

CEZARY BOCHEŃSKI, ANNA BOCHEŃSKA*

OLEJ RZEPAKOWY PALIWEM DO SILNIKÓW DIESLA

RAPE OIL AS A FUEL FOR DIESEL ENGINES

Streszczenie

W artykule omówiono własności oleju rzepakowego i jego mieszanin z olejem napędowym, benzyną i etanolem. Przedstawiono wyniki badań spalania mieszaniny oleju rzepakowego z napędowym w komorze o stałej objętości, przy zmiennych temperaturach (350°C–575°C), ciśnieniu powietrza (0,5 MPa–0,9 MPa) i ciśnieniu wtrysku paliwa (65 MPa i 135 MPa). Badania te były podstawą do określenia zmian adaptacyjnych i regulacyjnych silnika przystosowanego do spalania oleju rzepakowego i jego mieszanin.

Słowa kluczowe: silnik wysokoprężny, olej rzepakowy, mieszanina oleju rzepakowego z napędowym

Abstract

The paper discusses properties of rape oil and its mixtures with diesel oil, petrol and ethanol. The results of investigation on combustion of the rape oil and diesel oil mixtures in a chamber of constant volume, at variable temperature (350°C–575°C), air pressure (0,5 MPa–0,9MPa) and fuel injection pressure (65 MPa and 135 MPa). The investigation was the basis to determine adaptation and adjustment changes of the engine adapted for burning rape oil and its mixtures.

Keywords: diesel engine, rape oil, rape oil and diesel oil mixture

* Prof. dr hab. inż. Cezary Bocheński, mgr inż. Anna Bocheńska, Instytut Transportu Samochodowego, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

1. Wstęp

Dyrektywa Unii Europejskiej zobowiązuje do stosowania do 2010 r. ok. 6% biopaliw. W Polsce przy rocznym zużyciu oleju napędowego w granicach 5–6 mln ton, biopaliwa stanowią będą do 360 tys. ton. Olej napędowy może być zastąpiony estrami oleju rzepakowego, które posiadają zbliżone właściwości fizyczno-chemiczne do paliwa mineralnego. Proces estryfikacji jest jednak kosztowny, wymaga znacznych nakładów inwestycyjnych, a uzyskane paliwo w zależności od właściwości surowca roślinnego i przyjętej technologii może się różnić właściwościami. Surowcem wyjściowym do estryfikacji jest surowy olej pozyskiwany z rzepaku lub innych roślin oleistych. Ze względu na koszty produkcji estrów podjęto próby zastosowania jako paliwa do silników Diesla surowego oleju rzepakowego z pominięciem estryfikacji.

Zastosowanie oleju rzepakowego jako paliwa ma również tę zaletę, że może on być produkowany na własne potrzeby w rolnictwie i małych zakładach przetwórczych. Największe możliwości stosowania oleju rzepakowego są w rolnictwie i budownictwie, gdzie w większości przypadków eksploatowane są silniki Diesla o mniejszym wysileniu, pracujące najczęściej w okresie letnim. W odniesieniu do silników ciągników, pojazdów rolniczych i maszyn budowlanych różnice właściwości oleju napędowego i rzepakowego nie stanowią o możliwości ich stosowania. Dodatkowym argumentem za zastosowaniem oleju rzepakowego jako paliwa jest wprowadzenie Ustawy o biopaliwach dopuszczającej w gospodarstwach rolnych do produkcji na własny użytek do 100 l oleju rzepakowego na hektar powierzchni upraw. Kosztowne i złożone technologicznie estryfikacje oleju rzepakowego są trudne do przyjęcia w warunkach wiejskich.

W wielu krajach prowadzone są prace mające na celu zastosowanie olejów roślinnych czy tłuszczów zwierzęcych jako paliw do silników Diesla. Próby zastosowania tego paliwa do silników prowadzone były już w latach 30. w Niemczech, Belgii i Włoszech. W tym też czasie w Stanach Zjednoczonych prowadzono badania nad wykorzystaniem olei palmowego i rybnego jako paliwa silnikowego. W latach 50. badano możliwości zastosowania mieszanin olejów roślinnych z napędowym do ciągników i maszyn rolniczych. Za zastosowaniem surowego oleju rzepakowego przemawia dodatkowo możliwość zagospodarowania produktów ubocznych (makuchów), pozostałych przy tłoczeniu, w hodowli zwierząt.

Zastosowaniem paliw roślinnych do silników zainteresowanych jest wiele krajów, m.in. Chiny.

2. Możliwości zastosowania oleju rzepakowego jako paliwa do silników Diesla

Od chwili powstania silnik Diesla był ciągle ulepszany konstrukcyjnie i technologicznie w celu uzyskania jak najlepszych parametrów technicznych przy niskiej toksyczności spalin i małym zużyciu paliwa. Podobnie ciągle poprawiana była technologia wytwarzania oleju napędowego, przystosowując go do poprawy parametrów silnika.

Wprowadzenie biopaliw wytwarzanych z surowców roślinnych wymusza adaptację i zmiany regulacyjne silnika. Zakres tych zmian będzie zależeć od wielkości różnic między paliwami mineralnym i roślinnym. Dlatego należy dążyć do poprawy właściwości oleju rzepakowego poprzez dodatki, aby zakres zmian w silniku był możliwie najmniejszy. Są dwie możliwości zastosowania oleju rzepakowego jako paliwa:

- specjalna konstrukcja silnika do spalania paliwa rzepakowego (silnik Elsbett),
- poprawa właściwości paliwa rzepakowego poprzez dodatki, bez zasadniczych zmian konstrukcyjnych silnika.

Zastosowanie ogólnodostępnych dodatków paliwowych (olej napędowy, benzyna, etanol) do oleju rzepakowego poprawie jego właściwości eksploatacyjne.

3. Badania właściwości mieszanin oleju rzepakowego z olejem napędowym, benzyną i etanolem

Olej rzepakowy różni się swoimi właściwościami od oleju napędowego. Porównanie i zakres właściwości tych paliw podano poniżej.

Wyszczególnienie	Olej napędowy		Olej rzepakowy
	Wartość śr.	Zakres rozrzutu	
Gęstość [kg/dm ³] (15°C)	0,83	0,817 – 0,856	0,91 – 0,92
Lepkość kinetyczna (mm ² /sec) (20°C)	3,80	2,90 – 5,50	68 – 97,7
Wartość opałowa (MJ/kg)		42,7 – 43,5	36,7 – 37,7
Wartość opałowa (MJ/dm ³)		35,69 – 35,75	33,7 – 34,04
Liczba cetanowa LC	52,3	47,10 – 58,60	40 – 44
Masa molowa (kg/kmol)		120 – 320	882 – 883
Stechiometryczne zapotrzebowanie na tlen (kg _{powietrza} /kg _{paliwa})		14,57	12,43
Analiza elementarna			
C (%)		86,0 – 86,4	77,0 – 78,0
H (%)		13,4 0 14,0	10,0 – 11,7
O (%)		-	10,5 – 12,0
CFPP (°C)		+2 - 35	+5....+18
Liczba Conradsona (M%)		0,01 – 0,04	<0,01 – 0,5
Zawartość siarki (%)	0,137	0,03 – 0,22	0,009 – 0,012
Temperatura zapłonu (°C)	53,0	20 – 84	317 – 324
Zawartość zw. aromat. (%)		21,5	-

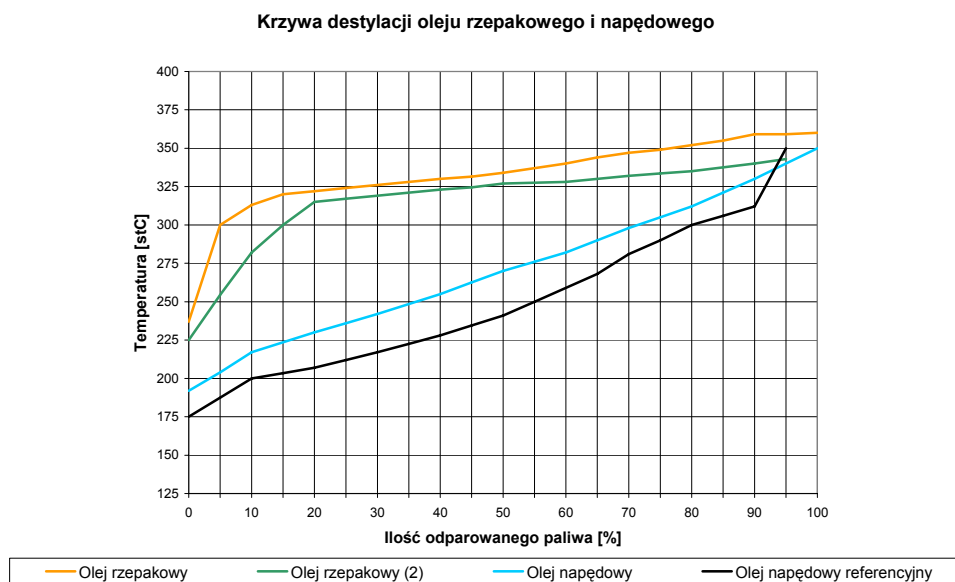
Największe różnice właściwości tych paliw odnoszą się do:

- gęstości,
- lepkości kinetycznej,
- składu frakcyjnego,
- liczby cetanowej,
- temperatury blokowania zimnego filtra (CFPP).

Różnice pozostałych właściwości są zbliżone i nie decydują o przydatności tego paliwa.

Lepkość oleju rzepakowego jest kilkanaście razy większa od oleju napędowego, co powoduje gorsze rozpylenie, pogarszając proces tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrz-

nej i spalanie. Zmniejszenie lepkości można osiągnąć przez podgrzanie oleju rzepakowego lub dodatki. **Skład frakcyjny** oleju rzepakowego i napędowego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Skład frakcyjny oleju rzepakowego i napędowego

Fig. 1. Fractional composition of rape oil and diesel oil

Do rozpoczęcia procesu spalania niezbędne jest wytworzenie określonej ilości par paliwa o odpowiednich parametrach, o czym decyduje temperatura odparowania 10–20% paliwa. Temperatura ta dla oleju rzepakowego wynosi od 300 do 350°C i jest ok. 100°C wyższa niż dla oleju napędowego. Dla sprawnego rozruchu i spalania oleju rzepakowego konieczne jest obniżenie tej temperatury w zakresie odparowania 0–20%.

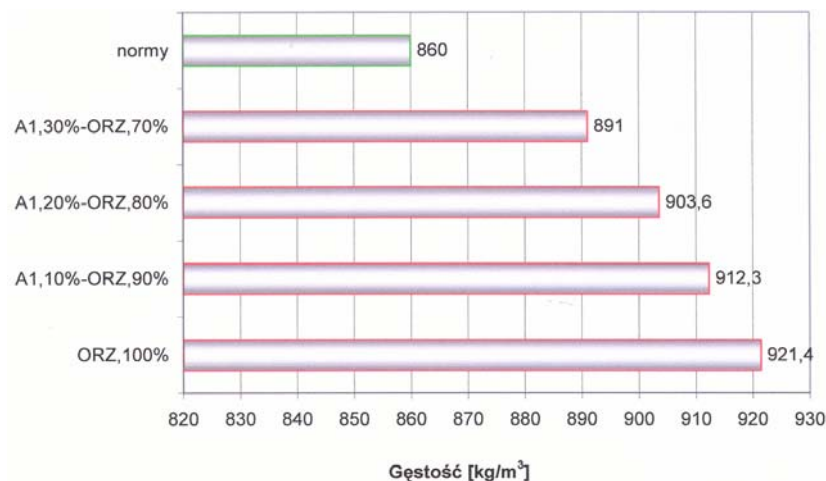
Liczba cetanowa oleju rzepakowego jest niższa o kilka jednostek od liczby cetanowej oleju napędowego. Można ją zwiększyć dodatkami poprawiającymi samozapłonność.

Wartość opałowa oleju rzepakowego jest niższa od napędowego o kilka procent, co skutkuje zwiększonym zużyciem paliwa.

Temperatura blokowania zimnego filtra oleju rzepakowego znacznie się różni od temperatury blokowania filtra oleju napędowego, co ogranicza użytkowanie paliwa do temperatur dodatnich. Pozostałe różnice między olejami rzepakowym i napędowym nie są na tyle duże, aby uniemożliwiały zastosowanie tego paliwa do pracy w silnikach Diesla.

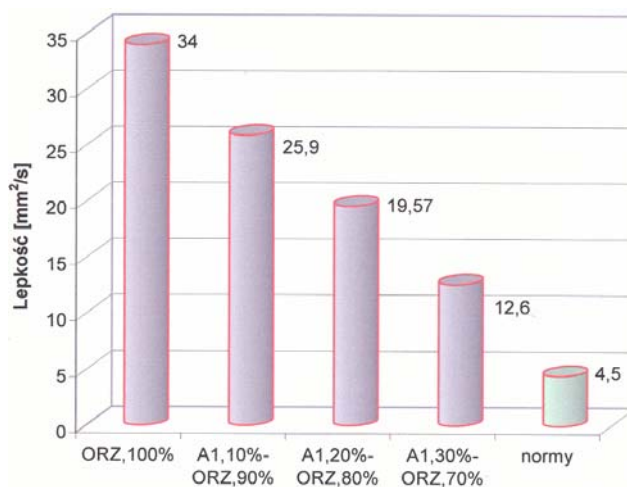
Przeprowadzono badania wpływu dodatku oleju napędowego, benzyny i etanolu do oleju rzepakowego na jego właściwości.

Ze względu na korzystny skład chemiczny benzyny A1 paliwo to wybrano jako dodatek poprawiający właściwości oleju rzepakowego. Zmianę gęstości i lepkości mieszaniny tych paliw w różnych proporcjach przedstawiono na poniższych rysunkach.



Rys. 2. Zmiana gęstości mieszaniny oleju rzepakowego i benzyny A1

Fig. 2. Change of density of rape oil and A1 petrol

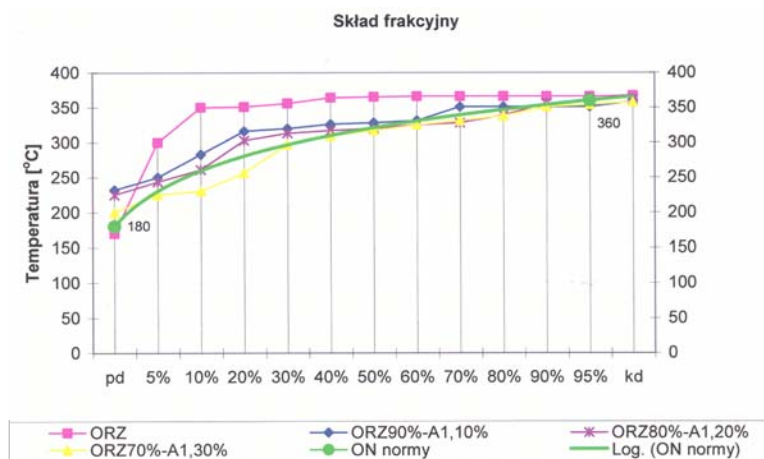


Rys. 3. Zmiana lepkości mieszaniny oleju rzepakowego i benzyny A1

Fig. 3. Change of viscosity of rape oil and A1 petrol

W wyniku zmieszania 30% benzyny A1 i 70% oleju rzepakowego uzyskano prawie dwukrotne zmniejszenie lepkości kinetycznej. Norma dopuszcza dla oleju napędowego wartość lepkości do 4,5 mm²/s.

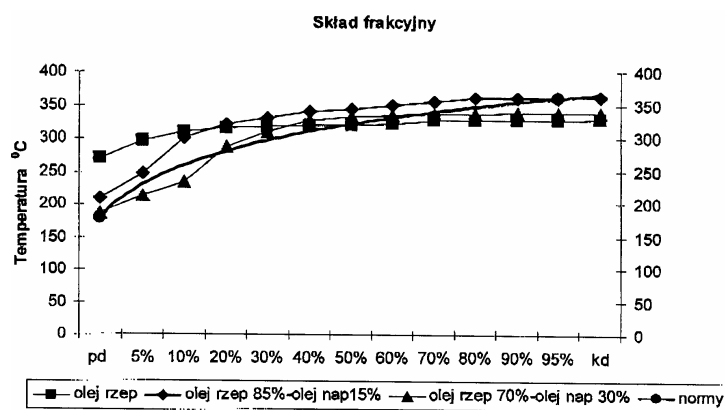
Domieszka benzyny A1 w ilości 30% spowodowała zmniejszenie gęstości mieszaniny do wartości zbliżonych dla oleju napędowego. Zastosowanie 30% dodatku benzyny A1 spowodowało, że skład frakcyjny mieszaniny był podobny do składu frakcyjnego **oleju napędowego**.



Rys. 4. Zmiana składu frakcyjnego mieszaniny oleju rzepakowego i benzyny A1

Fig. 4. Change of fractional composition of rape oil and A1 petrol

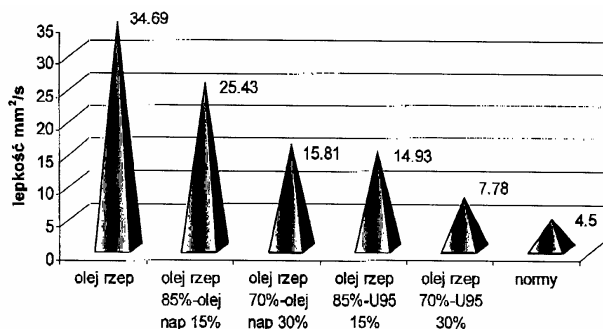
Z przeprowadzonych badań właściwości mieszaniny benzyny A1 z olejem rzepakowym wynika, że przez dodatek paliwowy można znacznie poprawić właściwości oleju rzepakowego do wartości zbliżonych do tych, jakie ma olej napędowy (normy). Następnie przeprowadzono badania właściwości mieszaniny oleju rzepakowego z napędem w różnych proporcjach. Zmianę składu frakcyjnego mieszaniny tych paliw w proporcjach 15% i 30% oleju napędowego przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Zmiana składu frakcyjnego mieszaniny oleju rzepakowego z napędowym

Fig. 5. Change of fractional composition of rape oil and diesel oil mixture

Porównanie zmiany lepkości kinetycznej w mieszaninach oleju rzepakowego z napędowym i benzyną U95 przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Zmiana lepkości mieszaniny oleju rzepakowego z napędowym

Fig. 6. Change of viscosity of rape oil and diesel oil mixture

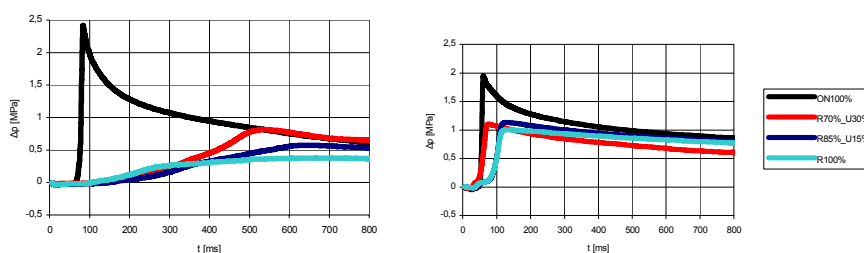
Przy 30% dodatku oleju napędowego lepkość oleju rzepakowego spadła więcej niż 50%, ale była ok. 3 razy większa niż dla oleju napędowego. Skład frakcyjny mieszaniny oleju rzepakowego i 30% oleju napędowego jest zbliżony do składu frakcyjnego oleju napędowego.

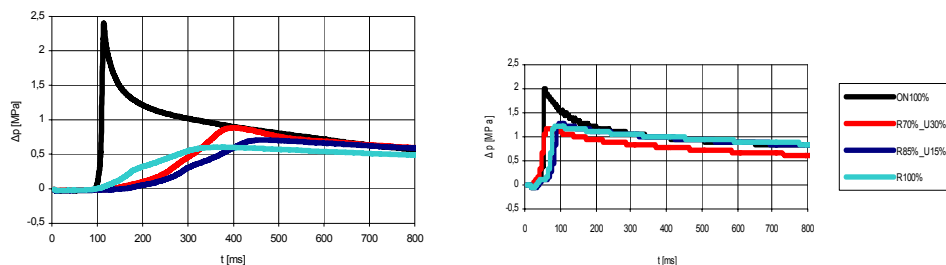
Z przeprowadzonych badań wynika, że najkorzystniejsza jest mieszanina oleju rzepakowego z napędowym i benzyną A1. W porównaniu z benzyną olej napędowy powoduje wzrost liczby cetanowej i podwyższenie temperatury blokowania zimnego filtra.

4. Badania procesu spalania mieszaniny oleju rzepakowego z napędowym

W celu oceny przebiegu spalania mieszaniny oleju rzepakowego z olejem napędowym, benzyną U95 i etanolem przeprowadzono badania spalania tych mieszanin w komorze o stałej objętości, przy zmiennych temperaturach w zakresie 350°C i 575°C, ciśnieniu powietrza (0,5 MPa–0,9 MPa) i ciśnieniu wtrysku paliwa (65 MPa–135 MPa). Badania te będą ponadto podstawą do określenia zmian adaptacyjnych i regulacji silnika przystosowanego do spalania oleju rzepakowego i jego mieszanin.

Największy wpływ na proces spalania ma temperatura czynnika w komorze. Zmianę przebiegu spalania dla oleju rzepakowego i jego mieszanin z benzyną U95 dla temperatury powietrza 350°C i 500°C oraz ciśnienia wtrysku 65 MPa i 135 MPa przedstawiono na poniższych rysunkach.

Rys. 7. Przyrost ciśnienia spalania w komorze: temperatura początkowa 350°C i 500°C, ciśnienie początkowe 0,7 MPa, ciśnienie wtrysku 65 MPa, $\lambda = 1,25$ Fig. 7. Increase in combustion pressure in the chamber: initial temperature 350°C and 500°C, initial pressure 0,7 MPa, injection pressure 65 MPa, $\lambda = 1,25$



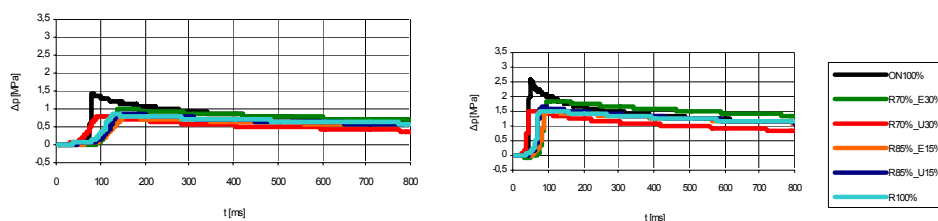
Rys. 8. Przyrost ciśnienia spalania w komorze: temperatura początkowa 350°C i 500°C, ciśnienie początkowe 0,7 MPa, ciśnienie wtrysku 135 MPa, $\lambda = 1,25$

Fig. 8. Increase in combustion pressure in the chamber: initial temperature 350°C and 500°C, initial pressure 0,7 MPa, injection pressure 135 MPa, $\lambda = 1,25$

Wzrost temperatury powodował skrócenie okresu opóźnienia samozapłonu, skrócenie czasu spalania i wzrost wartości największych ciśnień spalania. Zwiększenie ciśnienia wtrysku spowodowało dalsze skrócenie okresu opóźnienia samozapłonu i poprawę parametrów spalania.

Badania o podobnym zakresie przeprowadzono dla mieszaniny etanolu i oleju napędowego. We wszystkich badanych przypadkach stwierdzono silną zależność przebiegu spalania od temperatury.

Na przebieg spalania duży wpływ ma również ciśnienie w komorze badawczej. Ciśnienie to wpływa zarówno na przebieg reakcji utleniania, jak też poprawę rozpylenia paliwa (przeciwnie), szczególnie przy dużych ciśnieniach wtrysku. Zmianę przebiegu ciśnienia przy spalaniu oleju rzepakowego i jego mieszanin z etanolem, dla współczynnika nadmiaru powietrza 1,25 i ciśnienia wtrysku 100 MPa przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Przyrost ciśnienia spalania w komorze: temperatura początkowa 350°C, ciśnienie początkowe 0,5 MPa i 0,9 MPa, ciśnienie wtrysku 100 MPa, $\lambda = 1,25$

Fig. 9. Increase in combustion pressure in the chamber: initial temperature 350°C and 500°C, initial pressure 0,5 MPa, injection pressure 100 MPa, $\lambda = 1,25$

Zwiększenie ciśnienia w komorze spowodowało skrócenie okresu opóźnienia samozapłonu i czasu spalania oraz zwiększenia przyrostu ciśnienia spalania.

5. Wytyczne do zmian konstrukcyjnych i regulacji silnika Diesla przystosowanego do spalania oleju rzepakowego

Przeprowadzone badania procesu spalania oleju rzepakowego i jego mieszanin pozwoliły na określenie kierunku zmian adaptacyjnych silnika przystosowanego do spalania oleju roślinnego.

Dla wszystkich badanych paliw stwierdzono poprawę przebiegu spalania wraz ze wzrostem temperatury i ciśnienia powietrza w komorze. Przy najwyższych temperaturach zauważono jednak, że mimo dalszego skrócenia opóźnienia samozapłonu i szybkiego przyrostu ciśnienia w pierwszym okresie spalania następowało spowolnienie spalania w końcowej fazie. Uzyskano niższe wartości największych ciśnień spalania. Zjawisko to należy tłumaczyć wpływem procesów dyfuzyjnych na proces spalania. Zakres zwiększenia temperatury dla poprawy spalania jest zatem ograniczony. Zwiększenie ciśnienia w komorze powodowało przyspieszenie tych zmian i zwiększenie różnic w wartościach parametrów spalania.

Poprawa przebiegu spalania oleju rzepakowego wraz ze wzrostem temperatury i ciśnienia wskazuje na potrzebę zwiększenia wartości ciśnienia i temperatury końca sprężania w silniku Diesla. Zwiększenie to można osiągnąć przez zmianę stopnia sprężania w silniku i w niewielkim stopniu przez zmianę kąta wyprzedzenia wtrysku.

Potrzeba zwiększenia temperatury i ciśnienia w silniku wynika również z charakteru krzywej frakcjonowania oleju rzepakowego, który posiada wyższe o ok. 100°C temperatury odparowania w porównaniu z olejem napędowym.

Przeprowadzono również badania wpływu współczynnika nadmiaru powietrza na przebieg spalania. Przyjmowano wartości λ równe: 1,25, 2,5 i 3,75. Zbyt duży współczynnik nadmiaru powietrza powodował spowolnienie procesu spalania. Przy zmianach adaptacyjnych silnika Diesla do spalania oleju rzepakowego należy dobrać zarówno dawkę paliwa, jak i kąt wyprzedzenia wtrysku.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zwiększenie ciśnienia wtrysku paliwa poprawia przebieg spalania. Następuje bowiem lepsze rozpylenie paliwa i poprawa procesu tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej. Wydaje się, że dalszą poprawę procesu spalania można uzyskać przez wprowadzenie wielofazowego, wysokociśnieniowego, elektronicznie sterowanego układu paliwowego (*Common Rail*). Wtrysnięta dawka pilotująca pozwoliłaby na łatwiejsze rozpoczęcie spalania, stwarzając lepsze warunki (wyższa temperatura) do spalania dawki zasadniczej.

Wysokociśnieniowy wtrysk oleju rzepakowego zwiększa zasięg strugi paliwa i powoduje odkładanie się warstwy paliwowej na ściankach komory spalania. W przypadku zasilania olejem rzepakowym konieczna jest zmiana kształtu komory spalania.

Przeprowadzone w komorze o stałej objętości badania pozwoliły na określenie kierunków zmian adaptacyjnych i regulacji silnika Diesla w celu przystosowania go do spalania oleju rzepakowego.

6. Zalecenia do zmian właściwości oleju rzepakowego przez dodatki paliwowe

Właściwości oleju rzepakowego różnią się od właściwości oleju napędowego. Na przebieg procesu spalania mają wpływ lepkość kinematyczna, skład frakcyjny, gęstość,

liczba cetanowa i wartość opałowa. Dodatek różnych paliw może poprawić właściwości oleju rzepakowego, co przedstawiono w poprzedniej części artykułu. W eksploatacji najłatwiej stosować do oleju rzepakowego dodatki ogólnodostępnych paliw – oleju napędowego i benzyny. Jak wynika z przeprowadzonych badań, korzystniejsze jest stosowanie dodatku oleju napędowego powyższej 30%, co w istotny sposób poprawia własności oleju rzepakowego. Przy stosowaniu jako dodatku benzyny U95 uzyskujemy również poprawę właściwości oleju rzepakowego, jednak mniej korzystną niż w przypadku oleju napędowego.

7. Zakończenie

Przedstawiono możliwości poprawy właściwości oleju rzepakowego poprzez dodatki oleju napędowego, benzyny i etanolu. Z badań procesu spalania wynika, że największy wpływ na jego przebieg ma temperatura i ciśnienie początkowe w komorze badawczej.

Przy stosowaniu oleju rzepakowego jako paliwa należy dodać odpowiednią dawkę paliwa, która ma istotny wpływ na efektywność spalania ze względu na niższą wartość opałową oleju roślinnego. Zwiększone ciśnienie wtrysku paliwa poprawia charakterystykę strugi, proces mieszania i przebieg procesu spalania.

Wpływ badanych czynników na przebieg spalania różni się w zależności od rodzaju mieszaniny oleju rzepakowego.

Literatura

- [1] Bocheński C. i in., *Badania wpływu właściwości fizykochemicznych paliwa do silników wysokoprężnych na charakterystykę wtrysku i trwałość elementów układu paliwowego*, Projekt badawczy 9T12 D00716, 2001.
- [2] Bocheński C., *Biodiesel paliwo rolnicze*, Wyd. SGGW, Warszawa 2003.
- [3] Szlachta Z., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, WKiŁ, Warszawa 2002.
- [4] Bocheńska A., *Badania procesu spalania surowego oleju rzepakowego w komorze o stałej objętości*, praca dyplomowa, Studium Podyplomowe Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006.
- [5] Bocheńska A., *Badania właściwości mieszanin oleju rzepakowego z olejem napędowym i benzyną*, praca niepublikowana.