

Piotr Ignaciuk*, Leszek Gil**, Henryk Komsta*

PORÓWNANIE OSIĄGÓW SILNIKA O ZAPŁONIE SAMOCZYNNYM ZASILANEGO OLEJEM NAPĘDOWYM I BIOPALIWAMI OPARTYMI NA ESTRACH OLEJU RZEPAKOWEGO I ESTRACH OLEJU LNIANKI

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań stanowiskowych parametrów silnika o zapłonie samoczynnym zasilanego klasycznym olejem napędowym oraz estrami metylowymi oleju rzepakowego i oleju lnianki siewnej. Dokonano porównawczej oceny przydatności badanych biopaliw do zastosowań eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: biopaliwo, lnianka siewna, silnik o zapłonie samoczynnym, estry metylowe olejów roślinnych

WSTĘP

Ograniczenia emisji dwutlenku węgla zawierającego węgiel kopalny wymuszają zwiększanie udziału biokomponentów w paliwach. W Unii Europejskiej biopaliwa lub biodododatki do paliw silnikowych mają w roku 2014 stanowić 7,55% całego rynku paliwowego. Podstawowym surowcem do produkcji biopaliw w Polsce i Europie jest rzepak. Najprostszym i wciąż podstawowym rodzajem biopaliwa stosowanym do zasilania silników diesla są estry metylowe kwasów tłuszczowych. Estry oraz czyste oleje roślinne łatwo rozpuszczają się w oleju napędowym, ta cecha jest wykorzystywana przy tworzeniu handlowych mieszanin tzw. biopaliw np. B5, B10. Cyfra w tym oznaczeniu informuje o procentowej zawartości estrów olejów roślinnych rozpuszczonych klasycznym oleju napędowym. Zastosowanie czystego oleju rzepakowego (lub innego) do zasilania silników ZS nie jest wskazane. Wysoka lepkość, niska temperatura krzepnięcia, zawartość wody i kwasów organicznych, to czynniki które nie sprzyjają bezpośredniemu stosowaniu czystych olejów roślinnych jako paliwa. Estryfikacja daje nam kilka korzyści. Po pierwsze następuje rozbięcie ciężkiej struktury molekularnej trójglicerydów. Ich obecność jest powodem wzrostu temperatury krzepnięcia oraz wysokiej skłonności do rozkładu termicznego i polimeryzacji. Zmniejszeniu rozmiarów cząsteczek towarzyszy zmniejszenie lepkości – co w zasadniczy sposób ułatwia wtrysk paliwa i poprawia rozpylenie. Drugą korzyścią jest zubożenie odczynu – w procesie estryfikacji następuje przebudowa kwasów organicznych na obojętne estry. Zatem wyeliminowanie obecności trójglicerydów zmniejsza skłonność biopaliwa do tworzenia osadów w komorze spalania, obniża temperatury:

* Katedra Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Lubelskiej, p.ignaciuk@pollub.pl

** Wydział Transportu i Informatyki, Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

mętnienia i krzepnięcia oraz polepsza lotność paliwa. Po estryfikacji nienasycone estry posiadają jeszcze pewną skłonność do polimeryzacji – jest ona jednak znacznie mniejsza niż dla czystego oleju rzepakowego. Zawarty w strukturach chemicznych bioestrów tlen wykazuje większą reaktywność chemiczną niż tlen pochodzący z powietrza – sprzyja to polepszeniu procesu spalania. Niekwestionowaną zaletą estrów oleju rzepakowego jest bardzo niska zawartość siarki przekładająca się na zmniejszenie emisji cząstek stałych. Podstawową wadą natomiast jest chłonność wody. Chłonność i obecność wody powoduje, że biopaliwo staje się pożywką dla bakterii i grzybów. Ta cecha ogranicza możliwości jego długotrwałego przechowywania. Rozrost bakterii i grzybów jest podstawową przyczyną osłabienia stabilności chemicznej biopaliwa opartego na estrach kwasów tłuszczowych. Obecność wiązań nienasyconych w estrach sprzyja też obniżeniu ich odporności na utlenianie, któremu towarzyszy zmiana zapachu, barwy i co najważniejsze lepkości i liczby kwasowej. W polskich warunkach klimatycznych stosowanie czystych estrów jako paliwa bez dodatku depresatorów – obniżających temperaturę krzepnięcia sprawia sporo problemów zwłaszcza w warunkach jesienno – zimowych [5]. Oprócz rzepaku istnieje możliwość wykorzystania też innych roślin oleistych. Jedną z takich roślin jest lnianka. Lnianka siewna była uprawiana w Polsce od wielu wieków. Lnianka czyli rydz w przeciwieństwie do rzepaku nie ma praktycznie żadnych wymagań glebowych może rosnąć na najgorszych górskich glebach, nie potrzebuje nawożenia, a spośród roślin oleistych ma najmniejsze wymagania wodne. Pomimo swoich zalet, roślina ta nie weszła nigdy do szerokiej uprawy głównie ze względów ekonomicznych (wydajność). Olej lnianki charakteryzuje się bardzo niską temperaturą krzepnięcia ok. $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z tego względu doskonale nadaje się do produkcji biopaliw stosowanych w warunkach jesienno-zimowych [3, 4].

Tabela 1. Wybrane właściwości oleju napędowego (ON), oleju rzepakowego, czystych estrów metylowych oleju rzepakowego (EMKOR) oraz estrów metylowych oleju lnianki [3, 4, 5]

Parametr	Olej napędowy (ON)	Olej rzepakowy	Estry metylowe oleju rzepakowego (EMKOR)	Estry metylowe oleju lnianki
Gęstość w 20°C [kg/m^3]	810 – 840	920	880	890
Lepkość kinematyczna w 20°C [mm^2/s]	2,8 – 5,9	76	6,9 – 8,2	5,18
Liczba cetanowa	50	34	49 – 56	-
Temperatura zapłonu [$^{\circ}\text{C}$]	60	285	170	-
Temperatura mętnienia [$^{\circ}\text{C}$]	-16	ok. 15	-3	-
Temperatura krzepnięcia [$^{\circ}\text{C}$]	-20	ok. 10	-7	-15
Wartość opałowa [KJ/kg]	42800	37400	37000 – 39000	37000
Wartość opałowa [KJ/dm^3]	35950	34400	33200 – 34320	-
Temperatura początku destylacji [$^{\circ}\text{C}$]	176	-	302	-
Temperatura końca destylacji [$^{\circ}\text{C}$]	386	-	358	-

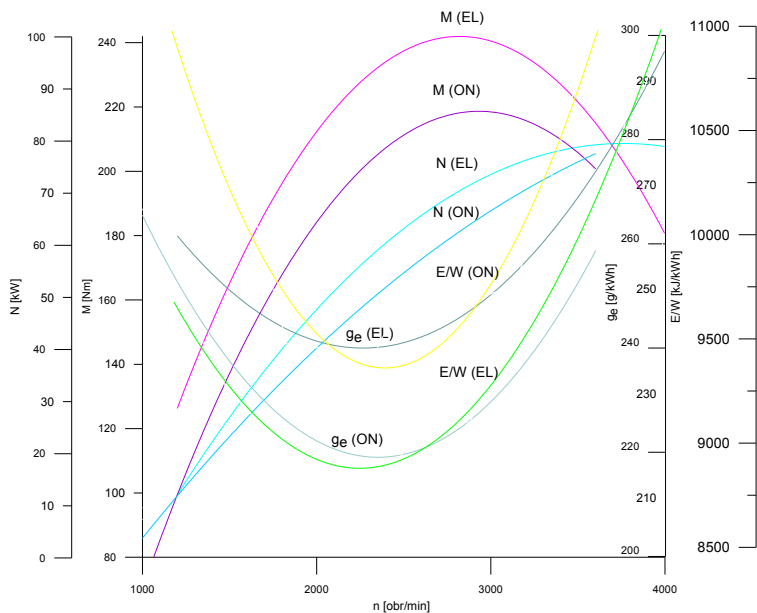
1. Zauważone problemy eksploatacyjne związane ze stosowaniem biopaliw

Stosowanie biopaliw opartych na czystych estrach olejów roślinnych jako podstawowego paliwa jest oczywiście możliwe, ale pod pewnymi warunkami. Oprócz wymienionego wcześniej ograniczenia czasu przechowywania wynikającego z podatności paliwa na biologiczną degradację należy tu wymienić ograniczenie zakresu temperatur stosowania takiego biopaliwa. Czyste handlowe biopaliwo B100 w praktyce nie sprawdza się w warunkach zimowych. Użytkownicy muszą liczyć się ze zjawiskiem blokowania filtrów paliwa i trudnościami z rozruchem silników. Zmniejszenie zawartości estrów w paliwie pozwala na częściowe rozwiązanie problemu. Jak wynika z badań niewielka kilku – kilkunasto procentowa zawartość estrów oleju rzepakowego w paliwie (ON) nie wpływa znacząco na zamianę jego właściwości temperaturowych (temperatury krzepnięcia, mętnienia i zatykania zimnego filtra). Niestety nie są to wszystkie problemy związane ze stosowaniem opisywanych biopaliw. Estry wykazują bardzo niekorzystne oddziaływanie na strukturę wielu polimerów w tym: gumy, elementów z niektórych tworzyw sztucznych oraz powłok ochronnych. Elementy gumowe wykonane z mieszanek, w których rolę plastyfikatorów pełnią inne estry są po prostu rozpuszczane. W przypadku samochodów dotyczy to: ogumienia, pasków klinowych i zębatach, niektórych uszczelnień, a nawet przewodów paliwowych. Obserwuje się również rozpuszczanie i zmywanie powłok lakierniczych narażonych na dłuższe oddziaływanie estrów [5, 1]. Oczywiście wymienionym problemom można zaradzić stosując odpowiednie mieszanki gumowe, przewody paliwowe wykonane z poliuretanów czy farby epoksydowe chemoutwardzalne. Podstawowe problemy ograniczające powszechne stosowanie biopaliw opartych na estrach związane są jednak trwałością eksploatacyjną układów zasilnia silników i negatywnym oddziaływaniem estrów na olej silnikowy. Uszkodzenia układów zasilnia wynikają tu głównie z rozpuszczania osadów powstałych podczas wcześniejszej eksploatacji silnika na oleju napędowym. Powstały z rozpuszczania osadów szlam prowadzi do zatykania filtrów, a nawet uszkodzenia wtryskiwaczy. Stąd wielu producentów wprowadza ograniczenia dotyczące możliwości zasilnia ich silników estrami. Najczęściej polegają one na podaniu największej dopuszczalnej zawartości bioestru w paliwie silnikowym. Ograniczenie to często bywa powiązane z koniecznością stosowania odmiennej procedury obsługowej. Podlega ona często na dość radykalnym skróceniu okresu pomiędzy wymianami oleju, filtrów oleju i paliwa. Wymienione problemy nie zahamowały jednak rozwoju biopaliw, które mogą okazać się doskonałe w pewnych niszowych zastosowaniach np. w rolnictwie. Bardzo ważna jest tu ich dobra biodegradowalność i prosty sposób pozyskania traktowany jako produkcja odpadowa. Szersze zastosowanie mogą znaleźć dopiero biopaliwa następnych generacji.

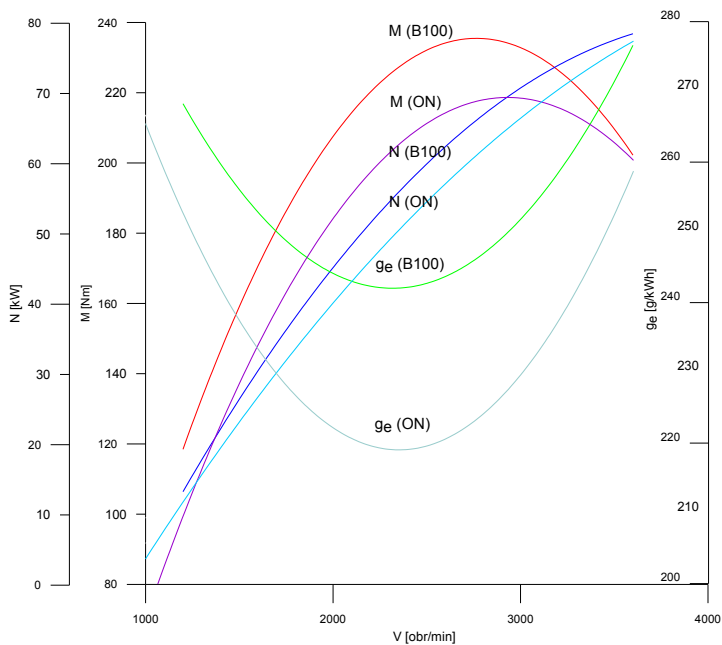
2. Właściwości eksploatacyjne badanych biopaliw w odniesieniu do klasycznego oleju napędowego

Badania właściwości eksploatacyjnych przeprowadzono w Instytucie Transportu Samochodowego w Warszawie. Prace badawcze polegały na sporządzeniu charakterystyk zewnętrznych silnika 4CT90 zasilanego: olejem napędowym oraz estrami metylowymi oleju

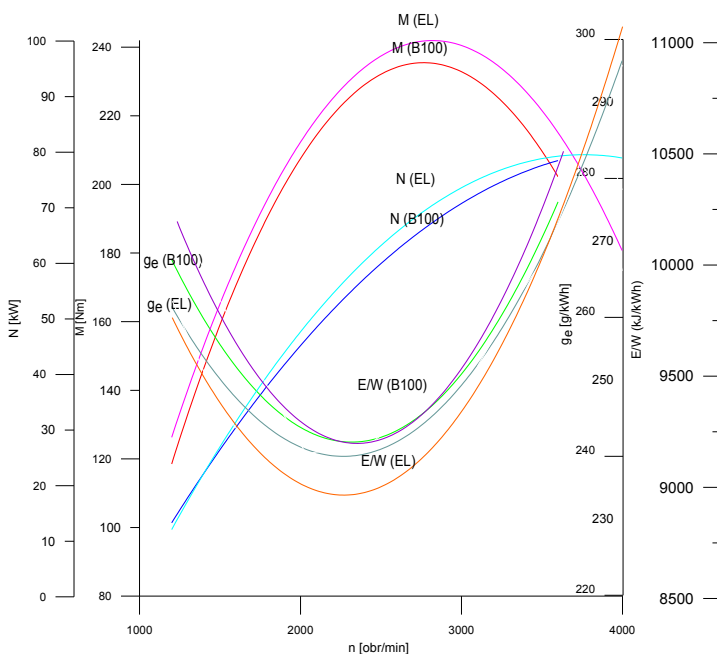
rzepakowego i estrami metylowymi oleju lnianki siewnej. Sporządzono wykresy charakterystyk silnika i dokonano ich porównania.



Rys. 1. Porównanie charakterystyk zewnętrznych silnika 4CT90 zasilanego EL i ON



Rys. 2. Porównanie charakterystyk zewnętrznych silnika 4CT90 zasilanego B 100 i ON



Rys. 3. Porównanie charakterystyk zewnętrznych silnika 4CT90 zasilanego EL i B 100

3. Analiza wyników i wnioski

Porównując charakterystyki zewnętrzne silnika 4CT90 zasilanego badanymi paliwami można zauważyć że:

- najwyższy moment obrotowy i moc silnika uzyskano przy zasilaniu silnika estrami lnianki,
- najniższy moment obrotowy i moc silnika uzyskano przy zasilaniu silnika olejem napędowym przy najniższym jednostkowym zużyciu paliwa,
- najwyższe jednostkowe zużycie paliwa było przy zasilaniu silnika estrami rzepakowymi.

Należy podkreślić, że zastosowane do badań paliwa: olej napędowy i estry oleju rzepakowego to paliwa produkowane na skalę przemysłową, które zawierają dodatki poprawiające parametry pracy silnika podczas ich spalania. Estry lnianki natomiast przygotowano na potrzeby badań we własnym zakresie. Olej lnianki poddano wyłącznie procesowi estryfikacji nie stosując żadnych dodatków modyfikujących właściwości tego paliwa.

Jednak jako można zauważyć na rysunku 1 i 2 większym momentom i mocy uzyskiwanej podczas zasilania silnika estrami B100 i EL towarzyszy większe jednostkowe zużycie paliwa niż przypadku zasilania olejem napędowym. Należy zaznaczyć, że w obu przypadkach silnik pracował z jednakowym położeniem listwy sterującej dawkowaniem paliwa. Zwiększone jednostkowe zużycie paliwa g_e może wynikać z większej gęstości porównywanych biopaliw i ich mniejszej w stosunku do ON wartości opałowej.

W celu dokładniejszego porównania testowanych biopaliw wykonano dodatkowe wykresy na których jednostkowe zużycie paliwa zastąpiono stosunkiem energii zawartej w paliwie do pracy wykonanej przez silnik (E/W). Jednostkowe zużycie paliwa świadczy o pracy wykonanej przez silnik na skutek spalania jednostki masy paliwa, natomiast stosunek energii zawartej paliwie do pracy wykonanej przez silnik pokazuje nam „sprawność” energetyczną paliwa. W przypadku porównywania B100 i EL wartości E/W (patrz rysunek 2) mają przebieg analogiczny do g_c. W przypadku estrów oleju lnianki i oleju napędowego (patrz rysunek 3) układ ten ulega odwróceniu. Jeśli uwzględnimy fakt, że pompa wtryskowa przy tej samej prędkości obrotowej dawkuje jednakową objętość obydwu paliw, to należy stwierdzić, że na wzajemny układ wykresów jednostkowego zużycia paliwa wpływa różnica gęstości. Jednak jak wskazują wykresy wartości E/W procesy spalania estrów oleju lnianki i oleju napędowego przebiegają w sposób odmienny. W przypadku oleju lnianki więcej energii paliwa jest zamienione na pracę silnika to paliwo ma większą sprawność energetyczną).

Literatura

1. Gil L., Ignaciuk P., Niewczas A.: Metoda badania przebiegu zużycia sekcji tłoczących pomp wtryskowych silników ZS. Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, 2010.
2. Kowalski K., Sitnik L., Struś M.: Trwałość wybranych elementów aparatury paliwowej silnika zasilanych estrami metylowymi oleju rzepakowego. Journal of KONES. Warszawa – Nałęczów 2000.
3. Muśnicki Cz.: Lepszy rydz niż nic. Nasz rzepak 1(13) luty 2007.
4. Muśnicki Cz.: Lnicznik siewny, lnianka albo rydz to ta sama roślina. Top Agrar Polska 6/2007.
5. Tys J., Piekarski W., Jackowska I., Kaczor A., Zając G., Starobrat P.: Technologiczne i ekonomiczne uwarunkowania produkcji biopaliwa z rzepaku. Acta Agrophysica. Lublin 2003.

COMPARISON OF DIESEL ENGINE PERFORMANCE FUELED WITH DIESEL FUEL AND BIOFUELS BASED ON RAPE-SEED OIL ESTERS AND CAMELINE-SEED OIL ESTERS

Summary. The paper presents results of test stand measurements of diesel engine parameters fueled with classical diesel fuel and methyl esters of rape-seed and cameline-seed oils. An evaluation of usability of investigated fuels for the operational purposes was made.

Key words: biofuel, cameline-seed, diesel engine, methyl esters of plant oils