

Karolina DZIOSA*

WŁAŚCIWOŚCI SMARNE OLEJU Z ALG W SKOJARZENIU STAL-STAL

LUBRICATING PROPERTIES OF ALGAE OIL IN STEEL-STEEL TRIBOSYSTEM

Słowa kluczowe:

olej z alg, właściwości fizykochemiczne, właściwości smarne, olej rzepakowy

Key words:

algae oil, physical and chemical properties, lubricating properties, rapeseed oil

Streszczenie

Przeprowadzono badania właściwości fizykochemicznych oraz smarnych oleju uzyskanego z alg. Stwierdzono, że istotne z tribologicznego punktu widzenia właściwości fizykochemiczne oleju z alg są zbliżone do właściwości oleju rzepakowego. Oba oleje charakteryzują się podobną gęstością oraz lepkością kinematyczną i dynamiczną w temperaturze 100°C. Olej z alg wykazuje nieznacznie niższą lepkość kinematyczną i dynamiczną w temperaturach niższych od 60°C i, co za tym idzie, nieco wyższy wskaźnik lepkości. Największą różnicę pomiędzy olejami stwierdzono w zakresie podatności na termooksydację – olej z alg jest pod tym względem wyraźnie mniej odporny od rzepakowego.

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

Olej z alg wykazuje także nieco gorsze właściwości smarne w skojarzeniu stal–stal, mierzone wielkością granicznego obciążenia zużycia oraz obciążenia zacierającego. Niemniej jednak olej z alg może potencjalnie stanowić alternatywę dla oleju rzepakowego, szczególnie w kontekście planowanego w Unii Europejskiej zakazu wykorzystywania jadalnych części roślin do innych celów niż spożywczych.

WPROWADZENIE

Rosnące zapotrzebowanie na zaawansowane materiały eksploatacyjne, przy jednoczesnym zaostrzaniu rygorów ochrony środowiska, powoduje wzrost zainteresowania alternatywnymi materiałami ekologicznymi, uzyskiwanymi ze źródeł odnawialnych [L. 1, 2]. Dotyczy to m.in. paliw silnikowych, zastępowanych biopaliwami, czy też naftowych środków smarowych, zastępowanych nietoksycznymi, biodegradowalnymi substancjami wytwarzanymi z biomasy [L. 3, 4]. Do produkcji tych środków najczęściej wykorzystywane są rośliny jadalne (np. rzepak) [L. 5], co powoduje, że zwiększa się popyt na rynku, a w konsekwencji – rosną ich ceny. Ponadto uprawy roślin przeznaczonych do takich celów nie tylko zajmują duże powierzchnie ziemi uprawnej, ale są przy tym stosunkowo mało wydajne.

Jednym z możliwych rozwiązań tego problemu jest wykorzystanie glonów jednokomórkowych (mikroglonów), które w określonych warunkach produkują metabolity wtórne o składzie chemicznym zbliżonym do olejów roślinnych [L. 6, 7]. Obecnie algi (np. zielenice) są jednym z najbardziej perspektywicznych surowców, który ze względu na szybkie tempo wzrostu, wysoką wydajność fotosyntetyczną (kilkukrotnie wyższą niż w przypadku roślin klimatu umiarkowanego) oraz zdolność do akumulacji dużych ilości lipidów może w przyszłości stanowić cenne źródło biomasy energetycznej [L. 8–11] zarówno do produkcji biopaliw trzeciej generacji [L. 12, 13], jak i biogazu [L. 14]. Ponadto nie bez znaczenia jest aspekt ekologiczny hodowli tych mikroorganizmów, które wymagają znacznych ilości dwutlenku węgla, fosforu i azotu. Mogą więc być produkowane na bazie ścieków i dwutlenku węgla ze spalin [L. 15, 16].

W polskich warunkach klimatycznych hodowla alg w otwartych zbiornikach wodnych, tzw. ORPs (ang. *Open Raceway Ponds*), byłaby nieefektywna i w dużym stopniu zagrożona zakażeniem. Ponadto nie byłoby możliwe kontrolowanie i utrzymanie stabilnych warunków procesu. Jedynym sposobem zapewnienia optymalnych warunków hodowli jest zastosowanie fotobioreaktorów zamkniętych. Zaletą tego rozwiązania, poza stabilizacją parametrów takich jak temperatura, pH czy naświetlenie, jest możliwość wykorzystania nieużytków rolnych do rozmieszczenia reaktorów, nie kolidując z uprawami roślin spożywczych [L. 11]. Jednak szacowane koszty inwestycyjne i eksploatacyjne, związane z wdrożeniem technologii produkcji biomasy alg w Polsce, kształtują się

na bardzo wysokim poziomie. Znaczną ich część stanowią koszty ogrzewania, naświetlania, mieszania, dostarczenia pożywki czy odwodnienia biomasy [L. 17]. Zwiększenie produktywności lipidów poprawiłoby efektywność hodowli alg. Opracowanie ekonomicznie opłacalnych technologii, które mogłyby zostać wdrożone w skali przemysłowej, jest aktualnie jednym z najpilniejszych i najtrudniejszych problemów do rozwiązania w tym zakresie.

Obszar zastosowań produktów wytworzonych z biomasy alg, jak wynika z danych literaturowych, jest w zasadzie ograniczony do biopaliw i biogazu. Właściwości lepkościowo-temperaturowe (w zakresie temperatur $0\div 100^{\circ}\text{C}$) oleju z alg kształtują się na poziomie charakterystycznym dla olejów roślinnych [L. 18]. Wskazuje to, że olej z alg mógłby znaleźć zastosowanie także jako komponent ekologicznych środków smarowych.

Celem pracy było zbadanie możliwości wykorzystania oleju z alg jako substytutu oleju rzepakowego w charakterze środka smarowego do smarowania elementów ze stali. Osiągnięcie tego celu wymagało zbadania jego właściwości fizykochemicznych i smarnych oraz porównania ich z odpowiednimi charakterystykami oleju rzepakowego.

OBIEKTY BADAŃ

Jako obiekt badań stosowano olej z alg wytworzony na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim. Innokulum zaszczepiającym była mieszanina kultur glonowych (70% glony z rodzaju *Chlorella*, 30% glony z rodzaju *Scenedesmus*). Biomasa alg separowano z wodnego roztworu pożywki poprzez wirowanie, dokonywano dezintegracji komórek, a następnie ekstrakcji rozpuszczalnikowej oleju. Użytkany olej surowy oczyszczano z resztek rozpuszczalnika i wody poprzez destylację pod obniżonym ciśnieniem w atmosferze azotu. Właściwości tak uzyskanego oleju porównywano z charakterystyką produktu komercyjnego – rafinowanego oleju rzepakowego, badanego w tych samych warunkach.

Charakterystyki fizykochemiczne tych olejów (tj. gęstość, lepkość kinematyczną i dynamiczną, wskaźnik lepkości, zawartość wody i siarki oraz stabilność termooksydacyjną) wyznaczano w oparciu o metody opisane w normach (Tab. 1). Charakterystyki lepkościowo-temperaturowe badanych olejów (Rys. 1) wyznaczono przy użyciu lepkościomierza rotacyjnego *Physica MCR 101* (prod. Anton Paar), wyposażonego w dyfuzyjne łożysko powietrzne, podłączone do zasilania pneumatycznego – bezoolejowego kompresora *Jua-Air* oraz bloku osuszającego powietrze. Pomiar wykonywano, stosując układ pomiarowy stożek-płytkę przy stałej szybkości ścinania 100 s^{-1} , w zakresie temperatur $0\div 100^{\circ}\text{C}$. Jako wynik wartości poszczególnych cech fizykochemicznych podawano średnią arytmetyczną z trzech niezależnych pomiarów, przy czym wyniki odstające wykrywano (i odrzucano) za pomocą testu Q-Dixona.

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne oleju z alg i oleju rzepakowego

Table 1. Physico-chemical properties of algae oil and rapeseed oil

Badana właściwość	Metoda badania	Wartość parametru	
		Olej z alg	Olej rzepakowy
Gęstość w temp. 15°C [g/cm ³]	PN-EN ISO 12185:2002	0,91891	0,91686
Lepkość kinemat. w 40°C [cSt]	PN-EN ISO 3104:2004	33,3	35,0
Lepkość kinemat. w 100°C [cSt]	PN-EN ISO 3104:2004	8,0	8,0
Wskaźnik lepkości	PN-C-04013:1979*	220	216
Zawartość wody [%]	PN-C-04959:1981*	0,05410	0,04006
Zawartość siarki [ppm]	PN-EN ISO 14596:2009	7,80	11,89
Czas indukcji utleniania w temp. 140°C (test Petrooxy) [L. 19] [min]	ASTM 75-45	11	26

* Norma wycofana bez zastąpienia inną.

Jak wynika z danych przedstawionych w **Tab. 1**, olej z alg ma zbliżone właściwości fizykochemiczne do oleju rzepakowego. Gęstość, lepkość kinematyczna i wskaźnik lepkości obydwu olejów są praktycznie identyczne, dlatego też można założyć, że ich właściwości smarne będą zbliżone. W obydwu olejach obecne są śladowe ilości wody i siarki. Jedynym zbadanym parametrem różnicującym oba oleje jest odporność oksydacyjna – czas indukcji utleniania w temp. 140°C oleju z alg jest ponaddwukrotnie krótszy niż oleju rzepakowego. Olej z alg łatwiej ulega więc utlenianiu niż olej rzepakowy. Ten niedostatek może być skompensowany przez wprowadzenie odpowiednich inhibitorów termoksydacji.

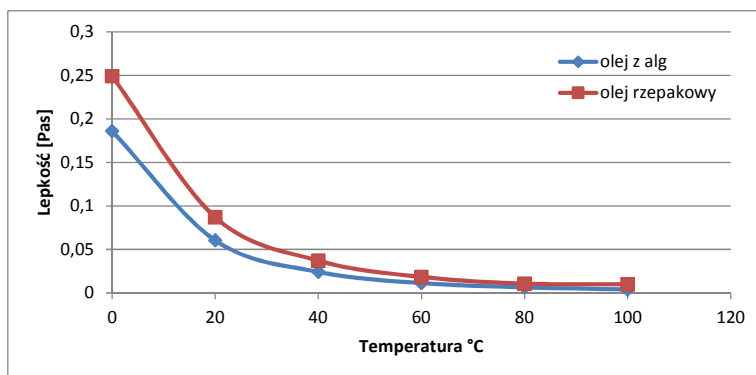
**Rys. 1. Charakterystyki lepkościowo-temperaturowe oleju z alg i oleju rzepakowego**

Fig. 1. Viscosity-temperature characteristics of algae oil and rapeseed oil

W praktyce komercyjnej oleje smarowe charakteryzuje się za pomocą lepkości kinematycznej w określonej temperaturze i wskaźnika lepkości. Tarcie jest jednak procesem dynamicznym, zmiennym w czasie i przebiega w zmiennych warunkach termicznych. Dlatego też zbadano lepkość dynamiczną oleju z alg w szerokim zakresie temperatury i porównano ją z lepkością dynamiczną oleju rzepakowego (**Rys. 1**). Stwierdzono, że lepkość dynamiczna oleju z alg jest nieco niższa niż rzepakowego, w szczególności przy niższych temperaturach (0÷60°C). Może to sugerować nieco gorszą nośność filmu smarowego tworzonych przez olej z alg w porównaniu z olejem rzepakowym.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że podstawowe właściwości fizykochemiczne oleju z alg są bardzo zbliżone do właściwości oleju rzepakowego. Dzięki temu olej z alg może potencjalnie stanowić zamiennik oleju rzepakowego w zastosowaniach technicznych. Tezę tę zweryfikowano za pomocą serii badań tribologicznych, w których jako środka smarowego używano obu olejów.

METODYKA BADAŃ

Badania tribologiczne

Właściwości smarne olejów oceniono na podstawie ich właściwości przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych. Badania zostały przeprowadzone zgodnie z wytycznymi normy PN-76/C-04147 za pomocą aparatu czterokulowego *T-02*, w którym trzy unieruchomione w uchwycie kulki dolne dociskane były z odpowiednią siłą do kulki górnej, zamocowanej we wrzecionie, obracającym się z określoną prędkością [**L. 20**]. Elementami testowymi były kulki ze stali łożyskowej 100Cr6 o średnicy nominalnej ½", chropowatości powierzchni $R_a = 0,32 \mu\text{m}$ i twardości 60–65 HRC. Kulki przed i po testach tribologicznych były myte benzyną ekstrakcyjną w myjce ultradźwiękowej.

Średnicę śladu zużycia na kulkach mierzono równoległe i prostopadle do kierunku tarcia za pomocą mikroskopu optycznego *Nikon MM-40*. Za wynik przyjmowano średnią arytmetyczną z pomiarów wielkości śladów zużycia trzech kulek dolnych, z trzech niezależnych biegów testowych.

Właściwości przeciwzużyciowe

Właściwości przeciwzużyciowe oceniono na podstawie średnicy skazy powstającej na kulce testowej oraz granicznego obciążenia zużycia (G_{oz}). Badania prowadzono w warunkach zapewniających trwałe występowanie tarcia mieszane: obciążenie 392 N, czas biegu 3600 s, prędkość obrotowa 500 obr/min. Wartość granicznego obciążenia zużycia (G_{oz}) jest funkcją zadanego obciążenia (P) i średnicy śladu tarcia (d):

$$G_{oz} = 0,52 \frac{P}{d^2} \quad [\text{N/mm}^2]$$

Olej wykazuje tym lepsze właściwości przeciwzużyciowe, im wartość G_{oz} jest większa. Za wynik pomiaru przyjmowano średnią arytmetyczną z trzech biegów testowych. Wyniki każdej serii badań poddawano testowi Q-Dixona w celu wykrycia ewentualnych wyników odstających, przy poziomie istotności 0,95.

Właściwości przeciwzatarciowe

Właściwości przeciwzatarciowe oceniono na podstawie obciążenia zacierającego (P_t). Wyznaczenie P_t polegało na przeprowadzeniu biegu zespołu czterech kulek stalowych w obecności badanego oleju pod wzrastającym w sposób ciągły obciążeniem, aż do wystąpienia zacierania sygnalizowanego gwałtownym wzrostem oporów ruchu. Badania prowadzono w następujących warunkach: prędkość obrotowa wrzeciona 500 ± 20 obr./min, prędkość poślizgu 0,19 m/s, czas biegu 18 s, prędkość narastania obciążenia 409 N/s, temperatura początkowa $< 25^\circ\text{C}$.

Olej wykazuje tym lepsze właściwości przeciwzatarciowe, im wartość P_t jest większa (ze względu na sposób realizacji testu nie może ona być większa niż 7200 N). Za wynik przyjmowano średnią arytmetyczną rezultatów z co najmniej trzech niezależnych biegów testowych, nieobarczonych błędem grubym.

Skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM)

Badania morfologii roboczych powierzchni tarcia przeprowadzono za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego z emisją polową, stosując powiększenie 150 x.

Profilografometria

Do badania profili powierzchni wykorzystano mikroskop interferometryczny, działający na zasadzie interferometru światła białego z mikroskopowym obiektywem, zwiększającym pionowy zakres pomiaru. Mikroskop był wyposażony w obiektyw *Mirau* (powiększenie 10x). Na roboczych powierzchniach kulek po tarcu rejestrowano obrazy profilograficzne oraz dokonywano pomiaru chropowatości wybranych powierzchni. Wyznaczano średnie arytmetyczne odchylenie profilu (R_a) od teoretycznej linii średniej, dla której suma kwadratów odległości wzniesień i zagłębień jest najmniejsza.

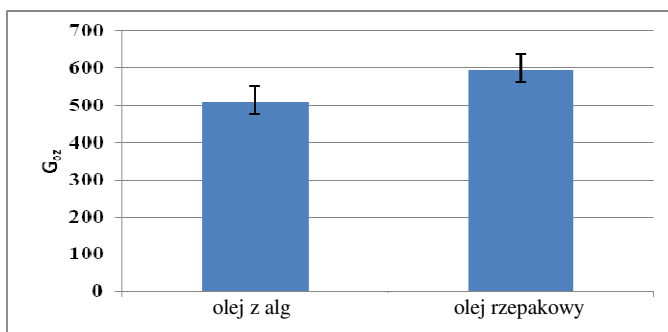
WYNIKI BADAŃ

Właściwości smarne oleju z alg w skojarzeniu węzła tarcia stal–stal oceniano na podstawie średnicy śladu tarcia na kulkach (**Tab. 2**), wartości granicznego obciążenia zużycia G_{oz} (**Rys. 2**) oraz wartości obciążenia zacierającego P_t (**Rys. 3**). Uzyskane wyniki odnoszono do charakterystyk tribologicznych oleju rzepakowego.

Tabela 2. Wielkość śladów zużycia na kulkach smarowanych podczas testów tribologicznych olejem z alg lub olejem rzepakowym

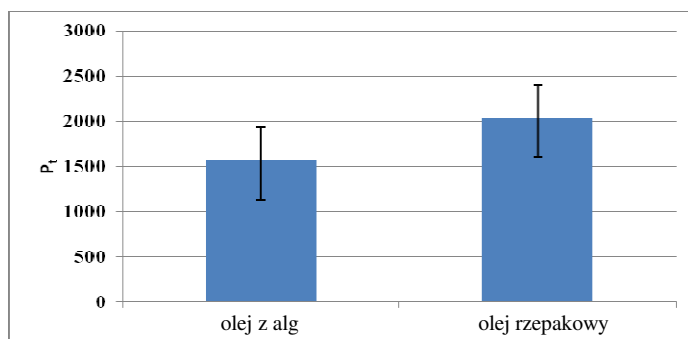
Table 2. Wear scar roughness of the balls lubricated during friction by algae oil or rapeseed oil

Rodzaj testu	Średnica śladu zużycia [mm]	
	olej z alg	olej rzepakowy
test przeciwzużyciowy	0,635	0,585
test przeciwzatarciowy	3,293	2,832



Rys. 2. Wartości granicznego obciążenia zużycia (G_{oz}) zarejestrowane w węzłach tarcia smarowanych olejem z alg lub olejem rzepakowym

Fig. 2. Limiting loads of wear G_{oz} of tribosystems lubricated by algae oil or rapeseed oil



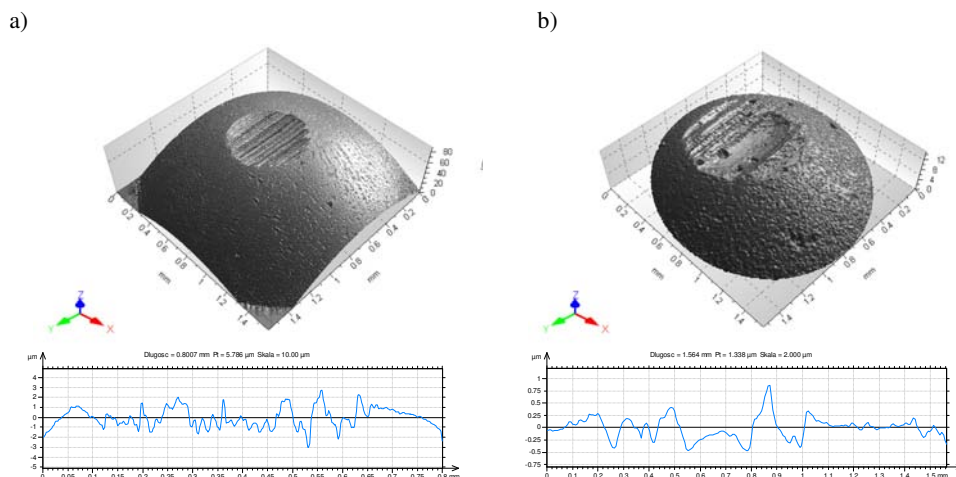
Rys. 3. Wartości obciążenia zacierającego (P_t) zarejestrowane w węzłach tarcia smarowanych olejem z alg lub olejem rzepakowym

Fig. 3. Scuffing load (P_t) of tribosystems lubricated during friction by algae oil or rapeseed oil

Jak wynika z danych przedstawionych w **Tab. 2** oraz na **Rys. 2 i 3**, zarówno pod względem właściwości przeciwzużyciowych, jak i przeciwwzartarciowych olej z alg nieco ustępuje olejowi rzepakowemu, uznawanemu za olej roślinny o bardzo dobrych charakterystykach smarnych. W zależności od badanego parametru, różnica na niekorzyść oleju z alg wynosi od ok. 10 do 30% wartości tego parametru. Są to różnice, które można skorygować, wprowadzając do oleju odpowiednie dodatki, tym bardziej że tak olej z alg wymaga poprawienia stabilności termooksydacyjnej, a antyoksydanty często wykazują także właściwości przeciwzużyciowe.

Mikrostrukturę roboczych powierzchni elementów węzłów tarcia zbadano za pomocą profilografometrii oraz SEM. Oceniano charakter zużycia zachodzącego na powierzchni tarcia. Mikrostrukturę roboczych powierzchni elementów węzłów tarcia oraz chropowatość powierzchni wzdłuż linii prostopadłej do kierunku tarcia po testach przeciwzużyciowych przedstawiono na **Rys. 4**. Podczas analizy obrazów przedstawionych na **Rys. 4a i 4b** należy uwzględnić fakt różnych rozdzielczości w osi „z” i nie sugerować się wyglądem powierzchni tarcia, lecz oceniać jej chropowatość (**Tab. 3**). Zdecydowanie mniejszą chropowatością charakteryzuje się ślad powstały podczas testu z użyciem oleju rzepakowego niż z alg. Potwierdza to jego gorsze właściwości smarne w porównaniu z olejem rzepakowym.

Bardziej przejrzyste obrazy powierzchni tarcia uzyskano techniką SEM niż za pomocą profilografometrii. Na **Rys. 5** przedstawiono obrazy SEM zarejestrowane na powierzchni, których profilogramy przedstawiano na **Rys. 4**. W obydwu analizowanych kulkach obserwuje się ślady zużycia abrazyjnego.



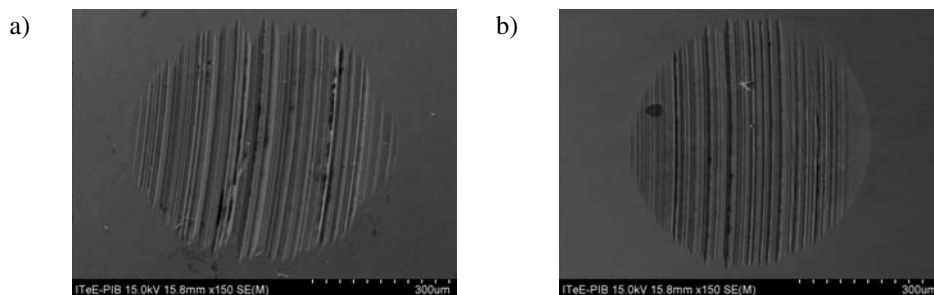
Rys. 4. Mikrostruktura śladu tarcia na kulce smarowanej: a) olejem z alg, b) olejem rzepakowym

Fig. 4. Microstructure of wear scar on the ball lubricated by: a) algae oil, b) rapeseed oil

Tabela 3. Chropowatość powierzchni śladów zużycia na kulkach smarowanych olejem z alg lub olejem rzepakowym

Table 3. Wear scars' roughness of the balls lubricated by algae oil and rapeseed oil

Chropowatość powierzchni tarcia R_a [μm]	
olej z alg	olej rzepakowy
0,5653	0,2956



Rys. 5. Obraz SEM (x150) powierzchni kulki smarowanej: a) olejem z alg, b) olejem rzepakowym

Fig. 5. SEM image (x150) of ball surface lubricated by: a) algae oil, b) rapeseed oil

Stwierdzono także, że ślad zużycia powstający podczas testu z użyciem oleju z alg (**Rys. 5a**) jest mniej regularny niż podczas testu z użyciem oleju rzepakowego (**Rys. 5b**), przy czym wielkości śladów zużycia w obu testach w kierunku składowej stycznej do śladów tarcia są identyczne. W efekcie większa średnica śladu tarcia na kulce smarowanej olejem z alg niż rzepakowym (**Tab. 2**) jest skutkiem większego zużycia tej kulki w kierunku składowej normalnej do śladów tarcia niż w przypadku kulki smarowanej olejem rzepakowym.

Przeprowadzone badania wykazały, że właściwości fizykochemiczne oraz smarne oleju z alg są porównywalne z właściwościami oleju rzepakowego, a różnice wartości zmierzonych parametrów mieszczą się w granicach niepewności zastosowanych metod badania poszczególnych cech. W celu jednoznacznego stwierdzenia możliwości zastąpienia oleju rzepakowego olejem z alg niezbędne są dalsze, bardziej szczegółowe badania z użyciem próbek oleju, pochodzących z różnych hodowli alg, z różnych partii tej samej hodowli oraz uzyskiwanych różnymi sposobami. Prawdopodobnie konieczne będzie także opracowanie optymalnej, z punktu widzenia zastosowań tribologicznych, metody separacji lipidów z biomasy algowej, zapewniającej zachowanie w oleju naturalnych antyoksydantów (badany olej z alg jest mało odporny na utlenianie).

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania oleju z alg, wytworzonego na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim, wykazały, że jego właściwości smarne (przeciwzużyciowe i przeciwzatarciowe) w skojarzeniu tribologicznym stal–stal są porównywalne do właściwości oleju rzepakowego. Stwarza to potencjalną możliwość zastąpienia w przyszłości komercyjnych środków smarowych na bazie olejów roślinnych przez środki na bazie oleju z alg i ochronę w ten sposób zasobów żywnościowych. Wcześniej jednak konieczne jest przeprowadzenie wszechstronnych badań oleju z alg wytwarzanego w różnych warunkach, w zakresie wymagań stawianych materiałom smarowym. Ważnym, a być może kluczowym, obszarem badań będą właściwości smarne oleju z alg w różnych skojarzeniach materiałowych.

LITERATURA

1. Ajanovic A.: Renewable fuels – A comparative assessment from economic, energetic and ecological point-of-view up to 2050 in EU-countries. *Renewable Energy*, 2013, 60, 733–738.
2. Wasilewski J., Zimoch J.: Wybrane metody oszczędzania i wytwarzania energii w przemyśle chemicznym. *Chemik*, 2013, 6 (67), 528–539.
3. Campanella A., Rustoy E., Baldessari A., Baltanás M.: Lubricants from chemically modified vegetable oils. *Bioresource Technology*, 2010, 101, 245–254.
4. Kleinová A., Fodran P., Brnčalová L., Cvengroš J.: Substituted esters of stearic acid as potential lubricants. *Biomass and Bioenergy*, 2008, 32, 366–371.
5. Durak E.: A study on friction behavior of rapeseed oil as an environmentally. *Industrial Lubrication and Tribology*, 2004, 1(56), 23–37.
6. Harun R., Singh M., Forde G., Danquah M.: Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010, 14, 1037–1047.
7. Chaiwong K., Kiatsiriroat T., Vorayos N., Thararax C.: Study of bio-oil and bio-char production from algae by slow pyrolysis. *Biomass and Bioenergy*, 2013, 56, 600–606.
8. Bahadar A., Khan M.: Progress in energy from microalgae: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 27, 128–148.
9. Peralta-Ruiz Y., González-Delgado A., Kafarov V.: Evaluation of alternatives for microalgae oil extraction based on energy analysis. *Applied Energy*, 2013, 101, 226–236.
10. Cieśliński H.: Biomasa z alg. *Chemia Przemysłowa*, 2012, 3, 46–51.
11. Krzemińska J., Tys J.: Mikroglony jako źródło biomasy. *Chemik*, 2012, 12(66), 1294–1297.
12. Demirbas A., Demirbas M.: Importance of algae oil as a source of biodiesel. *Energy Conversion and Management*, 2011, 52, 163–170.
13. Dąbrowski W., Bednarski W.: Perspektywy zastosowania oleju z alg w produkcji biodiesla. *Nauki Inżynierski i Technologie*, 2012, 4(7), 19–34.

14. Dębowski M., Zieliński M., Grala A., Dudek M.: Algae biomass as an alternative substrate in biogas production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 27, 596–604.
15. Kumar A. et al.: Enhanced CO₂ fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions. *Trends in Biotechnology*, 2010, 28, 371–380.
16. Posten C., Schaub G.: Microalgae and terrestrial biomass as source for fuel – A process view. *Journal of Biotechnology*, 2009, 142, 64–69.
17. Norsker N., Bartosa M., Vermue M., Wijffels R.: Microalgal production – A close look at the economics. *Biotechnology Advances*, 2011, 29, 24–27.
18. Franco Z., Nguyen Q. D.: Flow properties of vegetable oil-biodiesel fuel blends. *Fuel*, 2011, 90, 838–843.
19. Molenda J., Świągół K., Urzędowska W., Sacha D.: Korelacja wyników badań stabilności oksydacyjnej biopaliw silnikowych uzyskanych za pomocą testu rancimat oraz petrooxy. *Nafta-Gaz*, 2010, 10, 922–926.
20. Szczerek M., Tuszyński W.: *Badania Tribologiczne. Zacieranie*. Wyd. ITeE, Radom 2000.

Praca naukowa wykonana w ramach realizacji Programu Strategicznego pn. „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

Wyrażam podziękowania p. mgr inż. Edycie Osuch-Słomce oraz p. inż. Andrzejowi Batorowi z Zakładu Tribologii ITeE – PIB za pomoc w przeprowadzeniu badań SEM/EDS oraz profilograficznych.

Summary

The physic-chemical and lubricating properties oil of obtained from algae are studied. It was found that important, from tribological point of view, physico-chemical properties of algae oil are similar to those of rapeseed oil. Both oils have a similar density as well as kinematic and dynamic viscosity at 100°C. Algae oil has a slightly lower kinematic and dynamic viscosity at temperatures below 60°C and a slightly higher viscosity index. The biggest difference between the oils was found in the susceptibility to thermal oxidation – algae oil is less resistant to thermal oxidation from rapeseed oil. Algae oil has slightly worse lubricating properties in steel-steel tribosystems, evaluated on the basis of the value of limiting load of wear (G_{oz}) and scuffing load (P_t). However, the lubricating properties of algae oil are sufficiently similar to rapeseed oil. Therefore, it can be used as an alternative to rapeseed oil in the ecological lubricants.