

BADANIA PROCESU STARZENIA OLEJU HYDRAULICZNEGO PODCZAS UŻYTKOWANIA

KAZIMIERZ BACZEWSKI¹, PIOTR SZCZAWIŃSKI²

Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

W artykule przedstawiono problemy zmian właściwości olejów hydraulicznych podczas użytkowania w układach hydraulicznych ładowarek kołowych. Podano metodykę i wyniki badań wybranych charakterystyk oleju hydraulicznego klasy jakościowej HV i lepkościowej VG 46 w funkcji czasu użytkowania. Dokonano analizy wyników badań w aspekcie dominujących procesów starzenia i monitorowania stanu olejów hydraulicznych. Ustalono, że podawane w literaturze i przez producentów olejów kryteria stanu granicznego oleju hydraulicznego nie odpowiadają współczesnym układom hydraulicznym. Wartości graniczne odnośnie do zmiany lepkości, wskaźnika lepkości i liczby kwasowej są zbyt restrykcyjne. Dominującym kryterium osiągnięcia stanu granicznego przez nowoczesne oleje użytkowane w układach hydraulicznych jest stężenie i skład granulometryczny zanieczyszczeń stałych.

Słowa kluczowe: olej hydrauliczny, starzenie olejów hydraulicznych, monitorowanie stanu olejów

1. Wprowadzenie

Oleje hydrauliczne są płynami eksploatacyjnymi, stosowanymi w wielu różnych urządzeniach technicznych, w tym układach hydraulicznych. Decydują o funkcjonalności, trwałości i niezawodności tych układów. Współczesne układy hydrauliczne cechują się coraz większym wysileniem, coraz mniejszymi gabarytami, mają coraz mniej cieczy hydraulicznej, coraz mniejsze układy chłodzenia i pracują przy coraz większym ciśnieniu. W rezultacie oleje hydrauliczne podlegają coraz intensywniejszym wymuszeniom mechanicznym, termicznym

¹ Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, e-mail: kazimierz.baczewski@wat.edu.pl

² Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie, Wydział Mechaniczny; 00-908 Warszawa, ul. Gen. Sylwestra Kaliskiego 2, e-mail: piotr.szczawinski@wat.edu.pl

i chemicznym. To sprzyja ich starzeniu się i szybkiej utracie właściwości funkcjonalnych, jeśli nie mają odpowiedniej jakości i nie są odpowiednio użytkowane w układach hydraulicznych.

Obecnie w układach hydraulicznych większości urządzeń stosuje się oleje hydrauliczne klasy HV (wg normy PN-ISO 6743-4). Składają się one z mineralnego oleju bazowego oraz dodatków uszlachetniających: inhibitorów utleniania i korozji, dodatków lepkościowych i przeciwzużyciowych. Coraz szerzej stosuje się też oleje hydrauliczne, które poza tymi dodatkami zawierają też dodatki dyspergująco-detergencyjne (klasa HVLPD wg normy DIN 51524).

Podczas użytkowania olejów w układach hydraulicznych ulegają one starzeniu (degradacji) w rezultacie [1,2,4,5]:

- utleniania, spowodowanego działaniem tlenu powietrza i intensyfikowanego przez ciepło, wysokie ciśnienie oraz katalityczne działanie metali (głównie żelaza i miedzi), z których są wykonane elementy układów hydraulicznych;
- rozkładu termicznego, gdyż temperatura oleju może osiągać w mikroobszarach do 1000°C w rezultacie micro-dieselingu lub w efekcie wyładowań elektrycznych spowodowanych generowaniem elektryczności statycznej w oleju [1,2],
- oddziaływania promieniowania ultrafioletowego, np. podczas obsługi lub niewłaściwego przechowywania oleju,
- zanieczyszczenia cząstkami stałymi, będącymi produktami zużycia elementów układu, starzenia się oleju, cząstkami pyłu przedostającymi się z zewnątrz oraz wodą i innymi cieczami.

W wyniku starzenia w procesie użytkowania pogarsza się jakość oleju hydraulicznego - zmienia się jego lepkość, wartości liczby kwasowej, właściwości przeciwzużyciowe, rośnie skłonność do tworzenia osadów na elementach układu oraz stężenie zanieczyszczeń stałych.

Użytkowanie oleju hydraulicznego, którego jedna lub więcej właściwości ulegnie istotnemu pogorszeniu, może prowadzić do przyspieszonego zużywania się elementów układu i tworzenia osadów, a tym samym do pogorszenia jego niezawodności i zmniejszenia trwałości.

Aby temu zapobiec, olej hydrauliczny wymienia się po z góry ustalonym czasie użytkowania (system planowo-zapobiegawczy) lub prowadzi się monitorowanie jego stanu technicznego (jakości) podczas pracy w układach hydraulicznych. Obecnie funkcjonuje wiele różnych systemów monitorowania lub ustalania stanu granicznego oleju hydraulicznego, ale nie zawsze są one ustalone adekwatnie dla nowoczesnych wysiłonych układów hydraulicznych i olejów hydraulicznych o bardzo dobrych właściwościach funkcjonalnych, w tym dyspergująco-detergencyjnych [1]. Ich wyniki, oparte o niewłaściwe dane analizy, mogą być mylące.

2. Przedmiot, cel i zakres badań

Przedmiotem badań były próbki oleju hydraulicznego klasy jakości HV (wg PN-ISO 6743-4), klasy jakości HVLPD wg normy DIN 51524-3), klasy lepkości VG 46 (wg normy PN-ISO 3448), z pełnym pakietem dodatków uszlachetniających, w tym z dodatkami dyspergująco-detergencyjnymi.

Olej był użytkowany w układzie hydraulicznym przegubowej ładowarki kołowej o następujących parametrach:

- moc silnika - 35,7 kW,

- ciśnienie oleju w układzie hydraulicznym - 45 MPa,
- ciśnienie robocze w hydraulicznym układzie roboczym - 21 MPa,
- wydajność pompy - 49 dm³/min.,
- objętość oleju w układzie hydraulicznym - 75 dm³,
- czas użytkowania oleju wg instrukcji obsługi – 3000 godzin.

Celem badań było określenie zmiany wartości wybranych parametrów oleju hydraulicznego w funkcji czasu użytkowania (pracy) ładowarki kołowej.

Badaniom podlegały próbki oleju hydraulicznego czystego i pobierane z układu hydraulicznego ładowarki po 200, 800 i 2500 godzinach użytkowania. Badano następujące parametry oleju hydraulicznego:

- wygląd i kolor oleju,
- lepkość kinematyczną w temperaturze 40°C i 100°C,
- wskaźnik lepkości,
- temperaturę zapłonu,
- liczbę kwasową,
- działanie korodujące na miedź,
- stężenie zanieczyszczeń stałych,
- skład granulometryczny i wygląd cząstek zanieczyszczeń.

3. Metodyka badań

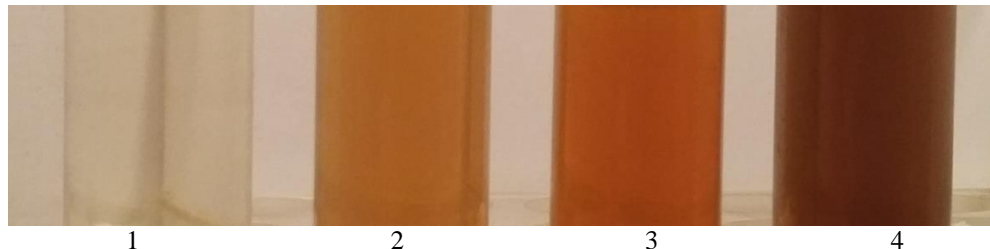
Próbki oleju hydraulicznego o objętości 1 dm³ były pobierane ze zbiornika układu hydraulicznego ładowarek i ujednocinane. Następnie wykonano badania poszczególnych charakterystyk (parametrów), posługując się następującymi metodykami:

- wygląd i barwę oleju określano metodą obserwacji w świetle dziennym,
- lepkość kinematyczną w temperaturze 40°C i 100°C badano wg metodyki podanej w normie PN-EN ISO 3104 za pomocą lepkościomierza kapilarnego Ostwalda-Pinkevitcha,
- wskaźnik lepkości obliczano na podstawie wartości lepkości kinematycznej w 40°C i 100°C zgodnie z zasadami opisanymi w normie PN-ISO 2909, procedura B,
- temperaturę zapłonu mierzono zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-EN ISO 2719 aparatem automatycznym HFP 360 z tygłem zamkniętym Pensky'ego-Martensa,
- liczbę kwasową oznaczano zgodnie z metodyką podaną w normie PN-C-04049,
- działanie korodujące na miedź badano wg metodyki podanej w normie PN-EN ISO 2160,
- stężenie zanieczyszczeń stałych badano metodą grawimetryczną zgodnie z normą ASTM D4898,
- skład granulometryczny cząstek zanieczyszczeń badano zgodnie z normą ISO 11171 za pomocą automatycznego licznika cząstek Pamas PPFM-4S,
- wygląd, kształt i strukturę cząstek zanieczyszczeń stałych obserwowano na mikroskopie Nikon Eclipse LV 100 w świetle przechodzącym, określając także ich wymiary.

4. Wyniki badań i ich analiza

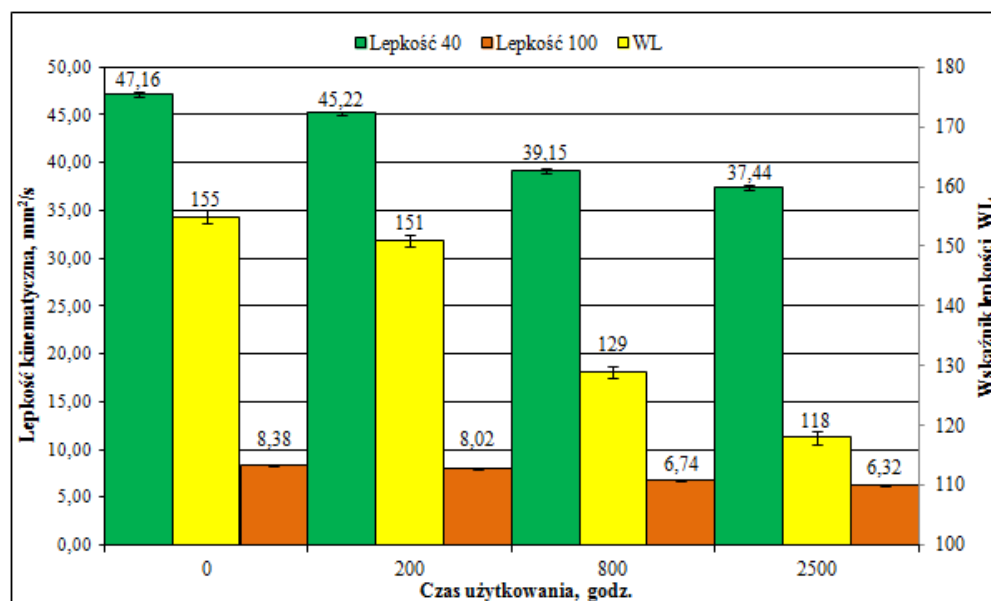
Badania organoleptyczne próbek oleju hydraulicznego nie wykazały obecności w nich wody zdyspergowanej, ani wydzielonej w postaci odrębnej fazy, większych cząstek metali i innych zanieczyszczeń. Po dłuższym czasie przechowywania próbek na dnie pojemników widoczna była niewielka ilość osadu, która powstała w rezultacie sedimentacji drobnych cząstek organicznych. Próbki oleju miały zróżnicowaną barwę – olej ciemnieje wraz ze wzrostem czasu użytkowania (rys. 1).

Barwa próbek zmienia się od jasnej (olej świeży) do różnych odcieni brązu (oleje przepracowane). Pociemnienie oleju jest rezultatem tworzenia się w nim produktów utleniania. Są to substancje o charakterze kwaśnych żywic, częściowo rozpuszczalne w oleju. Wraz ze wzrostem czasu użytkowania zwiększa się ilość żywic i stopień ich kondensacji, a to powoduje stopniowe pociemnienie oleju. Jasnobrązowy kolor próbek o długim czasie użytkowania (2500 godz.) świadczy o braku w oleju produktów jego rozkładu termicznego, a o obecności jedynie produktów utleniania oleju.



Rys. 1. Wygląd badanych próbek oleju hydraulicznego (1 – olej świeży, 2 – olej po 200 godz. użytkowania, 3 - olej po 800 godz. użytkowania, 4 – olej po 2500 godz. użytkowania)

Ze wzrostem czasu użytkowania oleju zmieniały się też istotnie wartości jego parametrów reologicznych – zmniejsza się wartość lepkości kinematycznej w temperaturze 40°C i 100°C, a także wartość wskaźnika lepkości (rys. 2).



Rys. 2. Wartości parametrów reologicznych próbek oleju hydraulicznego w funkcji czasu użytkowania

Podczas użytkowania lepkość oleju hydraulicznego może wzrastać głównie w rezultacie pojawiania się w nim produktów o dużej masie cząsteczkowej (produktów rozkładu termicznego i utleniania bazy węglowodorowej oleju) lub zmniejszać się w rezultacie przedostania się do oleju substancji rozcieńczającej (wynik zaniedbań eksploatacyjnych),

a najczęściej w wyniku ścinania długich cząstek węglowodorów bazy olejowej i modyfikatorów lepkości. Rzeczywista zmiana lepkości jest wypadkową tych dwóch wymuszeń.

W rozważanym przypadku nastąpiła jednoznaczna tendencja spadkowa, jeśli chodzi o wartości lepkości, jak i o wartości wskaźnika lepkości. W pierwszej fazie użytkowania oleju hydraulicznego (po 200 godz. przebiegu) nastąpiło niewielkie zmniejszenie lepkości (o ok. 4%) i wskaźnika lepkości (o ok. 2,6%) – tab. 1. Następnie po 800 godz. użytkowania lepkość zmniejszyła się o ok. 17...20%, a wskaźnik lepkości zmniejszył się z większą intensywnością też o ok. 17%. Po 2500 godz. użytkowania oleju zmniejszenie lepkości i wskaźnika lepkości było już niewielkie w stosunku do bardzo długiego czasu użytkowania. Jest to spowodowane z jednej strony dolewkami oleju świeżego, a z drugiej pewną stabilizacją przebiegu procesów starzenia oleju. Wartości lepkości kinematycznej dla oleju po 800 i 2500 godzinach użytkowania nie mieszczą się w klasie lepkości VG 46.

Tabela 1. Wartości parametrów reologicznych próbek oleju hydraulicznego i ich względne zmniejszenie w funkcji czasu użytkowania (w stosunku do oleju świeżego)

Czas użytkowania oleju, godz.	Lepkość kinematyczna, mm ² /s		WL	Względne zmniejszenie, %		
	w 40°C	w 100°C		lepkości kinematycznej		WL
				w 40°C	w 100°C	
0	47,16	8,38	155	-	-	-
200	45,22	8,02	151	4,1	4,3	2,6
800	39,15	6,74	129	17,0	19,6	16,8
2500	37,44	6,32	118	20,6	24,6	23,9

Badany olej cechuje się bardzo dobrymi właściwościami reologicznymi, wynikającymi z cech bazy mineralnej i z dużej zawartości modyfikatora lepkości (polimerów o długich molekułach). Ma on też bardzo dobre właściwości dyspergująco-detergencyjne. Warunki użytkowania oleju w układzie hydraulicznym ładowarek nie stwarzają warunków do rozkładu termicznego (mało intensywne obciążenia cieplne). Natomiast duże wartości naprężeń ścinających i kontakt z tlenem powietrza powodują, że olej podlega utlenianiu, a długie cząsteczki węglowodorów bazy oleju i modyfikatora lepkości ulegają destrukcji. Ze względu na bardzo dobre właściwości dyspergujące oleju, produkty utleniania są utrzymywane w stanie dużego rozproszenia, nie powodując wzrostu lepkości oleju. Można zatem przyjąć, że dominującym czynnikiem wymuszającym zmianę parametrów lepkościowych są duże i intensywne naprężenia ścinające, oddziałujące na olej i powodujące zmniejszenie wartości parametrów reologicznych.

O braku intensywnych wymuszeń termicznych działających na olej użytkowany w badanych układach hydraulicznych oraz o braku w nim substancji rozcieńczających świadczy wartość temperatury zapłonu – jej wartości zarówno dla oleju świeżego, jak i próbek po różnym czasie użytkowania mieściły się w zakresie 202...205 ± 1,5°C.

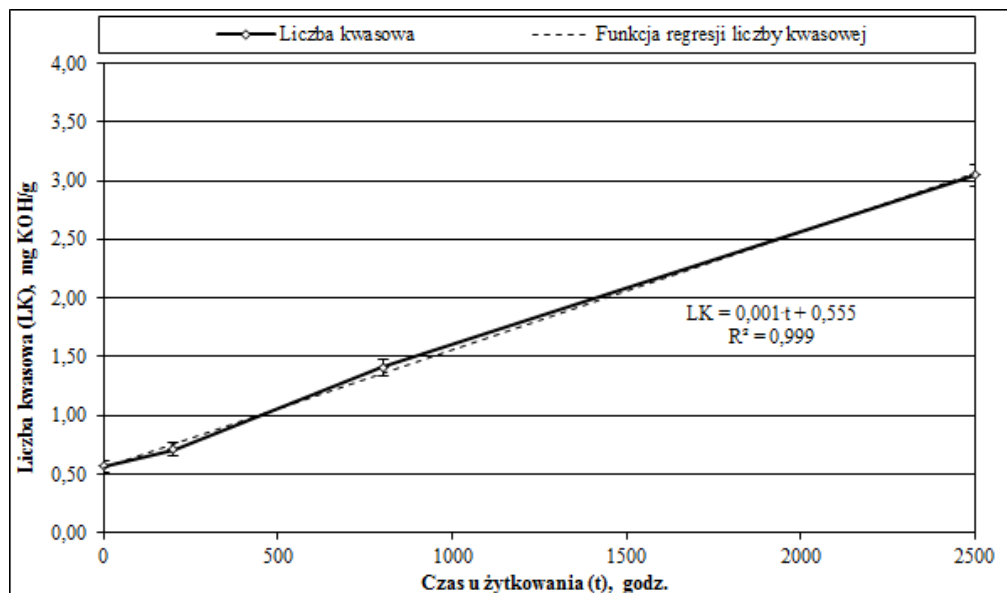
Też o tym, że głównym czynnikiem wpływającym na starzenie oleju hydraulicznego jest utlenianie bazy oleju, potwierdzają wyniki badań liczby kwasowej. Jej wartość zwiększa się ze wzrostem czasu użytkowania oleju (rys. 3) wg zależności liniowej, bezwzględne wartości tego parametru mieszczą się w zakresie od ok. 0,5 do ok. 3 mg KOH/g dla oleju po 2500 godz. użytkowania.

Tak znaczna wartość liczby kwasowej próbki oleju nie przekłada się na wzrost jego agresywności korozyjnej – badania na płytkach miedzianych (temperatura 100°C, 180 minut)

nie wykazały żadnego działania korodującego dla wszystkich badanych próbek olejów (wynik badania – klasa korozji 1a). Wynika to z dwóch powodów:

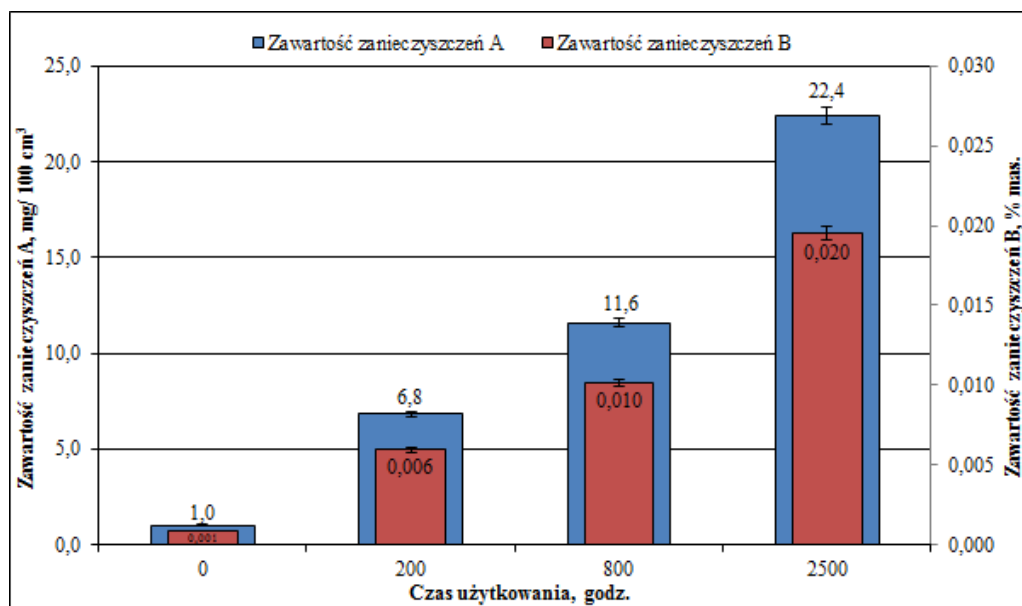
- kwasy organiczne, które są produktami utleniania oleju należą do grupy słabych kwasów,
- olej ma bardzo dobre właściwości przeciwkorozyjne.

Wartość liczby kwasowej olejów hydraulicznych klasy HVLPD wynosi 0,5...0,6 mg KOH/g, a po przebiegu ok. 1000 godz. powinna zawierać się w zakresie 1,5...2,0 mg KOH/g. Oznacza to nieadekwatność obecnie przyjmowanych kryteriów stanów granicznych dla olejów HVLPD.



Rys. 3. Wartości liczby kwasowej próbek oleju hydraulicznego w funkcji czasu użytkowania

Jednym z problemów, który występuje podczas użytkowania olejów hydraulicznych, jest gromadzenie się w nim cząstek zanieczyszczeń stałych. Dzieje się tak, mimo stosowania filtrów w układach hydraulicznych. Z przeprowadzonych badań wynika, że w próbkach oleju było coraz więcej zanieczyszczeń stałych – stężenie zanieczyszczeń rosło wraz ze wzrostem czasu użytkowania oleju (rys. 4).



Rys. 4. Zawartość zanieczyszczeń próbek oleju hydraulicznego w funkcji czasu użytkowania

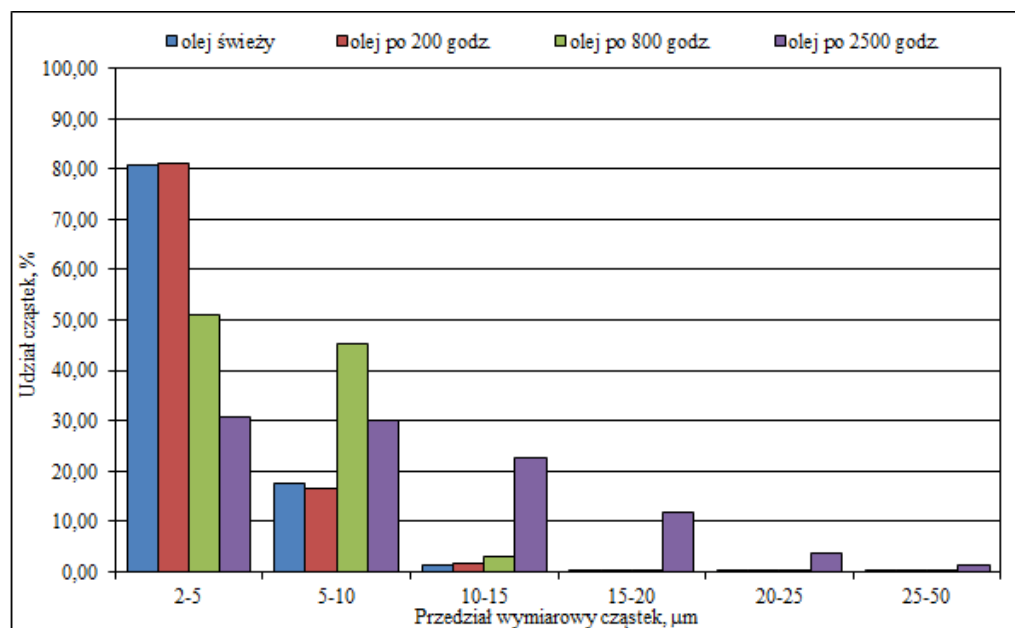
Zawartość masowa zanieczyszczeń była dziesięciokrotnie większa po przebiegu 800 godz. i 20 razy większa po przebiegu 2500 godz. w stosunku do oleju świeżego. Także skład granulometryczny cząstek zanieczyszczeń zmienia się wraz ze wzrostem czasu użytkowania oleju (tabela 2).

Tabela 2. Skład granulometryczny próbek oleju hydraulicznego w funkcji czasu użytkowania

Czas użytkowania oleju, godz.	Liczba cząstek zawartych w 100 cm ³ oleju, o wymiarach większych od, μm							
	2	5	10	15	20	25	50	100
0	182488	35135	3286	743	271	147	34	10
200	360486	68647	8765	3305	1519	818	109	21
800	669342	327683	24834	3665	1280	594	179	30
2500	695481	482614	273441	115578	33691	8983	315	50

Generalnie wraz z upływem czasu użytkowania w oleju hydraulicznym zwiększa się liczba cząstek zanieczyszczeń. Należy zwrócić uwagę na stosunkowo małą czystość oleju świeżego – mimo, że całkowite stężenie zanieczyszczeń w oleju świeżym jest małe (0,001% mas.), to udział cząstek drobnych (< 10 μm) jest duży. Stanowią one 98,2% liczby wszystkich cząstek. Cząstek większych jest tylko 1,8%.

Podobny skład granulometryczny, jeśli chodzi o rozkład wymiarów cząstek zanieczyszczeń (ale przy większej ich liczbie), stwierdzono w próbkach oleju po przebiegu 200 godzin (rys. 5).

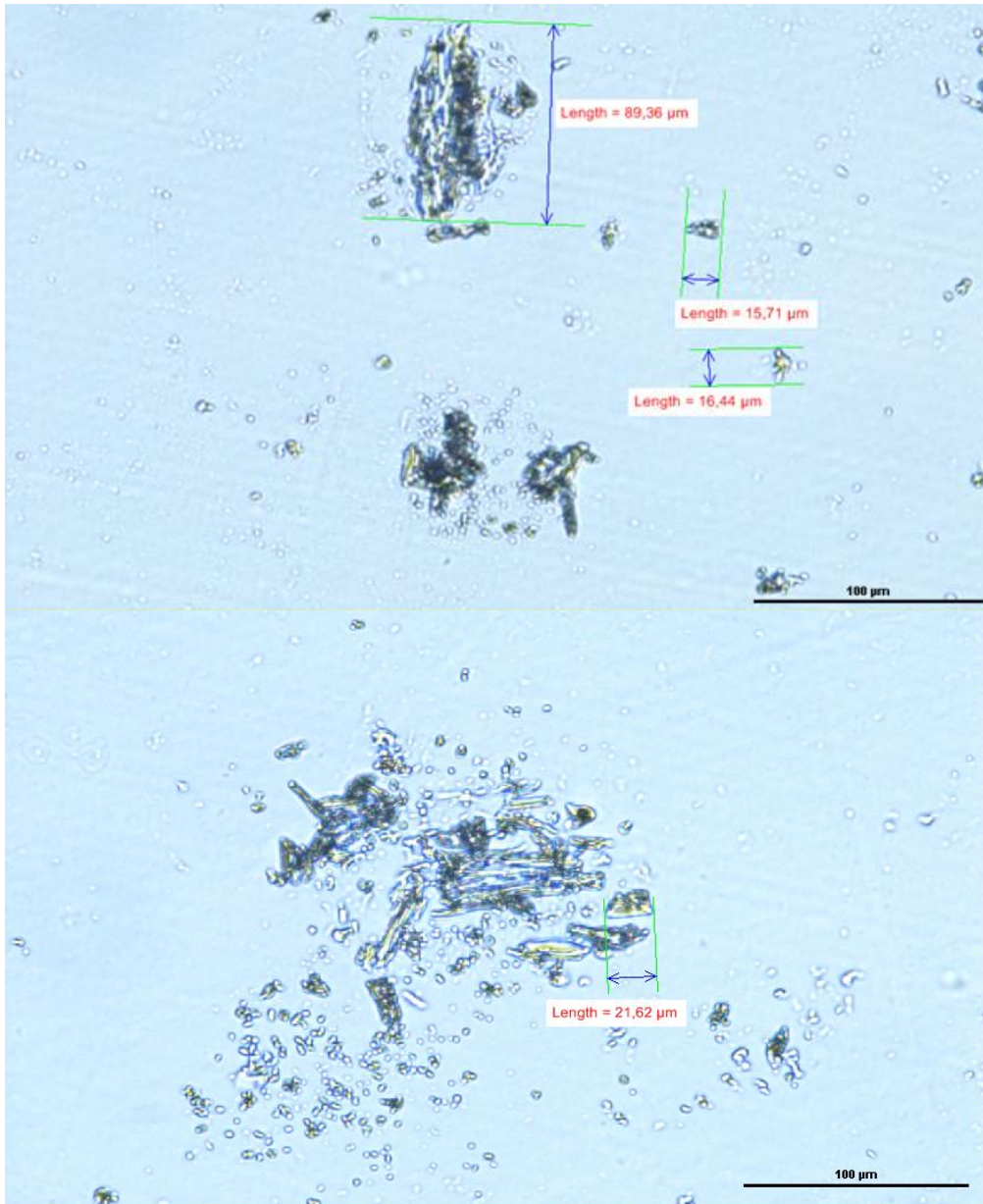


Rys. 5. Histogram ilościowych udziałów cząstek w przedziałach wymiarowych

Natomiast skład granulometryczny cząstek zanieczyszczeń w próbkach olejów po 800 i 2500 godzin pracy jest już zupełnie inny (rys. 5) – jest w nich dużo więcej zanieczyszczeń, a wśród nich rośnie udział cząstek o większych wymiarach. Tendencja taka utrzymuje się wraz ze wzrostem czasu użytkowania oleju. Dla tej ostatniej próbki udział cząstek w przedziale 2...5 μm jest ponad dwa i pół razy mniejszy niż dla olejów o przebiegu do 200 godz. pracy. Świadczy to z jednej strony o intensyfikacji procesów starzenia oleju (głównie w rezultacie utleniania bazy oleju) i dobrych właściwości dyspergujących oleju, a z drugiej o przedostawaniu się do oleju zanieczyszczeń zewnętrznych i małej skuteczności filtrów w układzie hydraulicznym.

Wśród zanieczyszczeń olejów po przebiegu 2500 godz. jest znaczna liczba cząstek mineralnych o nieregularnych kształtach, o dużych wymiarach, na których są osadzone ciemne substancje organiczne (produkty starzenia) – rys. 6.

Czystość olejów hydraulicznych określa się też kierując się wymaganiami norm NAS 1638 i PN-ISO 4406. W klasyfikacji NAS 1638 wyróżnia się 14 klas czystości, na podstawie liczby cząstek w danym zakresie średnic zawartych w 100 cm^3 oleju hydraulicznego. Im wyższy numer klasy czystości, tym większa ilość zanieczyszczeń. Z kolei wg normy PN-ISO 4406 czystość oleju hydraulicznego określa się przez liczby cząstek o wymiarach powyżej 4 μm , 6 μm i 14 μm zawartych w 1 cm^3 oleju i przyporządkowanie im odpowiedniej liczby kodowej, która może mieć wartość od 0 do 28 (im większa liczba kodowa, tym więcej cząstek zanieczyszczeń).



Rys. 6. Widok zanieczyszczeń w próbce oleju hydraulicznego po 2500 godz. użytkowania (powiększenie 20x10)

Konstruktorzy urządzeń hydraulicznych określają czystość cieczy hydraulicznej, wymaganej dla danego urządzenia. Dla typowych, średniociśnieniowych układów hydraulicznych wymagana czystość olejów hydraulicznych wynosi (wg oznaczeń kodowych):

- pompy zębate – 19/17/14,

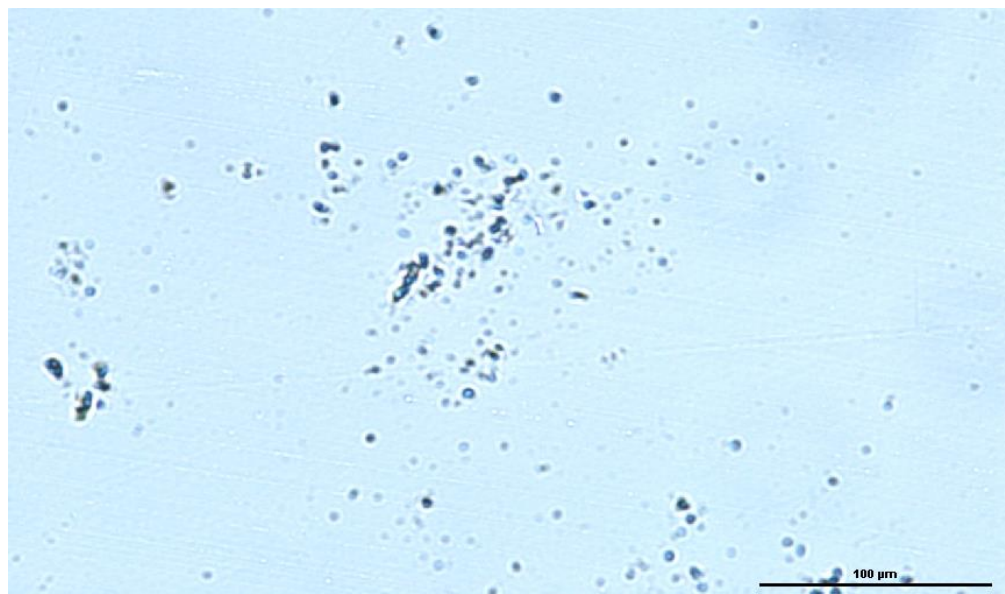
- cylindry hydrauliczne z dwustronnym tłoczyskiem, zawory redukcyjne, regulatory przepływu, rozdzielacze – 20/18/15.

W tabeli 3 zestawiono klasy czystości badanych olejów hydraulicznych i graniczny poziom zanieczyszczeń wymaganych dla badanych układów hydraulicznych. Z danych wynika, że kryterium czystości oleju hydraulicznego dla tego urządzenia spełniają próbki oleju użytkowanego do 200 godzin. Próbki po 800 i 2500 godzinach użytkowania nie spełniają kryterium czystości, głównie ze względu na zbyt dużą liczbę cząstek większych od 4 μm i 6 μm , a dla próbki po 2500 godz. także większych od 14 μm .

Tabela 3. Klasy czystości badanych próbek oleju hydraulicznego

Czas użytkowania oleju, godz.	Klasa czystości wg PN-ISO 4406		Klasa czystości wg NAS 1638	
	próbki oleju	wymagana	próbki oleju	wymagana
0	18/16/10		7	
200	19/17/12		8	
800	20/19/12	20/18/15	10	8, 9
2500	20/19/17		11	

Dobre właściwości dyspergująco-detergencyjne oleju powodują, że zanieczyszczenia organiczne (produkty utleniania oleju) są utrzymywane w stanie drobno zdyspergowanej zawiesiny (rys. 7). W rezultacie elementy układu hydraulicznego są wolne od osadów, ale zwiększa się ilość zanieczyszczeń zawieszonych w oleju. Zatem jednym z ważnych czynników wpływających na proces starzenia oleju hydraulicznego jest odpowiednio duża skuteczność jego filtracji.



Rys. 7. Widok drobno zdyspergowanych zanieczyszczeń w próbce oleju hydraulicznego (powiększenie 20x10)

5. Przydatność eksploatacyjna badanych olejów

W rezultacie procesów starzenia następuje pogorszenie właściwości oleju hydraulicznego podczas jego użytkowania. Istotnym problemem jest ustalenie, kiedy olej hydrauliczny osiąga stan graniczny i powinien być wymieniony lub poddany regeneracji. Najczęściej ustala się wartości głównych parametrów opisujących olej hydrauliczny, po których przekroczeniu osiąga on stan graniczny.

Na podstawie danych literaturowych [3,4,5,7] można przyjąć, że olej hydrauliczny osiąga stan graniczny, gdy:

- lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C zmienia się w zakresie powyżej $\pm 10\%$ w stosunku do oleju świeżego,
- wskaźnik lepkości zmniejszy się o 15% w porównaniu z wartością dla oleju świeżego,
- liczba kwasowa wzrośnie o 0,3...0,4 mg KOH/g lub osiągnie wartość większą niż 0,5 mg KOH/g,
- zawartość zanieczyszczeń:
 - przekroczy wartość 0,5 mg/100 cm³ oleju,
 - osiągnie stężenie i skład granulometryczny przekraczające wymaganą klasę czystości dla danego rodzaju układu hydraulicznego (wg normy PN-ISO 4406),
- temperatura zapłonu zmniejszy się o 30% w stosunku do oleju świeżego (jest to spowodowane przedostaniem się do oleju rozpuszczalnika),
- zawartość wody przekroczy wartość 0,1%.

Ponadto bada się zawartość w oleju hydraulicznym pierwiastków metalicznych, zawartych w produktach zużycia metalowych elementów układu hydraulicznego. Stężenie metali, a szczególnie zmiana stężenia w funkcji czasu użytkowania oleju, jest nośnikiem informacji o stanie technicznym układu i tylko pośrednio służy do oceny stanu technicznego oleju hydraulicznego.

Podane wartości graniczne są ustalane subiektywnie, trudno też jest uszeregować poszczególne parametry pod względem ważności. Wynika to z faktu, że starzenie oleju w układzie hydraulicznym jest procesem losowym, determinowanym dużą liczbą różnych czynników. Obecnie dominują dwa podstawowe systemy określania stanu technicznego olejów hydraulicznych podczas użytkowania:

- planowo-zapobiegawczy – olej wymienia się po z góry określonym przez producenta urządzenia hydraulicznego czasie użytkowania, nie badając jego właściwości,
- monitorowania – pobiera się w określonych odstępach czasu użytkowania próbki oleju, bada się wartość jego wybranych parametrów (metodami przybliżonymi – połowymi lub w warunkach laboratoryjnych) i porównuje się do subiektywnie ustalonych wartości granicznych.

Uzyskane podczas badań wyniki wskazują, że problem nie jest tak oczywisty, a wartości badanych charakterystyk nie zawsze świadczą, że olej osiągnął stan graniczny. Ustalone wcześniej kryteria stanu granicznego nie są właściwe, zwłaszcza dla olejów hydraulicznych o bardzo dobrych właściwościach funkcjonalnych, w tym lepkościowych, przeciwzużyciowych i dyspergująco-detergencyjnych, jak badany olej.

Potwierdza to zestawienie w tabeli 4, z którego wynika, że badany olej wg kryteriów literaturowych osiągnął stan graniczny po 800 godz. użytkowania, biorąc pod uwagę pięć charakterystyk oleju. Jest to dużo krótszy czas użytkowania, niż zalecany przez producenta sprzętu (3000 godz.).

Tabela 4. Przekroczenie wartości granicznych badanych parametrów oleju hydraulicznego

Lp.	Parametr	JM	Wartość graniczna wg danych literaturowych	Czas użytkowania, po którym przekroczone wartość graniczną
1.	Zmiana lepkości kinematycznej w 40°C względem oleju świeżego	%	±10	o 17% pomiędzy 200 a 800 godz.
2.	Zmiana wskaźnika lepkości	%	-15	ok. 17% po 800 godz.
3.	Liczba kwasowa	mg KOH/g	- wzrost o 0,3...0,4 - wartość większa niż 0,5	0,56 dla oleju świeżego
4.	Stężenie zanieczyszczeń	mg/100 cm ³	> 5	6,8 po 200 godz.
5.	Klasa czystości wg normy PN-ISO 4406	oznaczenie kodowe	19/17/14	20/19/12 po 800 godz.

Na tej podstawie można sformułować dwie tezy:

1. Przedstawione w literaturze parametry stanu granicznego są zbyt restrykcyjne.
2. Stosowane normy czasu użytkowania oleju hydraulicznego w systemie planowo-zapobiegawczym są zbyt długie.

Taki stan wynika z faktu, że podane w literaturze [3,4,5,7] parametry stanu granicznego dotyczą olejów hydraulicznych o średnich i dobrych właściwościach funkcjonalnych – o bazach mineralnych, o średnich właściwościach reologicznych, o dobrych właściwościach przeciwzuzyciowych i przeciwutleniających. Obecnie są stosowane oleje hydrauliczne (badany olej) o bardzo dobrych właściwościach reologicznych, przeciwzatarciowych, przeciwzuzyciowych, przeciwutleniających i dyspergująco-detergencyjnych.

Kryteria stanu granicznego dla takich olejów hydraulicznych powinny być inne. Wynikają one z właściwości tych olejów oraz z warunków pracy większości układów hydraulicznych. Zmiana właściwości olejów hydraulicznych podczas użytkowania jest determinowana przez utlenianie, działanie naprężeń ścinających i zanieczyszczenia stałe. Rezultatem tego jest zmniejszanie lepkości, wzrost liczby kwasowej i wzrost ilości zanieczyszczeń stałych, głównie organicznych o bardzo dużym stopniu dyspersji. Największym zagrożeniem dla prawidłowego funkcjonowania, trwałości i niezawodności układów hydraulicznych staje się obecność w nim zanieczyszczeń. Pogorszenie innych właściwości, w tym lepkości, wskaźnika lepkości i wzrost liczby kwasowej nie stwarza większych zagrożeń.

6. Wnioski

1. W średnio-wysilonych układach hydraulicznych dominującymi procesami starzenia się oleju hydraulicznego podczas użytkowania jest utlenianie, pogorszenie się właściwości reologicznych w rezultacie ścinania dodatków lepkościowych i gromadzenie się zanieczyszczeń stałych.
2. Podawane w literaturze i przez producentów olejów hydraulicznych kryteria stanu granicznego dotyczą olejów hydraulicznych niższych klas jakości, wydają się zbyt restrykcyjne i nieadekwatne dla olejów wyższych klas jakościowych.
3. Decydującym parametrem stanu granicznego oleju hydraulicznego jest jego klasa czystości (stężenie i skład granulometryczny zanieczyszczeń stałych).

4. Na podstawie szerszych i dokładnych badań należałoby ustalić nowe wartości stanu granicznego dla olejów hydraulicznych najwyższych klas jakościowych, o bardzo dobrych właściwościach reologicznych, przeciwzatarciowych, przeciwutleniających i dyspergująco-detergencyjnych.

Literatura

- [1] Livingstone G, Cavanaugh G. The real reasons why hydraulic fluids fail and strategies to stop problems before they start. Tribology and Lubrication Technology. July 2015, pp. 44-51. ISSN 1545-858X.
- [2] Philips W D, Staniewski J W G. The origin, measurement and control of fine particles in non-aqueous hydraulic fluids and their effect on fluid and system performance. Lubrication Science, January 2016, Vol. 28, pp. 43-64. ISSN 0954-0075.
- [3] Rensselaar J. Hydraulic fluid efficiency in construction equipment. Tribology and Lubrication Technology, June 2015, pp. 59-66. ISSN 1545-858X.
- [4] Ciecze do układów hydraulicznych (cz. 2). Paliwa, oleje i smary w eksploatacji, 1998, nr 51, s. 24-27. ISSN 1230-2627.
- [5] Przemysłowe środki smarne. Poradnik. Warszawa: Total Polska Sp. z o.o., 2003. 304 strony.
- [6] PN-EN ISO 6743-4:2015-09 Środki smarowe, oleje przemysłowe i produkty podobne (klasa L). Klasyfikacja Cz. 4: Grupa H (Układy hydrauliczne). Warszawa: 2015.
- [7] Dykiel S. Oleje hydrauliczne – obsługa układów hydraulicznych [online]. Gliwice: Fuchs Oil Corporation (PL) Sp. z o.o. 2005 [cited 2016 Jun 20]. Available from: http://www.fuchs-oil.pl/fileadmin/fuchs/pdf/Oleje_hydrauliczne.pdf