

Elżbieta ROGÓŚ\*, Andrzej URBAŃSKI\*

## **BIODEGRADOWALNY OLEJ HYDRAULICZNY O PODWYŻSZONYCH WŁAŚCIWOŚCIACH SMARNYCH**

## **BIODEGRADABLE HYDRAULIC OIL WITH IMPROVED LUBRICATING PROPERTIES**

### **Słowa kluczowe:**

oleje roślinne, oleje hydrauliczne, biodegradacja, właściwości smarne, właściwości fizykochemiczne

### **Key-words:**

vegetable oil, hydraulic oil, biodegradation, lubricating properties, physicochemical properties

### **Streszczenie**

Przedstawiono wyniki badań oleju hydraulicznego o klasie lepkości VG 46, wytworzonego na bazie olejów roślinnych. Oceniono właściwości smarne, fizykochemiczne i ekologiczne produktu. Ze względu na obecność w oleju dodatków przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych, uzyskane wyniki badań odniesiono do wymagań normy PN-C-96057-6: „Oleje

---

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

hydrauliczne do hydrostatycznych układów hydraulicznych. Oleje hydrauliczne L-HV”. Tej klasy oleje charakteryzują się wysokimi właściwościami smarnymi i lepkościowo-temperaturowymi. Normatywną ocenę właściwości smarnych oleju poszerzono o badania przeprowadzone dzięki użyciu urządzenia T-02. Oceniono też stabilność termooksydacyjną oleju.

Stwierdzono, że wytworzony olej hydrauliczny na bazie produktów roślinnych spełnia wymagania normatywne dla olejów klasy L-HV. Wykazuje wysokie właściwości przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe, lepkościowo-temperaturowe, przeciwkorozyjne, przeciwpienne i termooksydacyjne. Może być aplikowany w wysokoobciążonych układach hydraulicznych, pracujących w zmiennych warunkach klimatycznych, np. mobilnych układach rolniczych i leśnych.

## WPROWADZENIE

W ostatnich latach notuje się wzmożone zainteresowanie ochroną środowiska naturalnego. Istotne znaczenie ma ograniczenie emisji do otoczenia szkodliwych ekologicznie produktów [L. 1, 2]. Zaliczane są do nich naftowe środki smarowe i ciecze robocze, które negatywny wpływ na środowisko wykazują na każdym etapie eksploatacji [L. 3÷6]. Szkodliwe są składniki bazy naftowej, dodatków modyfikujących i produkty przemian termooksydacyjnych powstające w czasie użytkowania [L. 1, 7].

Zużycie naftowych olejów przemysłowych Polsce kształtuje się na poziomie 110 tys. ton rocznie, z czego prawie 40% stanowią oleje hydrauliczne [L. 8]. Zakładając, że ok. 50% świeżych olejów jest przekształcanych w ciągu roku do postaci oleju przepracowanego, problem dotyczy „wytwarzania” rocznie ok. 60 tys. ton niebezpiecznych odpadów, zawierających bliżej nieokreśloną ilość substancji szkodliwych ekologicznie. Obecność w środowisku takiej ilości odpadów stanowi ważną przesłankę skłaniającą do poszukiwania przedsięwzięć umożliwiających zmniejszenie tego zagrożenia. Naftowe oleje przemysłowe zastępowane są produktami o mniejszej szkodliwości ekologicznej – nietoksycznymi i biodegradowalnymi, np. na bazie olejów roślinnych [L. 9÷12]. Szczególnie w układach roboczych i systemach smarowania, których eksploatacja prowadzi do nieuniknionej interakcji oleju ze środowiskiem (np. stosowanych w rolnictwie, leśnictwie, oczyszczalniach ścieków).

Ze względu na wysokie obciążenia i pracę w zmiennych warunkach klimatycznych, w mobilnych układach hydraulicznych maszyn szeroko stosowane są oleje hydrauliczne L-HV, charakteryzujące się wysokimi właściwościami smarnymi i lepkościowo-temperaturowymi. W artykule dokonano oceny właściwości smarnych i fizykochemicznych olejów hydraulicznych o podwyższonych właściwościach smarnych, wytworzonych na bazie olejów roślinnych.

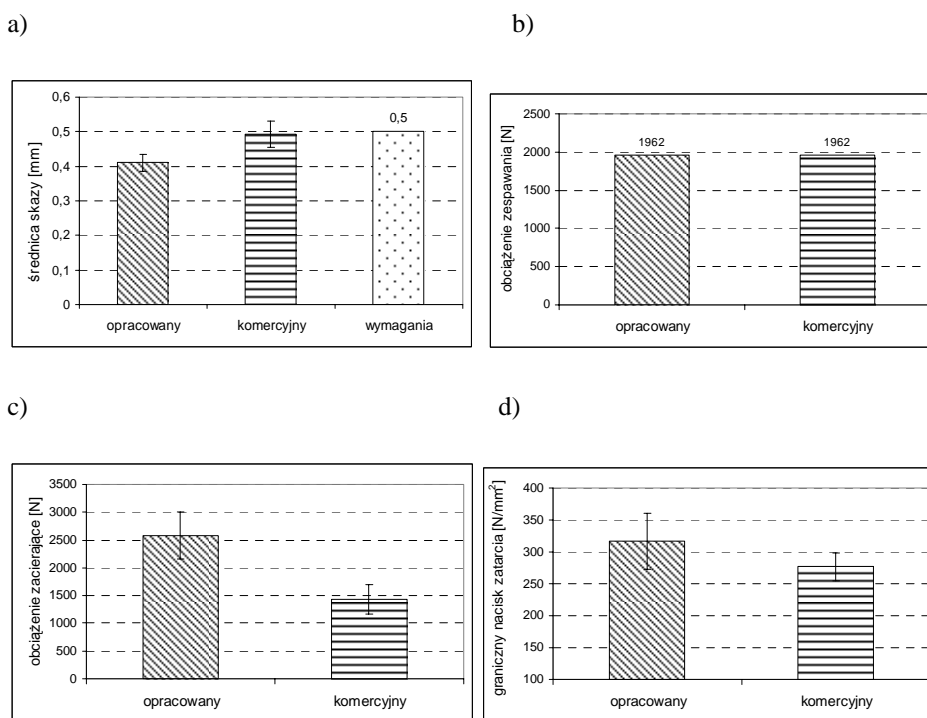
## METODY BADAŃ

Przedmiotem badań był roślinny olej hydrauliczny o klasie lepkości VG 46, wytworzony na bazie mieszaniny rafinowanych olejów: rzepakowego (85%) i rycynowego (15%). Skład olejów uzupełniono o dodatki termooksydacyjne, depresujące, przeciwpienne i smarne. Równolegle badano komercyjny mineralny olej hydrauliczny do maszyn rolniczych L-HV o klasie lepkości VG 46. Oceniono właściwości smarne i fizykochemiczne olejów. Wyniki badań odniesiono do wartości określonych normą PN-C-96057-6 „Oleje hydrauliczne do hydrostatycznych układów hydraulicznych. Oleje hydrauliczne L-HV”. Badania prowadzono wg metod ustanowionych normą dla olejów hydraulicznych L-HV. Ocenę właściwości smarnych rozszerzono o metody opracowane w Instytucie Technologii Eksploatacji – Państwowym Instytucie Badawczym, realizowane dzięki zastosowaniu zmodyfikowanego urządzenia czterokulowego T-02, pod wzrastającym w sposób ciągły obciążeniem [L. 13]. Podczas oceny właściwości przeciwzaużyciowych i przeciwzatarciowych wg PN-76/C-04147 oraz metodami ITeE – PIB elementami testowymi były kulki o średnicy nominalnej 1/2”, wykonane ze stali łożyskowej ŁH 15. Za pomocą aparatu czterokulowego wyznaczano wielkość średnicy skazy (przy stałym obciążeniu 392,1 N, prędkości 1450 obr./min., czasie 1 h) oraz wartość obciążenia zespawania. Za pomocą urządzenia 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 węzła 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 wykazały, że opracowany olej hydrauliczny spełniał wymagania ustalone normą przedmiotową dla olejów hydraulicznych klasy L-HV w zakresie właściwości przeciwzużyciowych oraz charakteryzował się korzystniejszymi właściwościami przeciwzużyciowymi i przeciwzatarciowymi niż naftowy produkt komercyjny (**Rys. 1**). Wyznaczona wielkość średnicy skazy opracowanego oleju była



**Rys. 1. Wielkości: a) średnicy skazy, b) obciążenia zespawania, c) obciążenia zacierającego i d) granicznego nacisku zatarcia wyznaczone dla opracowanego oraz komercyjnego oleju hydraulicznego L-HV**

Fig. 1. The values: a) wear scar, b) weld point, c) scuffing load and d) limiting pressure of seizure for elaborated and commercial hydraulic L-HV oils

mniejsza o ok. 20% od wielkości normatywnej oraz wyznaczonej dla produktu handlowego. Olej zapewniał wymaganą ochronę wężła tarcia przed zużyciem. Z kolei ocena właściwości przeciwzatarciowych, przy skokowo narastającym obciążeniu wężła tarcia, których miarą była wartość obciążenia zespawania, nie wykazała różnicowania pod tym wzglę-

dem pomiędzy badanymi olejami. Oba produkty traciły zdolność przeciwdziałania zatarciu przy obciążeniu 1962 N, co wskazywało na porównywalną trwałość tworzonej przez nie warstwy granicznej.

Korzystne właściwości przeciwwzrostowe opracowanego oleju wykazały badania przeprowadzone metodą z narastającym obciążeniem (**Rys. 1c i d**). Dla oleju roślinnego wyznaczono wyższe wartości obciążenia zacierającego ( $P_t$ ) i granicznego nacisku zatarcia ( $p_{oz}$ ) niż dla naftowego oleju hydraulicznego rodzaju L-HV, odpowiednio o ok. 90 i 15%. Wykazywał on wyższą nośność filmu smarowego i zapewniał wyższą odporność badanego skojarzenia na zacieranie.

Wysokie właściwości smarne opracowanego oleju potwierdziły badania przeprowadzone na stanowisku FZG (prędkość obwodowa toczna  $V_w = 8,3$  m/s, stosunek prędkości obrotowej małego koła do maksymalnej prędkości poślizgu 2170/5,6, początkowa temperatura badania 90°C, czas biegów badawczych 15 min, smarowanie zanurzeniowe, koła zębate 20 MnCr5/Al<sub>2</sub>O) (**Tab. 1**).

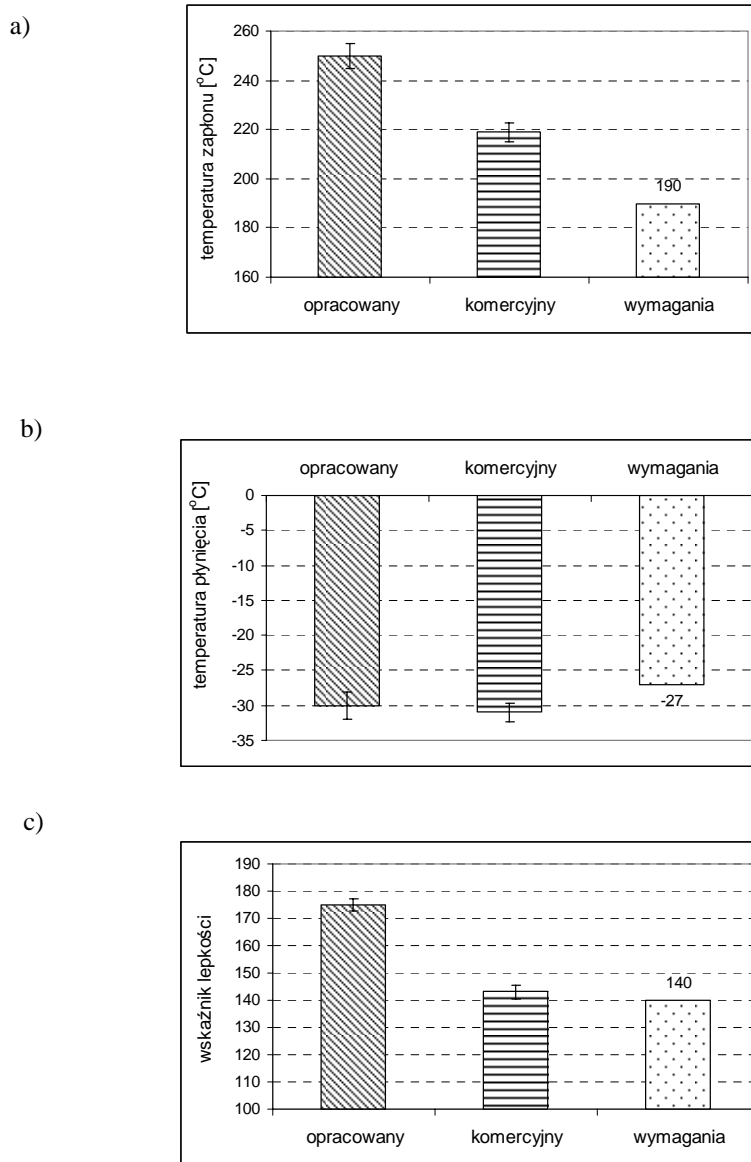
**Tabela 1. Stopień obciążenia niszczonego wyznaczony dla opracowanego i komercyjnego oleju hydraulicznego L-HV**

Table 1. FZG load stage for elaborated and commercial hydraulic L-HV oils

	opracowany	komercyjny	PN-C-96057-6
Stopień obciążenia niszczonego	11	11	≥ 10

Olej na bazie roślinnej wykazał wysokie właściwości przeciwwzrostowe, porównywalne z produktem komercyjnym oraz spełniał wymagania normatywne dotyczące stopnia obciążenia niszczonego.

Wyniki badań właściwości fizykochemicznych opracowanego oleju zestawiono na **Rys. 2** oraz w **Tab. 2**. Olej na bazie roślinnej charakteryzował się bardzo wysoką temperaturą zapłonu i niską płynięcia: odpowiednio wyższą o ok. 32% i niższą o ok. 11% od wartości normatywnych. Wskazuje to na możliwość eksploatacji oleju w szerokim zakresie temperatury otoczenia. Świadczy o tym również wysoka wartość wskaźnika lepkości oleju, wyższa o 25% od normatywnego poziomu (**Rys. 2**). Bardzo dobre właściwości lepkościowo-temperaturowe zapewniają niewielką podatność oleju na zmianę lepkości wraz ze zmianą temperatury, co jest szczególnie istotne w przypadku eksploatacji oleju w mobilnych układach hydraulicznych pracujących na zewnątrz.



**Rys. 2. Wielkości: a) temperatury zapłonu, b) temperatury płynięcia, c) wskaźnika lepkości wyznaczone dla opracowanego i komercyjnego oleju hydraulicznego L-HV**

Fig. 2. The values: a) flash point, b) flow temperature, c) viscosity index for elaborated and commercial hydraulic L-HV oils

**Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne i ekologiczne opracowanego i komercyjnego oleju hydraulicznego L-HV**

Table 2. Physicochemical and ecological properties of elaborated and commercial hydraulic L-HV oils

Właściwość	opracowany	komercyjny	PN-C-96057-6
Lepkość kinemat. 40°C, mm <sup>2</sup> /s	43,14	47,52	41,4÷50,6
Zawartość wody, %	< 0,03	< 0,03	≤ 0,05
Odporność na ścinanie, (250 cykli), spadek lepkości w temp 40°C, %	0,05	-	≤ 5
Działanie korodujące na miedź, 120°C, 3 h, stopień korozji	1	1	≤ 1
Właściwości przeciwkorozyjne w roztworze soli	brak korozji	brak korozji	brak korozji
Stabilność termiczna w obecności miedzi, 135°C, 96 h, stopień korozji	2	1	≤ 2
Zdolność do wydzielania powietrza, 50°C, min	7	6	≤ 7
Szybkość filtrowania, s - olej bez wody - olej z 2% v/v wody,	240 250	-	≤ 600 ≤ dwukrotny czas przepływu oleju bez wody
Odporność na pienienie, - obj. piany, 25°C/95°C/25°C, cm <sup>3</sup> - trwałość piany, cm <sup>3</sup>	80/20/30 0/0/0	0/0/0 0/0/0	≤ 100/100/100 ≤ 10/10/10
Właściwości deemułgujące, 54°C, min	55	30	< 60
Biodegradacja, %	80	-	-
Toksyczność LC (EC) 50-t, mg/l, w stosunku do: - bakterii - ryb - skorupiaków	354,0 107,5 > 500	-	-

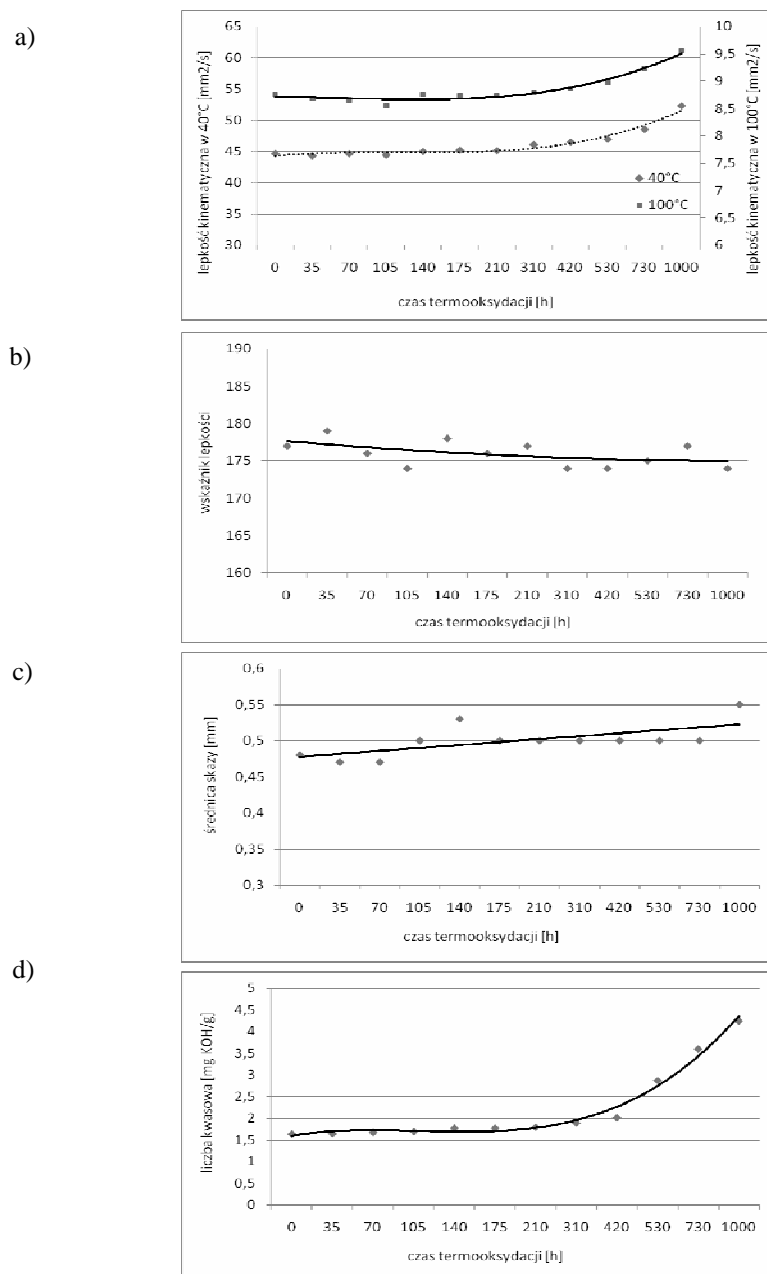
Opracowany olej hydrauliczny charakteryzował się bardzo wysoką odpornością na destrukcję po wpływie mechanicznych sił ścinających. Po badaniu tego oleju stwierdzono 100-krotnie mniejszy spadek lepkości od górnego normatywnego poziomu (**Tab. 2**). Dodatki wprowadzone do oleju, szczególnie składnik wiskozujący nie ulegał nadmiernemu ścinaniu pod wpływem sił mechanicznych, a olej zapewniał wysoką ochronę przeciwzużyciową współpracujących elementów. Roślinny olej hydrauliczny spełniał wymagania normy w zakresie właściwości przeciwkorozyjnych,

zarówno w warunkach standardowych, jak i bardziej drastycznych: w wyższej temperaturze, przy dłuższym czasie kontaktu metalu z olejem. W porównaniu z komercyjnym produktem opracowany olej był bardziej agresywny w stosunku do miedzi w teście stabilności termooksydacyjnej, ale wartość ocenianego parametru spełniała normatywne wymagania. Badania zdolności do wydzielania powietrza wykazały, że opracowany olej zapewniał dostateczną ochronę metalowych powierzchni przed uszkodzeniami kawitacyjnymi przez pęcherzyki powietrza, wydzielane w strefach skokowego obniżania ciśnienia w układach hydraulicznych. Czas potrzebny do zmniejszenia objętości zdyspergowanego w oleju powietrza spełniał normatywne wymagania dla oleju hydraulicznego klasy L-HV. Badania właściwości przeciwpiennych nie wykazały nadmiernej, przekraczającej normę tendencji do tworzenia piany opracowanego oleju (w warunkach ustalonych wspomnianą wyżej normą). Spełniał on również wymagania w zakresie szybkości filtrowania i właściwości deemułgujących. Czasy przepływu oleju przez sącdek były dwukrotnie niższe od wymagań normatywnych. Opory filtracji, jakie występowały w warunkach prowadzenia badań świadczyły o możliwości skutecznego usuwania z oleju roślinnego zanieczyszczeń stałych i zapewnieniu mu wysokiej czystości. Jednocześnie czas potrzebny do całkowitego rozdzielenia emulsji sporządzonej z tego oleju i wody świadczył o wystarczającej zdolności oleju do zapobiegania przedostawaniu się wolnej wody do układu hydraulicznego.

Wyniki badań toksykologicznych wykazały, że opracowany olej smarowy należał do produktów o niewielkiej szkodliwości, ponieważ wyznaczone wartości LC (EC) 50-t w stosunku do ryb, skorupiaków i bakterii były wyższe od 100 mg/l (zgodnie z kryteriami oceny toksyczności wg US EPA najwyższa wartość LC50-t wynosi 100 mg/l). Badania biodegradacji wykazały, że opracowany olej hydrauliczny ulega biochemicznemu rozkładowi po 21 dniach w 80%, co świadczy, że należy on do substancji łatwo rozkładalnych na drodze biologicznej.

W przypadku olejów roślinnych istotne znaczenie ma stabilność termooksydacyjna. Oceniono ją na stanowisku badawczym wyposażonym w typowy układ hydrauliczny, przy stałym ciśnieniu 40 MPa, w temperaturze 75÷80°C (max ciśnienie występujące w mobilnych układach hydraulicznych maszyn rolniczych i max temperatura pracy olejów roślinnych). Badania prowadzono przez 1000 godzin. Kontrolowano zmianę lepkości, właściwości przeciwzuzyciowych i liczby kwasowej oleju (**Rys. 3**).





**Rys. 3. Zmiana: a) lepkości kinematycznej, b) wskaźnika lepkości, c) właściwości przeciwzużyciowych, d) liczby kwasowej opracowanego oleju hydraulicznego podczas starzenia**

**Fig. 3. The change of: a) kinematic viscosity, b) viscosity index, c) antiwear properties, d) total acid number for elaborated and commercial hydraulic L-HV oils**

Po 1000 h pracy w układzie hydraulicznym lepkość oleju zwiększyła się o ok. 16%, średnica skazy o ok. 15%, liczba kwasowa 2,5-krotnie, a wskaźnik lepkości nie uległ zasadniczym zmianom. Największe zmiany lepkości i właściwości przeciwzużyciowych nastąpiły w ostatnich etapie eksperymentu, przy czym lepkość utrzymała się w klasie VG 46, a średnica skazy minimalnie przekroczyła normatywną wartość. Jedynie wartość liczby kwasowej zwiększyła się znacząco, ale nie skutkowało to agresywnym działaniem na miedź i stal, co wykazała kontrola przeciwkorozyjnych właściwości badanego oleju. Można zatem stwierdzić, że opracowany olej wykazywał dobrą wytrzymałość na działanie ciśnienia, temperatury, tlenu z powietrza i wymuszeń mechanicznych. Zalecany przez producentów czas eksploatacji biodegradowalnych olejów w mobilnych układach hydraulicznych to najczęściej 1 rok lub 200÷500 mtg. Opracowany olej spełniał te wymagania.

### PODSUMOWANIE

W oparciu o wyniki przeprowadzonych badań stwierdzono, że oleje roślinne mogą stanowić bazę dla olejów hydraulicznych o podwyższonych właściwościach smarnych i lepkościowo-temperaturowych. Opracowany olej charakteryzował się wysokimi właściwościami przeciwzużyciowymi i przeciwzatarciowymi oraz wysoką odpornością na ścinanie. Zapewniał skuteczną ochronę współpracujących elementów przed zużyciem i stabilność charakterystyk pracy układów hydraulicznych. Wykazywał korzystne właściwości lepkościowo-temperaturowe, przeciwpienne i przeciwkorozyjne. Wysoka szybkość filtrowania i zdolność do wydzielania powietrza świadczyły o podatności oleju na szybkie usuwanie zanieczyszczeń stałych i powietrza, a tym samym zmniejszeniu zużycia układów hydraulicznych. Ocena ekotoksykologiczna pozwoliła stwierdzić, że opracowany olej należał do produktów ulegających efektywnemu rozkładowi w środowisku naturalnym oraz wykazujących niewielką szkodliwość dla organizmów wodnych. Wyniki badań właściwości funkcjonalnych wykazały, że spełniał on wymagania normy PN-C-96057-6 „Oleje hydrauliczne do hydrostatycznych układów hydraulicznych. Oleje hydrauliczne L-HV”. Tego typu oleje stosowane są w mobilnych układach hydraulicznych, np. maszyn rolniczych i leśnych. Można zastąpić nimi produkty mineralne, jednak czas ich eksploatacji powinien być krótszy.

**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. Bartz W.J.: Ecotribology: environmentally acceptable tribological practices. *Tribology International*. 2006, 39, s. 728÷733.
5. 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.
6. Pettersson A.: High-performance base fluids for environmentally adapted lubricants. *Tribology International*, 2007, 40, s. 638÷645.
7. Gawrońska H., Górski W.: Biodegradowalność i ekotoksyczność wybranych rodzajów cieczy eksploatacyjnych. *Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji*, 1999, 68, s. 11÷14.
8. Keller U. i inni.: Neue Schmier stoffe auf der Basis nachwachsender Rohstoffe: Ökotoxikologische und oxidative Eigenschaften. *Ölenhydraulik und Pneumatik*. 2000, nr 4, s. 385÷395.
9. 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.
10. Ogunniyi D.S.: Castor oil: A vital industrial raw material. *Bioresource Technology*. 2006, 97, s. 1086÷1091.
11. Erhan S.Z., Asadauskas S.: Lubricant basestocks from vegetable oils. *Industrial Crops and Products*, 2000, 11, s. 277÷282.
12. Górski W., Ostaszewski W., Wiślicki B.: Krajowe oleje roślinne – surowcem dla paliw silnikowych i olejów smarowych. *Paliwa, Oleje i Smary w Eksploatacji*, 2001, 90, s. 5÷11.
13. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne. *Zacieranie*. ITeE, Radom, 2000.

**Recenzent:**  
**Ryszard MARCZAK**

### Summary

The test results of hydraulic oil with viscosity grade VG 46 manufactured on a base of vegetable oil were presented. Their lubricating, physicochemical and ecological properties were studied. Due to existence of antiwear and antiscuffing additives in oil, results were referred to the standard PN-C-96057-6 "Machine oil used to hydrostatic machine scheme. Machine oil L-HV." Tested oil is characterised with the high level of lubricating and viscosity-temperature properties. Lubricating properties of the oil were tested according to the standard and additionally were tested using a non-standard method employing a T-02 device. Thermooxidant stability of oil was also studied.

It was stated that hydraulic oil based on vegetable products accomplish the requirements of the standard appropriate for oils with L-HV class. It proves the high antiwear and antiscuffing, adhesive-temperature, corrosive, antifoam and thermooxidant properties of the oil. It can be used in highly-loaded hydraulic systems, which work in different climatic conditions, e.g. in agricultural and forest systems.