

# BADANIA SMARNOŚCI WYBRANYCH PALIW ZASTĘPCZYCH STOSOWANYCH W TRANSPORCIE SAMOCHODOWYM

Hubert KUSZEWSKI, Artur JAWORSKI, Adam USTRZYCKI<sup>1</sup>

W artykule przedstawiono wyniki badań smarności wybranych paliw zastępczych. Do badań wykorzystano aparat czterokulowy z możliwością zadawania ciągłego narastania obciążenia. Jako kryterium oceny smarności przyjęto wartość siły obciążenia zacierającego. W czasie badań, rejestracji podlegał moment tarcia, siła obciążająca węzeł tarcia oraz współczynnik tarcia. Pomiary prowadzono w ustabilizowanej temperaturze początkowej próbek paliwa.

## 1. WSTĘP

Z uwagi na rosnące zapotrzebowanie na paliwa będące wynikiem przeróbki ropy naftowej i jednocześnie obserwowanym kurczeniem się takich zasobów energii, poszukuje się coraz to nowych ich źródeł. W zastosowaniach do zasilania spalinowych napędów środków transportu, ale nie tylko, coraz większą uwagę badacze skupiają na możliwościach zastosowania paliw niekonwencjonalnych [2,3,5].

Ogólnie, za paliwa takie uznaje się te paliwa, które pochodzą ze źródeł innych niż przeróbka ropy naftowej. Intensywny rozwój silników wysokoprężnych, które dominują w pojazdach samochodowych wykorzystywanych w transporcie samochodowym, determinuje natomiast poszukiwanie substytutów olejów napędowych (ON). Właściwości paliw alternatywnych przeznaczonych do silników o zapłonie samoczynnym są zbliżone lub różne od właściwości powszechnie stosowanych ON.

Paliwa niekonwencjonalne do silników wysokoprężnych można podzielić na gazowe i ciekłe. Do pierwszej grupy można zaliczyć: gaz ziemny, biogaz, gaz świetlny, wodór i mieszaninę propanu i butanu. Do paliw niekonwencjonalnych ciekłych zalicza się głównie:

- metanol,
- etanol,
- eter dimetylowy,
- oleje roślinne,
- estry wyższych kwasów tłuszczowych (FAME).

Wyszczególnione paliwa ciekłe mogą być wprawdzie stosowane jako paliwa samodzielne, ale z uwagi na konieczność dość złożonych modyfikacji konstrukcji silników – przystosowanych pierwotnie do zasilania ON, często bierze się pod uwagę mieszaniny paliwa konwencjonalnego (oleju napędowego lub rzadziej benzyny silnikowej) z paliwami pochodzenia roślinnego, np. olejem roślinnym, estrami czy alkoholem, co zwykle wymaga znacznie mniejszej ingerencji w konstrukcję silnika, w szczególności w jego układ zasilania.

Jednym z istotnych zagadnień przy analizowaniu trwałości elementów silnika zasilanego tymi paliwami, które pierwotnie nie były uwzględniane przy optymalizacji skojarzeń trących w aparaturze wtryskowej, jest smarność. Smarność to zespół cech substancji smarującej, które charakteryzują jej zachowanie w warunkach tarcia granicznego w danym węźle tribologicznym [1].

Smarowanie hydrodynamiczne zapewniające najlepszą ochronę przed zużyciem węzłów tribologicznych determinowane jest, jak wiadomo, lepkością cieczy smarnej. W rzeczywistych warunkach pracy zespołów układów zasilania silników wysokoprężnych,

---

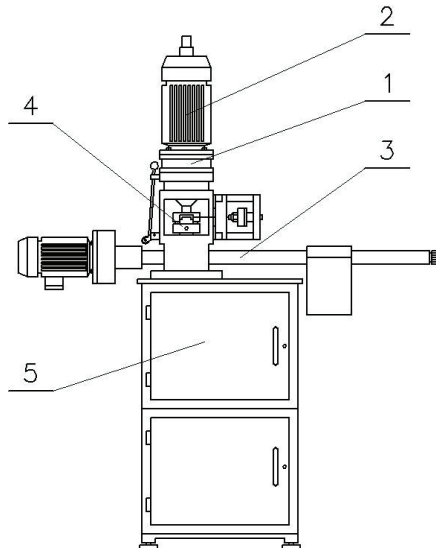
<sup>1</sup> Dr inż. Hubert Kuszeowski, dr inż. Artur Jaworski, dr inż. Adam Ustrzycki; Politechnika Rzeszowska, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych

lepkość paliwa może być jednak za niska, a zatem mogą nie wystąpić warunki smarowania hydrodynamicznego [1]. W takim przypadku występuje smarowanie graniczne. Wówczas, o parametrach zużycia decyduje smarność paliwa, czyli zdolność do utworzenia na powierzchniach trących trwałej warstwy granicznej. Smarność paliwa zależna jest m.in. od jego właściwości adsorpcyjnych, czyli obecności w paliwie substancji o charakterze polarnym, np. siarki i jej związków. Z uwagi na znacznie większą zawartość wody oraz brak związków siarki w niektórych paliwach alternatywnych, komponowanie paliw, stanowiących mieszaniny ON z olejami roślinnymi, estrami i alkoholami, zmienia właściwości smarujące takich kompozycji w stosunku do paliw konwencjonalnych.

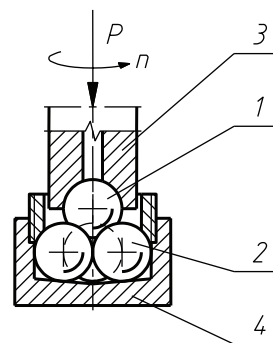
Szczególne znaczenia nabiera zatem, poznanie właściwości smarnych paliw zastępczych rozumianych jako paliwa samodzielne oraz ich mieszaniny z paliwami konwencjonalnymi. W niniejszym artykule dokonano oceny smarności niektórych paliw zastępczych stosowanych do zasilania silników wysokoprężnych. Dla porównania oceniono też smarność oleju napędowego bez biokomponentów. Oceny smarności dokonano na podstawie wyznaczonego obciążenia zacierającego. Pomiary wykonano przy wykorzystaniu aparatu czterokulowego z możliwością zadawania ciągłego narastania obciążenia węzła tarcia.

## 2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

Do badań wykorzystano aparat czterokulowy T-02U, który zasadniczo składa się z maszyny badawczej oraz systemu pomiarowo-sterującego. Część mechaniczna aparatu (maszyna badawcza) zbudowana jest z korpusu, zespołu napędowego, zespołu obciążającego węzeł tarcia, zespołu mocującego kulki oraz podstawy – rys.1. Węzeł tarcia (rys. 2) stanowią trzy unieruchomione w uchwycie kulki dolne dociskane z odpowiednią siłą do kulki górnej zamocowanej we wrzecionie obracającym się z określoną prędkością.



Rys. 1. Aparat czterokulowy T-02U [6], 1-korpus, 2-zespół napędowy, 3-zespół obciążający węzeł tarcia, 4-zespół mocujący kulki, 5-podstawa



Rys. 2. Węzeł tarcia aparatu czterokulowego [6], 1-kulka górna, 2-kulki dolne, 3-uchwyt kulki, 4-gniazdo kulek

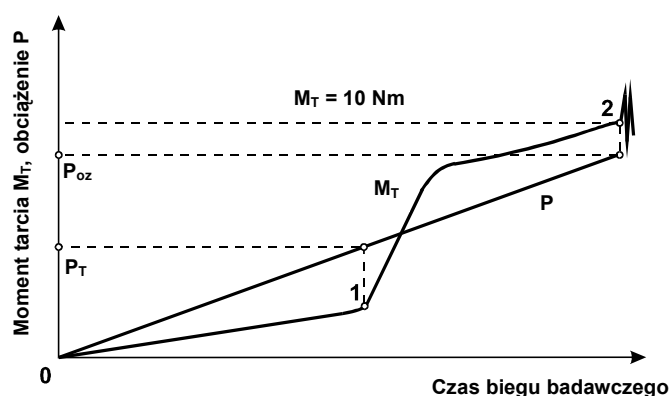
Elementami testowymi są znormalizowane kulki łożyskowe o średnicy nominalnej 1/2" wykonane ze stali łożyskowej ŁH15. Ich twardość wynosi 60÷65 HRC. Układ mechaniczny umożliwi liniowy wzrost obciążenia węzła tarcia podczas trwania biegu badawczego. Sterowanie urządzeniem odbywa się za pomocą dedykowanego sterownika

mikroprocesorowego, sterownika silników asynchronicznych oraz komputera ze specjalnym programem sterującym.

Badania były prowadzone w warunkach ciągłego narastania obciążenia. Prędkość obrotowa wrzeciona w czasie biegu badawczego wynosiła 500 obr/min, natomiast prędkość narastania obciążenia wynosiła 409 N/s. Temperatura początkowa próbki paliwa, tj. na początku biegu badawczego, wynosiła  $28 \pm 0,5$  °C. W przyjętej metodzie badań, zatarciem wężła tarcia nazywa się przekroczenie granicznej wartości momentu tarcia  $M_T$ , która wynosi 10 Nm. Wartość ta determinowana jest trwałością uchwytu górnej kulki w węźle tarcia. Podczas badań, rejestracji podlegał przebieg momentu tarcia  $M_T$  oraz przebieg narastającego liniowo obciążenia wężła tarcia P.

Na rys. 3 przedstawiono sposób wyznaczania obciążenia zacierającego oraz granicznego obciążenia zatarcia. Obciążenie P w punkcie 1, w którym wartość momentu tarcia zaczyna gwałtownie przyrastać nazwane jest obciążeniem zacierającym i oznaczone zostało jako  $P_T$ . Punkt 2 odpowiada zatarciu wężła – w tym punkcie następuje przekroczenie granicznej wartości momentu tarcia  $M_T = 10$  Nm. Obciążenie P odpowiadające punktowi 2 nazywane jest granicznym obciążeniem zatarcia  $P_{oz}$ . Przedstawiona metoda została opracowana przez Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu i jest stosowana przy ocenie właściwości smarujących olejów smarowych [4].

Za paliwo odznaczające się najlepszymi właściwościami smarującymi uznano paliwo, dla którego warstwa graniczna wykazuje największą odporność na przerwanie, tj. takie, dla którego wartość obciążenia zacierającego ma największą wartość. Badania porównawcze tego typu są możliwe jedynie w warunkach ciągłego narastania obciążenia wężła tarcia.



Rys. 3. Sposób wyznaczania obciążenia zacierającego  $P_T$  oraz granicznego obciążenia zatarcia  $P_{oz}$  [4]: 1-punkt odpowiadający inicjacji zacierania, 2-punkt odpowiadający zatarciu

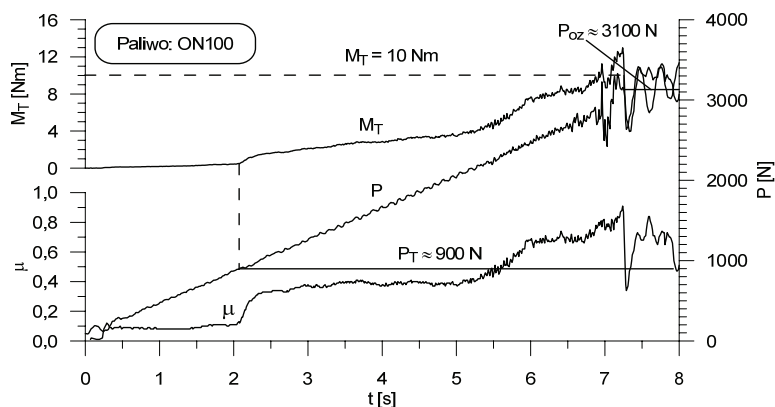
Badania smarności przeprowadzono dla wybranych paliw zastępczych (biopaliw), ON oraz mieszanin ON z biopaliwami. Wykaz paliw wykorzystanych w badaniach wraz z ich oznaczeniami zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Paliwa wykorzystane podczas badań smarności

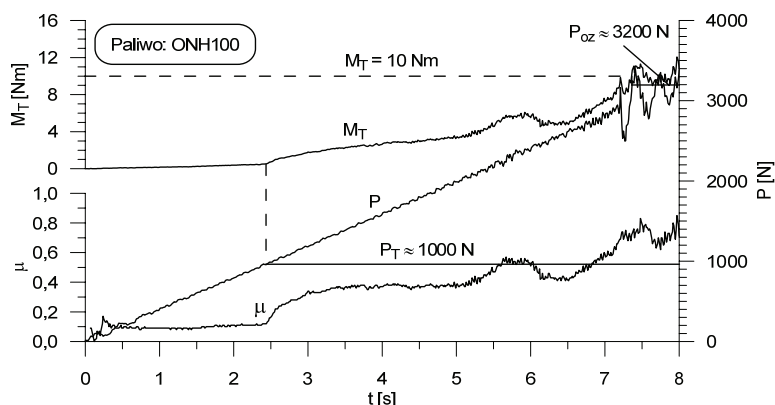
Oznaczenie paliwa	Udział [% obj.]			
	Olej napędowy bez biododatków	Olej napędowy – gatunek F, zawierający do 5% FAME	Estry metylowe oleju rzepakowego - FAME	Rafinowany olej rzepakowy
	ON100	ONH100	B100	OR100
ON100	100	-	-	-
ONH100	-	100	-	-
B100	-	-	100	-
OR100	-	-	-	100
OR20	-	80	-	20
B20	80	-	20	-

### 3. WYNIKI BADAŃ

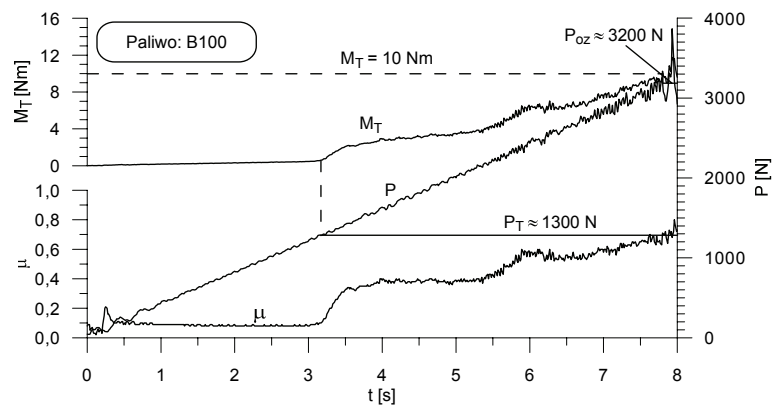
Na kolejnych rysunkach od 4 do 9 przedstawiono zarejestrowane w czasie biegów badawczych przebiegi momentu tarcia, siły obciążającej węzeł tarcia oraz dodatkowo przebiegi współczynnika tarcia. Na rysunkach oznaczono wartość siły obciążenia zacierającego, która w przyjętej metodyce badań stanowi kryterium oceny smerności paliw. Wyznaczono także wartość siły obciążenia zatarcia.



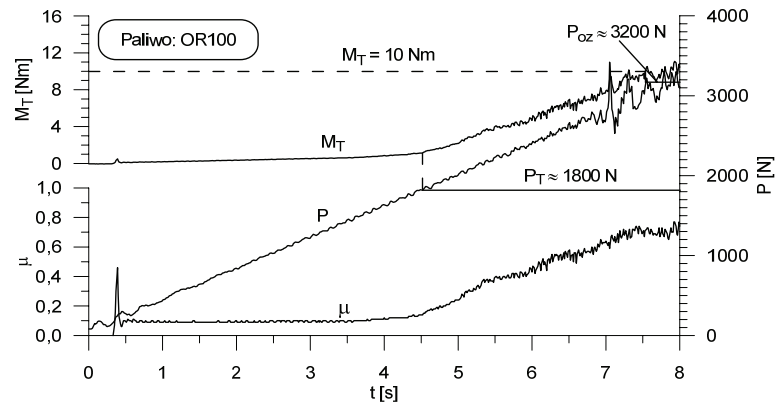
Rys. 4. Przebieg siły obciążenia węzła tarcia  $P$ , momentu tarcia  $M_T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w funkcji czasu biegu badawczego  $t$  dla paliwa ON100:  $P_T$ -siła obciążenia zacierającego,  $P_{oz}$ -siła obciążenia zatarcia



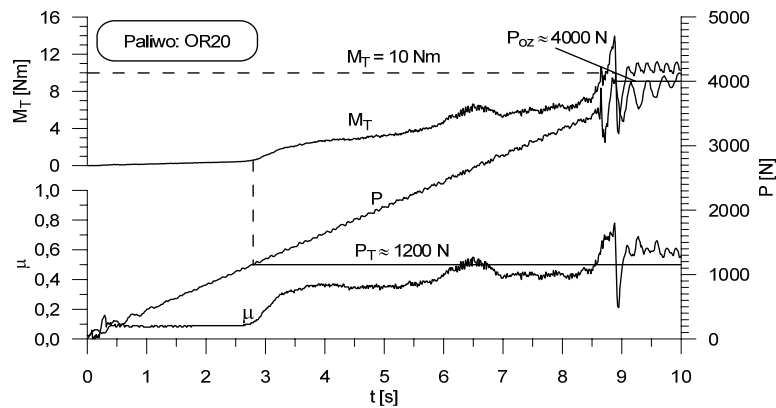
Rys. 5. Przebieg siły obciążenia węzła tarcia  $P$ , momentu tarcia  $M_T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w funkcji czasu biegu badawczego  $t$  dla paliwa ONH100:  $P_T$ -siła obciążenia zacierającego,  $P_{oz}$ -siła obciążenia zatarcia



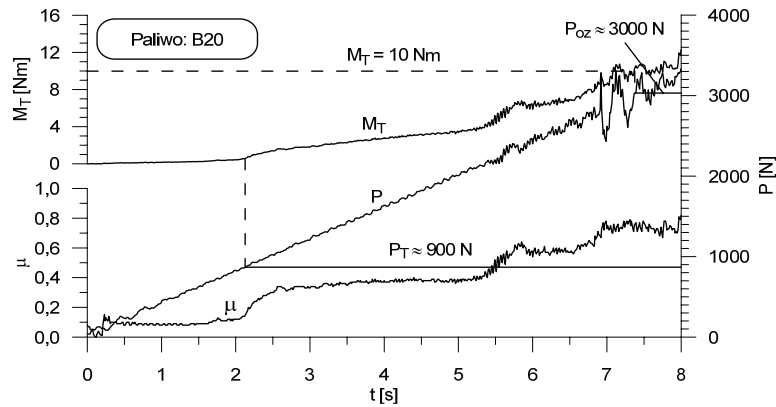
Rys. 6. Przebieg siły obciążenia węzła tarcia  $P$ , momentu tarcia  $M_T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w funkcji czasu biegu badawczego  $t$  dla paliwa B100:  $P_T$ -siła obciążenia zacierającego,  $P_{oz}$ -siła obciążenia zatarcia



Rys. 7. Przebieg siły obciążenia węzła tarcia  $P$ , momentu tarcia  $M_T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w funkcji czasu biegu badawczego  $t$  dla paliwa OR100:  $P_T$ -siła obciążenia zacierającego,  $P_{oz}$ -siła obciążenia zatarcia



Rys. 8. Przebieg siły obciążenia węzła tarcia  $P$ , momentu tarcia  $M_T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w funkcji czasu biegu badawczego  $t$  dla paliwa OR20:  $P_T$ -siła obciążenia zacierającego,  $P_{oz}$ -siła obciążenia zatarcia



Rys. 9. Przebieg siły obciążenia węzła tarcia  $P$ , momentu tarcia  $M_T$  i współczynnika tarcia  $\mu$  w funkcji czasu biegu badawczego  $t$  dla paliwa B20:  $P_T$ -siła obciążenia zacierającego,  $P_{oz}$ -siła obciążenia zatarcia

Z zaprezentowanych wyników widać, że trwałość granicznej warstwy smarowej w przypadku paliw ON100, ONH100, a także B20 jest zbliżona. Zarejestrowane dla tych paliw obciążenie zacierające  $P_T$  wynosi odpowiednio około 900, 1000 i 900 N. Najlepsze właściwości smarujące wykazał olej rzepakowy – OR100, dla którego obciążenie zacierające wyniosło ok. 1800 N. Dla estrów metylowych oleju rzepakowego – B100 odnotowano obciążenie zacierające na poziomie 1300 N. Mieszanka oleju rzepakowego i handlowego oleju napędowego – paliwo OR20, wykazało pośrednie właściwości smarujące pomiędzy

paliwem OR100 i paliwem ONH100. W tym przypadku obciążenie zacierające wyniosło  $P_T = 1200 \text{ N}$ .

#### 4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Jednym z kryteriów oceny smarności paliw może być trwałość smarowej warstwy granicznej. Z kolei trwałość takiej warstwy jest tym mniejsza, im mniejsza jest wartość siły obciążenia zacierającego. Zależności te można wykorzystać do porównania właściwości smarnych różnych paliw. W badaniach tego typu pomocny jest aparat czterokulowy, w którym możliwe jest zadawanie ciągłego wzrostu obciążenia węzła tarcia.

Przeprowadzone badania porównawcze smarności wybranych paliw wykazały, że paliwa pochodzenia roślinnego odznaczają się lepszą zdolnością do tworzenia trwałej smarowej warstwy granicznej w obrębie testowego węzła tarcia, co po części wynika z ich większej lepkości. Pełny obraz właściwości smarujących paliw zastępczych, komponowanych na bazie olejów roślinnych i ich estrów oraz paliw konwencjonalnych, będzie jednak możliwy po przeprowadzeniu kolejnych testów, przy uwzględnieniu różnych temperatur początkowych próbek paliw. Wraz z oznaczeniem lepkości, będzie to stanowić kolejny etap badań.

#### LITERATURA

- [1] Baczewski K., Kałdoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKiŁ, Warszawa 2004.
- [2] Kuszewski H., Lejda K.: Wybrane aspekty zasilania silników wysokoprężnych biopaliwami. VII Słupskie Forum Motoryzacji nt. Współczesne technologie w motoryzacji a bezpieczeństwo ruchu drogowego. Słupsk 2004.
- [3] Oleksiak St., Stępień Z.: Zagadnienia smarności ciekłych paliw silnikowych. Czasopismo Techniczne – z.7. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.
- [4] Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne – zacieranie. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2000.
- [5] Szczypiński-Sala W., Strzępek P.: Właściwości smarne wybranych kompozycji biopaliw do silników o zapłonie samoczynnym. Czasopismo Techniczne – z.8. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.
- [6] T-02U. Aparat czterokulowy – instrukcja obsługi. Wydawnictwo Instytutu Technologii Eksploatacji. Radom 2011.

### LUBRICITY TESTS OF SELECTED ALTERNATIVE FUELS USED IN MOTOR TRANSPORT

The article presents the lubricity tests results of the selected alternative fuels. For the study four-ball testing machine with the possibility of setting the continuous increasing of load was used. As a criteria of lubricity evaluation was a value of scuffing load force. During the tests friction torque, the force loading a kinematic pair and friction factor were recorded. Measurements were carried out in a stable temperature of fuel samples.