytwórców. W tabeli 1 zestawiono grupy olejów wytypowane do badań.

Tabela 1

Badane oleje ze wskazaniem klasy lepkościowej i jakościowej

Lp.	Nazwa oleju	Klasa lepkości SAE	Klasa jakościowa API	Grupa
1	Elf Sporti SRI	15W-40	SL	1
2	Orlen Gas Lubro	15W-40	SG	
3	Quaker State HDX Universal	15W-40	CF-4,CE CD/SH	
4	Shell Helix Super	15W-40	SJ/CF	
5	Mobil Super S Semisynthetic Motor Oil	10W-40	SL/CF	2
6	Orlen Gas Semisynthetic	10W-40	SG	
7	Platinum RALLY Sport	10W-60	SL/CF	
8	Elf Evolution SXR	5W-30	SL/CF	3
9	Elf Excellium LDX	5W-40	SL/CF	
10	Elf Excellium	5W-50	SG/CD	

Badania reologiczne olejów silnikowych przeprowadzono na reometrze rotacyjnym Kinexus Pro firmy Malvern Instruments [4] (rys. 1). Reometr jest wyposażony w trzy systemy kontrolowane i konfigurowane niezależnie. Pierwszym z nich jest silnik o niskiej bezwładności oraz układ łożysk powietrznych. Ten system pozwala na kontrolowanie w sposób precyzyjny zadawanych szybkości ścinania i naprężeń. Dzięki temu możliwe jest w całym zakresie pomiarowym uzyskanie ciągłych wartości momentu obrotowego. Kolejnym systemem jest system kontroli szczeliny i pomiaru siły normalnej. Kinexus Pro łączy czuły układ pomiarowy siły normalnej z dokładnością pomiaru szczeliny. Trzecim systemem jest układ kontroli temperatury. Dodatkowo gradienty temperatury w próbce są redukowane przez

system Peltiera. Oprogramowanie rSpace umożliwia tworzenie standardowych procedur operacyjnych, zaawansowanych analiz danych oraz zautomatyzowanych sekwencji pomiarowych.



Rys. 1. Reometr rotacyjny Kinexus Pro: a) widok ogólny, b) węzeł badawczy  
Fig. 1. Rotational rheometer Kinexus Pro: a) main view, b) testing node

Badania olejów były przeprowadzone z wykorzystaniem węzła badawczego PU20:PI65 w układzie płytek równoległych o średnicach 20 mm i 65 mm, w trybie z kontrolowanym naprężeniem ścinającym (rys. 1b). Parametry badania były następujące:

- naprężenie ścinające 1 Pa,
- zakres temperatury od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $100^{\circ}\text{C}$ , rozdzielczość  $0,01^{\circ}\text{C}$ ,
- wysokość szczeliny 0,15 mm, rozdzielczość ustawienia  $0,1\mu\text{m}$ ,
- czas jednego badania 22 minuty.

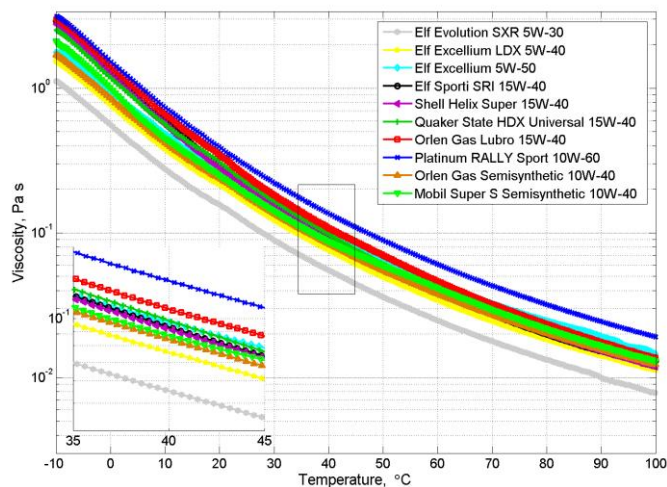
Krzywe zależności lepkości od temperatury wyznaczono dla każdego oleju w 5 cyklach pomiarowych w pełnym zakresie temperatur. Do każdego badania pobierano próbkę świeżego oleju z handlowego opakowania. Wyznaczone punkty charakterystyki stanowią średnią z 5 pomiarów. Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji stwierdzono, że niepewność pomiaru wynosi  $0,15 \cdot 10^{-3}$  Pa s. Wartości odchylenia standardowego nie naniesiono na wykresy z uwagi na zapewnienie ich przejrzystości.

#### 4. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

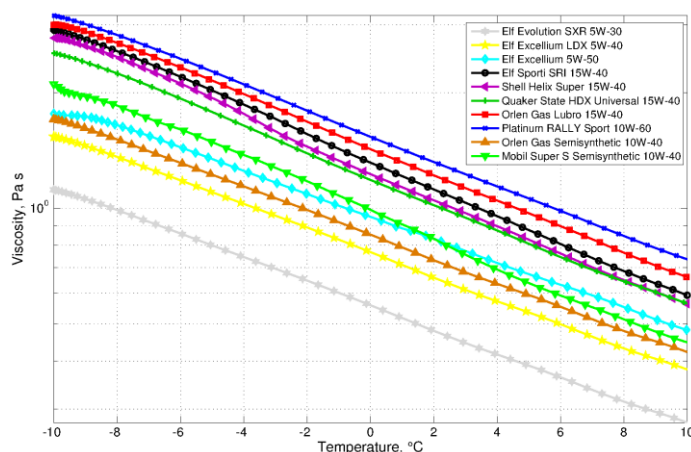
Dla wszystkich badanych grup olejów silnikowych lepkość maleje wraz ze wzrostem temperatury w całym badanym zakresie (rys. 2). W temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$  lepkość pozostaje w przedziale od 1,118 Pa s do 3,168 Pa s, w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  lepkość pozostaje w przedziale 0,565 Pa s do 1,521 Pa s, a w temperaturze  $10^{\circ}\text{C}$  w przedziale 0,276 Pa s do 0,736 Pa s (rys. 3). W temperaturze  $40^{\circ}\text{C}$  lepkość pozostaje w przedziale od 0,056 Pa s do 0,136 Pa s, a w temperaturze  $100^{\circ}\text{C}$  – w przedziale od 0,008 Pa s do 0,019 Pa s (rys. 4). Wyznaczone charakterystyki potwierdzają przynależność do klasy lepkościowej, jednakowoż między olejami są różnice.

Wymagania eksploatacyjne są rozbieżne z parametrami fizykochemicznymi, które wynikają z budowy bazy olejowej oraz zastosowanych dodatków. Ten sam olej powinien zachowywać płynność w temperaturach ujemnych, aby umożliwić zimny rozruch i ograniczyć zużycie w warunkach zimowych, oraz powinien utrzymywać lepkość w określonym

przedziale wartości w temperaturach wysokich, aby zapewnić prawidłowe smarowanie węzłów ruchomych i równocześnie powodować minimalne straty na tarcie [9, 14].

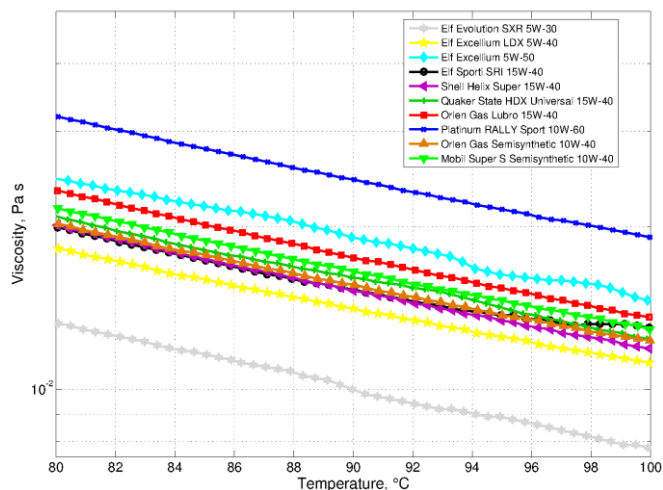


Rys. 2. Charakterystyka lepkości olejów silnikowych w pełnym zakresie temperatur  
Fig. 2. The characteristics of viscosity of engine oils in the whole range of temperatures

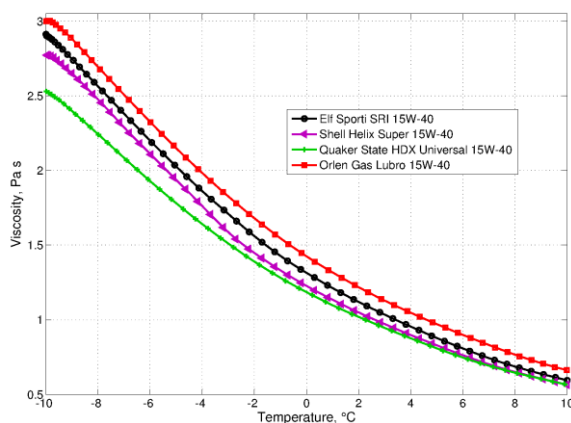


Rys. 3. Charakterystyka lepkości olejów silnikowych w zakresie temperatur ujemnych i niskich  
Fig. 3. The characteristics of viscosity of engine oils in the range of sub-zero and low temperatures

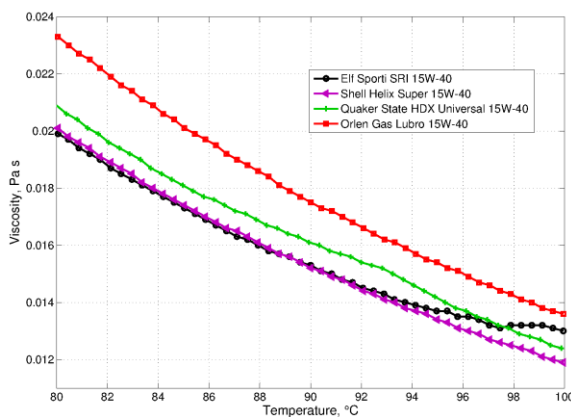
Lepkości olejów w grupie 1. o oznaczeniu 15W-40 w temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$  pozostają w przedziale od  $2,530\text{ Pa s}$  do  $3,001\text{ Pa s}$ , w temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  w przedziale od  $1,164\text{ Pa s}$  do  $1,446\text{ Pa s}$ , a w temperaturze  $10^{\circ}\text{C}$  w przedziale od  $0,564\text{ Pa s}$  do  $0,662\text{ Pa s}$  (rys. 5). Najlepsze parametry lepkościowe w temperaturach ujemnych i niskich miał olej Quaker State HDX UNIVERSAL 15W-40, a najgorsze olej Orlen Gas Lubro 15W-40. Największe różnice lepkości występują w temperaturach ujemnych, a w miarę wzrostu temperatury charakterystyki zbliżają się do siebie. Lepkości olejów grupy 1. w temperaturze  $40^{\circ}\text{C}$  pozostają w przedziale od  $0,092\text{ Pa s}$  do  $0,109\text{ Pa s}$ . Kolejna analiza to lepkości olejów grupy 1. w temperaturach wysokich, które pozostają w następujących przedziałach: w temperaturze  $80^{\circ}\text{C}$  w przedziale od  $0,020\text{ Pa s}$  do  $0,023\text{ Pa s}$ , a w temperaturze  $100^{\circ}\text{C}$  w przedziale od  $0,012\text{ Pa s}$  do  $0,014\text{ Pa s}$  (rys. 6).



Rys. 4. Charakterystyka lepkości olejów silnikowych w zakresie temperatur wysokich  
 Fig. 4. The characteristics of viscosity of engine oils in the range of high temperatures



Rys. 5. Charakterystyka lepkości olejów silnikowych 15W-40 w zakresie temperatur ujemnych i niskich  
 Fig. 5. The characteristics of viscosity of engine oils 15W-40 in the range of sub-zero and low temperatures



Rys. 6. Charakterystyka lepkości olejów silnikowych 15W-40 w zakresie temperatur wysokich  
 Fig. 6. The characteristics of viscosity of engine oils 15W-40 in the range of high temperatures

Największą lepkością w temperaturach wysokich charakteryzował się olej Orlen Gas Lubro 15W-40, a najmniejszą Shell Helix Super 15W-40 i Elf Sporti SRI 15W-40, przy czym przy wzrastającej temperaturze od 90°C w oleju Elf Sporti SRI 15W-40 bardzo nieznacznie obniżała się lepkość. Z analizy zależności lepkości od temperatury dla olejów grupy 1. wynika, że olej Quaker State HDX UNIVERSAL 15W-40 ma optymalną charakterystykę lepkościową – zachowuje niską lepkość w temperaturach ujemnych, która nie spada również zbyt gwałtownie w temperaturach wysokich. Najwyższe wartości lepkości w przedziale temperatur od -10°C do 100°C wykazuje olej Orlen Gas Lubro 15W-40.

Lepkości olejów w grupach 2. i 3. o podwyższonej klasie lepkościowej 5W i 10W w warunkach zimowych w temperaturze -10°C pozostają w przedziale od 1,118 Pa s do 3,168 Pa s, w temperaturze 0°C w przedziale od 0,565 Pa s do 1,521 Pa s, a w temperaturze 10°C w przedziale od 0,276 Pa s do 0,730 Pa s (rys. 7). Dla oceny parametrów tribologicznych i eksploatacyjnych porównano lepkości strukturalne olejów w temperaturach ujemnych i niskich. Lepkości olejów grup 2. i 3. ułożyły się w trzech obszarach. Najniższą lepkością charakteryzował się olej Elf Evolution SXR 5W-30. W drugim obszarze, w kolejności rosnącej lepkości można wskazać: Elf Excellium LDX 5W-40, Orlen Gas Semisynthetic 10W-40, Elf Excellium 5W-50 i Mobil Super S Semisynthetic 10W-40. W trzecim obszarze o najwyższych wartościach lepkości w temperaturach ujemnych i niskich, znalazł się olej Platinum Rally Sport 10W-60.

Największe różnice lepkości występują w temperaturach ujemnych, a w miarę wzrostu temperatury charakterystyki zbliżają się do siebie. Można sądzić, że w eksploatowanych węzłach tarcia, szczególnie w warunkach smarowania płynnego i mieszanego, najmniejsze zużycie węzłów ruchowych oraz najmniejsze straty na tarcie w warunkach zimnego rozruchu będzie występowało przy smarowaniu olejem Elf Evolution SXR 5W-30. Lepkości olejów grupy 2. w temperaturze 40°C pozostają w przedziale od 0,056 Pa s do 0,137 Pa s. Lepkości olejów grup 2. i 3. w temperaturze 100°C pozostają w przedziale od 0,008 Pa s do 0,019 Pa s (rys. 8). Największą lepkością w temperaturach wysokich charakteryzował się olej Platinum Rally Sport 10W-60, a najmniejszą Elf Evolution SXR 5W-30. Charakterystyki lepkościowe olejów grup 2. i 3. w temperaturach wysokich układają się zgodnie ze wskazaniami klasyfikacji lepkościowej dla warunków letnich: 30, 40, 50 i 60. Najniższą lepkość w temperaturach wysokich miał olej Elf Evolution SXR 5W-30. Lepkość oleju Elf Evolution 5W-50 wykazuje fluktuacje związane z charakterem funkcjonowania dodatków wiskozujących w aspekcie ich budowy molekularnej. Występuje niestabilizowany wpływ wysokiej temperatury na konfigurację przestrzenną makromolekuł wprowadzonego dodatku. Na podstawie przeprowadzonych badań można powiedzieć, że będzie on w warunkach dogrzanego i obciążonego silnika miał niską lepkość, co może skutkować najmniejszymi stratami na tarcie. Nie można jednak ocenić, czy będzie wystarczająco zabezpieczał węzły ruchowe przed zużyciem.

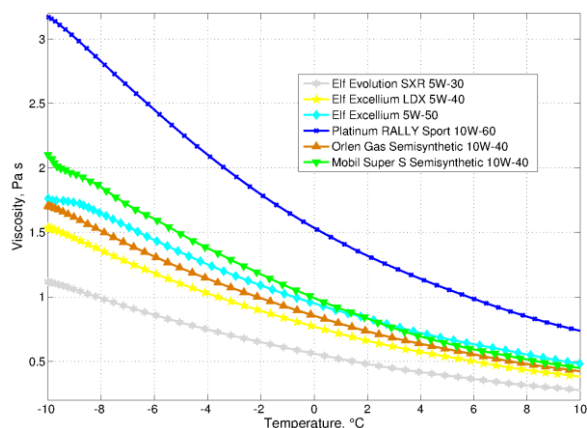
W tabeli 2 porównano parametry reologiczne wyznaczone w badaniach z parametrami charakterystyki produktu podanymi przez producentów olejów zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH). Ponadto wyznaczone lepkości kinematyczne w 100°C odniesiono do parametrów podanych przez klasyfikację J300. Z porównania wyników badań lepkości olejów z parametrami katalogowymi wynika, że wyznaczone lepkości kinematyczne olejów w temperaturach 40°C i 100°C są zbliżone do odpowiednich lepkości podawanych przez producentów. Ponadto na podstawie otrzymanych wyników badań lepkości można powiedzieć, że jedynie olej Elf Evolution SXR 5W-30 nie spełnia warunku lepkości kinematycznej w temperaturze 100°C, określonej w klasyfikacji J300.

Tabela 2

Zestawienie parametrów reologicznych badanych olejów z parametrami katalogowymi oraz ocena przynależności do klasyfikacji J300

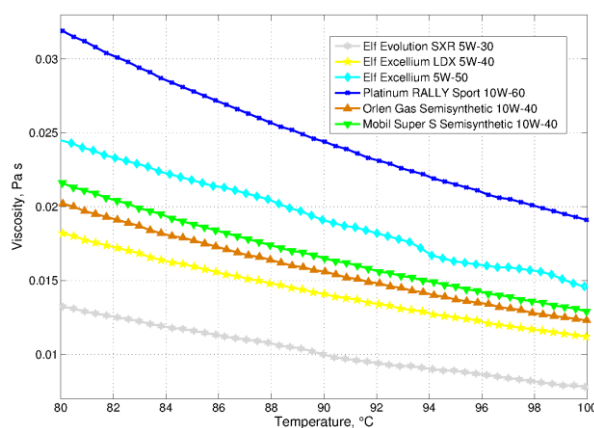
Lp.	Nazwa oleju	Parametry katalogowe producenta				Zbadane parametry reologiczne				Spełnienie warunków lepkości kinematycznej wg klasyfikacji J300
		Klasa lepkości SAE	Gęstość w 15°C, kg/m <sup>3</sup>	Lepkość kinematyczna, mm <sup>2</sup> /s		Lepkość dynamiczna, Pa s		Lepkość kinematyczna, mm <sup>2</sup> /s		
				40°C	100°C	40°C	100°C	40°C	100°C	
1	Elf Evolution SXR	5W-30	855	51	9,84	0,0545	0,0078	63,7	8,8	NIE
2	Elf Excellium LDX	5W-40	849	85	14	0,0749	0,0112	88,2	13,2	TAK
3	Elf Excellium	5W-50	885	115	18,2	0,0968	0,0146	109,4	16,5	TAK
4	Elf Sporti SRI	15W-40	881	104,8	14	0,0921	0,0130	104,5	14,8	TAK
5	Shell Helix Super	15W-40	885	105,4	13,9	0,0907	0,0119	102,5	13,4	TAK
6	Quaker State HDX Universal	15W-40	887	110,3	14,5	0,0975	0,0124	109,9	14	TAK
7	Orlen Gas Lubro	15W-40	890	-	15,9	0,1068	0,0136	120	15,3	TAK
8	Platinum RALLY Sport	10W-60	860	-	21,9 – 26,1	0,1373	0,0191	159,6	22,2	TAK
9	Orlen Gas Semisynthetic	10W-40	870	-	15,3	0,0832	0,0123	95,6	14,1	TAK
10	Mobil Super S Semisynthetic	10W-40	872	108	14,4	0,0877	0,0129	100,6	14,8	TAK





Rys. 7. Charakterystyka lepkości olejów silnikowych grup 2. i 3. w zakresie temperatur ujemnych i niskich

Fig. 7. The characteristics of viscosity of engine oils from groups 2 and 3 in the range of sub-zero and low temperatures



Rys. 8. Charakterystyka lepkości olejów silnikowych grup 2. i 3. w zakresie temperatur wysokich

Fig. 8. The characteristics of viscosity of engine oils from groups 2 and 3 in the range of high temperatures

## 5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można przedstawić następujące wnioski.

1. Szeroki przedział temperatur eksploatacji zespołu silnika powoduje znaczne zmiany lepkości olejów silnikowych. W badanych olejach lepkość zmieniała się w szerokich granicach: od 3,168 Pa s w temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$  do 0,008 Pa s w temperaturze  $100^{\circ}\text{C}$ .
2. Oleje przynależne do tej samej klasy lepkościowej 15W-40, a wytworzone przez różnych producentów nie miały takich samych charakterystyk lepkości. Najwyższe parametry lepkości w badanym przedziale temperatur miał olej Orlen Gas Lubro 15W-40. Charakterystyki pozostałych trzech olejów były bardzo blisko siebie, przy czym olej Elf Sporti SRI 15W-40 wyróżniał się płaską charakterystyką w temperaturach wysokich.
3. Oleje przynależne do klasy lepkościowej 10W należące do tej samej klasy letniej 40 w całym zakresie temperatur mają blisko położone charakterystyki. Odbiega od nich olej 10W-60, który w temperaturach ujemnych i niskich ma dużą lepkość – wyższą niż oleje

- 15W, a w temperaturach wysokich jego charakterystyka jest położona najwyżej, czyli ma największą lepkość.
4. W warunkach temperatur ujemnych i niskich oleje oznaczone klasą zimową 5W zachowują niskie wartości lepkości, a zatem będą dobrze smarować silnik, natomiast w temperaturach wysokich, do 100°C, ich lepkość znacznie spada. Najlepiej zachowuje lepkość olej Elf Excellium 5W-50.
  5. Porównanie wyznaczonych parametrów reologicznych olejów silnikowych z parametrami katalogowymi potwierdza, że wyznaczone lepkości kinematyczne olejów w temperaturach 40°C i 100°C są zbliżone do odpowiednich lepkości podawanych przez producenta.

## Bibliografia

1. Ambrozik A., Jakóbiec J., Wysopal G.: Basic tendencies in motor lubricants changes. „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe”, nr 12, 2011, s. 51-56.
2. ASTM D 3244-07: Standard Practice for Utilization of Test Data to Determine Conformance with Specifications.
3. Baczewski K.: Theoretical and experimental investigations the impact of viscosity of oils on lubrication process of internal combustion engine journal bearings. „Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie”, nr 2, 2005, s. 109-124.
4. Dziubiński M., Kiljański T., Sęk J.: Podstawy reologii i reometrii płynów. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2009.
5. Guzik J.: Assessment of tribological properties of gear oils. „Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie”, nr 4, 2010, s. 127-134.
6. Guzik J.: Assessment of tribological properties of motor oils. „Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie”, nr 4, 2009, s. 61-68.
7. Hebda M.: Eksploatacja samochodów. Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom 2006.
8. Jakóbiec J., Mazanek A., Ambrozik A.: Operational assessment of lubricating oil SL/CF SAE 5W in engine fuelled by diesel oil and biodiesel B10. „Motoryzacyjne skażenie środowiska”, Warszawa 2009, s. 48-57.
9. Jakóbiec J., Wądrzyk M.: Development trends in engine oils for motor vehicles, Instytut Naukowo-Wydawniczy „SPATIUM”, Radom 2010, s. 41-54.
10. Kiljański T., Dziubiński M., Sęk J.: Wykorzystanie pomiarów właściwości reologicznych płynów w praktyce inżynierskiej. Wydawnictwo EKMA, Warszawa 2009.
11. Kotnarowski A.: Modification of oils tribological properties with use of metal powders. „Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie”, nr 4, 2003, s. 219-230.
12. Olszewski W., Lotko W., Orliński S.: Influence of kinematic viscosity of commercial motor oils on friction resistances of piston machine. „Journal of KONES”, Vol. 9, No. 3-4, 2002, p. 224-230.
13. Podniało A.: Oleje i smary w technice smarowania maszyn i pojazdów samochodowych. Wydawnictwo RB, Opole 2012.
14. Selby T.W.: The Viscosity-Dependent Fuel Efficiency Index for Engine Oils. 13<sup>th</sup> International Colloquium Tribology – Lubricants, Materials, and Lubrication Technische Akademie Esslingen, Stuttgart/Ostfildern, Germany, January 15-17, 2002.
15. Zwierzycki W.: Oleje, paliwa i smary dla motoryzacji i przemysłu. Gorlice: Rafineria Nafty „Glimar”. Instytut Technologii Eksploatacji, Radom 2001.
16. Zwierzycki W.: Płyny eksploatacyjne do środków transportu drogowego: charakterystyka funkcjonalna i ekologiczna. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.