

Elżbieta ROGOŚ*, Andrzej URBAŃSKI*

CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE ROŚLINNYCH OLEJÓW BAZOWYCH DLA OLEJÓW HYDRAULICZNYCH

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF VEGETABLE OILS INTENDED FOR THE BASES OF HYDRAULIC OILS

Słowa kluczowe:

oleje roślinne, oleje hydrauliczne, biodegradacja, właściwości przeciwpuzyciowe, właściwości przeciwwzatarciowe

Key words:

vegetable oils, hydraulic oils, biodegradation, antiwear properties, extreme-pressure properties

Streszczenie

Zbadano i porównano właściwości smarne roślinnych baz olejowych w aspekcie zastosowania dla biodegradowalnych olejów hydraulicznych. Oleje bazowe należały do trzech różnych klas lepkości: VG 32, VG 46 i VG 68. Wytworzono je, wprowadzając do oleju rzepakowego modyfikator lepkości. Modyfikatorami lepkości były oleje roślinne i produkty

* Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, 26-600 Radom, ul. K. Pułaskiego 6/10.

ich chemicznej modyfikacji oraz estry syntetyczne. Oceniono przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe właściwości wytworzonych baz olejowych. Uzyskane wyniki badań umożliwiły przeprowadzenie analizy wpływu rodzaju dodatków wiskozujących na zdolność powstałych kompozycji smarowych do ochrony testowego węzła tarcia przed zużyciem i zatarciem.

WPROWADZENIE

Działania podejmowane na rzecz środowiska, ukierunkowane na świadome i zorganizowane przeciwdziałanie jego degradacji, dotyczą między innymi zapobiegania powstawaniu niebezpiecznych odpadów [L. 1–3]. Powszechne w użyciu oleje i ciecz robocze na bazie ropy naftowej, ze względu na pochodzenie, skład chemiczny i starzeniowe zmiany należą do produktów ekologicznie niebezpiecznych [L. 4–6]. Ich obecność w środowisku zagraża życiu biologicznemu w wodach powierzchniowych i gruntowych oraz w glebie. Najbardziej niebezpieczna jest nieunikniona interakcja takich produktów ze środowiskiem. Przede wszystkim ma to miejsce w przelotowych układach smarowania oraz maszynach i urządzeniach pracujących na wolnym powietrzu, np. maszynach rolniczych, leśnych, ogrodniczych, pracujących w kopalniach odkrywkowych, zaporach wodnych, budowłach hydrologicznych.

W maszynach i urządzeniach przemysłowych oraz pojazdach mechanicznych często stosowane są układy napędu i sterowania hydraulicznego. W nowoczesnych układach hydraulicznych maszyn pracujących na wolnym powietrzu coraz częściej stosowane są wieloobwodowe układy hydrauliczne, działające niezależnie od siebie [L. 7]. Warunki ich pracy są wyjątkowo ciężkie. Decydujące znaczenie mają ciśnienie i temperatura. Wymagania dotyczące ciśnienia mogą sięgać 40 MPa. Maksymalna temperatura pracy nie powinna przekraczać 80°C. Jednak miejscowo może nastąpić wzrost temperatury zespołów hydraulicznych do 160, a nawet 200–300°C [L. 8]. Zapewnienie niezawodnej eksploatacji takich układów wymaga stosowania cieczy roboczych spełniających wysokie kryteria jakościowe, zarówno w zakresie właściwości fizykochemicznych, jak i odpornościowo-wytrzymałościowych. Szczególne znaczenie mają właściwości smarne i lepkościowo-temperaturowe. Zalecane jest stosowanie olejów hydraulicznych rodzaju HV, przeznaczonych do układów pracujących przy wysokim ciśnieniu, w zmiennych warunkach tem-

peraturowych. Zamiennikiem dla bazy naftowej mogą być oleje roślinne i produkty ich modyfikacji [L. 9–13]. W artykule oceniono przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe właściwości wielu mieszanin produktów roślinnych pod kątem zastosowania jako baz dla olejów hydraulicznych o określonej klasie lepkości.

METODY BADAŃ

Przedmiotem badań były roślinne bazy olejowe o klasie lepkości VG 32, VG 46 i VG 68, wytworzone z rafinowanego oleju rzepakowego. W celu uzyskania klasy lepkości VG 32 do oleju rzepakowego wprowadzono sebacynian diizooktylowy (SDO), adypinian diizooktylowy (ADO) oraz estry metylowe oleju rzepakowego (EMKOR). Natomiast klasy lepkości VG 46 oraz VG 68 były mieszaninami oleju rzepakowego z kalafonią balsamiczną, olejem rycynowym oraz epoksydowanym olejem sojowym produkcji krajowej (EOS) i z importu (PB3).

Oceniono przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe właściwości wytworzonych baz olejowych. Badania prowadzono z wykorzystaniem aparatu czterokulowego, wg PN-76/C-04147 oraz testera T-02 metodą opracowaną w ITeE – PIB w Radomiu [L. 14]. W obu przypadkach elementami testowymi były kulki o średnicy nominalnej ½”, wykonane ze stali łożyskowej ŁH 15. Chropowatość powierzchni kulek wynosiła $R_a = 0,032 \mu\text{m}$. Metodą normatywną wyznaczano wartość średnicy skaży na kulkach testowych (przy stałym obciążeniu 392,1 N, prędkości 1450 obr./min., czasie 1 h), natomiast za pomocą testera T-02 wartość obciążenia zacierającego P_t oraz granicznego nacisku zatarcia p_{oz} (przy prędkości obrotowej wrzeciona 500 obr./min, prędkości narastania obciążenia 409 N/s, początkowym obciążeniu wężła tarcia 0 N, w temperaturze 20°C). Dla każdego środka smarowego wykonywano co najmniej trzy biegi badawcze.

Do obróbki statystycznej wyników zastosowano test Q-Dixona przy poziomie istotności 95%. Wyniki przedstawiono jako średnią arytmetyczną trzech równoległych pomiarów.

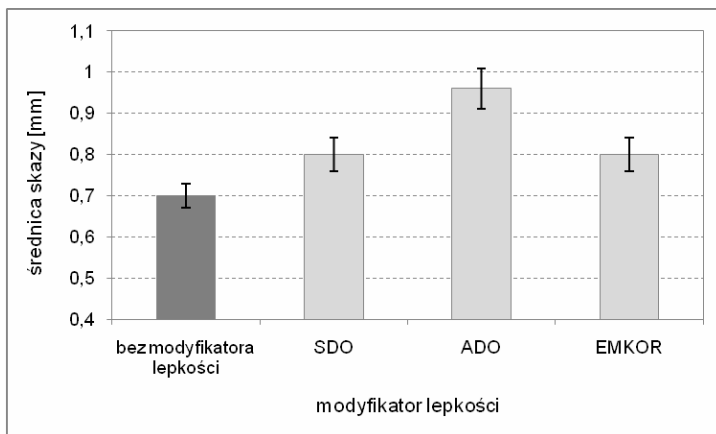
WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Badania właściwości smarnych wytworzonych baz olejowych wykazały, że wprowadzone modyfikatory lepkości zmieniły zdolność oleju rzepakowego do przeciwzużyciowej i przeciwzatarciowej ochrony wężła tar-

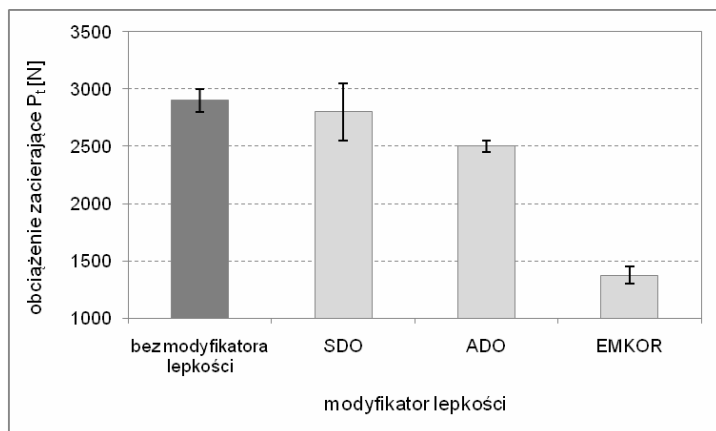
cia. Badane bazy charakteryzowały się różnymi w stosunku do oleju podstawowego wartościami wyznaczonych wskaźników.

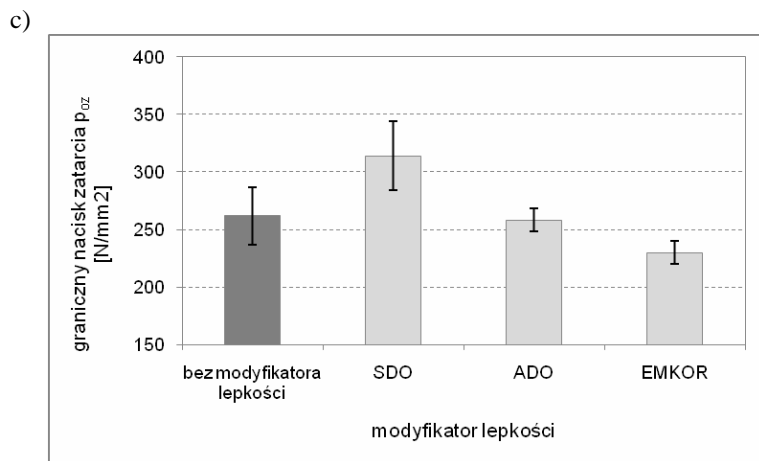
Każdy z modyfikatorów wprowadzonych do oleju rzepakowego w celu uzyskania klasy lepkości VG 32 miał niekorzystny wpływ na jego właściwości przeciwzużyciowe (**Rys. 1a**). Po badaniu każdej z wytworzonych baz stwierdzono większe zużycie węzła tarcia niż po badaniu oleju rzepakowego. Największy, ok. 35-procentowy wzrost średnicy skaży był efektem obecności w oleju podstawowym adypinianu diizooktylowego. Mniejszy, ok. 10-procentowy wzrost parametru stwierdzono po badaniu baz zawierających sebacynian diizooktylu oraz estry metylowe oleju rzepakowego.

a)



b)



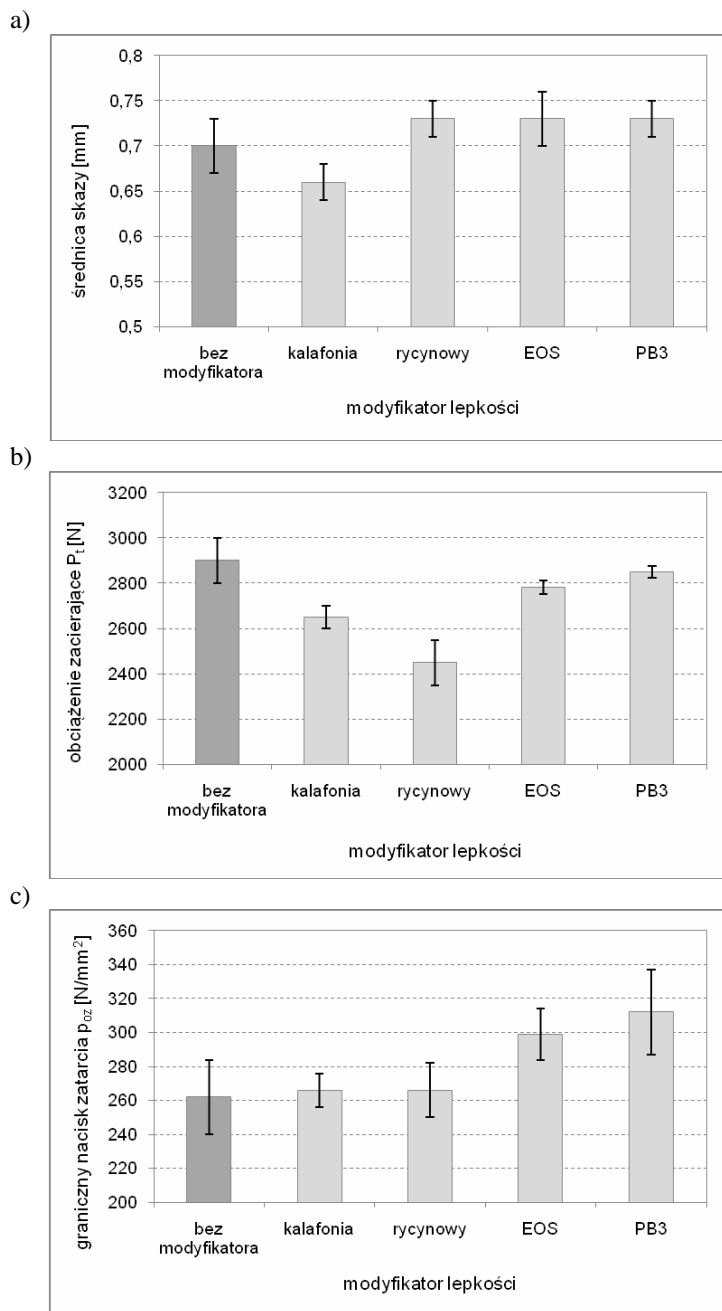


Rys. 1. Wielkości: a) średnicy skazy, b) obciążenia zacierającego i c) granicznego nacisku zatarcia wyznaczone dla baz olejowych o klasie lepkości VG 32

Fig 1. The results obtained for oil bases in VG 32 viscosity grade: a) wear scar diameter, b) scuffing load, c) limiting pressure of seizure

Ocena przeciwwzartarciowych właściwości baz o klasie lepkości VG 32 wykazała niekorzystny wpływ ADO i EMKOR na trwałość filmu smarowego. Ich obecność zmniejszyła wartość obciążenia zacierającego oleju rzepakowego odpowiednio o ponad 14 i 100%. (**Rys. 1b**) Natomiast wprowadzenie SDO nie zmieniło w istotny sposób wartości wskaźnika, co świadczyło o zbliżonej do oleju podstawowego zdolności do przeciwdziałania zatarciu. SDO miało korzystny wpływ na graniczny nacisk zatarcia (**Rys. 1c**). Zwiększenie wskaźnika o ok. 20% świadczyło o większych przeciwwzartarciowych właściwościach w warunkach zacierania wytworzonej bazy olejowej od samego oleju rzepakowego. Nie stwierdzono zwiększenia granicznego nacisku zatarcia po badaniu bazy zawierającej ADO. Z kolei wprowadzenie EMKOR-u skutkowało zmniejszeniem wskaźnika o ok. 15%.

Modyfikatory tarcia wprowadzone do oleju rzepakowego celem uzyskania bazy o klasie lepkości VG 46 nie zmieniły w znaczący sposób jego przeciwwzartarciowych właściwości i miały różny wpływ na właściwości przeciwwzartarciowe (**Rys. 2**).



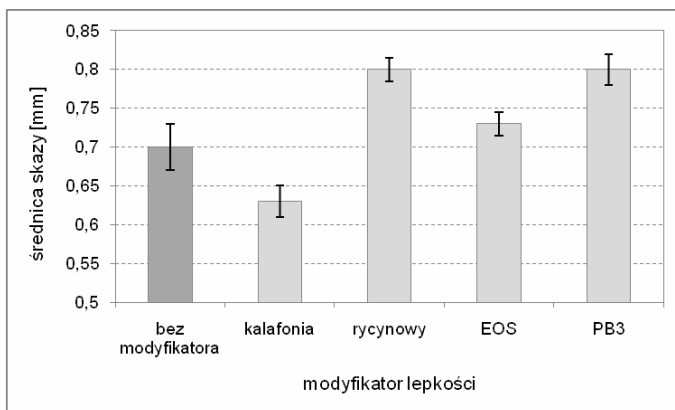
Rys. 2. Wielkości: a) średnicy skazy, b) obciążenia zacierającego i c) granicznego nacisku zatarcia wyznaczone dla baz olejowych o klasie lepkości VG 46

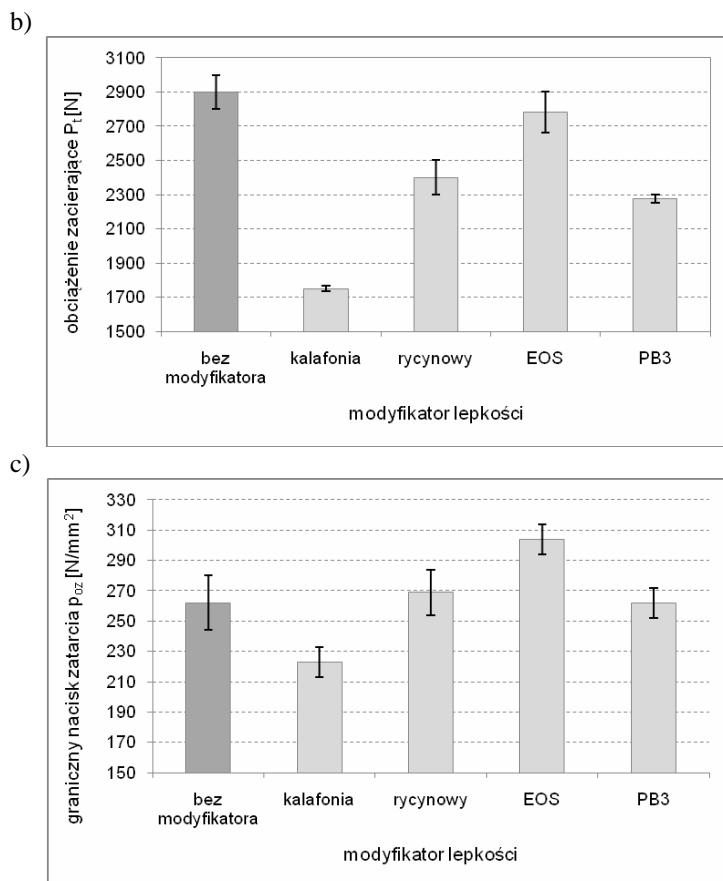
Fig 2. The results obtained for oil bases in VG 46 viscosity grade: a) wear scar diameter, b) scuffing load, c) limiting pressure of seizure

Wytworzone bazy olejowe charakteryzowały się zbliżoną zdolnością do przeciwwżyciowej ochrony wężła tarcia, o czym świadczą wyznaczone średnice skaz na kulkach testowych. Ich wartości mieściły się w granicach błędu metody (**Rys. 2a**). Stwierdzono natomiast zróżnicowane właściwości przeciwwżyciowe baz. Żaden z wprowadzonych modyfikatorów lepkości nie spowodował zwiększenia trwałości filmu smarowego oleju rzepakowego, o czym świadczą mniejsze lub zbliżone wartości obciążenia zacierającego baz. Największe, ok. 17-procentowe zmniejszenie wartości wskaźnika stwierdzono po badaniu bazy zawierającej olej rycynowy, natomiast ok. 10% zmniejszenie uzyskano po badaniu bazy z kalafonią. Produkty te w największym stopniu zmniejszyły zdolność oleju rzepakowego do ochrony wężła tarcia przed zatarciem. Nie stwierdzono takiego wpływu ze strony epoksydowanego oleju sojowego. Po wprowadzeniu obu produktów (EOS i PB3) właściwości przeciwwżyciowe oleju rzepakowego praktycznie nie uległy zmianie. Inną zależność stwierdzono po badaniu baz w warunkach zacierania (**Rys. 2c**). W tym przypadku najskuteczniejsze działanie, lepsze od oleju rzepakowego, wykazała baza z udziałem epoksydowanego oleju sojowego. Wprowadzenie produktu spowodowało ok. 15 (EOS) i 20-procentowy (PB3) wzrost wartości granicznego nacisku zatarcia. Nie stwierdzono zmian wartości parametru po wprowadzeniu oleju rycynowego oraz kalafonii. Produkty te nie zmieniły przeciwwżyciowego działania oleju rzepakowego w warunkach zacierania.

Zwiększenie udziału modyfikatorów lepkości w celu uzyskania klasy lepkości VG 68 bardziej zróżnicowało przeciwwżyciowe i przeciwwżyciowe właściwości wytworzonych baz niż w przypadku produktów należących do klasy VG 46 (**Rys. 3**).

a)





Rys. 3. Wielkości: a) średnicy skazy, b) obciążenia zacierającego i c) granicznego nacisku zatarcia wyznaczone dla baz olejowych o klasie lepkości VG 68

Fig. 3. The results obtained for oil bases in VG 68 viscosity grade: a) wear scar diameter, b) scuffing load, c) limiting pressure of seizure

Kalafonia nieznacznie zwiększyła, a olej rycynowy i epoksydowany olej sojowy PB3 zmniejszył zdolność oleju rzepakowego do przeciwzużyciowej ochrony wężła tarcia (**Rys. 3a**). W każdym przypadku średnica skazy zmieniła się o ok. 10%. Obecność kalafonii skutkowałą zmniejszeniem wartości parametru, natomiast dwóch pozostałych produktów jej zwiększeniem. Epoksydowany olej sojowy EOS nie miał istotnego wpływu na przeciwzużyciowe właściwości oleju rzepakowego. Obecność modyfikatorów lepkości w bazie VG 68 w różnym stopniu zmieniła trwałość filmu smarowego, o czym świadczą zróżnicowane wartości obciążenia zacierającego (**Rys. 3b**). Jedynie epoksydowany olej sojowy EOS nie

miał istotnego wpływu na wartość parametru, wprowadzenie pozostałych produktów skutkowało jego zmniejszeniem. Przeciwzatarciowe działanie oleju rzepakowego zmniejszyło się najbardziej po wprowadzeniu kalafonii – graniczny nacisk zatarcia zmniejszył się o ponad 40%. Obecność oleju rycynowego spowodowała zmniejszenie wartości parametru o ok. 17, a epoksydowanego oleju sojowego PB3 o ok. 22%. Modyfikatory lepkości zmieniły też działanie oleju rzepakowego w warunkach zacierania, czego dowodem są zmiany granicznego nacisku zatarcia (**Rys. 3c**). W tym przypadku najlepsze działanie wykazała baza z udziałem epoksydowanego oleju sojowego EOS produkcji krajowej. Efektem obecności produktu był ok. 20% wzrost wartości granicznego nacisku zatarcia. Nie stwierdzono zmian wartości parametru po wprowadzeniu epoksydowanego oleju sojowego PB3 oraz oleju rycynowego. Natomiast kalafonia spowodowała gorszą o ok. 15% odporność warstwy wierzchniej na zużywanie w warunkach zacierania.

PODSUMOWANIE

Podczas pracy w układach hydraulicznych oleje narażone są na destrukcyjne działanie mechanicznych sił ścinających. Wytworzenie biodegradowalnych olejów hydraulicznych na bazie oleju rzepakowego wymaga m.in. modyfikacji lepkości. Powszechnie w użyciu są dodatki wiskozujące, będące polimerami metakrylenowo-styrenowymi. Jednak ze względu na chemiczną strukturę nie są one odporne na ścinanie. Dlatego też celowe jest poszukiwanie modyfikatorów charakteryzujących się wysoką odpornością na działanie mechanicznych sił ścinających. W przypadku komponowania biodegradowalnych olejów hydraulicznych na bazie oleju rzepakowego taką rolę mogą spełniać oleje roślinne o bardzo dużej lepkości lub produkty ich modyfikacji oraz syntetyczne estry. W oparciu o wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że mogą one zmieniać przeciwzuzyciowe i przeciwzatarciowe właściwości oleju rzepakowego. Jedynym, spośród badanych, modyfikatorem lepkości zwiększającym zdolność oleju rzepakowego do przeciwzuzyciowej ochrony węzła tarcia była kalafonia, wprowadzona do bazy o klasie lepkości VG 68. Pozostałe modyfikatory nie zmieniły lub zwiększyły zużycie testowego węzła tarcia. Interesującym modyfikatorem zwiększającym lepkość był epoksydowany olej sojowy EOS. Jego obecność nie skutkowała istotną zmianą przeciwzuzyciowych i przeciwzatarciowych właściwości oleju rzepakowego, jednak zwiększyła odporność zmodyfikowanej podczas tarcia war-

stwy wierzchniej na zacieranie i zużywanie. Może zatem być najskuteczniejszym modyfikatorem lepkości oleju rzepakowego w celu uzyskania biodegradowalnych baz dla oleju hydraulicznego o podwyższonych właściwościach smarnych i klasie lepkości VG 46 i 68. W przypadku bazy o klasie lepkości VG 32 najkorzystniej jest wprowadzić sebacynian diizookty. W nieznacznym stopniu zmienił on zdolność oleju rzepakowego do przeciwzuzyciowej ochrony elementów trących, nie miał istotnego wpływu na trwałość warstwy smarowej, natomiast zwiększył trwałość warstwy wierzchniej. Na dalszym etapie opracowywania biodegradowalnego oleju hydraulicznego konieczna jest ocena funkcjonalnych właściwości wybranych baz olejowych, przede wszystkim wpływ modyfikatorów na termooksydacyjną stabilność oleju rzepakowego.

LITERATURA

1. Podniadło A.: Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji. WNT, Warszawa 2002.
2. Bartz W.J.: Lubricants and the environment. *Tribology International*, 1998, 31, s. 35–47.
3. Haus F., German J., Junter G-A.: Primary biodegradability of mineral base oils in relation to their chemical and physical characteristics. *Chemosphere*, 2001, 45 s. 983–990.
4. Battersby N.S., Morgan P.: A note on the use of the CEC L-33A-93 test to predict the potential biodegradation of mineral oil based lubricants in soil. *Chemosphere*, 2007, 35 s. 1773–1779.
5. Gawrońska H., Górski W.: Biodegradowalność i ekotoksyczność wybranych rodzajów cieczy eksploatacyjnych. *Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji*, 1999, 68, s. 11–14.
6. Haus F., Boissel O., Junter G-A.: Primary and ultimate biodegradabilities of mineral base oils and their relationships with oil viscosity. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 2004, 54, s. 189–192.
7. Krasowski A.: Napędy hydrauliczne, pneumatyczne i sterowanie. Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin, 2000.
8. Budny E.: Napęd i sterowanie układów hydraulicznych w maszynach roboczych. Wyd. Naukowe ITeE – PIB, Warszawa-Radom, 2002.
9. Bartz W.J.: Ecotribology: environmentally acceptable tribological practices. *Tribology International*. 2006, 39, s. 728–733.
10. Goyan R. i inni: Biodegradable Lubricants. *Lubrication Engineering*, 1998, 7, s. 10–17.

11. Pettersson A.: High-performance base fluids for environmentally adapted lubricants. *Tribology International*, 2007, 40, s. 638–645.
12. Jayadas N.H., Prabhakaran Nair K., Ajithkumar G.: Tribological evaluation of coconut oil as an environment-friendly lubricant. *Tribology International*, 2004, 40, s. 350–354.
13. Erhan S.Z., Asadauskas S.: Lubricant basestocks from vegetable oils. *Industrial Crops and Products*, 2000, 11, s. 277–282.
14. Szczerek M., Tuszyński W.: *Badania tribologiczne. Zacieranie*. ITeE, Radom, 2000.

Pracę badawczą sfinansowano z projektu badawczego nr N N205 131035 pt. „Kształtowanie funkcjonalnych właściwości odtwarzalnych baz olejowych przeznaczonych na wybrane ciecze robocze”.

Recenzent:
Andrzej KULCZYCKI

Summary

The lubricating properties of vegetable oil bases in use for biodegradable hydraulic oils were tested and compared. Oil bases belonged to three different viscosity grades: VG 32, VG 46, and VG 68. The bases were formulated through the addition of viscosity improvers to rapeseed oil. The viscosity improvers were vegetable oils, products of a chemical modification of the vegetable oils, and synthetic esters. The antiwear and extreme-pressure properties of the formulated oil bases were investigated. The obtained results made it possible to analyse the influence of the type of viscosity improvers on preventing the lubricated tribosystem from sliding wear and scuffing.

