

Elżbieta ROGÓŚ\*

## WPLYW OCZYSZCZANIA OLEJÓW SPRĘŻARKOWYCH NA ICH WŁAŚCIWOŚCI SMARNE

### THE INFLUENCE OF THE PURIFYING PROCESS ON LUBRICATING PROPERTIES OF COMPRESSOR OILS

#### Słowa kluczowe:

oczyszczanie olejów, oczyszczanie w polu sił odśrodkowych, filtracja przegrodowa, właściwości smarne, właściwości fizykochemiczne

#### Key words:

purification process, oils, centrifugal filtration, barrier filtration, lubricating properties, physicochemical properties

#### Streszczenie

Zbadano wpływ oczyszczania w polu sił odśrodkowych oraz metodą filtracji przegrodowej na właściwości smarne i fizykochemiczne olejów sprężarkowych. Były to oleje odpadowe, pochodzące z centralnego układu odolejania amoniaku. Badano właściwości przeciwzatarciowe i przeciwzużyciowe w warunkach ekstremalnych wymuszeń, przy zastosowaniu aparatu czterokulowego T-02

---

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

oraz czystość, lepkość i liczbę kwasową, zgodnie z wymaganiami normatywnymi dla tego rodzaju olejów.

Stwierdzono korzystny wpływ oczyszczania na oceniane właściwości olejów sprężarkowych. W wyniku zastosowanych procesów zwiększyła się trwałość filmu smarowego tworzonego przez oleje oraz zmniejszyły skutki zacierań. Zmniejszyła się liczba kwasowa olejów. Było to efektem usunięcia z olejów zanieczyszczeń, w tym metalicznych produktów zużycia elementów trących.

## WPROWADZENIE

Oleje przemysłowe podlegają podczas eksploatacji procesom termooksydacyjnego i mechanicznego starzenia. W wyniku działania wymuszeń termicznych, chemicznych i mechanicznych następuje stopniowe obniżenie jakości, prowadzące do pogorszenia właściwości użytkowych i, w efekcie, wycofania olejów z eksploatacji. Produktami procesów termochemicznych zachodzących w olejach są m.in. związki asfaltowo-żywiczne o zmniejszonej rozpuszczalności w olejach, co powoduje powstawanie zawiesin i osadów. Z kolei wymuszenia mechaniczne prowadzą do zużycia elementów skojarzeń trących i przenikania do olejów cząstek metalicznych. Oprócz tego w eksploatowanych olejach obecne są zanieczyszczenia technologiczne, pył, woda [L. 1, 2]. Oleje przepracowane negatywnie oddziałują na środowisko, dlatego zaliczone zostały do odpadów niebezpiecznych wymagających odpowiednich procedur związanych z ich zagospodarowaniem [L. 3]. Obowiązujące przepisy prawne Unii Europejskiej i Polski zobowiązują wytwórców do zmniejszenia lub utrzymania na niezmiennym poziomie ilości generowanych odpadów [L. 4]. Działaniami wpisującymi się w wymagania ochrony środowiska w zakresie eksploatacji olejów przemysłowych jest zmniejszenie zużycia m.in. poprzez maksymalne wydłużenie czasu ich eksploatacji. Można to osiągnąć poprzez monitorowanie kluczowych właściwości funkcjonalnych olejów oraz systematyczne poddawanie ich zabiegom oczyszczania. Pozwala to na usunięcie zanieczyszczeń chemicznych i mechanicznych będących katalizatorami procesów chemicznych zachodzących w olejach, stwarzających warunki sprzyjające zwiększeniu intensywności procesów zużywania powierzchni trących [L. 5–7]. Najkorzystniejsze jest okresowe oczyszczanie olejów w miejscu eksploatacji, przy zachowaniu ciągłości procesów technologicznych. Preferowane jest wykorzystywanie mobilnych urządzeń oczyszczających pozwalających na stworzenie rozproszonego systemu uzdatniania olejów.

W procesach oczyszczania olejów w miejscu eksploatacji wykorzystywana jest najczęściej filtracja za pomocą filtrów powierzchniowych, stosowanych w pełnym przepływie i objętościowych, używanych najczęściej jako przegrody boczniowe. Z innych technik stosowane jest oczyszczanie w polu sił odśro-

kowych (wirówki, filtry odśrodkowe i hydrocyklony) i sedimentacja zawieszonych w oleju zanieczyszczeń pod wpływem sił grawitacji. Z uwagi na specyfikę procesu sedimentacja nie jest stosowana w odniesieniu do eksploatowanych olejów [L. 8, 9].

Autorka artykułu zbadała wpływ oczyszczania na wybrane właściwości smarne i fizykochemiczne olejów sprężarkowych.

## PRZEDMIOT I METODY BADAŃ

Przedmiotem badań były mineralne oleje sprężarkowe wytworzone przez różnych producentów, eksploatowane w amoniakalnych sprężarkach tłokowych, w trzech różnych zakładach przemysłu spożywczego. Oleje pochodziły z centralnego układu odolejania amoniaku, do którego trafiły po przejściu przez wielostopniowy układ oczyszczania czynnika chłodniczego. Podczas normalnej eksploatacji traktowane były jako oleje odpadowe.

Oleje poddano dwustopniowemu procesowi oczyszczania. Na pierwszym etapie zastosowano separację zanieczyszczeń w polu sił odśrodkowych. Wykorzystano agregat wirówkowy o wydajności 3 m<sup>3</sup>/h i pojemności zbiornika operacyjnego – 200 dm<sup>3</sup>. Drugim etapem była filtracja przez polipropylenowe przegrody włókninowe o dokładności filtracji 3÷5 µm. Łączna powierzchnia filtracji wynosiła 2,4 m<sup>2</sup>. Wirowanie prowadzono do chwili osiągnięcia przez oleje klasy czystości 16/12÷20/18, natomiast cyrkulację przez przegrody filtracyjne klasy czystości rzędu 13/9÷15/10.

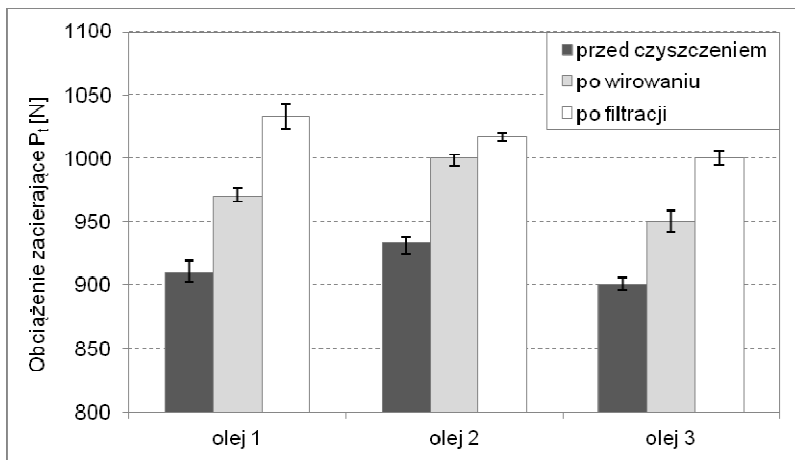
Zbadano zmianę właściwości smarnych i fizykochemicznych olejów w wyniku oczyszczania. Właściwości smarne oceniono metodą opracowaną w Zakładzie Tribologii Instytutu Technologii Eksploatacji – PIB, realizowaną przy zastosowaniu zmodyfikowanego urządzenia czterokulowego T-02, pod wzrastającym w sposób ciągły obciążeniem [L. 10]. Elementami testowymi były kulki o średnicy ½", wykonane ze stali łożyskowej 100Cr6. Badania prowadzono przy prędkości obrotowej wrzeciona 500 obr./min, prędkości narastania obciążenia 409 N/s, początkowym obciążeniu wężła tarcia 0 N, w temperaturze 20°C. Podczas badań rejestrowano przebieg momentu tarcia. Wyznaczano wartość obciążenia zacierającego P<sub>t</sub> oraz granicznego nacisku zatarcia p<sub>oz</sub>. Zbadano też zmiany istotnych dla eksploatacji właściwości fizykochemicznych olejów: liczby kwasowej (wg PN-C-04049:1988), lepkości (wg PN-EN ISO 3104:2004) oraz zawartości zanieczyszczeń stałych i wody (PN-C-04087:1989) i metalicznych produktów zużycia (metoda ASA). Były to właściwości, których zmiany podczas eksploatacji większości olejów przemysłowych następują najszybciej [L. 11].

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

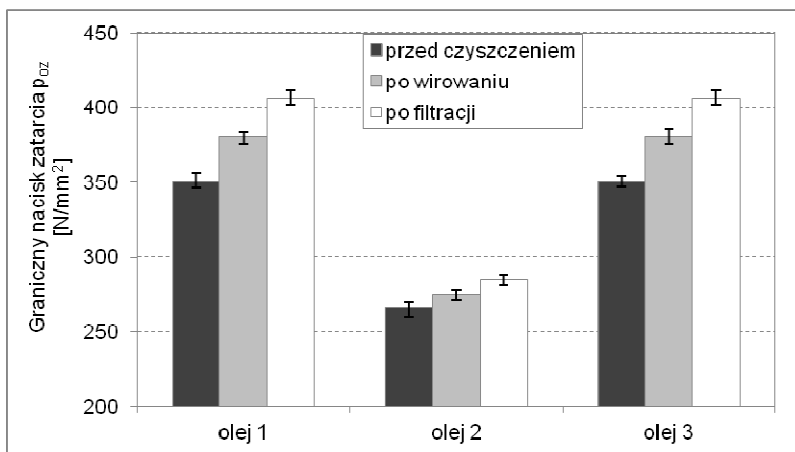
## WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Badania właściwości smarnych wykazały efektywne oddziaływanie zarówno pola sił odśrodkowych, jak i filtracji przegrodowej na trwałość warstwy smarowej tworzonej przez oczyszczone oleje oraz na ich właściwości przeciwozryciowe w warunkach zacierania. Po wirowaniu i filtracji zwiększyły się wartości obciążenia zacierającego  $P_t$  i granicznego nacisku zatarcia  $p_{oz}$  każdego z badanych olejów (**Rys. 1**).

a)



b)



**Rys. 1. Zmiana wartości: a) obciążenia zacierającego i b) granicznego nacisku zatarcia olejów sprężarkowych w wyniku wirowania i filtracji**

Fig. 1. The effect of centrifugal and barrier filtration of compressor oils on: a) scuffing load, b) limiting pressure of seizure

Zastosowanie metody wirówkowej zapewniło zwiększenie obciążenia zacierającego  $P_t$  oleju nr 1 o 6,5%, oleju nr 2 – o 7,2% i oleju nr 3 o 5,5%. Następująca po niej filtracja przegrodowa umożliwiła dalszy wzrost parametru odpowiednio o 6,2%, 1,7% i 5,3%. Świadczy to o zwiększeniu trwałości warstwy smarowej tworzonej przez oleje poddawane zabiegom wirowania i filtracji. Największy sumaryczny efekt zwiększenia wartości wskaźnika  $P_t$  stwierdzono po badaniu oleju nr 1, natomiast najmniejszy oleju nr 2 (**Rys. 1a**).

Procesy wirowania i filtracji miały też korzystny wpływ na graniczny nacisk zatarcia olejów  $p_{oz}$  (**Rys. 1b**). Po oczyszczeniu w polu sił odśrodkowych oleju nr 1 stwierdzono zwiększenie wartości wskaźnika o 11,4%. Dla oleju nr 2 była to wartość większa o 10,8%, a dla oleju nr 3 o 5,9%. Po filtracji przez przegrody wartość granicznego nacisku zatarcia zwiększyła się odpowiednio o dalsze 3,8% (olej nr 1), 2,1% (olej nr 2) i 6,9% (olej nr 3). W odniesieniu do wartości granicznego nacisku zatarcia łączne zastosowanie obu metod było najbardziej efektywne w przypadku oczyszczania oleju nr 1, dla którego stwierdzono największy wzrost wartości wskaźnika. Świadczy to o poprawie właściwości przeciwzużyciowych oczyszczonych olejów w warunkach zacierania, co z kolei wskazuje na bardziej skuteczne łagodzenie przebiegu i skutków zacierania. Po oczyszczeniu dwóch pozostałych olejów zwiększenie wartości wskaźnika  $p_{oz}$  było zbliżone.

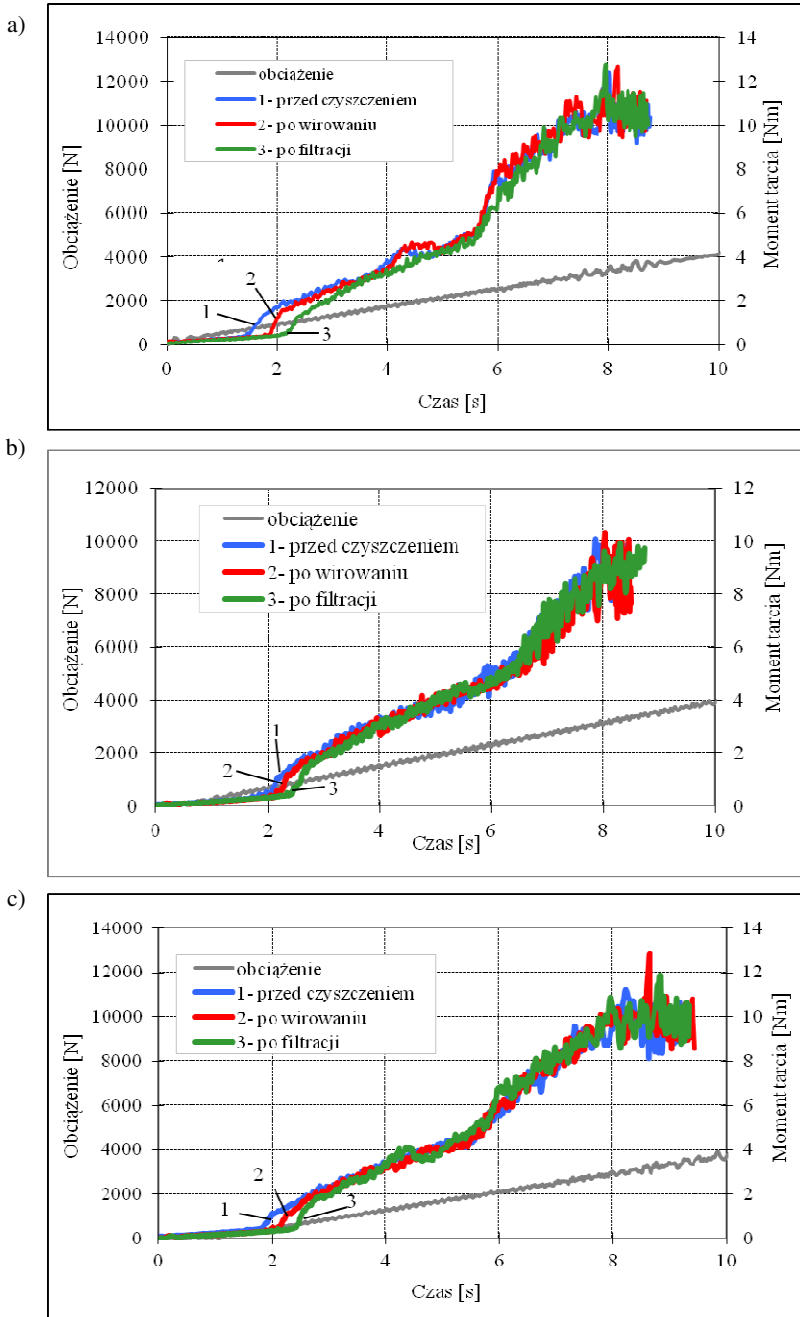
Efektywne oddziaływanie metody wirówkowej i filtracji przegrodowej w odniesieniu do właściwości smarnych oczyszczanych olejów potwierdzają przebiegi krzywych momentu tarcia wyznaczone dla olejów po kolejnych etapach oczyszczania (**Rys. 2**).

Kolejno stosowane procesy wirowania i filtracji przegrodowej przyczyniły się do stopniowego zwiększenia obciążenia, przy którym następował gwałtowny wzrost momentu tarcia oraz obciążenia, przy którym następowało zatarcie. Wskazywało to na zwiększenie zdolności oczyszczanego oleju do przeciwzatarciowej ochrony węzła tarcia oraz opóźnienia procesu zacierania,

Oczyszczanie w polu sił odśrodkowych oraz przez przegrody filtracyjne miało korzystny wpływ na liczbę kwasową olejów. Po kolejno stosowanych procesach wartości parametru wyznaczone dla każdego z badanych olejów były mniejsze (**Rys. 3**), co wskazywało na usunięcie z olejów kwaśnych produktów oksydacyjnego starzenia.

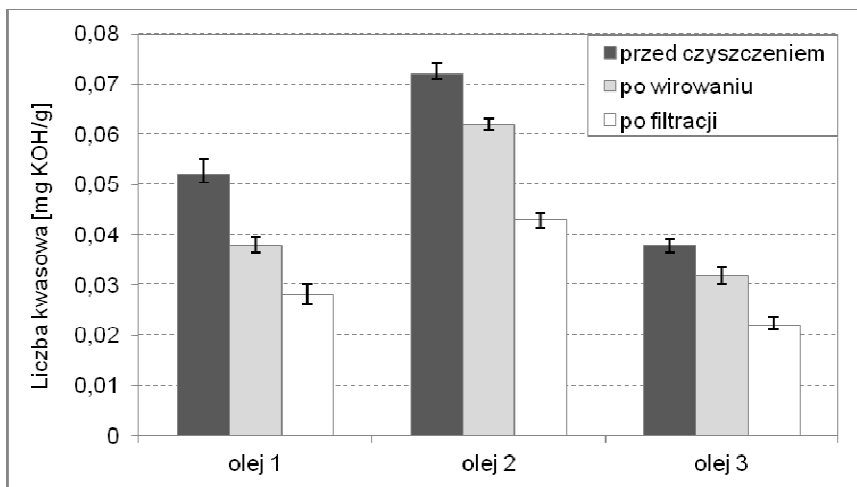
Efektem oczyszczenia w polu sił odśrodkowych oleju nr 1 było zmniejszenie liczby kwasowej o 23%, oleju nr 2 o 13% i oleju nr 3 o 12%. Zastosowanie następnego etapu oczyszczania, jakim była filtracja spowodowało dalsze zmniejszenie wartości parametru, odpowiednio o 20% (olej nr 1), 38% (olej nr 2) i 35% (olej nr 3). W efekcie największe zmiany liczby kwasowej nastąpiły po oczyszczeniu oleju nr 2.

W wyniku oczyszczenia nastąpiły niewielkie zmiany lepkości kinematycznej olejów (**Rys. 4**).

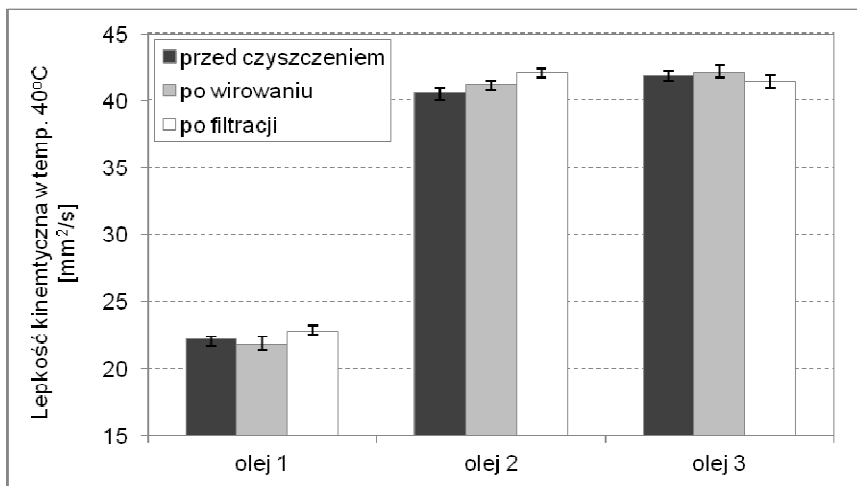


Rys. 2. Zmiana przebiegu momentu tarcia oleju sprężarkowego: a) nr 1, b) nr 2 i c) nr 3 w wyniku wirowania i filtracji

Fig. 2. The curves of friction torque after centrifugal and barrier filtration of compressor oils a) No. 1, b) No. 2, and c) No. 3



**Rys. 3. Zmiana liczby kwasowej olejów sprężarkowych w wyniku wirowania i filtracji**  
 Fig. 3 The change of acid number after centrifugal and barrier filtration of compressor oils



**Rys. 4. Zmiana lepkości kinematycznej olejów sprężarkowych w wyniku wirowania i filtracji**  
 Fig. 4. The change of viscosity after centrifugal and barrier filtration of compressor oils

Dla każdego badanego oleju wartość parametru wyznaczona w temperaturze 40°C praktycznie nie uległa zmianie, pozostając w zakresie wymagań ustalonych normami przedmiotowymi oraz określonych przez producentów olejów.

Zastosowanie zarówno metody wirowania, jak i filtracji przegrodowej umożliwiło stopniową poprawę czystości każdego z badanych olejów (**Tab. 1**).

**Tabela 1. Wpływ wirowania i filtracji na czystość olejów sprężarkowych**

Table 1. The Influence of centrifugal and barrier filtration on the cleanliness of compressor oils

Lp.	Badana właściwość	Przed oczyszczaniem	Po wirowaniu	Po filtracji	
Olej nr 1					
1	Klasa czystości	–*	17/12	15/9	
2	Zawartość stałych ciał obcych i wody, [%]	0,12	< 0,03	–*	
3	Zawartość metali, [mg/g oleju],	Fe	46,9	30,1	4,9
		Cu	5,2	3,3	1,1
		Pb	1,6	0,6	0,3
		Zn	17,0	5,9	1,8
Olej nr 2					
1	Klasa czystości	–*	16/12	13/9	
2	Zawartość stałych ciał obcych i wody, [%]	0,28	< 0,03	–*	
3	Zawartość metali, [mg/g oleju],	Fe	28,9	21,1	5,7
		Cu	2,6	2,1	0,4
		Pb	8,6	7,4	1,4
		Zn	7,2	5,8	1,3
Olej nr 3					
1	Klasa czystości	–*	17/12	15/9	
2	Zawartość stałych ciał obcych i wody, [%]	0,18	< 0,03	–*	
3	Zawartość metali, [mg/g oleju],	Fe	15,7	12,8	1,2
		Cu	1,8	1,6	0,2
		Pb	10,76	0,6	0,3
		Zn	10,96	5,8	1,2

\* – nie oznaczano.

Po zastosowaniu metody wirówkowej nastąpiło znaczne zmniejszenie zawartości cząstek stałych w olejach, a następująca po niej filtracja umożliwiła osiągnięcie przez każdy z oczyszczonych olejów wysokiej klasy czystości. Efektem oczyszczenia było bardzo skuteczne usunięcie z olejów cząstek metali pochodzących ze zużywania elementów węzłów tarcia lub innych części instalacji olejowej. Spośród badanych metod bardziej skuteczna była filtracja przegrodowa. Po jej zastosowaniu stwierdzono 80÷95% spadek zawartości oznaczanych metali w każdym z badanych olejów. Niewielka skuteczność usuwania metali w polu sił odśrodkowych i wysoka na drodze filtracji mogła wskazywać, że znaczna część metalicznych produktów zużycia występowała w olejach w postaci drobno zdypergowanych cząstek zaadsorbowanych na drobinach innych zanieczyszczeń o gęstości porównywalnej z gęstością oleju (np. szlamów).

## PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki pokazały, że oczyszczanie w polu sił odśrodkowych i filtracja przegrodowa miały korzystny wpływ na właściwości smarne olejów: przeciwwzartciowe i przeciwwżyciowe w warunkach zacierania. Efektem ko-



lejno stosowanych zabiegów była stopniowa poprawa trwałości warstwy smarowej tworzonej przez oczyszczone oleje oraz stopniowe opóźnianie inicjacji zacierania i wystąpienia zatarcia wężła smarowanego tymi olejami. Było to efektem usunięcia z oleju zanieczyszczeń generowanych podczas eksploatacji, w tym metalicznych produktów zużycia elementów trących. Zastosowanie wirowania i filtracji przyczyniło się także do zmniejszenia liczby kwasowej olejów, co wskazywało na usunięcie z olejów produktów termooksydacyjnego starzenia.

Korzystne zmiany badanych właściwości smarnych i fizykochemicznych, będące wynikiem wirowania i filtracji, wskazują na celowość stosowania zabiegów oczyszczania olejów (najskuteczniej obu metod połączonych w odpowiednią sekwencję). Przedstawione metody oczyszczania należą do prostych metod fizycznych, możliwych do stosowania w warunkach eksploatacji olejów. Uwzględniając fakt, że czystość, liczba kwasowa i lepkość są właściwościami, które jako pierwsze pogarszają się podczas eksploatacji większości olejów przemysłowych, oczyszczanie powinno być prowadzone systematycznie, w odniesieniu do olejów będących w eksploatacji. Pozwoli to na poprawę właściwości fizykochemicznych i smarnych olejów, co będzie skutkowało mniejszym zużyciem elementów trących i wydłużeniem czasu eksploatacji olejów. Nie bez znaczenia jest fakt, że systematyczne uzdatnianie olejów należy do przedsięwzięć prośrodowiskowych, zgodnych ze standardami krajowymi i międzynarodowymi, ukierunkowanymi na maksymalne zmniejszenie ilości generowanych odpadów.

## LITERATURA

1. Podniadło A.: Paliwa, oleje i smary w ekologicznej eksploatacji. WNT, Warszawa 2002.
2. Zwierzycki W.: Oleje, paliwa i smary dla motoryzacji i przemysłu. ITeE – PIB, Radom 2001.
3. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów. Dz.U. 2011, Nr 112, poz. 1206.
4. Syrek H.: Trendy w recyklingu olejów odpadowych w UE. Recykling, nr 2, 2005.
5. Rogoś E., Zbrowski A.: Perspektywy rozwoju systemów zwiększających bezpieczeństwo ekologiczne. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza, nr 4, 2010, s. 47–58.
6. Mohammed R.R. i inni.: Waste lubricating oil treatment by extraction and adsorption. Chemical Engineering Journal, nr 220, 2013, s. 343–351.
7. Sirotkina E.E., Novoselova L.Yu.: Afibrous sulfonic acid materials for regeneration of used oils. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, nr 3, 2007, s. 395–399.
8. Zwierzyński A.: Pielęgnacja oleju hydraulicznego do wtryskarek. Mechanik, nr 4, 2008, s. 316–323.
9. Rogoś E., Winiarski A., Stępień A.: Urządzenia do uzdatniania przemysłowych olejów smarowych. Problemy Eksploatacji, nr 3, 2003, s. 157–166.

10. Patent Nr 179123-B1-G01N 33/30 Sposób oceny przeciwzatarciowych własności środków smarowych na aparacie 4-kulowym.
11. Rogoś E., Grądkowski M., Urbański A.: Eksploatacyjne zmiany właściwości oleju sprężarkowego. *Problemy Eksploatacji*, nr 4, 1999, s. 103–114.

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

### Summary

**The influence of the purifying process on lubricating and physicochemical properties of compressor oils was tested. The objects of the study were oils from the central system of ammonia cleaning. The antiwear and extreme-pressure properties were investigated by means of a T-02 four-ball apparatus. In addition, cleanliness, kinematic viscosity, and acid number were determined, according to the standards for compressor oils.**

**It was concluded that the purification of compressor oils improves their lubricating properties and their acid number. Those improvements resulted from the removal of pollutants, mainly metallic particles, which are products of wear.**