

Elżbieta Rogoś, Waldemar Tuszyński, Andrzej Urbański  
*Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom*

## Problemy aplikacji ekologicznego oleju przekładniowego

### Wprowadzenie

Wzmoczone zainteresowanie ochroną środowiska naturalnego skutkuje ograniczeniem emisji do otoczenia szkodliwych ekologicznie produktów [2, 11]. Należą do nich m.in. naftowe środki smarowe, które negatywny wpływ na środowisko wykazują na każdym etapie eksploatacji [3, 5, 6]. Szkodliwe są składniki bazy naftowej oraz dodatków modyfikujących, a także powstające w czasie użytkowania produkty przemian termooksydacyjnych. Przepracowane naftowe oleje smarowe uznawane są za substancje silnie oddziaływujące na środowisko – w załączniku nr 1 do Ustawy o odpadach, dotyczącej klasyfikacji odpadów, zaliczone zostały do odpadów niebezpiecznych [16].

Stosowanie nietoksycznych i biodegradowalnych środków smarowych ma istotne znaczenie w tych systemach smarowania, których eksploatacja prowadzi do nieuniknionej interakcji oleju ze środowiskiem. Przede wszystkim ma to miejsce w przelotowych układach smarowania oraz w maszynach i urządzeniach pracujących poza zamkniętymi pomieszczeniami, np. maszynach rolniczych, leśnych, ogrodniczych, pracujących w rezerwach przyrody, kopalniach odkrywkowych, zaporach wodnych, czy budowach hydrologicznych. Wymierne korzyści ekologiczne uzyskuje się zastępując bazę naftową produktami o mniejszej szkodliwości dla środowiska: nietoksycznymi i biodegradowalnymi, np. olejami roślinnymi lub estrami syntetycznymi

[1, 7, 8, 9, 10]. Obecnie w UE oleje ekologiczne stanowią 5% rynku środków smarowych stosowanych w przemyśle, a w USA jedynie 1%. Potencjalny rynek dla tego typu produktów wydaje się być znaczący [4].

Stosowanie biodegradowalnych olejów smarowych na bazie produktów roślinnych wymaga spełnienia przez nie określonych wymagań normatywnych i eksploatacyjnych. Ze względu na niszową produkcję biodegradowalnych olejów smarowych, wymagania normatywne odnoszą się przede wszystkim do produktów naftowych. Dlatego też, ze względu na inny chemiczny charakter bazy olejowej, zastąpienie produktów naftowych olejami biodegradowalnymi powinno być uwarunkowane nie tylko spełnianiem przez nie określonych wymagań normatywnych, ale również powinno być podparte wynikami badań – potwierdzającymi możliwość spełniania określonych funkcji w układach smarowania.

W artykule dokonano oceny właściwości fizykochemicznych i smarnych biodegradowalnego oleju przekładniowego na bazie produktów roślinnych. Ze względu na specyfikę pracy przekładni (bardzo duże naciski jednostkowe w strefie styku elementów trących) [14] i wynikającą stąd konieczność zapewnienia wysokiej jakości strefy tarcia, szczególną uwagę zwrócono na przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe właściwości badanego oleju.

### Przedmiot i metody badań

Przedmiotem badań był ekologiczny olej do przekładni przemysłowych Arol P 220, o klasie lepkości VG 220, opracowany w ITeE-PIB w Radomiu. Bazę oleju stanowiła mieszanina rafinowanych olejów: rycynowego i rzepakowego.

Skład olejów uzupełniono o dodatki przeciwutleniające, depresujące, przeciwpienne i smarne. Równolegle badano komercyjny mineralny olej przekładniowy o klasie lepkości VG 220. Oceniono właściwości smarne i fizyko-

chemiczne tych olejów. Badania prowadzono według metod opisanych w normie PN-C-96056:1990 *Oleje Transol SP do przekładni przemysłowych*. Ocenę właściwości smarnych rozszerzono o badania: oporów tarcia, odporności kół zębatach na zacieranie w zaostrowanych warunkach, odporności kół zębatach na pitting i mikropitting, odporności łożysk tocznych przekładni na pitting oraz generowane drgania przekładni. Metody oraz urządzenia testowe zestawiono w tablicy 1. Określono też stabilność termooksydacyjną oleju wykazywaną w długotrwałych testach przekładniowych oraz podczas długotrwałego magazynowania. Parametr ten oceniano na podstawie zmian lepkości kinematycznej oraz wskaźnika lepkości oleju.

Przedstawione w tablicy 1 metody testowe są albo znormalizowane, albo ujęte w dokumentach roboczych FVA. Metodę oznaczania współczynnika tarcia opisaną w normie ASTM D 5183 zmodyfikowano: stosując prędkość obrotową 500 obr./min oraz rozpoczynając badania w temperaturze

otoczenia. Opracowana w ITeE-PIB metoda oceny przeciwzatarciowych właściwości środków smarowych (oznaczanie wskaźnika  $p_{oz}$ ) za pomocą aparatu czterokulowego była przedmiotem licznych publikacji, np. [12]. Zastosowane metody badań przekładniowych opisano w pracach [13, 15]. Wykorzystane podczas badań aparaty czterokulowe T-02 oraz T-03, a także stanowisko przekładniowe T-12U zostały opracowane i wytworzone w ITeE-PIB w Radomiu. Do oceny testowych elementów tribologicznych stosowano mikroskop optyczny (pomiar średnic śladów zużycia) oraz komparator masy (wyznaczanie ubytku masy kół zębatach). Do pomiaru drgań użyto analizatora drgań. Pomiarów dokonywano przetwornikami piezoelektrycznymi (akcelerometrami). Drgania mierzono w kierunku pionowym i poziomym, a akcelerometry przykręcone były na płycie bocznej, w rejonie łożyskowania małego koła testowego. Wyboru miejsca zamocowania przetworników drgań dokonano w oparciu o zalecenia normy ISO 10816-1:1995.

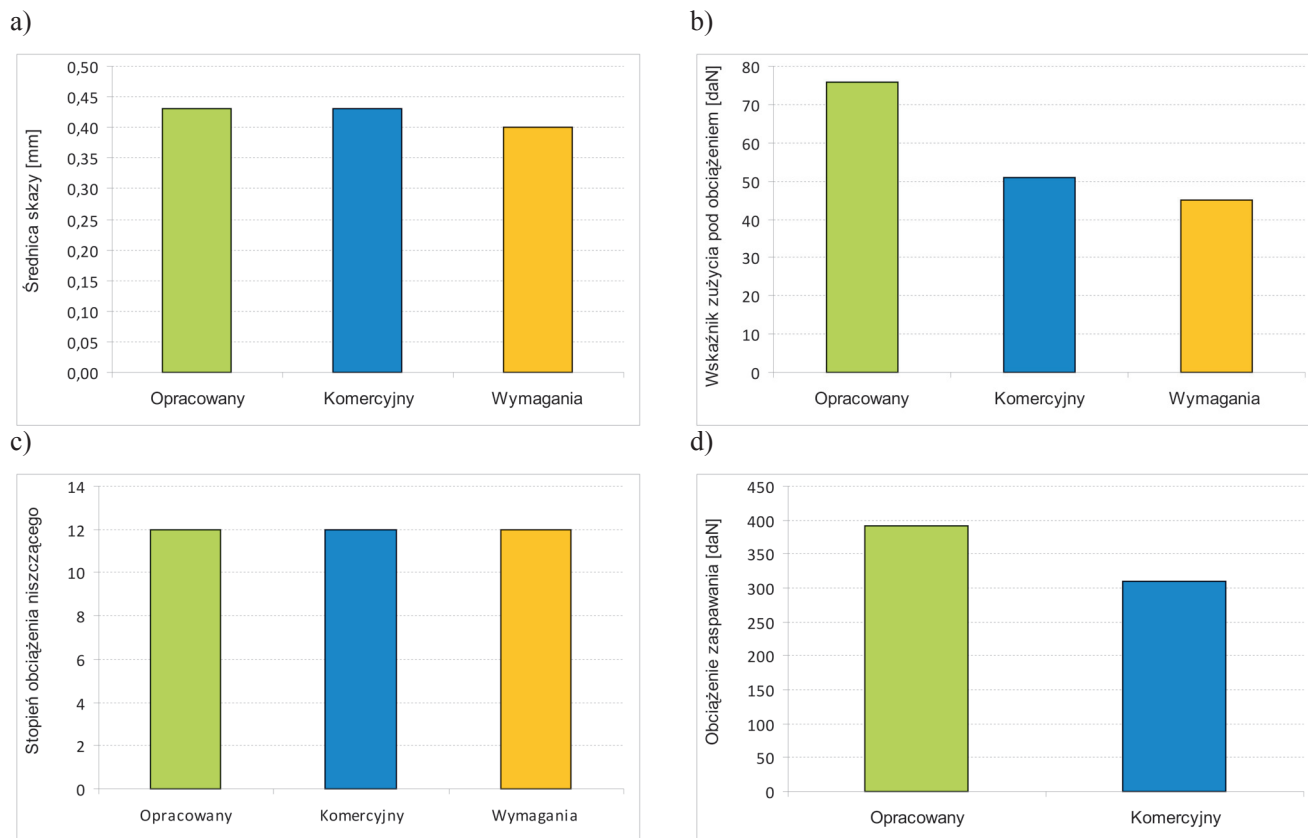
Tablica 1. Metody badań oraz aparatura wykorzystywana podczas oceny właściwości smarnych olejów przekładniowych

Właściwość Norma/procedura	Oznaczany wskaźnik	Urządzenie testowe	Węzeł tarcia
Opory tarcia ASTM D 5183	Współczynnik tarcia	Aparat czterokulowy T-02	Czterokulowy
Właściwości przeciwzatarciowe (EP) Metoda własna	Graniczny nacisk zatarcia ( $p_{oz}$ )	Aparat czterokulowy T-02	Czterokulowy
Właściwości przeciwzatarciowe (EP) PN-C-04147:1976	Obciążenie zacierające ( $P_t$ )		
Odporność łożysk tocznych przekładni na pitting IP 300	Trwałość zmęczeniowa 10% ( $L_{10}$ )	Aparat czterokulowy T-03	Czterokulowy
Odporność kół zębatach na zacieranie w zaostrowanych warunkach ISO 14635-2 – metoda A10/16,6R/120	Stopień obciążenia niszczonego (FLS) Najgroźniejsze formy zużycia zęba	Stanowisko przekładniowe T-12U	Koła FZG A10
Odporność kół zębatach na pitting FVA No. 2/IV – metoda PT C/10/90	Trwałość zmęczeniowa 50% ( $LC_{50}$ )	Stanowisko przekładniowe T-12U	Koła FZG C-PT
Odporność kół zębatach na mikropitting FVA No. 54/7 – metoda GT-C/8,3/90	Stopień obciążenia niszczonego. Klasa przeciwdziałania mikropittingowi (GFT)	Stanowisko przekładniowe T-12U	Koła FZG C/GF
Drgania przekładni (testy pittingu i mikropittingu) ISO 10816-1:1995	Poziom ogólny drgań – wartość skuteczna amplitudy przyspieszenia drgań w paśmie 20–20000 Hz (średnia z pomiarów w kierunku pionowym i poziomym)	Stanowisko przekładniowe T-12U	Koła FZG C-PT oraz FZG C/GF

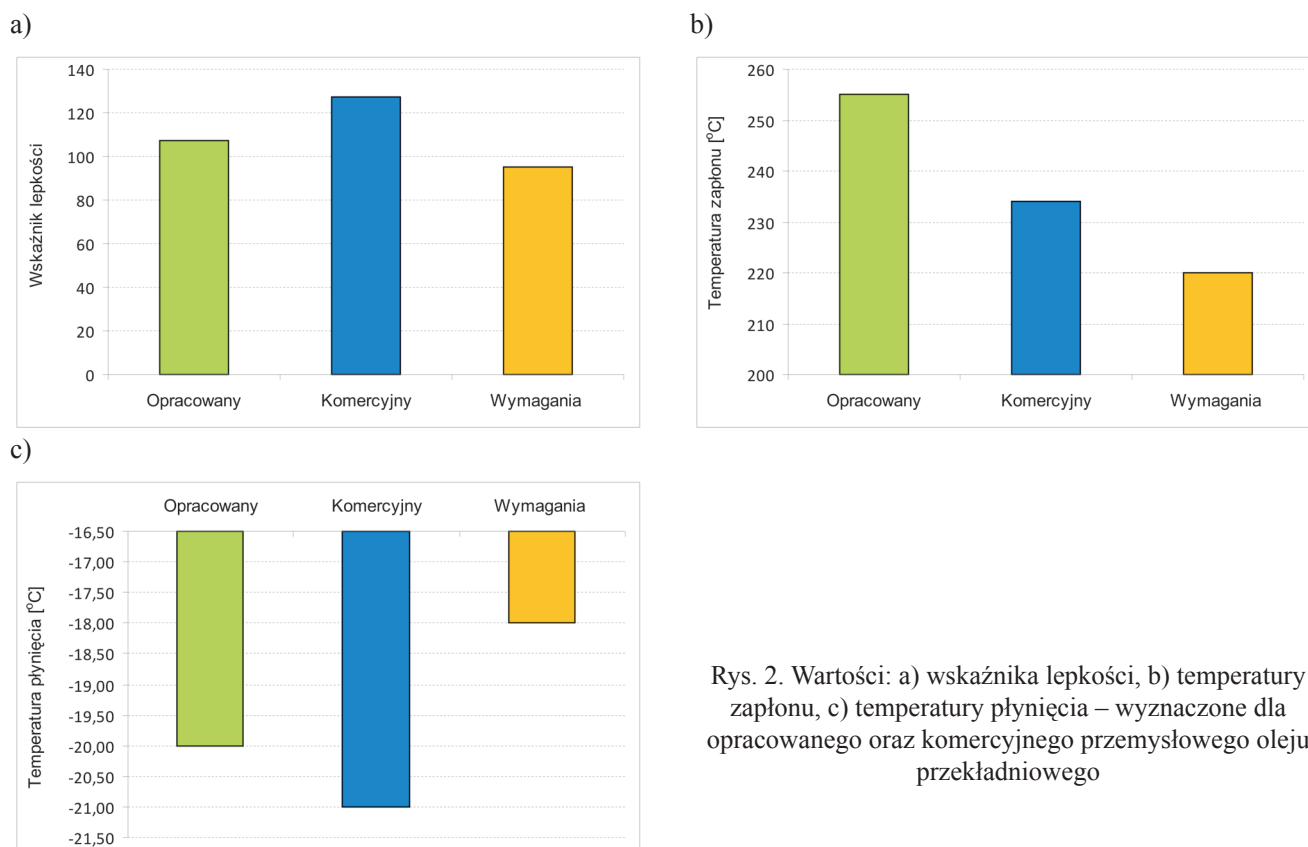
### Wyniki badań i dyskusja

Badania właściwości smarnych objętych normą PN-C-96056:1990 wykazały, że opracowany ekologiczny olej przekładniowy nie odbiegał poziomem ocenianych właściwości od produktu komercyjnego (rysunek 1). Cha-

rakteryzował się on znacznie wyższą wartością wskaźnika zużycia pod obciążeniem i obciążenia zespawania – odpowiednio o ok. 25 i 35%. Po badaniu obu olejów wyznaczono taką samą wartość średnicy skazy na kulkach testo-



Rys. 1. Wartości: a) średnicy skazy, b) wskaźnika zużycia pod obciążeniem, c) stopnia obciążenia niszczonego, d) obciążenia zespawania – wyznaczone dla opracowanego oraz komercyjnego przemysłowego oleju przekładniowego



Rys. 2. Wartości: a) wskaźnika lepkości, b) temperatury zapłonu, c) temperatury płynięcia – wyznaczone dla opracowanego oraz komercyjnego przemysłowego oleju przekładniowego

wych i taką samą wartość stopnia obciążenia niszczącego. Podobnie jak olej mineralny, produkt na bazie roślinnej spełniał wymagania normatywne w zakresie podstawowych właściwości smarnych. Jedynie średnica skaz na kulkach testowych, po badaniu obu olejów, w niewielkim zakresie (o ok. 10%) przekroczyła wartość wymaganą wspomnianą wyżej normą.

Wyniki badań fizykochemicznych oraz ekologicznych właściwości opracowanego i komercyjnego oleju przekładniowego zestawiono na rysunku 2 oraz w tabelicy 2.

Olej na bazie roślinnej charakteryzował się bardzo wysoką temperaturą zapłonu i niską temperaturą płynięcia, przy czym temperatura zapłonu była wyższa o ok. 10% od wartości wyznaczonej dla oleju mineralnego, a temperatura krzepnięcia osiągnęła wartość jedynie o 1°C niższą (rysunek 2). Wskaźnik lepkości ekologicznego oleju był o ok. 14% niższy od wskaźnika wyznaczonego dla produktu komercyjnego. Wartości ocenianych parametrów lepkościowo-temperaturowych, wyznaczone dla ekologicznego oleju przekładniowego, spełniały ustalone kryteria normatywne.

Z tabelicy 2 wynika, że opracowany olej przekładniowy na bazie roślinnej wykazywał podobne właściwości do mineralnego oleju komercyjnego w zakresie czystości, właściwości przeciwkorozyjnych i przeciwpianych. Ekologiczny olej przekładniowy spełniał kryteria normatywne dotyczące ocenianych parametrów. Nie zawierał większej niż przewiduje norma ilości wody i stałych ciał obcych. Nie działał korodująco na miedź i stal. Badania właściwości przeciwpianych nie wykazały nadmiernej, przekraczającej normę, tendencji do tworzenia piany (w warunkach ustalonych wspomnianą wyżej normą).

Wyniki badań toksykologicznych wykazały, że opracowany olej przekładniowy należał do produktów o niewielkiej szkodliwości dla środowiska, 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 według US EPA, najwyższa wartość  $LC_{50-t}$  wynosi 100 mg/l). Badania biodegradacji wykazały, że opracowany olej przekładniowy po 21 dniach ulegał biochemicznemu rozkładowi w 87-procentach, co świadczy, że należy on do substancji łatwo rozkładalnych na drodze biologicznej.

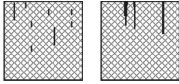
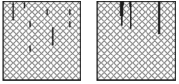
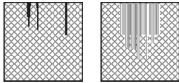
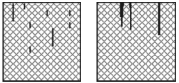
W tabelicy 3 przedstawiono wyniki badań testów tribologicznych opracowanego i komercyjnego oleju do przekładni przemysłowych. Testy te nie są ujęte we wspomnianej wyżej normie dotyczącej olejów do przekładni przemysłowych. Tam gdzie było możliwe podano rozrzuty wyników.

W porównaniu z olejem mineralnym, ekologiczny olej przekładniowy pozwolił na obniżenie współczynnika tarcia. Także w pozostałych testach przekładniowych (których wyniki zostały w tym artykule pominięte) stwierdzono mniejsze opory ruchu w przypadku smarowania olejem ekologicznym. Ma to niebagatelne znaczenie w aspekcie dążenia do zmniejszania zużycia energii. Uzyskane wyniki korelują z końcową temperaturą oleju, stwierdzoną po biegu pod najwyższym obciążeniem w przekładniowych testach zacierania w zaostrzonych warunkach – olej ekologiczny pozwolił na znaczne zmniejszenie temperatury w porównaniu z olejem mineralnym. Na skutek obniżenia temperatury oleju możliwe jest zmniejszenie intensywności niekorzystnych przemian termooksydacyjnych w jego objętości.

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne i ekologiczne opracowanego oraz komercyjnego przemysłowego oleju przekładniowego

Właściwość	Opracowany	Komercyjny	PN-C-96056:1990
Lepkość kinematyczna temp. 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	201	186	198–242
Zawartość wody [%]	< 0,03	< 0,03	≤ 0,05
Zawartość stałych ciał obcych [%]	< 0,02	< 0,02	≤ 0,02
Właściwości przeciwkorozyjne w roztworze soli	Brak korozji	Brak korozji	Brak korozji
Działanie korodujące na miedź (3 h, 120°C) – stopień korozji	2	2	≤ 2
Odporność na pienienie: – objętość 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
Biodegradowalność według CEC-L-33-T-94 [%]	87	-	-
Toksyczność $LC (EC)_{50-t}$ [mg/l] w stosunku do: – bakterii, – ryb, – skorupiaków.	177,5 > 200 122,2	-	-

Tablica 3. Wyniki testów tribologicznych opracowanego oraz komercyjnego przemysłowego oleju przekładniowego

Właściwość	Oznaczany wskaźnik	Opracowany	Komercyjny
Opory tarcia	Współczynnik tarcia	0,12 ± 0,01	0,15 ± 0,06
Właściwości przeciwzatarciowe (EP)	Graniczny nacisk zatarcia ( $p_{oz}$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	2039 ± 245	2843 ± 341
Właściwości przeciwzatarciowe (EP)	Obciążenie zacierające ( $P_t$ ) [N]	2830 ± 340	2433 ± 292
Odporność łożysk tocznych przekładni na pitting	Trwałość zmęczeniowa 10% ( $L_{10}$ ) [min]	37 ± 2	94 ± 1
Odporność kół zębatach na zacieranie w zaostzonych warunkach	Stopień obciążenia niszczonego (FLS)	> 10	> 10
	Najgroźniejsze uszkodzenia zębów małego koła testowego i łączne pole ich powierzchni [mm <sup>2</sup> ]	9 st. obciążenia Rysy Bruzdy  ≈0	9 st. obciążenia Rysy Bruzdy  ≈0
		10 st. obciążenia Bruzdy Zacieranie  85	10 st. obciążenia Rysy Bruzdy  ≈0
	Końcowa temperatura oleju pod najwyższym obciążeniem [°C]	138	151
Odporność kół zębatach na pitting	Trwałość zmęczeniowa 50% ( $LC_{50}$ ) [mln cykli]	> 20,8	> 20,8
Odporność kół zębatach na mikropitting	Stopień obciążenia niszczonego	10	9
	Klasa przeciwdziałania mikropittingowi (GFT)	GFT-high (wysoka)	GFT-medium (średnia)
Drgania przekładni	Poziom ogólny drgań – wartość skuteczna amplitudy przyspieszenia drgań w paśmie 20–20000 Hz (średnia z pomiarów w kierunku pionowym i poziomym) [m/s <sup>2</sup> ] (drgania mierzone w czasie testów pittingu)	Bieg 3 49 ± 5 Bieg 9 59 ± 6 Bieg 12 64 ± 6	Bieg 3 62 ± 6 Bieg 9 67 ± 7 Bieg 12 69 ± 7
	jw. (drgania mierzone w czasie testów mikropittingu)	Stopień obciąż. 5 21 ± 2 Stopień obciąż. 7 34 ± 3 Stopień obciąż. 9 46 ± 5	Stopień obciąż. 5 13 ± 1 Stopień obciąż. 7 25 ± 3 Stopień obciąż. 9 42 ± 4

Ocena właściwości przeciwzatarciowych dała niejednoznaczne wyniki. Znormalizowany wskaźnik oceny, tj. obciążenie zacierające ( $P_t$ ), wskazywał na lepsze właściwości przeciwzatarciowe oleju ekologicznego w porównaniu z olejem mineralnym. Z kolei oznaczany według metody własnej graniczny nacisk zatarcia ( $p_{oz}$ ) dał wyniki korzystniejsze dla oleju mineralnego. Dlatego jako rozstrzygające należy traktować wyniki przekładniowych testów zacierania w zaostzonych warunkach. Dla obu olejów osiągnięto maksymalny, 10-ty stopień obciążenia – bez stwierdzenia zatarcia. Jednak można zauważyć, że choć pod przed-

ostatnim (9-tym) stopniem obciążenia na powierzchni roboczej zębów małego koła testowego zidentyfikowano identyczne formy zużycia dla obu porównywanych olejów, to już pod ostatnim (10-tym) stopniem obciążenia pojawiła się znacząca różnica. Po badaniu oleju ekologicznego, na części zębów zidentyfikowano ślady zacierania o znacznej powierzchni, podczas gdy olej mineralny dawał co najwyżej bruzdy. Koreluje to ze znacznym spadkiem wskaźnika  $p_{oz}$  w czterokulowym węźle tarcia zaobserwowanym dla oleju ekologicznego.

Ocena odporności łożysk tocznych na pitting wykazała,

że olej ekologiczny znacząco przyspieszał pojawianie się pittingu elementów tocznych łożysk (kulek). Była to najslabsza strona badanego oleju ekologicznego. Oba porównywane oleje uzyskały podobną odporność testowych kół zębatach na pitting, natomiast ekologiczny olej gwarantował wyższą odporność testowych kół zębatach na mikropitting niż olej mineralny.

Wyniki pomiaru drgań przekładni testowej nie były jednoznaczne. Podczas badań pittingu stwierdzono, że w czasie smarowania przekładni olejem ekologicznym poziom drgań był znacząco niższy niż dla oleju mineralnego, szczególnie na początku cyklu (bieg 3), jednak podczas testów mikropittingu sytuacja była odwrotna. W czasie testów pittingu (smarowanie zanurzeniowe) poziom drgań korelował z oporami ruchu – olej ekologiczny, który zapewniał zmniejszenie oporów ruchu (np. poprzez lepsze dotarcie powierzchni zęba, grubszy film smarowy, mniejszy współczynnik tarcia), pozwalał na zmniejszenie poziomu generowanych drgań w porównaniu z olejem mineralnym. Nie stwierdzono korelacji pomiędzy poziomem drgań a lepkością oleju czy wskaźnikiem lepkości.

Nie zidentyfikowano natomiast przyczyny zwiększonego poziomu drgań przekładni smarowanej olejem ekologicznym w porównaniu do działania oleju mineralnego w czasie testów mikropittingu (smarowanie natryskowe) – stwierdzono brak korelacji z oporami ruchu, lepkością oleju czy wskaźnikiem lepkości.

W tablicy 4 przedstawiono wyniki badań stabilności termooksydacyjnej w długotrwałych testach przekładniowych i podczas magazynowania badanych olejów.

Po długotrwałych testach przekładniowych nastąpił znaczny wzrost lepkości oleju ekologicznego – szczególnie widoczny był wzrost wartości wskaźnika w wyniku testów pittingu. Wynika to z obecności w strukturze chemicznej olejów roślinnych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, które w czasie testów wykazały wysoką podatność na działanie tlenu i temperatury. Natomiast w wyniku długotrwałego magazynowania, po upływie 3 lat od daty wytworzenia oleju nastąpiło znaczne obniżenie wartości wskaźnika lepkości oleju ekologicznego. W porównaniu z oleju świeżym był on bardziej podatny na zmiany lepkości wraz ze zmianą temperatury.

Tablica 4. Wyniki badań stabilności termooksydacyjnej opracowanego oraz komercyjnego przemysłowego oleju przekładniowego

Właściwość	Oznaczany wskaźnik	Opracowany	Komercyjny
Stabilność termooksydacyjna oleju wykazywana w długotrwałych testach przekładniowych ( <i>pitting</i> )	Względna zmiana lepkości mierzonej w temp. 100°C [%]	57	-6,0
	Względna zmiana wskaźnika lepkości [%]	-1,5	-4,3
Stabilność termooksydacyjna oleju wykazywana w długotrwałych testach przekładniowych ( <i>mikropitting</i> )	Względna zmiana lepkości mierzonej w temp. 100°C [%] (wartość odniesiona do jednego stopnia obciążenia)	5,0	0
	Względna zmiana wskaźnika lepkości [%] (wartość odniesiona do jednego stopnia obciążenia)	2,3	-1,4
Stabilność fizykochemiczna oleju wykazywana w czasie długotrwałego magazynowania (3 lata)	Względna zmiana lepkości mierzonej w temp. 100°C [%]	8,9	9,0
	Względna zmiana wskaźnika lepkości [%]	-19,3	12,0

### Podsumowanie i wnioski

Olej do przekładni przemysłowych wytworzony na bazie olejów roślinnych charakteryzował się zbliżonymi do produktu komercyjnego właściwościami fizykochemicznymi i smarnymi, objętymi normą PN-C-96056:1990, zatem może być traktowany jako jego zamiennik. Wysoka biodegradowalność i niewielka toksyczność pozwala zakwalifikować go do grupy olejów ekologicznych.

Bardziej szczegółowe badania właściwości smarnych wykazały, że olej ekologiczny w porównaniu z olejem mineralnym pozwalał obniżyć współczynnik tarcia oraz

zwiększyć odporność kół zębatach na mikropitting. W warunkach smarowania zanurzeniowego (testy pittingu) olej ekologiczny pozwalał na zmniejszenie poziomu drgań w porównaniu z olejem mineralnym, jednak w czasie badań mikropittingu (smarowanie natryskowe) sytuacja była odwrotna. Znaczące wady oleju ekologicznego to: niekorzystna zmiana wskaźnika lepkości w czasie długotrwałego magazynowania, gorsza stabilność termooksydacyjna w testach przekładniowych (duży wzrost lepkości) oraz spadek odporności smarowanej powierzchni na za-

cieranie w warunkach bardzo wysokich nacisków. Istotną wadą oleju ekologicznego było też znaczne skrócenie czasu eksploatacji do momentu pojawienia się pittingu elementów tocznych łożysk. Wady te można częściowo

skompensować skróceniem okresu magazynowania i eksploatacji oleju ekologicznego oraz stosowaniem go do smarowania przekładni pracujących w warunkach umiarkowanych obciążeń.

Artykuł nadesłano do Redakcji 17.06.2010 r. Przyjęto do druku 29.09.2010 r.

Recenzent: doc. dr Michał Krasodomski

## Literatura

- [1] Bartz W.J.: *Ecotribology: environmentally acceptable tribological practices*. Tribology International, 39, s. 728–733, 2006.
- [2] Bartz W.J.: *Lubricants and the environment*. Tribology International, 31, s. 35–47, 1998.
- [3] 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, 35, s. 1773–1779, 2007.
- [4] Battersby N.S.: *Environmentally acceptable lubricants: current status and future opportunities*. Materiały III World Tribology Congress. Washington, referat nr WTC2005-63503 (zamieszczony na płycie CD), 2005.
- [5] Dąbrowski J.R.: *Zagadnienia ekologiczne użytkowania substancji smarowych*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 4, s. 45–53, 1997.
- [6] Gawrońska H., Górski W.: *Biodegradowalność i ekotoksyczność wybranych rodzajów cieczy eksploatacyjnych*. Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 68, s. 11–14, 1999.
- [7] Haus F., German J., Junter G-A.: *Primary biodegradability of mineral base oils in relation to their chemical and physical characteristics*. Chemosphere, 45, s. 983–990, 2001.
- [8] Jayadas N.H., Prabhakaran Nair K., Ajithkumar G.: *Tribological evaluation of coconut oil as an environment-friendly lubricant*. Tribology International, 40, s. 350–354, 2004.
- [9] Ogunniyi D.S.: *Castor oil: A vital industrial raw material*. Bioresource Technology, 97, s. 1086–1091, 2006.
- [10] Pettersson A.: *High-performance base fluids for environmentally adapted lubricants*. Tribology International, 40, s. 638–645, 2007.
- [11] Podniadło A.: *Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji*. Wyd. WNT. Warszawa 2002.
- [12] Szczerek M., Tuszyński W.: *Badania tribologiczne. Zacieranie*. Wyd. ITeE. Radom 2000.
- [13] Szczerek M., Tuszyński W.: *Rozwój metod badania kół zębatych*. Materiały Międzynarodowego Seminarium Naukowo-Technicznego SIMP nt.: Nowoczesne technologie w produkcji i eksploatacji kół i przekładni zębatych, Warszawa 2009.
- [14] Total Elf: *Oleje do przekładni przemysłowych*. Mechanik, 12, s. 802–806, 2002.
- [15] Tuszyński W., Wulczyński J.: *Nowe metody badania wpływu olejów smarowych na zacieranie, pitting i mikropitting kół zębatych*. Tribologia, 3, s. 303–317, 2007.
- [16] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach; Dz.U. Nr 62, poz. 628.



Dr inż. Waldemar TUSZYŃSKI – absolwent Politechniki Warszawskiej. Pracownik naukowy ITeE-PIB w Radomiu. Zajmuje się opracowywaniem metod i urządzeń do badań środków smarowych w ekstremalnych warunkach tarcia. Współautor licznych publikacji naukowych wydanych w kraju i za granicą, w tym 9 książek i ponad 70 artykułów. Członek PTT i SPWiR.



Mgr inż. Andrzej URBAŃSKI – absolwent Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Radomiu. Pracownik naukowy ITeE-PIB w Radomiu. Specjalizuje się w opracowywaniu technologii wytwarzania i eksploatacji środków smarowych i cieczy technologicznych. Współautor licznych publikacji naukowych, w tym ok. 50 artykułów. Członek SPWiR.