

## ZMIANY WŁASNOŚCI FIZYKO-CHEMICZNYCH OLEJÓW SILNIKOWYCH JAKO PARAMETR DIAGNOSTYCZNY

Maciej WOROPAY, Paweł BUKOWSKI, Michał SÓJKA

Katedra Eksploatacji Maszyn, Wydziału Mechanicznego, ATR w Bydgoszczy  
ul. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, tel./fax 052 340 84 95

### Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych olejów silnikowych stosowanych w systemie transportu, jakim są Zakłady Komunikacji Miejskiej. Na podstawie przeprowadzonych badań, określono wpływ wydłużenia resursu oleju silnikowego na jego podstawowe własności, świadczące o zdatości. Zauważono ścisły związek pomiędzy ilością dolewek oleju świeżego, a badanymi parametrami. Zwrócono także uwagę na pewne dodatnie korelacje pomiędzy zmianami wartości parametrów zachodzącymi w eksploatowanych olejach.

Słowa kluczowe: lepkość kinematyczna, liczba zasadowa, temperatura zapłonu, koncentracja zanieczyszczeń.

### CHANGES OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF ENGINE OILS AS A DIAGNOSTIC PARAMETER

#### Summary

The paper presents the results of the operation and maintenance investigations carried out for the engine oils used within a transport system represented by the Zakłady Komunikacji Miejskiej (Municipal Transportation Works). Based on the studies performed, the ageing process nature of the engine oil and the impact of the operation and maintenance conditions on the momentary state of the major parameters describing the engine oil amplitude have been determined. The analysis of the significance of some of the oil condition parameters has been carried out, too. It has been proven that in the transport systems, as of today, there is lack of a comfortable and reliable diagnostic and control method to check the engine oil condition during the operation and maintenance process. On the basis of the actual indexes, this paper constitutes and introduction to an attempt to extend oil operation service life, including the determination of the states of some parameters.

Keywords: viscosity, total base number, ignition temperature, contamination.

## 1. WPROWADZENIE

Olej jest jednym z elementów systemów trybologicznych, jakimi są w silniku węzły tarcia: łożyska ślizgowe – czop - panewka oraz tuleja - tłok/pierścienie. Ich poprawne działanie decyduje o sprawności technicznej silnika, a tym samym o względach ekonomicznych i ekologicznych eksploatacji. Podczas eksploatacji oleju silnikowego, zmieniają się wartości (charakterystyki ilościowe) dodatków uszlachetniających na skutek zachodzących w oleju procesów chemicznych i fizycznych. Pojawiają się również, na skutek współdziaływania elementów układu i samych materiałów, przyczyny powodujące zachodzenie trwałych zmian w środkach smarnych. Te zmiany dają się mierzyć i są odzwierciedleniem pojawiania się nowych własności eksploatacyjnych. Odczuwalny jest brak wygodnych i wiarygodnych metod diagnostyki i kontroli stanu oleju silnikowego w trakcie eksploatacji. Wychodząc naprzeciw przepisom i zaleceniom unijnym, wymogom

ochrony środowiska i oczekiwaniom służb utrzymania ruchu zakładów komunikacyjnych podjęto próbę określenia maksymalnego a zarazem bezpiecznego resursu pracy olejów na podstawie rzeczywistych wskaźników. Kolejnym krokiem będzie propozycja wdrożenia nowej strategii wymiany oleju silnikowego – strategii według stanu. Zmiana strategii wymiany oleju pozwala w krótkim czasie na znaczne obniżenie jednostkowego kosztu wytworzenia produktu finalnego – wozokilometru.

## 2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Obiektem badań są oleje silnikowe stosowane w autobusach eksploatowanych przez Miejskie Zakłady Komunikacyjne w Bydgoszczy, a mianowicie olej silnikowy o właściwościach przedstawionych w tablicy nr 1. Przedmiotem badań są procesy zachodzące w olejach silnikowych w trakcie ich eksploatacji, oraz wpływ wydłużenia resursu oleju silnikowego na jego własności fizyko – chemiczne. W systemie transportowym jakim są

Miejskie Zakłady Komunikacyjne jest na wyposażeniu ok. 220 pojazdów marek wymienionych poniżej:

- VOLVO,
- MAN,
- MERCEDES BENZ,
- JELCZ,
- IKARUS.

Przy doborze autobusów brano pod uwagę pojazdy marki IKARUS 280.26. Do badań, mających na celu analizę wpływu wydłużenia resursu oleju silnikowego, przyjęto 3 pojazdy:

- IKARUS 280.26, numer boczny 3420 rok produkcji 1990, przebieg od naprawy głównej silnika 384000 km (w momencie rozpoczęcia badań),
- IKARUS 280.26, numer boczny 3424 rok produkcji 1990, przebieg od naprawy głównej silnika 297000 km (w momencie rozpoczęcia badań),
- IKARUS 280.26, numer boczny 3409 rok produkcji 1990, przebieg od naprawy głównej silnika 124000 km (w momencie rozpoczęcia badań).

Próbki oleju pobierano bezpośrednio z miski olejowej silników pojazdów poprzez wlew oleju za pomocą strzykawki medycznej połączonej z wężem.

Wyznaczono następujące przebiegi, przy których należy pobierać olej:

- stan 0 (olej świeży) – kontener 182,
- (lepkość kinematyczna w 100°C -12,5 mm<sup>2</sup>/s, temperatura zapłonu 231°C,
- przy przebiegu od wymiany 0 km do 10000 km co 5000±500 km,
- przy przebiegu od wymiany powyżej 10000 co 1000±250 km.

W rozpatrywanym systemie transportu dla autobusów IKARUS 280.26 obowiązuje następująca strategia wymiany oleju silnikowego, a mianowicie wymiana oleju wraz z filtrami po przebiegu 10000 km.

Próbki pobierano sukcesywnie i na bieżąco dokonywano wyznaczania lepkości kinematycznej, temperatury zapłonu, koncentracji produktów zużycia węzłów trybologicznych oraz liczby zasadowej badanych olejów.

Tablica 1. Właściwości badanego oleju

Klasa lepkości:	SAE: 15W-40
Lepkość kinematyczna w 100 stopniach C, mm <sup>2</sup> /s	14,4
Wskaźnik lepkości	136
Lepkości Strukturalna w -15 °C, mPas	3400
Temperatura zapłonu w stopniach °C	226
Temperatura płynięcia w stopniach °C	-39
Liczba zasadowa (TBN) mg KOH/g, n.n.n	9,0
Popiół siarczanowy, % wag.	1,3

### 3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

W tablicach 2 i 3 i 4 przedstawiono wyniki badań właściwości fizyko – chemicznych próbek oleju w odniesieniu do przebiegów pojazdów.

Lepkość kinematyczną w 100°C wyznaczono zgodnie z normą PN-C-04014:1977.

Temperaturę zapłonu wyznaczono zgodnie z normą PN-C-04197:1992.

Liczbę zasadową wyznaczono zgodnie z normą PN-C-04163:1976.

Oznaczenia zawartości poszczególnych pierwiastków dokonano spektrometrem FAS-2c firmy BAIRD-ATOMIC. Przy jego pomocy można badać grupę 20-u pierwiastków (Fe, Ag, Al, Cr, Cu, Mg, Na, Ni, Pb, Si, Sn, Ti, B, Ba, Mo, Zn, Ca, P, Sb, Mn), w tym praktycznie wszystkie stosowane w technice motoryzacyjnej.

Tablica 2. Właściwości fizyko – chemiczne dla autobusu Ikarus 280.26 nr boczny 3409

Lp.	Przebieg od wymiany	Kod próbki	Lepkość kinematyczna w 100°C [mm <sup>2</sup> /s]	Temperatura zapłonu [°C]	Liczba zasadowa [mgKOH/g]	Stan licznika [km]	Data pobrania próbki
01	5.000	3409.03	8,2	204	9,12	130859	21.08.05
02	10.069	3409.05	10,2	219	9,83	135928	07.09.05
03	11.213	3409.07	11,6	223	9,45	137072	19.09.05
04	12.238	3409.08	11,1	226	9,81	138097	28.09.05
05	13.341	3409.09	11,3	226	10,01	139200	06.10.05
06	14.341	3409.10	11	224	9,87	140200	14.10.05
07	15.421	3409.11	11,3	225	9,99	141280	24.10.05
08	16.441	3409.12	11,7	223	9,69	142300	02.11.05
19	17.491	3409.13	11,7	221	9,84	143350	10.11.05
11	18.441	3409.14	11,9	220	9,65	144300	20.11.05
12	19.341	3409.15	12,1	219	9,44	145200	25.11.05
13	20.341	3409.16	11,9	219	9,88	146200	03.12.05
14	21.341	3409.17	11,9	221	9,80	147200	10.12.05
15	22.241	3409.18	12,8	224	9,56	148100	16.12.05
16	23.241	3409.19	12,7	209	9,32	149100	27.12.05
17	24.141	3409.20	13,4	211	10,02	150000	05.01.06
18	25.201	3409.21	12,9	218	10,01	151060	12.01.06

Tablica 3. Właściwości fizyko – chemiczne dla autobusu Ikarus 280.26 nr boczny 3420

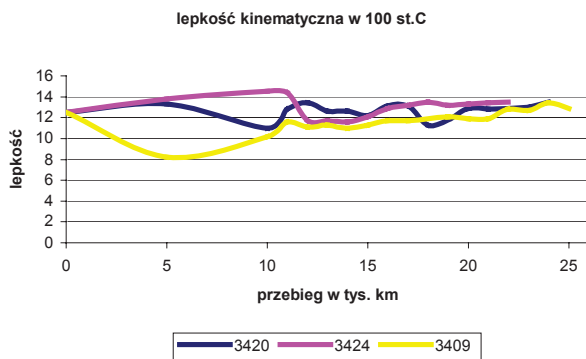
Lp.	Przebieg od wymiany	Kod próbki	Lepkość kinematyczna w 100°C [mm <sup>2</sup> /s]	Temperatura zapłonu [°C]	Liczba zasadowa [mgKOH/g]	Stan licznika [km]	Data pobrania próbki
01	4.933	3420.03	13,3	241	10,02	389300	01.06.05
02	10.123	3420.05	11	238	10,01	394490	17.08.05
03	11.123	3420.06	12,8	232	10,03	395490	06.09.05
04	12.283	3420.07	13,4	233	10,01	396650	12.09.05
05	13.183	3420.08	12,6	235	9,98	397550	28.09.05
06	14.233	3420.09	12,6	235	9,87	398600	02.10.05
07	15.313	3420.10	12,2	233	9,89	399680	06.10.05
08	16.383	3420.11	13,1	231	9,96	400750	10.10.05
09	17.433	3420.12	13,1	234	9,96	401800	15.10.05
10	18.583	3420.13	11,3	221	9,48	402950	24.10.05
11	19.653	3420.14	11,8	226	9,56	404020	03.11.05
12	20.683	3420.15	12,9	200	9,52	405050	10.11.05
13	21.641	3420.16	12,8	203	9,69	406008	20.11.05
14	22.633	3420.17	12,9	200	9,73	407000	27.11.05
15	23.633	3420.18	13	204	9,45	408000	04.12.05
16	24.683	3420.19	13,5	194	9,84	409050	11.12.05

Tablica 4. Właściwości fizyko – chemiczne dla autobusu Ikarus 280.26 nr boczny 3424

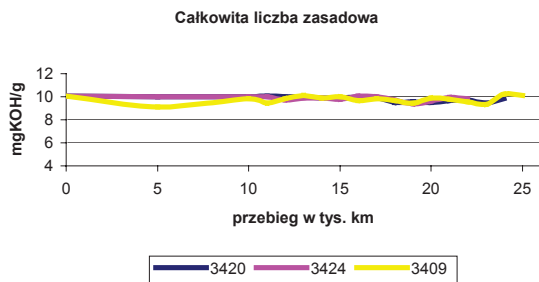
Lp.	Przebieg od wymiany	Kod próbki	Lepkość kinematyczna w 100°C [mm <sup>2</sup> /s]	Temperatura zapłonu [°C]	Liczba zasadowa [mgKOH/g]	Stan licznika [km]	Data pobrania próbki
01	4.987	3424.03	13,8	223	10,02	302856	08.07.05
02	9.617	3424.05	14,5	238	10,01	307486	12.08.05
03	10.542	3424.06	14,4	232	9,98	308411	22.08.05
04	11.631	3424.07	11,7	219	9,75	309500	07.09.05
05	12.631	3424.08	11,7	214	9,87	310500	19.09.05
06	13.731	3424.09	11,6	229	9,89	311600	28.09.05
07	14.781	3424.10	12,1	245	9,80	312650	06.10.05
08	15.701	3424.11	12,9	240	10,03	313570	12.10.05
09	16.731	3424.12	13,2	231	10,01	314600	24.10.05
10	17.831	3424.13	13,5	223	9,73	315700	02.11.05
11	19.831	3424.14	13,2	222	9,41	317700	10.11.05
12	20.731	3424.16	13,3	220	9,62	318600	20.11.05
13	21.731	3424.17	13,4	224	9,97	319600	02.12.05
14	22.831	3424.18	13,5	225	9,82	320700	09.12.05

Wyniki badań koncentracji produktów zużywania się węzłów trybologicznych, w celu lepszego zobrazowania zmian, zostaną pokazane tylko w formie wykresów.

Rys. 1 obrazuje zmiany lepkości badanych olejów w zależności od przebiegu pojazdów od ostatniej wymiany oleju. Zaobserwować można, że wyjściowa wartość lepkości w żadnym wypadku nie spełniła deklarowanych przez producenta wartości, co może świadczyć o niskiej jakości dodatków uszlachetniających mających wpływ na lepkość oleju. Wraz z dalszą eksploatacją lepkość oscylowała w granicach wartości ok. 12 – 13 mm/s<sup>2</sup>. Zaobserwowano zatem ustabilizowanie się tego parametru po przebiegu około 12 tys. km.



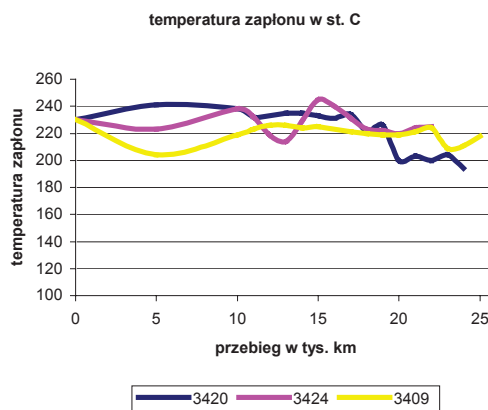
Rys. 1. Przebieg zmian lepkości kinematycznej oleju



Rys. 2. Przebieg zmian całkowitej liczby zasadowej olej

Rys. 2 przedstawia zmiany całkowitej liczby zasadowej w zależności od przebiegu autobusów. Utrzymujący się wysoki poziom (pow. 9 mg KOH/g) rezerwy alkalicznej świadczy o ciągłej zdolności zobojętniania kwaśnych produktów przedostających się do oleju silnikowego w procesie spalania mieszanki paliwowo powietrznej.

Rys. 3 obrazuje zmiany wartości temperatury zapłonu badanych olejów. Temperatura zapłonu olejów oscyluje w granicach 194 – 245 °C co świadczy o braku możliwości przedostawania się niespalonego paliwa do oleju silnikowego, a tym samym o poprawnym stanie technicznym silnika i dobrych właściwościach oleju.

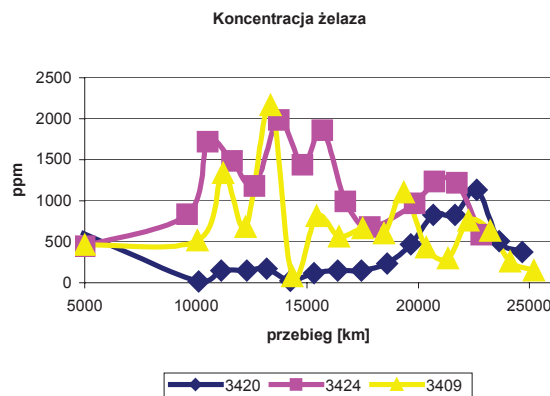


Rys. 3. Przebieg zmian temperatury zapłonu oleju

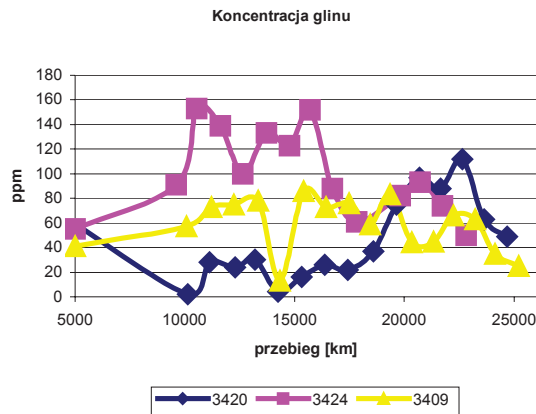
Poniżej przeanalizowano wyniki badań koncentracji w olejach silnikowych najczęściej spotykanych w technice motoryzacyjnej pierwiastków.

Są nimi:

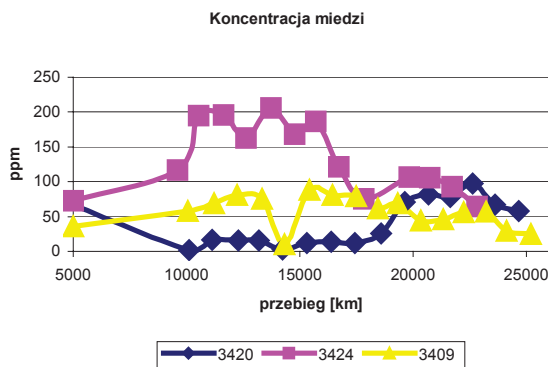
- żelazo Fe,
- glin Al,
- miedź Cu,
- ołów Pb,
- chrom Cr.



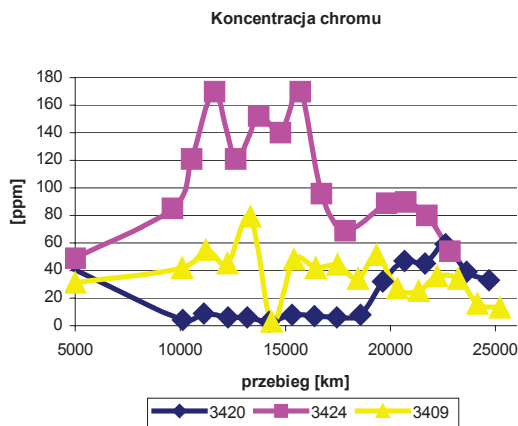
Rys. 4. Koncentracja żelaza



Rys. 5. Koncentracja glinu



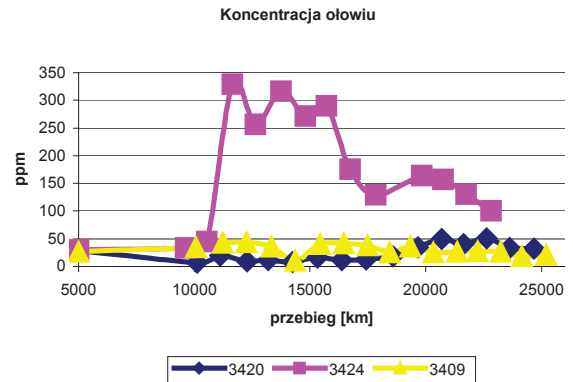
Rys. 6. Koncentracja miedzi



Rys. 7. Koncentracja chromu

Na rys. 4, 5, 6, 7, 8 przedstawiono zależność pomiędzy koncentracją pierwiastków metalicznych w badanych olejach, a ich przebiegiem od wymiany. Zaobserwować można wyraźną rozbieżność tych parametrów pomiędzy pojazdami wynikającą najprawdopodobniej z różnicy potencjałów eksploatacyjnych (przebieg od naprawy głównej silnika). Należy nadmienić, iż w przypadku nagłego wzrostu koncentracji któregoś z pierwiastków mamy do czynienia z wyraźnym sygnałem diagnostycznym, a nośnikiem tego sygnału jest olej silnikowy. W badanych próbkach nie stwierdzono nagłej zmiany koncentracji co świadczyć może

o braku zjawiska przyspieszonego zużywania się węzłów trybologicznych na skutek występujących stanów niezdatności.

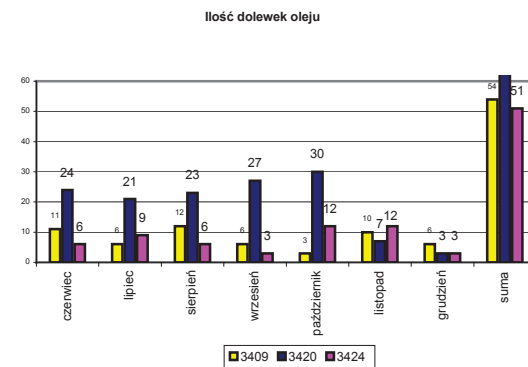


Rys. 8. Koncentracja ołowiu

Odnosząc się do otrzymanych wyników badań można stwierdzić, że najważniejszymi parametrami określającymi stan oleju silnikowego z punktu widzenia niezawodności i trwałości silnika spalinowego są:

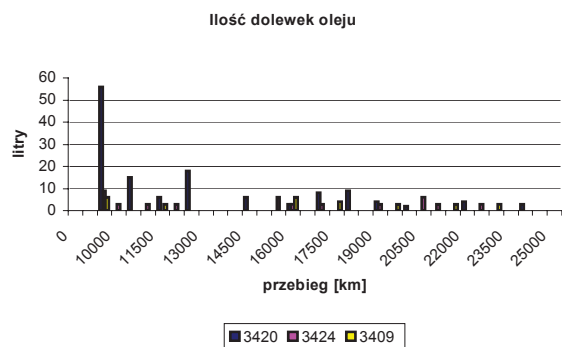
- lepkość kinematyczna w 100°C;
- całkowita liczba zasadowa;
- temperatura zapłonu.

Pozostałe badane przez autorów właściwości są cennymi sygnałami diagnostycznymi mogącymi przyczynić się do wczesnego wykrycia ewentualnych stanów awaryjnych, a tym samym uniknięcia wysokich kosztów napraw.



Rys. 9. Dolewki oleju w zależności od czasu

Rys. nr 9 obrazuje ilości dolanego oleju do silników badanych autobusów w trakcie prowadzenia badań w zależności od upływu czasu. Znaczne ubytki oleju spowodowane były poprzez spalanie oleju w silnikach oraz na skutek wycieków.



Rys. 10. Dolewki oleju w zależności od przebiegu

Rys. nr 10 obrazuje ilości dolanego oleju do silników badanych autobusów w trakcie prowadzenia badań w odniesieniu do przebiegu badanych pojazdów. Autorzy zwracają uwagę na istotny wpływ dolewek oleju na proces odnawiania właściwości eksploatacyjnych oleju silnikowego. Przekłada się to bezpośrednio na otrzymane wyniki badań. Dlatego też, pomimo ponad dwukrotnego wydłużenia rewersu, w przypadku olejów badanych, nie zauważono osiągnięcia stanu granicznego, mając na uwadze w szczególności całkowitą liczbę zasadową. Badania prowadzone przez autorów w poprzednich latach, z wykorzystaniem autobusów o znacznie większym potencjale eksploatacyjnym, wykazały silne korelacje pomiędzy przebiegiem pojazdów, a badanymi parametrami. Wynikało to z faktu, iż w tych autobusach dolewano nieznaczne ilości świeżego oleju, co nie miało większego wpływu na proces degradacji właściwości użytkowych oleju.

#### 4. ASPEKT FINANSOWY WYDŁUŻENIA RESURSÓW OLEJÓW SILNIKOWYCH

Założenia:

- koszt 1 litra oleju 8,20 zł (netto);
- średnia ilość oleju na wymianę 46 litrów;
- średni przebieg dzienny autobusu 285 km;
- przebieg między wymianami oleju 15 tys. km;
- ilość autobusów 215.

Z powyższych danych można obliczyć wartości uśrednione:

- koszt oleju na jednorazową wymianę 377,20 zł;
- roczna ilość wymian oleju przypadająca na 1 autobus 7 wymian/rok;
- roczny koszt oleju przypadający na 1 autobus 2.640,40 zł;
- roczny koszt oleju przypadający na cały tabor (215) 567.686,00 zł.

W tabelicy 4 przedstawiono symulację wydłużenia rewersu autobusów i związane z tym oszczędności.

Tablica 5. Symulacja wydłużenia rewersu autobusów i związane z tym oszczędności

Lp.	Procentowe wydłużenie rewersu	Przebieg pomiędzy wymianami oleju	Roczna ilość wymian oleju przypadająca na 1 autobus	Roczny koszt oleju przypadający na cały tabor (215)	Oszczędności na kosztach zakupu oleju w stosunku rocznym
1.	20%	18.000 km	5,83	473.072 zł	94.614 zł
2.	30%	19.500 km	5,38	436.682 zł	131.004 zł
3.	50%	22.500 km	4,67	378.457 zł	189.229 zł
4.	100%	30.000 km	3,5	283.843 zł	283.843 zł

W tabelicy 5. uwzględniono oszczędności związane jedynie z kosztami zakupu oleju silnikowego. W bilansie oszczędności dodatkowo należy uwzględnić:

- zmniejszenie kosztów transportu i magazynowania oleju;
- zmniejszenie kosztów utylizacji zużytego oleju silnikowego;
- zmniejszenie czasów przestojów autobusów – mniejsza ilość wymian oleju;
- zmniejszenie ilości roboczogodzin obsługi technicznej;
- aspekty ekologiczne.

#### WNIOSKI

Przeprowadzenie badań olejów silnikowych stosowanych w autobusach eksploatowanych w Miejskich Zakładach Komunikacyjnych w Bydgoszczy pozwoliło na wysunięcie następujących wniosków dotyczących możliwości i bezpieczeństwa wydłużenia rewersów olejów silnikowych:

1. Zaobserwowano ścisły związek między zmianami własności fizyko-chemicznych badanych olejów, a przebiegiem pojazdów.
2. Stwierdzono, iż monitorowanie koncentracji produktów zużywania się elementów silników autobusowych w olejach daje możliwość oceny zachodzących procesów niszczących.
3. Zauważono, że produkty zużycia gromadzą się w oleju smarowym i są one nośnikiem informacji diagnostycznej.
4. Systematyczne sprawdzanie wartości najważniejszych parametrów świadczących o zdatności umożliwi wyznaczyć stany graniczne, przy których olej przestaje spełniać swoją funkcję w silniku spalinowym.
5. Przedłużenie okresów między wymianami oleju silnikowego umożliwia w sposób znaczący obniżenie kosztów eksploatacji obiektów technicznych jakimi są autobusy w rozpatrywanym systemie transportowym.
6. Dowiedziono, na podstawie otrzymanych wyników badań, że podstawowe właściwości fizyko-chemiczne, przy występującym poziomie dolewek, nie ulegają zmianie w stopniu wskazującym na konieczność wymiany oleju w silnikach.



7. Przy autobusach, w których ilość dolewek oleju świeżego w trakcie trwania rewersu przekracza wartość objętości układu smarowania silnika, zaleca się przestanie na wymianie filtrów oleju silnikowego.
8. Prowadzenie dalszych badań na mocno wyeksploatowanych autobusach jest niecelowe ze względu na zbyt duże ubytki oleju i tym samym jego odświeżanie.

Badania zrealizowane w pracy mogą być cenną wskazówką w podejmowaniu decyzji, dotyczących procesów zapewnienia zdatności obiektów technicznych, wchodzących w skład miejskich systemów transportowych.

## LITERATURA

- [1] Nadolny K.: *Podstawy modelowania niezawodności materiałów eksploatacyjnych*. Pod redakcją K. Nadolnego. Seria: Biblioteka Problemów Eksploatacji, Wyd. ITeE, Radom 1999.
- [2] Zwierzycki W.: *Oleje smarowe. Dobór i użytkowanie*. Wyd. ITE w Radomiu I RN „Gilmar” S.A. Gorlice, 1998.
- [3] *Problemy badań i eksploatacji techniki lotniczej*, tom 5 pod redakcją Jerzego Lewitowicza, Leszka Lorocha, Jerzego Manerowskiego. Wyd. ITWL w Warszawie
- [4] *Podstawy Racjonalnej Eksploatacji Maszyn*. Pod redakcją M. Woropaya. Seria: Biblioteka Problemów Eksploatacji, Wyd. ITeE, Radom 1996.
- [5] *Opracowanie optymalnych okresów eksploatacji olejów silnikowych w autobusach Ikarus i Berliet PR 110 oraz systemu użytkowania olejów smarowych w MPK Poznań*. Instytut Maszyn Roboczych Politechniki Poznańskiej, 1982.



Mgr inż. **Paweł BUKOWSKI** – pracownik PESA Bydgoszcz S.A. Holding na stanowisku Pełnomocnika Zarządzania Jakością Z-3 oraz Szefa Serwisu Pojazdów Szynowych Z-3. Na co dzień zajmuje się problemami jakości i eksploatacji, głównie

spalinowych autobusów szynowych, autor i współautor kilku publikacji o tematyce smarowniczo – tribologicznej. W pracy naukowej zajmuje się procesami starzeniowymi zachodzącymi w cieczach tribologicznych oraz problematyką zastosowań metod statystycznych w ocenie jakościowej systemów eksploatacji.



Mgr inż. **Michał SÓJKA** – właściciel Przedsiębiorstwa CORSAR Technika Smarowania zajmującego się szeroko pojętą inżynierią eksploatacji, obsługą przemysłu; autor i współautor kilku publikacji o tematyce tribologicznej i zagadnieniach eksploatacji, organizator cyklicznych

Warsztatów Służb Utrzymania Ruchu skupiających inżynierów z branż: cukrowniczej, papierniczej, energetycznej i pochodnych. W pracy naukowej zajmuje się problematyką systemów tribologicznych, utrzymania ruchu oraz modelowania procesów i systemów eksploatacji.



Prof. dr hab. inż. **Maciej WOROPAY** – kierownik Katedry Eksploatacji Maszyn Wydziału Mechanicznego Akademii Techniczno - Rolniczej w Bydgoszczy. W pracy naukowej zajmuje się problemami dotyczącymi teorii systemów, teorii

niezawodności i bezpieczeństwa oraz sterowania procesami eksploatacji w złożonych systemach biotechnicznych, a w szczególności sterowaniem tymi procesami w systemach transportu miejskiego. Jest autorem i współautorem ponad 100 prac naukowych opublikowanych w kraju i za granicą, autorem podręczników i skryptów akademickich, promotorem ponad 120 prac magisterskich i inżynierskich oraz prac doktorskich.