

THE INFLUENCE OF METHYL ESTERS ADDITIVES ON PROPERTY OF THE BIODIESEL AND TOXICITY OF DIESEL EXHAUST GASES

Marek Kulażyński* Marek Reksa** Emilia Zarudzka***

*Politechnika Wroclawska, Wydział Chemiczny, Wydziałowy Zakład Chemii i Technologii Paliw,
ul. Gdańska 7/9, 50-344 Wrocław marek.kulazynski@pwr.wroc.pl

**Politechnika Wroclawska Wydział Mechaniczny. Instytut Konstrukcji i Eksploatacji maszyn,
Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, ul. Łukasiewicza 7/9, 50-170 Wrocław
marek.reksa@pwr.wroc.pl

***Politechnika Wroclawska, Wydział Górniczy

Abstract

In this work it was introduced the problem of using the methyl ester of fatty acids from rapeseed oil (EMKOR) as an alternative fuel which feedings Diesel engine. An attention was paid on connection between physicochemical parameters of plant and mineral oils and it was related to appropriate values which were required by norms in EU countries where biodiesel is used. It was examined microwaves as well as ultrasonic using for reaction mixture warming and it was affirmed that this kind of treatment shortened reaction's time. Comparative characteristic of appreciation the toxicity of exhaust gasses from Diesel engine reinforced by mineral oil and EMKOR was showed. Show, that fuel including 3,5 % addition EMKOR fulfils the requirements of standard PN - EN 590:2002. The values of release CO and NO_x and smokiness of exhaust gas engine reinforced EMKOR, and values of release CO and NO_x as well as smokiness reinforced diesel of are the results of the research works.

Keywords: biodiesel, transesterification, rape oil, rape methyl ester, diesel engine, toxicity

WPLYW DODATKÓW ESTRÓW METYLOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI BIODIESLA I TOKSYCZNOŚĆ SPALIN SILNIKA DIESLA

Streszczenie

W pracy poruszono problem zastosowania EMKOR jako paliwa zasilającego silnik z zapłonem samoczynnym. Porównano właściwości fizykochemiczne olejów roślinnych oraz mineralnych z wymaganiami zawartymi w normach krajów stosujących biodiesel. Na przykładzie oleju rzepakowego i alkoholu metylowego opisano proces transestryfikacji oraz dokonano doboru odpowiedniego katalizatora do tego procesu. Przebadano proces mieszania reagentów przy zastosowaniu ultradźwięków oraz wpływ mikrofal na przebieg reakcji transestryfikacji. Ponadto dokonano oceny toksyczności spalin silnika Diesla zasilanego olejem mineralnym i otrzymanym EMKOR. Emisja CO i NO_x oraz stopień zadymienia spalin silnika zasilanego EMKOR oraz emisja CO i NO_x oraz stopień zadymienia spalin silnika zasilanego olejem napędowym są rezultatami pracy badawczej.

Słowa kluczowe: Biodiesel, transestryfikacja, olej rzepakowy, estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego, silnik z zapłonem samoczynnym

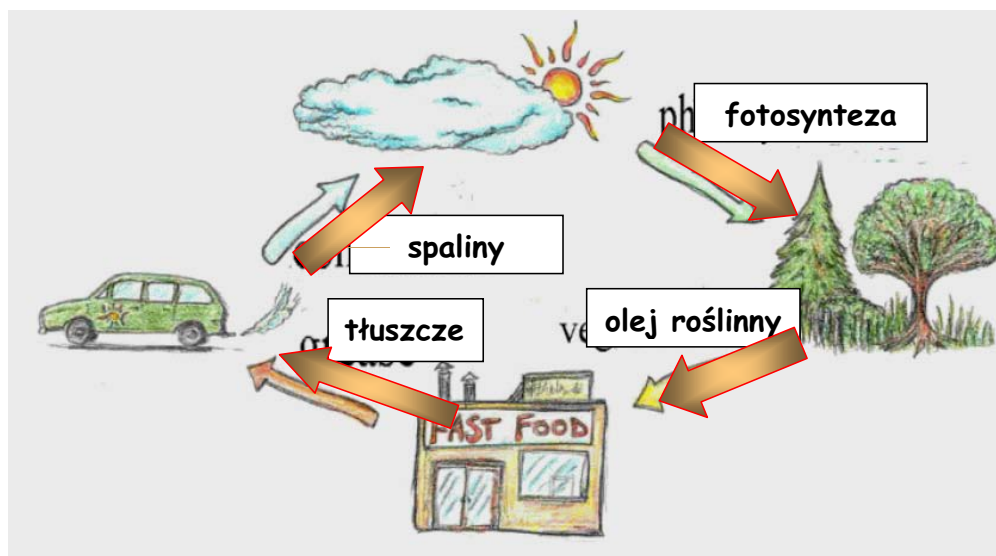
1. Wstęp

Wraz ze wzrostem wymagań dotyczących paliw, coraz większa liczba samochodów poruszających się po drogach świata, jak również perspektywa końca zasobów paliw kopalnych, spowodowała większe zainteresowanie się alternatywnymi źródłami energii, a przede wszystkim paliwami pochodzenia roślinnego. Siłą napędową rozwoju wykorzystania surowców roślinnych na cele przemysłowe, a zwłaszcza na paliwa płynne, były dwa podstawowe elementy. Pierwszym z nich był kryzys w Zatoce Perskiej, drugim nadprodukcja rolnicza w Europie. Obecnie głównym

argumentem motywującym do działania w tym zakresie jest problem emisji w dużych aglomeracjach miejskich oraz zaniepokojenie globalnym zanieczyszczeniem środowiska i tzw. efektem cieplarnianym. Z tego powodu bardzo wiele ośrodków badawczych na świecie zajęło się opracowywaniem technologii otrzymywania zamienników paliw, jakim jest biodiesel, który może zostać użyty zarówno jako komponent ropopochodnego oleju napędowego lub jako czyste paliwo bez zmiany konstrukcji silnika.

Idea zastosowania biopaliw nie jest żadną nowością, ponieważ już w 1892 roku paliwo roślinne zostało przewidziane przez Rudolfa Diesla – twórcę silnika wysokoprężnego.

Biodiesel, jest odnawialnym i nietoksycznym paliwem pochodzenia roślinnego do silników z zapłonem samoczynnym, zawierającym estry alkilowe kwasów tłuszczowych. Jego głównym atutem jest to, iż dwa razy szybciej ulega biodegradacji niż ropopochodny olej napędowy. Wśród zalet można również wymienić prawie zerową emisję związków siarki, których szkodliwość jest znana w postaci tzw. kwaśnych deszczów, niewielką zawartość w spalinach rakotwórczych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, małą ilość w spalinach cząstek stałych i tlenku węgla, jak również zmniejszone o połowę zadymienie spalin. Stąd nasuwa się wniosek, iż biodiesel, powinien być stosowany przede wszystkim do napędu pojazdów w dużych aglomeracjach oraz uzdrowiskach. Powszechne jego zastosowanie pozwoli ograniczyć kwaśne deszcze i efekt cieplarniany [1]. Schemat zamkniętego obiegu CO_2 w przyrodzie został przedstawiony na rysunku 1.



Rys. 1. Obieg CO_2 w przyrodzie
Fig.1. CO_2 circulation in nature

Estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (EMKOR) wykorzystuje się jako alternatywne paliwo zasilające silniki z zapłonem samoczynnym [3,5].

2. Metodyka badań

Stosowane metody otrzymywania estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego według panujących poglądów mogą mieć ustalone, dobre parametry tylko w przypadku produktu otrzymywanego w dużych zakładach chemicznych za pomocą profesjonalnej aparatury [2,4]. W ramach przygotowania paliw do badań przeprowadzono próby

opracowania prostych, a zarazem i ekonomicznych metod syntezy biodiesla, opartych na łatwo dostępnych surowcach i materiałach. Ważną rolę w poszukiwaniach odpowiednich dodatków estrowych było znalezienie najodpowiedniejszego katalizatora do procesu transestryfikacji [10].

Przygotowanie paliw do badań obejmowało:

- przeprowadzenie reakcji transestryfikacji z zastosowaniem zasadowych i kwaśnych katalizatorów oraz różnych parametrów procesu,
- wykorzystanie mikrofal oraz ultradźwięków do syntezy estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego,

Badania obejmowały:

- zbadanie właściwości fizykochemicznych EMKOR.

-przeprowadzenie badań na silniku wysokoprężnym zasilanym paliwem pochodzenia mineralnego i roślinnego celem określenia wpływu biopaliwa na zawartość toksycznych substancji w spalinach.

Oznaczano następujące parametry: lepkość, gęstość, skład frakcyjny, działanie korodujące na metale oraz temperatury: zapłonu, mętnienia, zablokowania zimnego filtra. Badania wykonano zgodnie z normami obowiązującymi w Polsce [17,18,19,20,21,22,23,24].

W badaniach wykorzystano:

- Olej kujawski – rafinowany olej rzepakowy, producent: ZT „Kruszwica” S.A.
- EMKOR otrzymany metodą laboratoryjną
- Ester metylowy otrzymany metodą przemysłową z agrorafinerii Sokola

Celem badań było określenie charakterystyki fizykochemicznej estrów metylowych jako komponentów oleju napędowego oraz ocena ich wpływu na toksyczność spalin.

Przedmiot badań stanowiły: olej napędowy (handlowy) oraz estry metylowe otrzymane w reakcji transestryfikacji. Do badań użyto oleju rzepakowego jak i oleju rzepakowego zużytego (posmażalniczego).

Estry otrzymano podczas reakcji transestryfikacji, następnie poddano je procesowi filtracji i neutralizacji, po czym oznaczono właściwości fizykochemiczne. Stwierdzono na podstawie uzyskanych wyników, że uzyskane parametry fizykochemiczne mieszczą się w dolnej granicy wg. norm europejskich dla estrów metylowych. Dlatego też, należało produkty transestryfikacji poddać dodatkowo oczyszczaniu. Wykorzystano w tym celu proces rafinacji. Estry metylowe uzyskane z surowca – olej roślinny posmażalniczy charakteryzują się wysokim nasyceniem zabarwienia. Z tego względu poddano je rafinacji ziemią odbarwiającą. W wyniku tego działania uzyskano poprawę barwy jak i obniżenie do wymaganej wartości liczby kwasowej.

Proces realizowano metodą kontaktową, przy zastosowaniu 5% mas. sorbentu. Po rafinacji estry oddzielono od sorbentu na drodze filtracji.

Po zabiegu rafinacyjnym, wybrano jedną mieszanekę estrów i sporządzono mieszanki paliwowe z olejem napędowym. Stosując trójocian gliceryny chciano sprawdzić czy można wykorzystać glicerynę, poddaną estryfikacji kwasem octowym.

Otrzymane wyniki nie różniły się zbytnio od wyników uzyskanych dla czystych estrów.

Do sporządzenia mieszanek stosowano 25%, 50% i 75% dodatków estrowych. Najbardziej korzystną charakterystyką fizykochemiczną, zbliżoną do oleju napędowego odznaczał się dodatek 25% estru metylowego z trójocianem gliceryny. Trójocian gliceryny obniżał zarówno gęstość jak i lepkość paliwa. Skład frakcyjny nieznacznie uległ zmianie w bardzo wąskim zakresie. Temperatury mętnienia jak i krzepnięcia uległy nieznacznemu obniżeniu (o 1°C). Ponadto zaobserwowano obniżenie temperatury zapłonu (o 1°C).

W celu sporządzenia pełnej charakterystyki otrzymanych produktów takich mieszanin paliwowych zbadano toksyczność spalin na stanowisku badawczym.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że najkorzystniejsze jest stosowanie 25% dodatku estru metylowego. Takie paliwo nie wpływa na zmianę pracy silnika zaś uzyskane spaliny

zawierają mniejsze ilości toksycznych składników. Przy wykorzystaniu większych koncentracji dodatku estrowego do paliwa obserwuje się negatywny wpływ na charakter paliwa.

3. Charakterystyka fizykochemiczna estrów metylowych

Estry metylowe ze względu na skład chemiczny (zawartość węgla oraz poziom nasycenia kwasów tłuszczowych) mogą być stosowane jako paliwa do silników wysokoprężnych. W wyniku przeprowadzonych analiz określono wybrane właściwości fizykochemiczne estrów metylowych.

Tab. 1. Właściwości fizykochemiczne otrzymanych estrów

Tab. 1. Physicochemical properties of received esters

Parametry	EM (kat. NaOH)	EM (kat. H ₂ SO ₄)	EM z oleju zużytego (kat. NaOH)	EM z oleju zużytego
Gęstość w 20 ⁰ C [g/cm ²]	0,885	0,880	0,905	0,905
Lepkość kinematyczna w 40 ⁰ C	4,6	4,5	4,7	4,7
Temperatura zapłonu	154	152	151	150
Temperatura mętnienia	-7	-7	-6	-6
Temperatura krystalizacji	-13	-12	-11	-11
Przebieg destylacji [°C]				
początek	329	328	329	327
– 10%	330	332	330	328
– 50%	338	336	334	331
koniec	341	340	342	340
Liczba kwasowa przed rafinacją [mg KOH/g]	0,850	0,800	0,900	0,910
Liczba kwasowa po rafinacji [mg KOH/g]	0,120	0,100	0,200	0,180

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż estry metylowe uzyskane z oleju rzepakowego zużytego mają nieznacznie gorsze właściwości. Różnią się zabarwieniem, dlatego poddano je rafinacji. Następnie sporządzono mieszanki z olejem napędowym handlowym.

4. Charakterystyka paliw ze związkami tlenowymi

Sporządzono mieszanki paliwowe z 25-cio, 50-cio i 75-cio procentowym dodatkiem estrów metylowych jak i estrów z dodatkiem trójoctanu gliceryny. W obu przypadkach przeprowadzono badania wg procedur zgodności uzyskanych mieszanin z normą dotyczących paliw do silnika o zapłonie samoczynnym

Wyniki przeprowadzonych badań zamieszczono w tabelach 2 i 3.

Tab. 2. Porównanie właściwości fizykochemicznych estrów metylowych z trójoctanem gliceryny (EMTG) i oleju napędowego (ON)

Tab. 2. Comparison of physicochemical properties of methyl ester glyceryl triacetate and diesel oil

Parametry	100% ON	25% EMTG +75%ON	50% EMTG +50%ON	75% EMTG +25%ON	100% EMTG
Gęstość w 20 ⁰ C [g/cm ²]	0,852	0,856	0,868	0,885	0,902
Lepkość kinematyczna w 40 ⁰ C	2,9	3,10	3,68	3,89	4,41
Temperatura zapłonu	59	74	81	110	139
Temperatura mętnienia	-11	-9	-8	-7	-6,5
Temperatura krystalizacji	-13	-12	-11	-11	
Przebieg destylacji [°C]					
początek	180	185	196	224	315
-10%	205	218	234	280	331
-50%	230	298	318	324	340
Koniec	310	340	340	341	343
Indeks cetanowy	45,2	58,7	63,9	67,6	76,1

Tab. 3. Porównanie właściwości fizykochemiczne mieszanek estrów metylowych
 Tab. 3. Comparison of physicochemical properties of methyl ester mixtures

Parametry	100% ON	25%EM +75%ON	50%EM +50%ON	75%EM +25%ON	100% EM
Gęstość w 20 ⁰ C [g/cm ²]	0,852	0,858	0,868	0,875	0,900
Lepkość kinematyczna w 40 ⁰ C	2,9	3,10	3,68	3,89	4,41
Temperatura zapłonu	59	80	91	130	146
Temperatura mętnienia	-11	-7	-7	-7	-6,5
Temperatura krystalizacji	-29,5	-21	-17	-15	-16
Przebieg destylacji [°C]					
początek	180	189	195	212	309
-10%	205	219	231	267	320
-50%	230	295	322	333	340
koniec	310	347	340	341	344
Indeks cetanowy	45,2	63,8	65,8	73,3	76,1

Następnie dokonano porównania uzyskanych paliw między sobą i w odniesieniu do oleju napędowego, oraz przeprowadzono badania silnikowe. Badania przeprowadzono na silniku do napędu maszyn rolniczych, którego dane techniczne zamieszczono poniżej [4].

Dane techniczne:

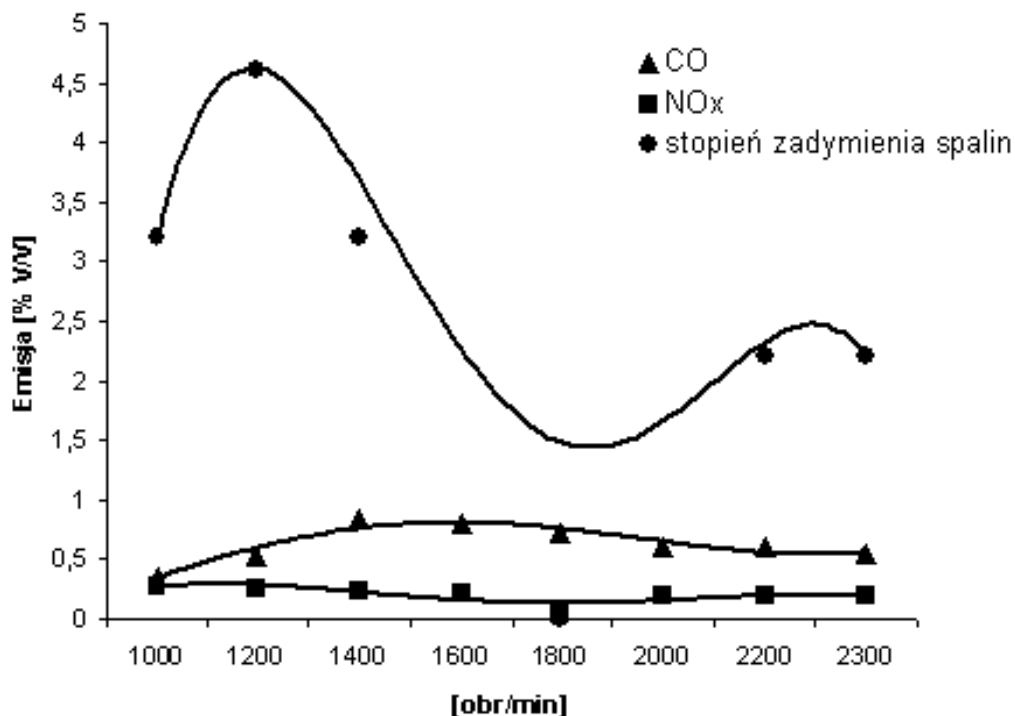
- 3 cylindrowy, czterosurowy, silnik wysokoprężny,
- bezpośredni wtrysk paliwa, komora spalania w tłoku,
- średnica cylindra → 91,44 mm

- skok tłoka → 127,00 mm
- pojemność skokowa → 2502 cm³
- moc max → 28kW (38KM) przy 2100 obr/min.
- moment max → 167 Nm przy 1300 obr/min.
- stopień sprężania → 16,5 : 1
- kolejność cyklu pracy → 1, 2, 3
- ciśnienie oleju w ukł. smar. → 0,2 ÷ 0,4 MPa
- masa silnika suchego → 290 kg
- wymiary gabarytowe w [mm] → dł. 700, szer. 524, wys. 760
- jednostłoczkowa, rozdzielaczowa pompa wtryskowa Lucas/CAV typu DPA z regulatorem mechanicznym.

Silnik ten (lub jego odmiany) jest stosowany do napędu ciągników rolniczych URSUS C360 3P, 2812, 3512, 3514, Massey Ferguson 355.

Badania przeprowadzono poprzez wykonanie charakterystyk obciążeniowych dla dwóch prędkości obrotowych 1300 obr/min – obroty momentu maksymalnego oraz charakterystyki obciążeniowej dla 2100 obr/min-obrotów mocy maksymalnej. Charakterystyki te wykonano dla każdego z przyjętych wg tabeli 1,2 i 3 paliw.

Wyniki zawarto w tabelach i zamieszczono na wykresach.



Rys. 2. Emisja CO i NO_x oraz stopień zadymienia spalin silnika zasilanego EMKOR
Fig.2. Release CO and NO_x and smokiness of exhaust gas engine reinforced EMKOR

Tab. 4. Wyniki badań wykonanych dla otrzymanego EMKOR, oleju rzepakowego oraz komercyjnego estru metylowego z agrorafinerii.

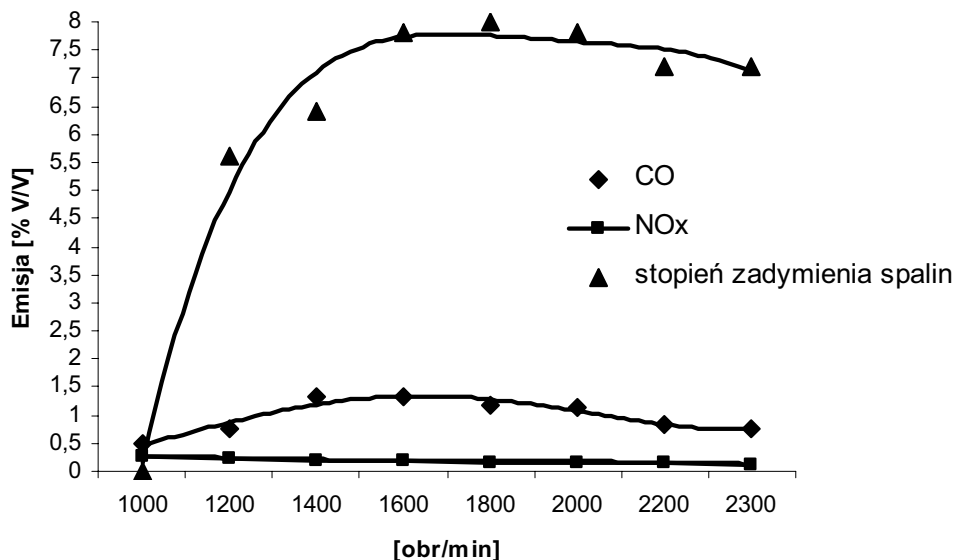
Tab 4. The results of investigations executed for EMKOR, rapeseed oil and commercial methyl ester from agro refinery

Parametry	Właściwości badanych produktów		
	EMKOR	Olej rzepakowy	Ester z agrorafinerii
Gęstość w 20°C, kg/m ³	824	928	816
Lepkość w 40°C, mm ² /s	4,27 - 4,28	29,57 – 28,63	5,23
Temperatura zapłonu, °C	135 - 140	252	95
Temperatura mętnienia, °C	-13 do -15	-3 do -10	-12
Temperatura zablokowania zimnego filtra, °C	-15	6	-13
Działanie korodujące na metale	brak	brak	brak

Tab. 5. Porównanie charakterystycznych właściwości fizykochemicznych oleju napędowego oraz mieszaniny oleju napędowego z 3,5% dodatkiem EMKOR

Tab. 5. The comparison of characteristic physicochemical properties of diesel oil and mixture of diesel oil with 3,5 wt. % the addition of the EMKOR

Parametry	ON	ON z 3,5% EMKOR	PN-EN 590:2002
Gęstość w 20°C, kg/m ³	841	843	820 - 845
Lepkość w 40°C, mm ² /s	3,02	3,07	2,00 – 4,50
T _{początku wrzenia} , °C	178	179	-
T _{końca wrzenia} , °C	359	346	-
V _{destylatu} , ml	98	98	-
V _{pozostałości} , ml	1	1	-
Do 250°C destyluje, %V/V	23	29	max 65
Do 350°C destyluje, % V/V	92	97	min 85
95%V/V destyluje do temperatury, °C	359	343	max 360
Indeks cetanowy	55	52	min 46



Rys. 3. Emisja CO i NO_x oraz stopień zadymienia spalin silnika zasilanego olejem napędowym
Fig. 3. Release CO and NO_x as well as smokiness reinforced diesel oil

Z przedstawionych wykresów wynika, iż zasilanie silnika z zapłonem samoczynnym EMKOR w porównaniu z olejem napędowym jest korzystniejsze dla środowiska.

Korzyści zastosowania olejów pochodzenia roślinnego mają przełożenie na:

- odnawialność paliwa i brak wzrostu globalnej emisji CO₂,
- mniejszą emisję w spalinach CO oraz redukcję stopnia zadymienia spalin,
- nieznaczne podwyższenie emisji NO_x w spalinach.

5. Omówienie wyników badań

Właściwości fizykochemiczne i użytkowe otrzymanych estrów metylowych oleju rzepakowego jak i uzyskanych z oleju rzepakowego zużytego są porównywalne, na co wskazują uzyskane wyniki badań. Stosowanie posmażalniczego oleju rzepakowego jest korzystne ze względów ekologicznych jak i ekonomicznych, jedynym problemem jest konieczność pozbycia się części stałych obecnych w tym oleju, w związku z tym konieczny jest zabieg oczyszczający – filtracja przed procesem otrzymywania estrów [13].

Na podstawie uzyskanych wyników zauważono, iż wprowadzanie komponentów tlenowych (estrów metylowych oleju rzepakowego) do oleju napędowego poprawia właściwości użytkowe tego paliwa. Obserwowany jest wzrost indeksu cetanowego zmodyfikowanych paliw. Jest to wynikiem wprowadzenia do oleju napędowego frakcji estrowych o wysokich temperaturach początku wrzenia.

Temperatura krzepnięcia jak i mętnienia są to główne parametry, które odpowiadają za dobrą eksploatację paliwa szczególnie w silnikach pracujących w niskich temperaturach.

Z przeprowadzonych badań wynika, że wprowadzenie estrów, powoduje znaczne podwyższenie temperatury krzepnięcia. Zatem, im wyższa zawartość estru w mieszance paliwowej

tym wyższa temperatura krzepnięcia takiego paliwa. Ma to ujemny wpływ na właściwości niskotemperaturowe silnika.

W związku z tym możemy zastosować jako dodatek alkohol (np. etanol), który obniża temperaturę krzepnięcia takiego paliwa. Skomponowano paliwo zawierające 25% estrów metylowych, 5% etanolu i 75% oleju napędowego. Zauważono obniżenie temperatury krzepnięcia o ok. 4°C. Innym sposobem obniżenia temperatury krzepnięcia takiego paliwa jest wprowadzenie większej ilości depresatorów (związków poprawiających właściwości niskotemperaturowe paliw silnikowych).

Analiza temperatury zapłonu - parametru eksploatacyjnego oleju napędowego odpowiedzialny za prawidłową realizację procesu spalania paliwa, wykazała, że najwyższe temperatury zapłonu mają mieszanki paliwowe z najwyższym udziałem estrów. Dodatek trójoctanu gliceryny obniża jej wartość o ok. 5°C. Niestety, wprowadzenie dużej ilości estru powoduje osłabienie innych, ważnych właściwości oleju napędowego.

Lepkość to parametr odpowiedzialny za właściwości smarne paliwa.[8] Dodatek estrów zmienia zakres lepkości paliwa. Przy wprowadzeniu 25%, 50%, 75% estru zakres lepkości mieszaniny zmienia się w przedziale (3,1-4,41 mm²/s). Zwiększająca się lepkość oleju wraz z dodatkiem estrów powoduje zmniejszenie prędkość wypływu paliwa z dysz rozpylacza, co wydłuża proces spalania. Jest to jednym z powodów, że silnik zasilany olejem roślinnym ma zbliżone parametry mocy i momentu do silnika zasilanego olejem napędowym (ON) w zakresie momentu maksymalnego (1300 obr./min), natomiast przy wysokiej prędkości obrotowej zakresu mocy maksymalnej (2100 obr./min) dla ON, wartości dla oleju roślinnego są niższe.

Zaobserwowano zwiększone o ok. 3% zużycie paliwa przy spalaniu paliwa z dodatkiem estrów metylowych.

Charakterystyczna jest również emisja CO, silnik zasilany estrami metylowymi z trójoctanem gliceryny emituje o ponad 50% mniej tlenku węgla, gdy jest obciążony maksymalnym momentem (1300 obr./min). Emisja tlenków azotu (NO_x) i sadzy (D) wypada tu korzystniej niż w przypadku zasilania silnika olejem mineralnym.

Pod względem zadymienia spalin oraz zawartości tlenku węgla bardzo dobrze spala się paliwo (ester metylowy 90% + trójoctan gliceryny 10%). Dodatek tego składnika bardzo korzystnie wpływa na ekologiczne spalanie w silniku.

Badania udowodniły, że estry metylowe oleju rzepakowego mogą być alternatywą dla oleju mineralnego. Z uwagi jednak na występowanie znacznych ilości tlenku węgla w spalinach celowe jest jednak zastosowanie katalizatora, który umożliwiłby utlenienie CO do CO₂.

Pod względem mocy i momentu najbardziej korzystne jest zasilanie silnika paliwem stanowiącym mieszaninę estrów metylowych oleju rzepakowego z olejem napędowym w proporcjach 25% estru i 75% oleju napędowego.

6. Wnioski

1. Z przeprowadzonych reakcji transestryfikacji wynika, że najkorzystniej jest prowadzić proces transestryfikacji przy użyciu NaOH jako katalizatora.
2. Wykorzystanie ultradźwięków w procesie mieszania reagentów dla przeprowadzenia reakcji transestryfikacji olejów roślinnych pozwala na znaczne skrócenie czasu mieszania z uzyskaniem takiej samej wydajności EMKOR w porównaniu do procesu bez ich użycia.
3. Zastosowanie mikrofal w reakcji transestryfikacji pozwala na znaczne oszczędności energii dostarczonej do reakcji a także na skrócenie czasu reakcji.
4. Właściwości fizykochemiczne produktów reakcji transestryfikacji z zastosowaniem NaOH jako katalizatora oraz ogrzewania mikrofalowego odpowiadają wymaganiom technicznym zawartych w normach krajów stosujących biodiesel.

5. W badaniach wykazano, że olej napędowy z dodatkiem 3,5% mas. EMKOR spełnia wymagania normy PN-EN 590:2002.
6. W przeprowadzonej analizie spalin silnika z zapłonem samoczynnym zasilanego EMKOR wykazano zmniejszenie emisji stopnia zadymienia w wyniku jego spalania.
7. Najważniejsze korzyści wynikające z zastosowania EMKOR jako paliwa do silników biodiesla to przede wszystkim brak wzrostu globalnej emisji CO₂ przyczyniającej się do zmniejszenia efektu cieplarnianego, biodegradowalność estru, bardzo niska zawartość siarki wpływająca na zmniejszenie zjawiska kwaśnych deszczów.
8. Silnik zasilany paliwem z dodatkiem estrów dobrze zachowuje się w zakresie obrotów maksymalnego momentu (1300 obr/min), natomiast słabnie przy wysokich prędkościach obrotowych (maksymalnej mocy – 2100 obr/min). Mniejsza jest emisja CO przy obrotach maksymalnej mocy i pełnym obciążeniu. Emisja tlenków azotu (NO_x) i sadzy (D) wypada korzystniej niż w przypadku zasilania silnika olejem mineralnym. Dodatek trójoctanu gliceryny korzystnie wpływa na ekologiczne spalanie w silniku.

7. Literatura

- [1] CEC L-36-A-90. *The measurement of Lubricant Dynamic Viscosity under Conditions of High Shear*, 71, 2000.
- [2] Szlachta, Z.; *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2002.
- [3] Matyschok, H., *Chemiczno-technologiczne aspekty procesu transestryfikacji olejów roślinnych i tłuszczów małowcząsteczkowymi alkoholami, głównie alkoholem metylowym* Chemik 10/2001.
- [4] Reksa, M., *Silnik ekologiczny ciągnika rolniczego*. Pojazd a środowisko. IV Ogólnopolska konferencja naukowo-techniczna. [Red. nauk. Józef Nita]. Jedlnia-Letnisko, 12-13 czerwca 2003. Radom: Politechnika Radom.
- [5] Podniało, A., *Paliwa oleje i smary w ekologicznej eksploatacji* Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2002.
- [6] Duda, A., Łukasik, Z., Skręt, J., Kossowicz, L., *Estry metylowe wyższych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego jako paliwo lub komponent oleju napędowego*, Paliwa Oleje i Smary w Eksploatacji 101/2002.
- [7] Kotowski, W., Lucke, B., Tietze, B., Petrach, L., *Wytwarzanie paliw płynnych z oleju rzepakowego*, Gospodarka Paliwami i Energią 3/1994.
- [8] Struś, M., Kowalski, K., Galant, K., *Alternative Feeding of Diesel Engines*, Materiały konferencji KONNSPAL'2002: Problems of Maintenance of Power Units, Wrocław 2002.
- [9] Michałowska, J., *Paliwa oleje i smary*, Wydawnictwo Komunikacji i Transportu 1973.
- [10] Kułażyński, M., *Możliwości technicznego wykorzystania alkoholu jako składnika paliw*, Materiały konferencyjne, Wrocław 2001.
- [11] Lotko, W., *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami węglowodorowymi i roślinnymi*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 1997.
- [12] Nowak, D., Hehn, Z., *Racjonalizacja przerobu tłuszczów technicznych i ich wykorzystanie jako bazy surowcowej*, Przemysł Chemiczny, 11/1997.
- [13] Matyschok, H., *Odnawialne, oparte na olejach roślinnych alternatywne paliwo dla silników wysokoprężnych*. Część I, Chemik 3/2001.
- [14] Matyschok, H., *Chemiczno-technologiczne aspekty procesu transestryfikacji olejów roślinnych i tłuszczów małowcząsteczkowymi alkoholami, głównie alkoholem metylowym*, Chemik 10/2001.

- [15] Kotowski, W., Lucke, B., Tietze, B., Branowska, T., *Przetwarzanie przepracowanych tłuszczów zwierzęcych i roślinnych do paliw silnikowych*, Gospodarka Paliwami i Energią 3/1996.
- [16] Kotowski, W., Lucke, B., Tietze, B., Branowska, T., *Przetwarzanie przepracowanych tłuszczów roślinnych i zwierzęcych do paliw silnikowych*, Gospodarka Paliwami i Energią 11/1996r.
- [1] PN-81/C-04012 *Przetwory naftowe oznaczanie składu frakcyjnego metodą destylacji normalnej*,
- [2] PN-EN ISO 4264:2001 *Przetwory naftowe-Obliczanie indeksu cetanowego paliw ze średnich destylatów metodą czterech zmiennych*,
- [3] PN-EN ISO 3675:1997 *Ropa naftowa i ciekłe przetwory naftowe-Oznaczenie gęstości lub gęstości względnej metodą z aerometrem*,
- [4] PN-81/C-04011 *Przetwory naftowe-Oznaczenie lepkości kinematycznej i obliczanie lepkości dynamicznej*,
- [5] PN-A-86934:1995 *Oleje i tłuszcze roślinne-Oznaczenie barwy metodą spektrofotometryczną*,
- [6] PN-ISO 660:1998 *Oleje i tłuszcze roślinne-Oznaczenie liczby kwasowej*
- [7] PN-ISO 3015:1997 *Przetwory naftowe-Oznaczenie temperatury mętnienia*,
- [8] PN-75/C-04009 *Przetwory naftowe-Pomiar temperatury zapłonu w tyglu zamkniętym metodą Martensa-Pensky'go*,
- [9] Morrison, R. T., Boyd, R.N., *Chemia organiczna Tom 1*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.