

Adam Koniuszy, Roman Nadolny *

DIAGNOZOWANIE STANU OLEJU NA PODSTAWIE POMIARU CIŚNIENIA W UKŁADZIE SMAROWANIA SILNIKA

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę diagnozowania stanu oleju silnikowego na podstawie pomiaru ciśnienia w głównej magistrali olejowej silnika. Przyjęto, że głównym kryterium decydującym o wymianie środka smarnego jest lepkość dynamiczna. Wyznaczono graniczne lepkości, przy których dalsza eksploatacja silnika grozi nadmiernym zużyciem elementów współpracujących. Zaproponowano pośredni układ ciągłego monitoringu oleju w grupie pojazdów i maszyn pracujących w rolnictwie.

Słowa kluczowe: metoda diagnozowania silników, ciśnienie oleju, monitoring

WSTĘP

Stan oleju silnikowego można oceniać stosując różne metody badawcze. Najczęściej, dysponując odpowiednimi technikami pomiarowymi, określone są takie parametry jak: lepkość i wskaźnik lepkości, właściwości smarne, liczba kwasowa lub zasadowa, zawartość zanieczyszczeń. Wymienione parametry są istotnym źródłem informacji o stanie samego oleju jak i stanie technicznym silnika, w którym go zastosowano. Poprzez stałe lub okresowe badanie oleju, tzw. monitoring, można określić stan zużycia poszczególnych elementów silnika. Jednak przy założeniu, że eksploatowany obiekt jest technicznie sprawny, badanie oleju ma na celu jedynie określenie stanu jego dalszej przydatności. W większości przypadków silników pojazdów samochodowych przydatność oleju smarnego określona jest odgórnie, poprzez wyznaczenie okresu jego użytkowania w godzinach pracy lub przejechanych przez pojazd kilometrach.

Użytkowanie silników spalinowych w innych niż przeciętne warunkach eksploatacji wymaga podjęcia dodatkowych czynności związanych z okresową lub ciągłą kontrolą stanu oleju. W przypadku eksploatacji maszyn i pojazdów rolniczych, charakteryzujących się: sezonowością pracy, długotrwałymi przestojami w okresach międzykampanijnych oraz zróżnicowanymi warunkami środowiskowymi, „diagnostyka” stanu oleju silnikowego nabiera istotnego znaczenia. Podjęcie właściwej decyzji o terminie wymiany lub doborze środka smarnego, popartej przeprowadzoną diagnostyką stanu, może przyczynić

* Dr inż. Adam Koniuszy, Roman Nadolny, Instytut Inżynierii Rolniczej Akademii Rolniczej w Szczecinie

się do znacznych oszczędności w skali przedsiębiorstwa lub gospodarstwa oraz zapobiec awariom i przedwczesnemu zużyciu silnika.

ZAŁOŻENIA I METODY BADAŃ

W wyniku eksploatacji silnika dochodzi do szeregu przemian fizykochemicznych, które zazwyczaj powodują pogorszenie pierwotnych właściwości użytkowych oleju silnikowego. Lepkość oleju, jako najważniejsza cecha użytkowa, podlega zarazem najbardziej złożonym wpływom eksploatacyjnym. Prowadzone na ten temat prace badawcze udowodniły, że lepkość dynamiczna η oleju w miarę upływu czasu eksploatacji może wzrosnąć, zmaleć lub w szczególnym przypadku wykazać wartość zbliżoną do oleju świeżego [4].

Wraz ze zmianą lepkości dynamicznej η oleju występują również wahania ciśnienia p w układzie smarowania silnika, które mogą być częściowo stabilizowane poprzez działanie zaworów redukcyjnych. Zmiany ciśnienia p oleju są wartością odwrotnie proporcjonalną do wartości wycieków q oleju ze smarowanych ciśnieniowo węzłów kinematycznych silnika (1).

$$p = \frac{c_1}{q} \quad (1)$$

gdzie:

- p – ciśnienie oleju w układzie smarowania,
- q – przecieki oleju w układach smarowanych ciśnieniowo,
- c_1 – współczynnik proporcjonalności ciśnienia.

Natomiast wartość przecieków q oleju jest wprost proporcjonalna do geometrii szczeliny Φ smarowanego ciśnieniowo węzła, chwilowej różnicy ciśnień Δp przed i za szczeliną oraz odwrotnie proporcjonalna do lepkości dynamicznej η czynnika smarnego, zgodnie z zależnością (2).

$$q = \frac{\Phi \cdot \Delta p}{\eta} \quad (2)$$

gdzie:

- Φ - współczynnik określający wielkości geometryczne szczeliny,
- Δp – różnica ciśnień przed i za szczeliną,
- η - lepkość dynamiczna oleju.

Przyjmując założenie, że zarówno wielkości geometryczne szczeliny Φ jak i chwilowa różnica ciśnień Δp są wartościami stałymi (w okresie jednej wymiany oleju stan techniczny silnika nie ulega istotnym zmianom), można stwierdzić, że przecieki q oleju zależą tylko od jego lepkości dynamicznej η (3).

$$q = \frac{c_2}{\eta} \quad (3)$$

gdzie:

c_2 – współczynnik proporcjonalności przecieków.

Uwzględniając zatem równania (1) i (3) oraz wcześniej przyjęte założenia o zmienności geometrii szczeliny Φ można stwierdzić, że ciśnienie p w układzie smarowania jest wprost proporcjonalne do lepkości dynamicznej η czynnika smarnego (4).

$$p = \frac{c_1 \cdot \eta}{c_2} \quad (4)$$

Jak wynika z zależności (4) wzrost lepkości dynamicznej η oleju przyczynia się do wzrostu ciśnienia p w układzie smarowania. Jest to zjawisko korzystne z punktu widzenia mechanizmu powstawania klina smarnego. Jednak znaczny spadek lepkości dynamicznej η oleju spowodowany na przykład nadmiernym wzrostem temperatury t oleju lub przedostawaniem się paliwa lub płynu z układu chłodzenia do miski olejowej, może spowodować niekorzystne warunki współpracy węzła związane z wystąpieniem tarcia granicznego w strefie kontaktu smarowanych elementów.

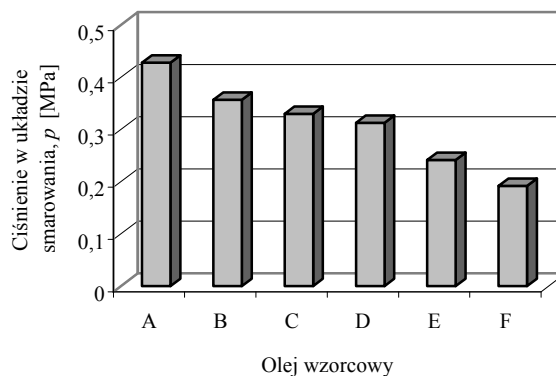
Aby przekonać się o słuszności powyższych założeń przeprowadzono badania na rzeczywistym obiekcie. Obiektem badań był ciągnik rolniczy Ursus C – 360 wyposażony w silnik S – 4002. Po przeprowadzeniu diagnostyki silnika stwierdzono, że znajduje się on w zadowalającym stanie technicznym, pozwalającym na wykonanie zaplanowanych pomiarów. Układ smarowania silnika został opróżniony, przepłukany olejem maszynowym i napełniony kolejno olejami wzorcowymi. W tym celu sporządzono mieszaniny smarne o różnych, znanych lepkościach dynamicznych η symulując w ten sposób zmiany zachodzące podczas eksploatacji. Mieszaniny smarne, nazwane umownie olejami: A, B, C, D, E, F, uzyskano poprzez połączenie ze sobą w odpowiednich proporcjach oleju napędowego oraz mineralnego oleju bazowego Lotos o klasie lepkości 15W/40 (tab. 1).

Table 1. Percentage of contents x and dynamic viscosity η of sample oils used in testes

Olej wzorcowy	Procentowy udział paliwa w oleju, x [%]	Lepkość dynamiczna w temp. 20 °C, η [mPas]
A	0	382,33
B	5	195,40
C	10	164,44
D	15	130,95
E	20	113,35
F	25	105,69

Metodyka pomiarów polegała na utrzymywaniu stałych prędkości obrotowych silnika n , stałej dla danej serii pomiarów temperatury t w misce olejowej oraz pomiarze ciśnienia p w głównej magistrali olejowej silnika. Badania wykonywano zmieniając kolejno oleje wzorcowe w układzie smarowania. Ze względu na dużą bezwładność cieplną układu smarowania badanego silnika w misce olejowej, zastosowano dodatkowo grzałkę elektryczną z termostatem umożliwiającą uzyskanie i utrzymanie właściwej temperatury pomiaru [2, 3].

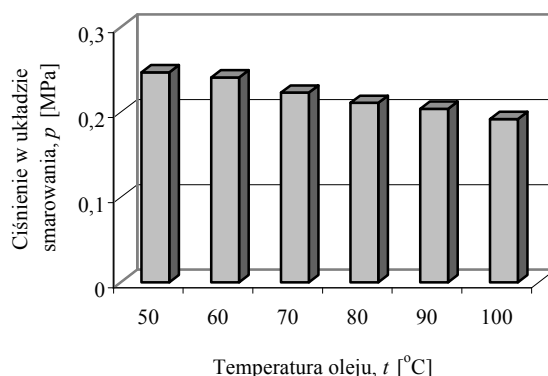
Przeprowadzone pomiary pozwoliły na sprządzenie charakterystyk z przebiegu zmian ciśnienia oleju p w funkcji temperatury t oraz lepkości η zastosowanego oleju. Zgodnie z oczekiwaniami przebieg ciśnienia p w układzie smarowania w temperaturze t wynoszącej 100 °C przy stałych prędkościach obrotowych n silnika (500 obr/min), jest zależny od rodzaju zastosowanego oleju wzorcowego (rys. 1).



Rys. 1. Zależność ciśnienia p w układzie smarowania silnika od rodzaju oleju wzorcowego w temperaturze t wynoszącej 100 °C

Fig. 1. Dependency of pressure p in the lubrication system of an engine on sample oil kind in temperature t of 100 °C

Założone parametry pracy silnika, tj. temperatura t równa 100 °C oraz prędkość obrotową biegu jałowego n równe 500 obr/min, są najbardziej niekorzystnymi warunkami współpracy jakie mogą zachodzić podczas eksploatacji. Poddając silnik tak symulowanym wymuszeniom uzyskano ciśnienia p w układzie smarowania od 0,192 MPa dla oleju F do 0,428 MPa dla oleju A. W przypadku oleju F w wyżej opisanych warunkach współpracy nastąpiło przekroczenie wartości granicznej ciśnienia p , która dla silnika S – 4002 wynosi 0,2 MPa. Zmiany ciśnienia p w układzie smarowania w zależności od temperatury t dla oleju F przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Zależność ciśnienia p w układzie smarowania silnika od temperatury t dla oleju wzorcowego F

Fig. 2. Dependency of pressure p in the lubrication system of an engine on temperature t for sample oil F

Z rys. 2 wynika, że spadek temperatury t oleju F od 100 °C do 90 °C powoduje wzrost ciśnienia p do dopuszczalnej wartości 0,204 MPa.

Zmniejszenie lepkości dynamicznej η oleju o 40 % lub jej wzrost o 20 % jest orientacyjnym wskaźnikiem pomocnym przy podejmowaniu decyzji o wymianie środka smarnego [1]. W przypadku prowadzonych badań, 40 % zmniejszenie lepkości dynamicznej η wystąpiło już przy stosowaniu oleju C, w porównaniu z olejem A (największa lepkość) w temperaturze t równej 100 °C. Jednak analiza rys. 1 wskazuje, że przy stosowaniu oleju C ciśnienie p w układzie smarowania jest nadal utrzymywane na dopuszczalnym poziomie. Świadczy to niewątpliwie o poprawnej konstrukcji ciśnieniowej części układu smarowania badanego silnika. Należy jednak zadać pytanie: czy smarowane hydrodynamicznie węzły ruchowe silnika bez doprowadzenia oleju pod ciśnieniem z układu smarowania są wystarczająco dobrze zabezpieczone przed zużyciem przy spadku lepkości η poniżej przytoczonych 40 %? Odpowiedź można uzyskać dopiero po przeprowadzeniu testów smarnościowych i określeniu zdolności danego środka smarnego do tworzenia przeciwwzartarciowych warstw granicznych, co jest przedmiotem dalszych badań realizowanych w ramach podjętego tematu.

PODSUMOWANIE

Wykonane badania potwierdziły słuszność przyjętych założeń oraz uzasadniły, że pomiar ciśnienia w układzie smarowania silnika może być jednym z ważniejszych kryteriów decydujących o wymianie środka smarnego. W grupie pojazdów i maszyn użytkowanych w rolnictwie jest uzasadnione prowadzenie ciągłego, pośredniego monitoringu opartego na kontroli ciśnienia oleju w układzie smarowania silnika. Stosowanie standardowych wskaźników, takich jak lampka sygnalizacyjna układu smarowania niejednokrotnie jest niezauważalne przez operatora, który podczas obserwacji np. narzędzi roboczych agregatu nie jest w stanie kontrolować wszystkich wskazań przyrządów. Zastosowanie dodatkowego sygnalizatora, np. dźwiękowego wraz z odpowiednio wyskalowanym wskaźnikiem ciśnienia oleju w układzie smarowania może przyczynić się do uniknięcia usterek silnika wywołanych niesprawnością układu smarowania i stanem samego oleju.

PIŚMIENNICTWO

1. **Baczewski K.**, 1994: Tribologia i płyny eksploatacyjne. Część II. Płyny eksploatacyjne. WAT Warszawa.
2. **Koniuszy A.**, 2002: Wpływ przecieków biopaliwa RME na wybrane właściwości użytkowe oleju silnikowego w maszynach samobieżnych i pojazdach rolniczych. Praca doktorska niepublikowana. AR Lublin.
3. **Potrykus I.**, 2003: Wpływ lepkości dynamicznej oleju silnikowego na ciśnienie w układzie smarowania silnika S – 4002. Praca magisterska niepublikowana. AR Szczecin.
4. **Zwierzycki W.**, 1996: Oleje smarowe. Dobór i użytkowanie. Rafineria Nafty Glimar.

THE STATE OF OIL DIAGNOSING BASED ON PRESSURE MEASUREMENT IN THE LUBRICATION SYSTEM OF AN ENGINE

Summary. The method of diagnosing of the state of engine oil based on the pressure measurement in the main oil conduit of the engine was presented in the article. It was assumed that the main criteria deciding about lubricating agent exchange is its dynamic viscosity. Limiting viscosities, at which further exploitation of engine threatens with excessive consumption of co-operating elements were determined. An indirect system of continuous monitoring of oil in the group of vehicles and machines working in the agricultural industry was offered.

Keywords: engine diagnosis method, oil pressure, monitoring.

Recenzent: Prof. dr hab. Eugeniusz Krasowski