

Jarosław MOLEND A*

**PORÓWNANIE WŁAŚCIWOŚCI
EKSPLOATACYJNYCH WIELOFUNKCYJNEGO
OLEJU UNIWERSALNEGO TYPU *STOU*
ORAZ KONWENCJONALNYCH
SPECJALIZOWANYCH ŚRODKÓW SMAROWYCH**

**COMPARISON OF OPERATING CHARACTERISTICS
OF THE MULTIFUNCTIONAL *STOU*-type
UNIVERSAL OIL AND CONVENTIONAL
SPECIALIZED LUBRICANTS**

Słowa kluczowe:

oleje wielofunkcyjne, uniwersalne oleje do ciągników rolniczych, właściwości eksploatacyjne, oleje silnikowe, oleje przekładniowe, oleje hydrauliczne

Key words:

multifunctional oils, super tractor oil universal (*STOU*), exploitation properties, engine oils, gear oils, hydraulic oils

Streszczenie

Celem pracy było porównanie właściwości eksploatacyjnych wielofunkcyjnego oleju uniwersalnego typu *STOU* (ang. *Super Tractor Oil Universal*) oraz kla-

* Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, ul. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, Polska, e-mail: jaroslaw.molenda@itee.radom.pl

sycznych specjalizowanych olejów przekładniowych i hydraulicznych, wytwarzanych przez tego samego producenta. Porównano właściwości tribologiczne, reologiczne i antyoksydacyjne zbadane odpowiednio za pomocą aparatu cztero-kulowego, reometru rotacyjnego oraz aparatu Petrooxy. Stwierdzono, iż olej uniwersalny jest cieczą newtonowską, charakteryzującą się dwukrotnie niższą lepkością dynamiczną niż dwa pozostałe oleje zarówno w temperaturach dodatnich, jak i ujemnych. Ponadto olej uniwersalny posiada lepsze właściwości antyutleniające i przeciwwzyciowe niż olej hydrauliczny i przekładniowy, jednak wykazuje gorsze właściwości przeciwwzyciowe niż olej przekładniowy. Tym samym oleje typu *STOU* mogą być eksploatowane wyłącznie w umiarkowanych warunkach obciążania węzłów tarcia i układów hydraulicznych.

WPROWADZENIE

Współczesne wymagania proekologiczne zawarte w Dyrektywach Unii Europejskiej, a także w polskich aktach prawnych, wymuszają działania organizacyjne i techniczne ograniczające negatywne oddziaływanie człowieka na środowisko naturalne. W szczególności dużą wagę przywiązuje się do ograniczenia emisji substancji szkodliwych podczas użytkowania środków transportu oraz maszyn i urządzeń pracujących na terenach leśnych oraz rolnych. Głównym źródłem substancji szkodliwych emitowanych z tego typu urządzeń są płyny eksploatacyjne, w tym oleje silnikowe, przekładniowe oraz hydrauliczne, które mogą przedostawać się do ekosystemów zarówno podczas typowej eksploatacji urządzeń technicznych lub też awaryjnego wycieku. Aktualnie stosowanymi sposobami poprawy bezpieczeństwa ekologicznego użytkowania tego typu cieczy jest unifikacja asortymentu płynów eksploatacyjnych wykorzystywanych w maszynach i urządzeniach, a także zastępowanie ropopochodnych komponentów płynów eksploatacyjnych (np. olejów i smarów plastycznych) produktami biodegradowalnymi [L. 1].

Obserwowanym trendem w obszarze substytuowania surowców pierwotnych jest wykorzystanie biokomponentów (np. olejów roślinnych lub produktów ich przerobu) jako zamienników substancji pochodzenia naftowego, stosowanych w technologiach wytwarzania środków smarowych. Biokomponenty stosuje się zarówno jako bazy biodegradowalnych olejów, jak również jako efektywne zamienniki dodatków uszlachetniających, pozyskiwanych na drodze ciężkiej syntezy organicznej. Wysoka dynamika aplikacji ekologicznych środków smarowych jest współcześnie obserwowana przede wszystkim w Europie Zachodniej, głównie w Niemczech, Austrii i Skandynawii oraz w Kanadzie i USA. Krajem przodującym pod względem produkcji i stosowania biodegradowalnych środków smarowych są Niemcy. Szacuje się, że ilość środków smarowych opartych na bazach naturalnych stanowi tu ok. 10% ogólnego zużycia, przy czym w rolnictwie i leśnictwie osiąga wartość ok. 75% [L. 1–3].

W ostatnich latach notowana jest tendencja do wprowadzania ekologicznych produktów również na rynek polski. W chwili obecnej oferowane są przede wszystkim produkty firm zachodnich, np. oleje hydrauliczne Plantohyd (Fuchs), Biohyd (BP) i Naturelle HF (Shell), oleje do smarowania pił łańcuchowych Mobil Biotac 100 AS (Mobil), Chain Way BIO (Statoil), Avia Pristis Bio (Avia), oleje przekładniowe Plantolube (Fuchs) i Biostar (Texaco).

Niemniej jednak wykorzystanie biokomponentów jako zamienników surowców naftowych nie jest możliwe we wszystkich obszarach aplikacyjnych. Przykładowo w olejach silnikowych, ze względu na ich wysokotemperaturowe warunki eksploatacji, nie sprawdzają się komponenty pochodzenia roślinnego, które ulegają w tego typu warunkach pracy szybkim procesom termooksydacyjnym i polimeryzacyjnym. Stąd też wprowadzono alternatywne podejście do wytwarzania olejów smarowych nowej generacji, polegające na unifikacji asortymentu środków smarowych, co pozwala na zastosowanie jednego oleju w wielu węzłach tarcia. Przykładowo koncerny produkcyjne wprowadziły na rynek oleje przekładniowo-hydrauliczne na bazach biodegradowalnych, przeznaczone do aplikacji w przekładniach i układach hydraulicznych ciągników rolniczych, tzw. oleje UTTO (*ang. Universal Tractor Transmission Oils*) [L. 4].

Opracowano także oleje wielofunkcyjne typu STOU (*ang. Super Tractor Oil Universal*), które mogą być eksploatowane zarówno w silniku, jak też w przekładniach i elementach hydrauliki głównie maszyn rolniczych. Tego typu podejście ułatwia więc zrównoważoną gospodarkę środkami smarowymi, przy jednoczesnym zminimalizowaniu ilości potencjalnych substancji niebezpiecznych, które mogą się przedostać do ekosystemu. Oleje typu STOU są wytwarzane na bazach mineralnych, z wykorzystaniem pakietów dodatków uszlachetniających, zawierających w szczególności substancje przeciwutleniające, detergująco-myjące, wiskozujące, a także dodatki AW/EP i przeciwkorozyjne. Najczęściej stosuje się dodatki o działaniu uniwersalnym, np. dialkiloditiofosforan cynku, który wykazuje właściwości przeciwutleniające, przeciwzużyciowe, przeciwwzartarciowe oraz przeciwkorozyjne. Oleje wielofunkcyjne są oferowane praktycznie przez wszystkie duże koncerny naftowe oraz firmy zajmujące się blendingiem olejów, np. Spirax (Shell), Agrifarm (Fuchs), Agro-STOU (OrlenOil), Agrol (Lotos), Agra-STOU (Tedex). Zgodnie z deklaracjami wytwórców, współczesne oleje typu STOU wykazują właściwości charakterystyczne dla średnich klas jakościowych typowych specjalizowanych środków smarowych, co wynika z ograniczenia ilości wprowadzanych komponentów obciążających środowisko naturalne. Rozważane oleje, zgodnie z deklaracjami producentów, mieszczą się zazwyczaj w klasach jakościowych API dla olejów silnikowych CE, CF, CF-4, SF, a dla olejów przekładniowych w klasie GL-4. Niemniej jednak obowiązujące klasyfikacje opisują jedynie wybrane parametry fizykochemiczne, na podstawie których dokonuje się odpowiedniej rekomendacji środka smarowego.

Celowe zatem jest porównanie właściwości użytkowych, w szczególności tribologicznych, reologicznych i antyoksydacyjnych środków uniwersalnych z typowymi preparatami o dedykowanej aplikacji.

OBIEKTY I METODYKA BADAŃ

Badaniom poddano próbki oleju uniwersalnego typu *STOU*, a także komercyjnego oleju przekładniowego klasy GL-4 (oznaczonego jako OP) oraz oleju hydraulicznego klasy LHV 100 (oznaczonego jako OH), pochodzące od tego samego producenta. Charakterystykę fizykochemiczną porównywanych olejów przedstawiono w **Tabeli 1**.

Tabela 1. Charakterystyka fizykochemiczna porównywanych olejów

Table 1. Physico-chemical characteristics of the tested oils

Lp.	Badany parametr	Metoda badawcza	Olej STOU	Olej przekładniowy	Olej hydrauliczny
1	Lepkość kinematyczna w temp. 40°C [mm ² /s]	PN-EN ISO 3104:2004	84,78	91,05	95,50
2	Lepkość kinematyczna w temp. 100°C, [mm ² /s]	PN-EN ISO 3104:2004	12,97	10,79	12,79
3	Wskaźnik lepkości	PN ISO 2909:2009	153	102	124
4	Zawartości wody met. Karla-Fischera, [% (m/m)]	PN-EN ISO 12937:2005	0,013	0,017	0,002
5	Temperatury zapłonu met. Clevelanda, [°C]	PN-EN ISO 2592:2008	218	216	252
6	Korozja na płytkach miedzi, [-]	PN-EN ISO 2160:2004	1	1	1
7	Temperatura płynięcia, [°C]	PN ISO 3016:2005	-40	-31	-40
8	Liczba kwasowa, [mg KOH/g]	PN-ISO 6619:2011	3,55	2,07	0,69
9	Liczba zasadowa, [mg KOH/g]	PN-C 04049:1988	11,70	1,65	0,51

Zakres badań właściwości eksploatacyjnych porównywanych olejów obejmował wyznaczenie ich charakterystyk tribologicznych i reologicznych oraz określenie stabilności oksydacyjnej.

Badania reologiczne przeprowadzono, wykorzystując reometr MCR 102, firmy Anton Paar, który był wyposażony w układ pomiarowy typu płytko–stożek. Krzywe płynięcia wyznaczono w temperaturach -10°C , $+20^{\circ}\text{C}$, $+30^{\circ}\text{C}$, realizując pomiary w zakresie szybkości ścinania od 0 do $100\text{ [s}^{-1}\text{]}$. Na podstawie zarejestrowanych krzywych płynięcia wyznaczono także lepkości dynamiczne poszczególnych olejów.

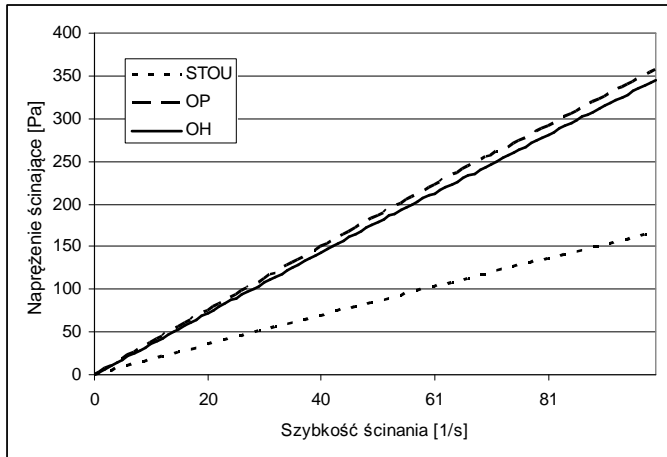
Badania tribologiczne przeprowadzono za pomocą aparatu czterokulowego, prod. ITeE – PIB w Radomiu. Do oceny środków smarowych zaproponowano tzw. graniczny nacisk zatarcia oznaczany symbolem p_{oz} , a także obciążenie zacierające oznaczone symbolem P_t . Graniczny nacisk zatarcia odpowiada nominalnemu naciskowi na powierzchnię śladu zużycia przy zatarciu wężła lub pod koniec biegu (gdy zatarcie nie wystąpi). Im wartość wskaźnika p_{oz} jest wyższa, tym lepsze są właściwości przeciwzatarciowe badanego środka smaru. Badania właściwości olejów w warunkach zacierania przeprowadzono, stosując ciągły wzrost obciążenia wężła w zakresie od 0 do 7200 N, przy prędkości obrotowej wrzeciona wynoszącej 500 obr./min. Testy realizowano do osiągnięcia granicznego momentu tarcia równego 10 Nm lub maksymalnego obciążenia aparatu, tj. do 7200 N. Jako wynik końcowy podawano średnią arytmetyczną z trzech pomiarów nieobciążonych błędem grubym. Natomiast właściwości przeciwzużyciowe badanych olejów określano na podstawie granicznego obciążenia zużycia ($G_{oz/40}$), które wyznaczano podczas jednogodzinnych testów czterokulowych prowadzonych pod stałym obciążeniem wężła tarcia, wynoszącym 392,4 N. Prędkość obrotowa wrzeciona podczas testów przeciwzużyciowych wynosiła również 500 obr./min.

Stabilność oksydacyjna została wyznaczona metodą szybkich testów oksydacyjnych za pomocą aparatu Petrooxy firmy Petrotest. Do badania próbek olejowych zaadaptowano warunki testów oksydacyjnych, opisane w normie PN-EN 16091:2011 „Ciekłe przetwory naftowe – Paliwa i mieszaniny ze średnich destylatów naftowych i estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME) – Oznaczanie stabilności oksydacyjnej metodą szybkiego utleniania w małej skali”. Tym samym badania prowadzono w temperaturze 150°C w obecności tlenu, a wyznaczanym parametrem był okres indukcji utleniania określany jako czas, po którym obserwuje się spadek ciśnienia tlenu w komorze pomiarowej o 10% w porównaniu z ciśnieniem początkowym wynoszącym 8 bar.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

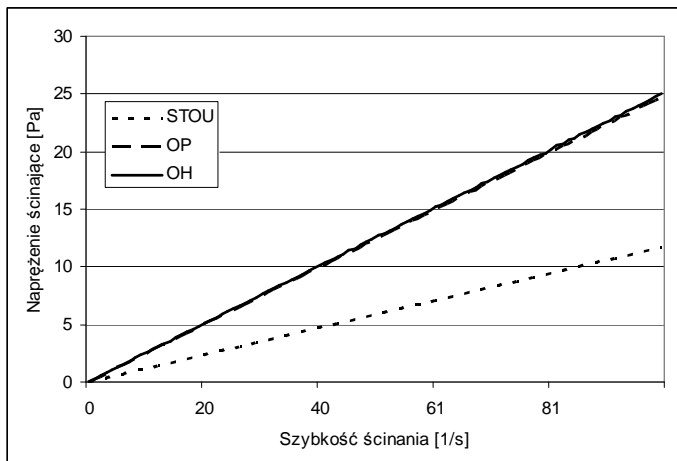
Charakterystykę właściwości reologicznych badanych próbek olejowych opisują krzywe płynięcia, czyli zależność pomiędzy naprężeniem stycznym (wywo-

łanym ścinaniem płynu) i szybkością ścinania. Analiza krzywych płynięcia pozwala więc na ocenę oporów ruchu w procesach ustalonych, w których płyn nie wykazuje efektów pamięci. Uzyskane podczas badań reologicznych krzywe płynięcia dla poszczególnych olejów, które badano w temperaturach -10, 20 i 30°C, zamieszczono odpowiednio na **Rys. 1–3**.



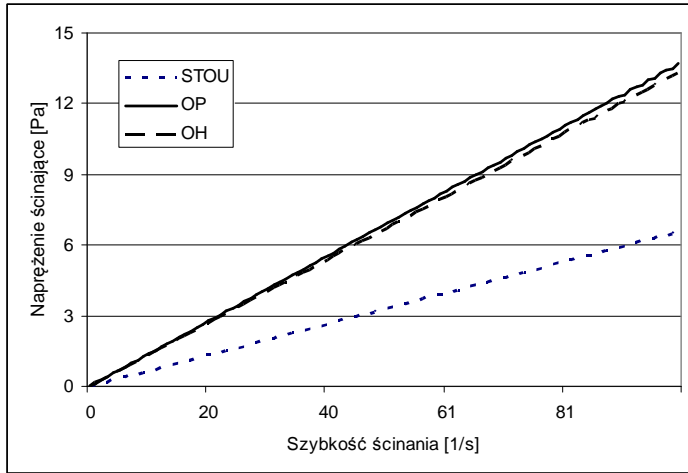
Rys. 1. Krzywe płynięcia badanych olejów w temperaturze -10°C

Fig. 1. The flow curves of the tested oils at -10°C



Rys. 2. Krzywe płynięcia badanych olejów w temperaturze +20°C

Fig. 2. The flow curves of the tested oils at +20°C



Rys. 3. Krzywe płynięcia badanych olejów w temperaturze +30°C

Fig. 3. The flow curves of the tested oils at +30°C

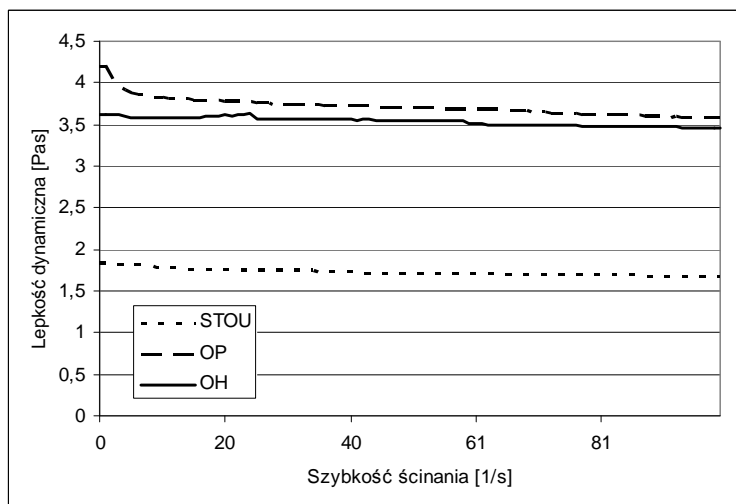
Analiza uzyskanych krzywych płynięcia wskazuje jednoznacznie, iż w każdych warunkach temperaturowych badane oleje wykazują cechy cieczy newtonowskiej, potwierdzeniem czego jest liniowa zależność pomiędzy naprężeniem ścinającym a szybkością ścinania. Zależność ta jest opisywana relacją [L. 5]:

$$\tau = \eta \cdot \gamma$$

gdzie τ oznacza naprężenie ścinające, γ – szybkość ścinania, η – lepkość dynamiczną.

W związku z powyższym badane kompozycje nie posiadają tzw. granicy płynięcia, a więc ulegają przepływowi pod wpływem dowolnie małych naprężeń, przy czym olej uniwersalny *STOU* wymaga niższych naprężeń ścinających do uzyskania przepływu w danych warunkach temperaturowych w porównaniu z typowym olejem hydraulicznym i przekładniowym. Zauważa się również porównywalną charakterystykę lepkościową oleju przekładniowego i hydraulicznego, od których istotnie różni się przebieg zależności funkcyjnej wyznaczonej dla oleju uniwersalnego typu *STOU*. Różnice wynikają głównie ze znacznie mniejszego nachylenia do osi odciętych prostej charakteryzującej olej *STOU* w porównaniu z zależnością opisującą olej przekładniowy i hydrauliczny. Uwzględniając hydrodynamiczne prawo Newtona można jednoznacznie stwierdzić, iż w badanych warunkach temperaturowych obserwuje się blisko dwukrotnie niższą lepkość dynamiczną oleju uniwersalnego niż pozostałych dwóch zbadanych rodzajów oleju, co jest efektem korzystnym, ułatwiającym rozruch silnika oraz zmniejszenie obciążeń w początkowej fazie pracy prze-

kładni i układów hydraulicznych, minimalizując tym samym ich zużycie. Właściwości te są szczególnie istotne w niskich temperaturach eksploatacji maszyn. Porównanie lepkości dynamicznych testowanych olejów, wyznaczonych w temperaturze -10°C , zamieszczono na **Rys. 4**.

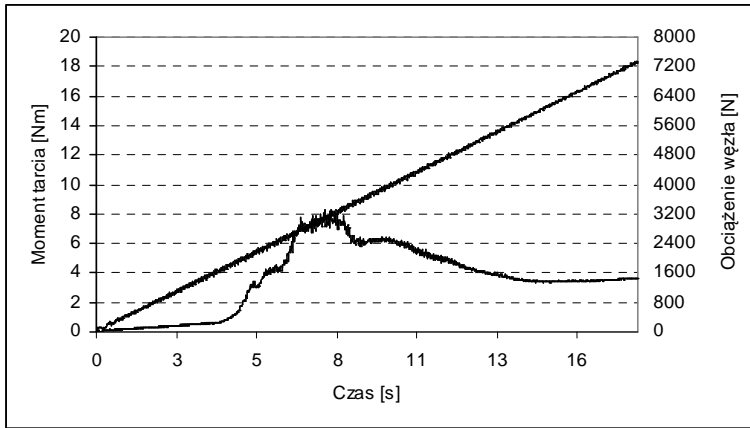


Rys. 4. Porównanie lepkości dynamicznej oleju *STOU* oraz oleju hydraulicznego i przekładniowego wyznaczonej w temperaturze -10°C

Fig. 4. Comparison of dynamic viscosity of *STOU*-type oil, hydraulic oil and gear oil, determined at -10°C

Olej typu *STOU* może być łatwo eksploatowany w ujemnych temperaturach, ponieważ posiada znacznie niższą lepkość dynamiczną niż specjalizowane oleje przekładniowe i hydrauliczne.

Właściwości reologiczne środka smarowego wpływają w istotny sposób na zużycie współpracujących elementów wężła tarcia w warunkach smarowania hydrodynamicznego, podczas którego lepkość dynamiczna oleju, zgodnie z równaniem Reynoldsa, decyduje o efektywnym kształtowaniu tzw. klina smarowego. Natomiast elementem decydującym o niezawodności pracy skojarzeń tribologicznych, pracujących w warunkach tarcia granicznego, jest zdolność do generowania warstw ochronnych przy udziale komponentów cieczy smarowej. W związku z powyższym właściwości tribologiczne środka smarowego należą do kluczowych cech determinujących przydatność eksploatacyjną oleju. Uzyskane wyniki badań tribologicznych przeprowadzonych za pomocą aparatu czterokulowego zamieszczono na **Rys. 5–7**.



Rys. 5. Przykładowa charakterystyka tribologiczna węzła tarcia smarowanego olejem uniwersalnym *STOU*

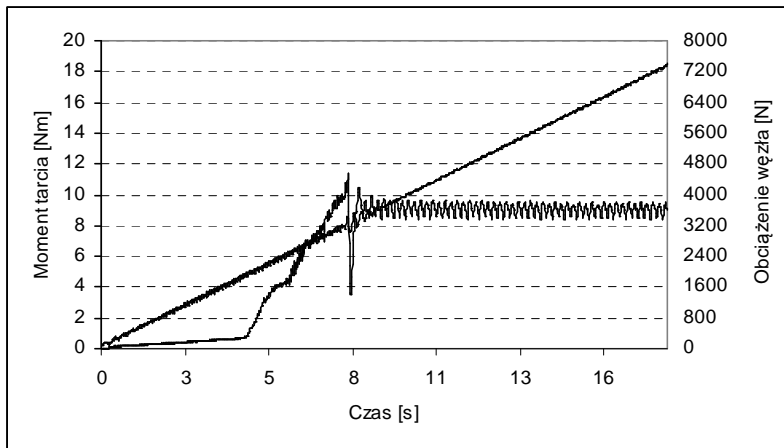
Fig. 5. Tribological characteristic of a friction couple lubricated with *STOU*-type universal oil



Rys. 6. Przykładowa charakterystyka tribologiczna węzła tarcia smarowanego olejem przekładniowym (*OP*)

Fig. 6. Tribological characteristic of a friction couple lubricated with gear oil

Analiza zarejestrowanych krzywych wskazuje, iż olej typu *STOU* wykazuje pośrednie właściwości tribologiczne pomiędzy najlepszym olejem przekładniowym a najłagodniejszym olejem hydraulicznym. Olej przekładniowy charakteryzuje się bardzo korzystnymi parametrami tribologicznymi w warunkach zacierania. Wyznaczony graniczny nacisk zatarcia wynosił w tym przypadku



Rys. 7. Przykładowa charakterystyka tribologiczna węża tarcia smarowanego olejem hydraulicznym (OH)

Fig. 7. Tribological characteristic of a friction couple lubricated with hydraulic oil

1181,67 N/mm². Natomiast graniczny nacisk zatarcia wyznaczony podczas badań z udziałem oleju uniwersalnego *STOU* wynosił 589,57 N/mm². Porównanie wartości parametrów opisujących właściwości tribologiczne badanych olejów zestawiono w **Tabeli 2**.

Tabela. 2. Zestawienie parametrów opisujących właściwości tribologiczne badanych olejów

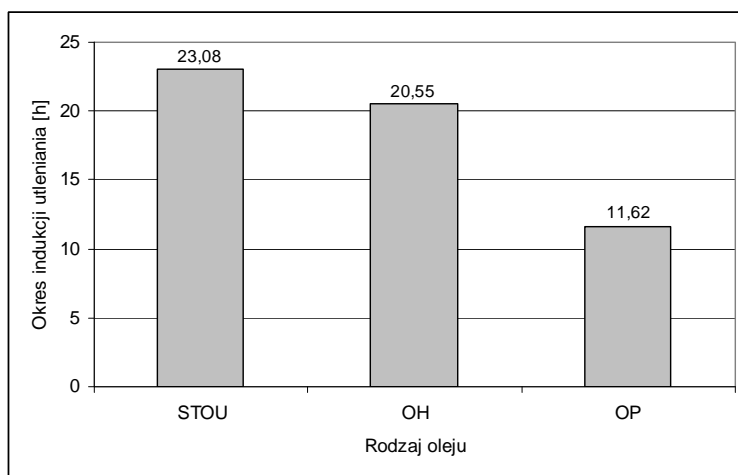
Table 2. Parameters describing the tribological properties of the tested oils

Lp.	Badany parametr	Olej <i>STOU</i>	Olej przekładniowy	Olej hydrauliczny
1	Graniczne obciążenie zużycia, [N/mm ²]	1341,54	754,61	548,37
2	Graniczny nacisk zatarcia, [N/mm ²]	589,57	1181,67	261,13
3	Obciążenie zacierające, [N]	1900	2600	1900

Analiza wartości granicznego nacisku zatarcia p_{oz} wskazuje, iż olej typu *STOU* ma znacznie gorsze właściwości przeciwzatarciowe niż typowy olej przekładniowy, który należy do klasy GL-4. Uwzględniając wyniki badań korelujących stopień obciążenia niszczącego przekładni z granicznym naciskiem zatarcia, można przyjąć, iż badany olej typu *STOU* może być zakwalifikowany do klasy jakościowej GL-3 [**L. 6**]. Natomiast wartości granicznych obciążeń

zużycia (G_{oz40}) wskazują, że olej *STOU* posiada najlepsze właściwości przeciwzużyciowe (*AW*) spośród testowanych olejów.

Zbadano także odporność termooksydacyjną wytypowanych olejów, a uzyskane wyniki czasów indukcji utleniania przedstawiono na **Rys. 8**.



Rys. 8. Porównanie stabilności oksydacyjnej oleju uniwersalnego (*STOU*) oraz oleju hydraulicznego (*OH*) i oleju przekładniowego (*OP*)

Fig. 8. Comparison of the oxidative stability of universal oil (*STOU*), hydraulic oil (*OH*) and gear oil (*OP*)

Analiza wyników przedstawionych na rys. 8 wskazuje, iż olej uniwersalny charakteryzuje się najwyższą odpornością termooksydacyjną spośród zbadanych próbek olejowych, co wynika z zastosowania do jego wytworzenia efektywnych dodatków przeciwutleniających. Odporność termooksydacyjna oleju *STOU* jest ponaddwukrotnie większa niż typowego oleju przekładniowego.

PODSUMOWANIE

Podsumowując, przeprowadzone badania wskazują, iż olej uniwersalny typu *STOU* charakteryzuje się około dwukrotnie niższą lepkością dynamiczną niż klasyczne oleje hydrauliczne i przekładniowe przy jednoczesnym wysokim wskaźniku lepkości, co pozwala na zastosowanie tego środka smarowego w szerokim zakresie temperatur pracy, w tym także w temperaturach ujemnych. Wielofunkcyjny olej uniwersalny wykazuje również lepsze właściwości przeciwzużyciowe niż typowe oleje hydrauliczne oraz przekładniowe, jednak posiada znacznie gorsze właściwości przeciwzatarciowe niż olej przekładniowy. Uwzględniając właściwości *AW/EP* oleju uniwersalnego typu *STOU*, należy

przyjąć, iż tego typu środki smarowe mogą być eksploatowane wyłącznie w umiarkowanych warunkach obciążania węzłów tarcia oraz układów hydraulicznych, co przy dobrej odporności oksydacyjnej oleju gwarantuje prawidłową eksploatację urządzeń i pojazdów rolniczych, do których są rekomendowane.

LITERATURA

1. Molenda J.: Surowce odnawialne dla zastosowań w przemyśle. W: Zielona Wizja Innowacji – strategiczna agenda innowacji dla zielonych technologii w perspektywie finansowej 2014–2020. Wyd. Polska Platforma Ekoinnowacji, Katowice 2013, 69–78.
2. Nagendramma P., Kaul S.: Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: An overview. *Enewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16, 764–774.
3. Hawrot-Paw M.: Biodegradacja wybranych produktów naftowych w zmiennych warunkach temperatury i pH środowiska. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus*, 2010, 9, 17–23.
4. Karzan B., Vizintin J.: Tribological properties of an environmentally adopted universal tractor transmission oil based on vegetable oil. *Tribology International*, 2003, 36, 827–833.
5. Kiljański T., Dziubiński M., Sęk J., Antosik K.: Wykorzystanie pomiarów właściwości reologicznych płynów w praktyce inżynierskiej. Wyd. EKMA, Warszawa 2009.
6. Tuszyński W., Rogoś E.: Nowoczesne metody badania właściwości tribologicznych olejów smarowych. *Nafta-Gaz*, 2010, 10, 927–935.

Summary

The aim of the study was to compare the operating characteristics of the multifunctional STOU-type oil (Super Tractor Oil Universal) and classic specialized lubricants produced by the same manufacturer. The study compared the tribological, rheological, and antioxidant properties using a four-ball machine, a rotational rheometer, and the Petrooxy test device. It has been found that universal oil is a Newtonian fluid and its dynamic viscosity is two times lower than the other two lubricants at positive and negative temperatures. In addition, universal oil has better antioxidant and antiwear properties than hydraulic and gear oil, but it has worse anti-seizure properties than gear oil. Thus STOU-type oils can only be operated under moderate load of tribological and hydraulic systems.