

Marek IDZIOR¹
Maciej BIELIŃSKI²
Wojciech KARPIUK³
Paweł STOBNICKI⁴

ANALIZA WPŁYWU TEMPERATURY WYBRANYCH MIESZANIN PALIW RZEPAKOWYCH NA ICH GĘSTOŚĆ I LEPKOŚĆ

W artykule przeanalizowano wpływ temperatury wybranych mieszanin paliw rzepakowych na ich właściwości fizykochemiczne. Opisano metodykę wykonania badań, przedstawiono wyniki w sposób graficzny, a następnie dokonano analizy możliwości adaptacji rozpatrywanych paliw do zasilania tłokowych silników spalinowych o zapłonie samoczynnym.

ANALYSIS OF TEMPERATURE INFLUENCE OF SOME CHOSEN RAPE MIXTURE FOR ITS DENSITY AND VISCOSITY

The paper discusses temperature influence of some chosen rape mixtures on its physical and chemical properties. Methods of the research have been described, results have been discussed graphically and made analysis possibility to adapt this mixture to compression ignition engines.

1. WSTĘP

Problematyka zastosowania paliw roślinnych nie jest nowa – pierwsze silniki spalinowe były zasilane tego typu paliwami. Ze względu na tanią i łatwo dostępną ropę, biopaliwa zostały wyparte przez paliwa ropopochodne. Dopiero kryzys energetyczny lat siedemdziesiątych, ukazujący możliwość poważnego ograniczenia wydobycia paliw kopalnianych, jak również wzrastająca świadomość ekologiczna zmusiły producentów paliw do intensyfikacji prac badawczych nad wprowadzeniem paliw alternatywnych. Mimo tego użycie biopaliw w silnikach tłokowych wciąż wiąże się z wieloma trudnościami. Wymienić tu należy choćby kwestie polityczne jak również ekonomiczno społeczne. Poza ww. aspektami istotne znaczenie mają również zagadnienia ekologiczne oraz szeroko pojęte zagadnienia techniczne.

Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu; 60-965 Poznań, ul. Piotrowo 3.

¹ Tel: + 48 61-665-23-57, E-mail: marek.idzior@put.poznan.pl

² Tel: + 48 61-647-58-62, E-mail: krzysztof.bielinski@wp.pl

³ Tel: + 48 61-665-27-05, E-mail: wojciech.karpiuk@gmail.com

⁴ Tel: + 48 61-665-20-49, E-mail: pawel.stobnicki@doctorate.put.poznan.pl

Czym więc są i dlaczego warto skupiać większą uwagę na biopaliwach? Jak sama nazwa wskazuje – biopaliwa to paliwa wytwarzane przy przetwórstwie organizmów żywych, najczęściej roślinnych. W polskich warunkach klimatycznych najpopularniejszym biopaliwem są oleje rzepakowe znajdując swe zastosowanie głównie w pojazdach zasilanych silnikami o zapłonie samoczynnym. Poprzez odpowiednie przetworzenie ziaren rzepaku możliwe jest uzyskiwanie olejów roślinnych charakteryzujących się własnościami fizykochemicznymi zbliżonymi do oleju napędowego.

Zasadniczą zaletą wynikającą z aplikacji biopaliw jako źródła napędu silników jest to, że ich spalanie w praktyce nie przyczynia się do wzrostu zawartości dwutlenku węgla w atmosferze. Inną pozytywną cechą jest niewielka ilość rakotwórczych wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych zawartych w spalinach oraz emisja związków siarki kształtująca się na poziomie bliskim zeru. Wadą biopaliw jest wątpliwa czystość ich spalin – panuje błędne przekonanie, że paliwa roślinne charakteryzują się lepszą emisyjnością w stosunku do paliw tradycyjnych np. oleju napędowego. Wynika to między innymi z tego, że biopaliwa, w tym oleje rzepakowe posiadają zbliżone, aczkolwiek odmienne w stosunku do oleju napędowego właściwości fizykochemiczne.

2. ROZPATRYWANE WŁAŚCIWOŚCI BIOPALIW

Istnieją dwie podstawowe koncepcje wykorzystania biopaliw rzepakowych w silnikach o zapłonie samoczynnym. Pierwszą z nich jest użycie naturalnego (nieprzetworzonego) oleju rzepakowego (OR), bądź jego mieszanin z olejem napędowym (ON). Drugą propozycją jest stosowanie estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (EMKOR), lub – tak jak poprzednio – jego mieszanin z olejem napędowym. Zarówno nieprzetworzony olej roślinny jak i jego estry metylowe różnią się wieloma właściwościami fizykochemicznymi, co stanowi pewną przeszkodę w bezpośrednim ich stosowaniu jako paliwa silnikowego.

Olej napędowy odparowuje w około 85% substancji lotnych w temperaturze 350°C, przy czym olej rzepakowy zaczyna się rozkładać już przy 250°C i bardzo słabo odparowuje. Ze względu na niską lotność wymagane jest bardzo dokładne rozpylenie paliwa przez wtryskiwacz by ułatwić odparowanie. Konieczne jest, więc na przykład rozpylanie pod wysokim ciśnieniem. Zarówno olej napędowy jak i estry oleju rzepakowego posiadają liczbę cetanową wynoszącą około 50. Podatność oleju nieprzetworzonego na samozapłon jest mniejsza – liczba ta oscyluje w okolicach 40-tu. Kolejną przeszkodą jest temperatura blokowania zimnego filtra (CFPP). Dla olejów rzepakowych nieprzetworzonych jest ona znacznie wyższa (+5...+18°C) w stosunku do oleju napędowego czy też biopaliw estryfikowanych. Cecha ta w znacznym stopniu ogranicza stosowanie oleju rzepakowego do temperatur dodatnich. Również jego wartość opałowa jest niższa w stosunku do paliwa konwencjonalnego (ON). Mimo, że wartość ta jest niższa jedynie o kilka procent to może skutkować zwiększonym zużyciem paliwa nawet o 15%. Warto też wspomnieć o niskiej odporności oleju roślinnego na utlenianie. Cecha ta z kolei przekłada się na korodowanie i zwiększone odkładanie się osadów węglowych i szlamów. Własność ta ma szczególne znaczenie przy dłuższych okresach przechowywania. Również temperatura początku destylacji oleju rzepakowego jest znacznie wyższa niż dla ON i EMKOR, natomiast zakres temperatur wrzenia – znacznie mniejszy. Skutkuje to tym, że

olej roślinny spala się najlepiej przy dużych obciążeniach silnika, gdy temperatura komory spalania jest również wysoka.

Najważniejszymi jednak cechami różniącymi biopaliwa rzepakowe od oleju napędowego jest lepkość i gęstość. Pierwszy z tych parametrów jest ściśle związany ze składem frakcyjnym. Chemiczna budowa cząsteczek olejów roślinnych różni się od budowy cząsteczek ropopochodnego oleju napędowego. Biopaliwa należą do grupy estrów gliceryny i kwasów tłuszczowych. Kwasy tłuszczowe wchodzące w skład olejów roślinnych zawierają od 14 do 24 atomów węgla [1]. Znaczącą grupę stanowią jednak cząsteczki tłuszczu, posiadające 16 i 18 atomów węgla. Cząsteczki węglowodorów tworzących ON mają od 14 do 20 atomów węgla w cząsteczce. Kwasy tłuszczowe mają różną ilość atomów węgla w cząsteczce, co powoduje zmianę ich długości. Cząsteczki kwasów mogą również posiadać wiązania podwójne, co wpływa na ich stopień nasycenia. Oleje roślinne należą głównie do grupy estrów kwasów nienasyconych, które posiadają od 1 do 3 wiązań podwójnych. Ilość estrów nienasyconych wpływa na lepkość oleju roślinnego – im ich liczba będzie większa tym lepkość będzie mniejsza. Skutkowac to będzie między innymi płynnością olejów. Cecha ta jest z jednej strony korzystna, ponieważ im mniejsza lepkość tym temperatura krzepnięcia będzie niższa, a to pozwoli na jego stosowanie w szerszym zakresie temperatur. Z drugiej jednak strony im liczba wiązań podwójnych będzie większa, tym cząsteczki olejów roślinnych łatwiej ulegną polimeryzacji, co uwidoczni się w powstawaniu osadów węglowych na elementach aparatury wtryskowej.

Lepkość kinematyczna oleju rzepakowego w temperaturze 20°C jest kilkunastokrotnie większa w stosunku do lepkości oleju napędowego w tej samej temperaturze. Mniejsze dysproporcje w stosunku do ON wykazują paliwa estryfikowane. Niewątpliwie parametr ten będzie miał wpływ na zachowanie się paliwa w przewodzie wtryskowym. Przebieg wtrysku biopaliw, zwłaszcza OR przebiegać będzie nieco szybciej niż dla paliwa konwencjonalnego. Mniejsze będą natomiast pulsacje ciśnień w przewodach wtryskowych. Wtrysk biopaliwa do komory spalania będzie rozpoczął się szybciej, a jego przebieg będzie szybszy w stosunku do paliwa ropopochodnego.

Różnice pozostałych właściwości paliw są zbliżone i nie mają decydującego wpływu na podatność stosowania omawianych paliw w silnikach spalinowych. Jak widać bardziej zbliżone do oleju napędowego właściwości fizykochemiczne posiadają paliwa estryfikowane.

Należy zaznaczyć, że całkowity koszt wyprodukowania 1 litra biopaliwa (zwłaszcza biopaliw poddawanych procesom transestryfikacji) jest wyższy niż koszt produkcji 1 litra oleju napędowego. Dlatego też produkcja biopaliw jest opłacalna tylko przy występowaniu proekologicznych subwencji państwowych. Mimo wyraźnych różnic we właściwościach fizykochemicznych pomiędzy olejami nieprzetworzonymi, a olejem napędowym oraz mając na względzie wysoki koszt procesu transestryfikacji – nie powinno się dyskwalifikować użycia olejów nieprzetworzonych. Z tego względu autorzy pracy postanowili przebadac zarówno nieprzetworzone oleje rzepakowe jak i estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowe porównując je do oleju napędowego. W uznaniu autorów najistotniejszymi parametrami fizykochemicznymi spośród opisanych są lepkość i gęstość. Oba parametry zmieniają się w sposób znaczący w funkcji temperatury. W związku z tym badania wykonano dla mieszanin biopaliw z olejem napędowym

posiadającymi różne temperatury, tak by możliwe było stworzenie charakterystyk zmiany lepkości i gęstości w zależności od temperatury.

3. METODYKA WYKONYWANIA BADAŃ, WYNIKI POMIARÓW I ICH ANALIZA

Podczas badań użyto trzech rodzajów paliwa. Były to:

- nieprzetworzony olej rzepakowy (OR) „Kujawski”,
- estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (EMKOR) - produkcja: Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu,
- olej napędowy (ON) – produkcja: Shell.

Zastosowano różne proporcje ww. paliw, a udział procentowy każdego z nich w poszczególnych mieszaninach ujęto w tabelach 1 i 2. Temperaturę cieczy zwiększano o 20°C w zakresie 20 – 80°C. Pomiarów dokonano również w temperaturze 25°C.

Lepkość paliw zbadana została przy użyciu wiskozymetru Englera, natomiast gęstość paliw wyznaczono stosując areometry. Dla każdego z paliwa wykonano trzy pomiary. Wyniki pomiarów lepkości wyrażone w sekundach zostały uśrednione, a następnie przeliczone na lepkość. Otrzymano wartości w stopniach Englera °E. Do przeliczenia jednostek umownych na jednostki lepkości kinematycznej ν [mm²/s] wykorzystano przybliżoną zależność [2]:

$$\nu = 7,6 \cdot E \left[\text{mm}^2 / \text{s} \right] \text{ dla } E \geq 7 \quad (1)$$

$$\nu = 7,6 \cdot E \left(1 - 1/E^3 \right) \left[\text{mm}^2 / \text{s} \right] \text{ dla } E < 7 \quad (2)$$

Wyniki przeliczeń jednostek na lepkość kinematyczną zawarto w tabeli 1.

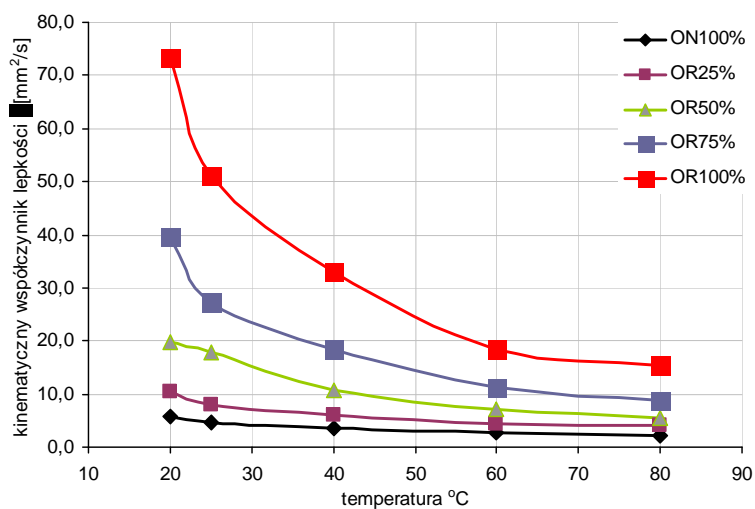
Tab. 1. Lepkość kinematyczna wybranych paliw rzepakowych ν [mm²/s] w funkcji temperatury [°C]

l.p.	mieszanina [%]			kinematyczny współczynnik lepkości ν [mm ² /s]				
	OR	EMKOR	ON	20[°C]	25[°C]	40[°C]	60[°C]	80[°C]
1	0	0	100	5,9	4,8	3,5	2,7	2,1
2	25	0	75	10,5	7,9	6,0	4,5	4,2
3	50	0	50	19,9	17,9	10,7	7,2	5,6
4	75	0	25	39,6	27,3	18,5	11,2	8,7
5	100	0	0	73,4	51,2	33,1	18,5	15,3
6	0	25	75	6,6	4,9	4,0	2,8	2,4
7	0	50	50	7,8	5,8	4,7	3,7	2,9
8	0	75	25	8,6	6,6	5,1	3,9	3,4
9	0	100	0	9,0	7,0	5,6	4,0	3,1

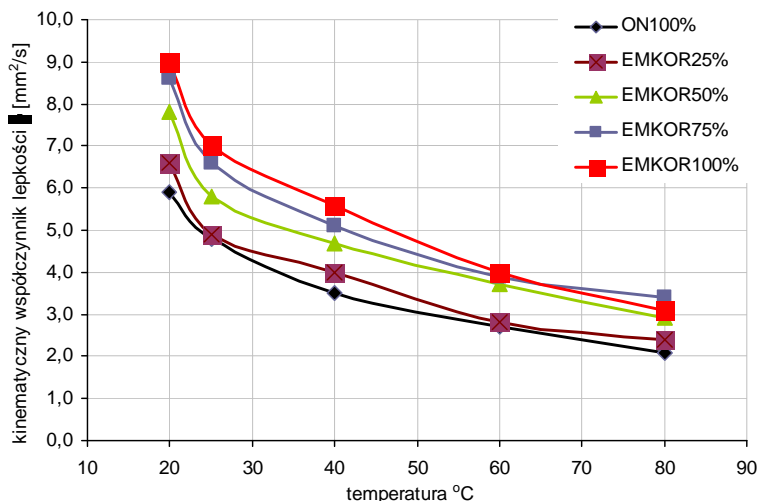
Tab. 2. Gęstość poszczególnych paliw rzepakowych ρ [g/cm^3] w funkcji temperatury [$^{\circ}\text{C}$]

l.p.	mieszanina [%]			gęstość ρ [g/cm^3]				
	OR	EMKOR	ON	20 [$^{\circ}\text{C}$]	25 [$^{\circ}\text{C}$]	40 [$^{\circ}\text{C}$]	60 [$^{\circ}\text{C}$]	80 [$^{\circ}\text{C}$]
1	0	0	100	0,83	0,83	0,82	0,805	0,80
2	25	0	75	0,855	0,851	0,84	0,831	0,822
3	50	0	50	0,875	0,871	0,857	0,832	0,816
4	75	0	25	0,893	0,891	0,88	0,869	0,861
5	100	0	0	0,915	0,911	0,89	0,887	0,872
6	0	25	75	0,845	0,843	0,83	0,815	0,802
7	0	50	50	0,857	0,854	0,842	0,832	0,821
8	0	75	25	0,867	0,865	0,854	0,84	0,83
9	0	100	0	0,88	0,875	0,863	0,85	0,841

Wyniki pomiarów wprowadzone zostały następnie do arkusza kalkulacyjnego Excel tak by możliwe było graficzne przedstawienie wyników (rys. 1 – 4).



Rys. 1. Lepkość kinematyczna v [mm^2/s] w funkcji temperatury [$^{\circ}\text{C}$] dla różnych proporcji nieprzetworzonego oleju rzepakowego i oleju napędowego



Rys. 2. Lepkość kinematyczna v [mm^2/s] w funkcji temperatury [$^{\circ}\text{C}$] dla różnych proporcji estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego i oleju napędowego

Analizując wykresy przedstawiające lepkość badanych paliw (rys. 1 i 2) widać, zgodnie z oczekiwaniami, że w miarę wzrostu temperatury lepkość badanych paliw zmniejszała się. Rozpatrując trzy podstawowe wybrane paliwa można zauważyć, iż największą lepkością charakteryzował się nieprzetworzony olej rzepakowy (OR), następnie estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego (EMKOR). Najmniejszą lepkość posiadał olej napędowy (ON). Rozwiązaniem tak dużych dysproporcji pomiędzy wymienionymi paliwami jest stosowanie mieszanin biopaliw z paliwem konwencjonalnym. Analogicznie – im mniej biopaliwa w mieszaninie z ON tym lepkość niższa. W literaturze przyjęto, że optymalnym rozwiązaniem jest dodawanie ok. 30% oleju roślinnego do oleju napędowego. Taka mieszanina przy odpowiedniej temperaturze roboczej w pełni nadaje się do użycia jako paliwo do zasilania silników o ZS.

Największą lepkością cechuje się OR 100% - jego lepkość kinematyczna w temperaturze 20°C jest dwunastokrotnie większa niż lepkość ON w tej samej temperaturze. Dodanie zaledwie 25% ON powoduje znaczne obniżenie lepkości w tej temperaturze. Niewątpliwie widać również, że lepkość OR w funkcji temperatury jest znacznie większa niż analogiczna lepkość EMKOR. Dla paliw estryfikowanych różnice w porównaniu do ON są minimalne. Widać również, że EMKOR 100% przy temperaturze 40°C posiada wartość lepkości zbliżoną do ON przy temperaturze 20°C . Porównując ponadto lepkość OR w różnych temperaturach z lepkością ON widać, że lepkość oleju napędowego utrzymuje się praktycznie na stałym poziomie w całym zakresie temperatur. Stanowi to bardzo korzystną cechę oleju napędowego.

Lepkość decyduje o oporze przepływu paliwa przez przewody, filtry i otwory rozpylacza, o przebiegu wtrysku i rozpylenia paliwa oraz o smarowaniu pomp wtryskowych. Prawdopodobnie z tego powodu niekiedy jest prezentowana opinia, że mała lepkość i wynikające z niej dobre własności przepływowe są ważniejsze dla rozruchu silnika niż liczba cetanowa [1].

Lepkość paliwa jest ponadto parametrem zasadniczo oddziałującym na jakość procesu rozpylenia. Obok prędkości wypływu i napięcia powierzchniowego paliwa, ma ona istotny wpływ na wielkość średnicy kropeł w strudze, którą możemy określić na podstawie wzoru [3]:

$$d_k = \frac{6\sigma}{E_p - A\eta_{pal}v_w} \quad (3)$$

gdzie:

d_k - średnica kropli,

σ - napięcie powierzchniowe paliwa,

E_p - energia pulsacji,

A - stała,

η_{pal} - lepkość dynamiczna paliwa,

v_w - prędkość wypływu paliwa z rozpylacza.

Olej rzepakowy nieprzetworzony w temperaturze 25°C posiada kilkunastokrotnie większą lepkość kinematyczną w porównaniu do oleju napędowego. Zwiększanie lepkości mieszanin poprzez stosowanie różnych proporcji paliw, powoduje zwiększanie średnich średnic kropeł w strudze. Większe rozmiary kropeł posiadające tym samym większą energię kinetyczną, sprzyjają obniżaniu oporu aerodynamicznego ośrodka, co w rezultacie zwiększa ich zasięg. Wynika to z formuły opisującej zasięg strugi rozpylanego paliwa [4]:

$$l_s = \left(\frac{2C\Delta p}{\rho_g} \right)^{0,25} \left(\frac{td_o}{\text{tg}\theta/2} \right)^{0,5} \quad (4)$$

gdzie:

C - współczynnik koncentracji przy przepływie przez otworek wylotowy,

Δp - różnica ciśnień przed i za otworkiem wylotowym,

ρ_g - gęstość ośrodka, do którego następuje wtrysk paliwa,

t - czas liczony od początku wtrysku,

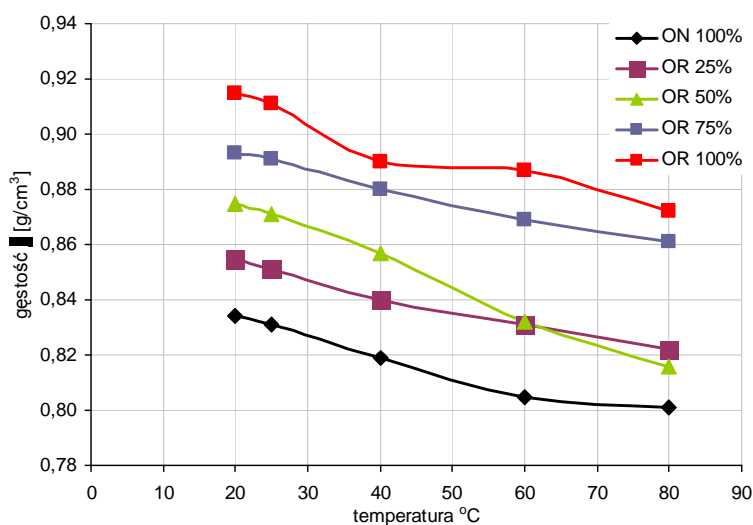
d_o - średnica otworu wylotowego rozpylacza,

θ - kąt wierzchołkowy strugi rozpylanego paliwa.

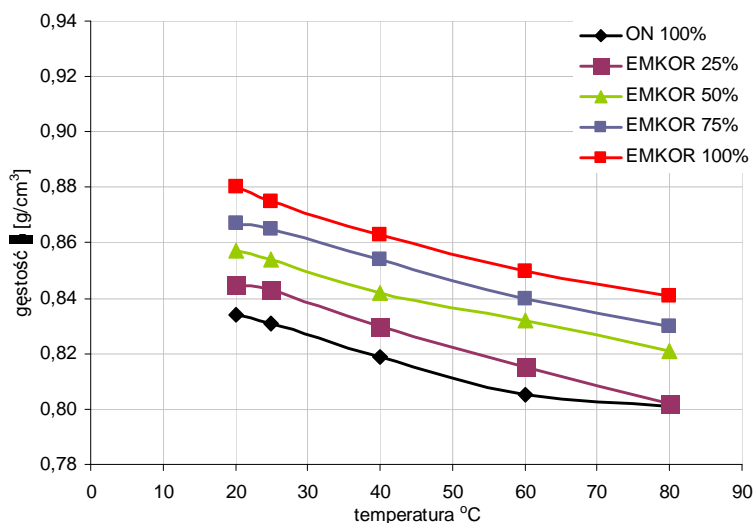
Z przytoczonej formuły wynika, że zasięg strugi paliwa rzepakowego będzie tym większy im będzie większa lepkość takiego paliwa. Będzie to skutek prawdopodobnego wzrostu różnicy ciśnień i zmniejszania się kąta wierzchołkowego. Jednocześnie wzór ten wskazuje na możliwość sterowania zasięgiem strugi za pomocą ciśnień wtrysku. Zmniejszając np. średnicę otworu wylotowego, dla polepszenia jakości rozpylenia, można uzyskać taki sam zasięg strugi poprzez wzrost ciśnienia wtrysku [1]. Podobny zasięg strugi jak dla oleju napędowego można też uzyskiwać poprzez wzrost temperatury użytego paliwa

rzepakowego, gdyż jak wykazano lepkość oleju rzepakowego maleje wraz ze wzrostem temperatury.

Analizując wykresy gęstości (rys. 3 i 4) widać, że podobnie jak w przypadku lepkości, w miarę wzrostu temperatury gęstość stopniowo malała. Największą gęstością charakteryzował się ponownie OR 100%. Dysproporcje procentowe pomiędzy trzema podstawowymi paliwami nie były jednak, aż tak znaczące jak to miało miejsce w przypadku różnic w wynikach pomiarów lepkości kinematycznej.



Rys. 3. Gęstość ρ [g/cm^3] w funkcji temperatury [$^{\circ}\text{C}$] dla różnych proporcji nieprzetworzonego oleju rzepakowego i oleju napędowego



Rys. 4. Gęstość ρ [g/cm^3] w funkcji temperatury [$^{\circ}\text{C}$] dla różnych proporcji estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego i oleju napędowego

Widać jednak, że różnice pomiędzy EMKOR, a ON są ponownie mniejsze w stosunku do różnic OR i ON. Warto ponadto zauważyć, że gęstość OR 50% miała zbliżone wartości w całym zakresie temperatur do gęstości EMKOR 100%.

Tak jak i lepkość – również gęstość jest wielkością silnie oddziaływującą na jakość spalania paliwa w silnikach tłokowych. Parametr ten odpowiada między innymi za wielkość kąta rozpylenia strugi wypływającej z rozpylacza. Na wielkość kąta rozpylenia strugi α_s dowolnego paliwa, oprócz wspomnianej gęstości paliwa istotny wpływ ma również średnica otworu wylotowego, ciśnienie wtrysku, gęstość ośrodka, do którego wtryskiwane jest paliwo i inne parametry [5]. Dla oleju napędowego jest podawana empiryczna formuła do wyznaczania wartości tego kąta w postaci [6]:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{1}{A} 4\pi \left(\frac{\rho_g}{\rho_{pal}} \right)^{1/2} \frac{\sqrt{3}}{6} \quad (5)$$

gdzie:

ρ_g - gęstość ośrodka, do którego odbywa się wtrysk,

ρ_{pal} - gęstość paliwa,

A - stała dla danego rozpylacza, której wartość można wyznaczyć na podstawie formuły empirycznej: $A = 3,0 + 0,28 (l_o/d_o)$, gdzie l_o - długość kanalika rozpylacza, d_o - średnica otworu wylotowego rozpylacza.

Z powyższego wzoru wynika, iż dla danych wymiarów geometrycznych rozpylacza (długość kanalika i średnica otworu wylotowego) wartość kąta wierzchołkowego strugi wzrasta z powiększaniem stosunku gęstości ośrodka do gęstości paliwa. Zatem przy spadku gęstości paliwa, kąt wierzchołkowy strug rośnie. Kąt wtrysku wzrasta również z powiększaniem ciśnienia wtrysku – dla rozpylaczy o małych stosunkach długości kanalików rozpylających l_o do średnicy otworu wylotowego d_o i maleje dla rozpylaczy o dużych stosunkach l_o/d_o [5].

Na podstawie analizy wyników pomiarów widać, że wartości lepkości i gęstości estrów metylowych kwasów tłuszczowych oleju rzepakowego są zbliżone do analogicznych wartości oleju napędowego. Problem stanowią duże dysproporcje powyższych parametrów odpowiadające nieprzetworzonemu olejowi rzepakowemu i olejowi napędowemu. Jak wykazano – wartości zarówno lepkości jak i gęstości biopaliw maleją w miarę wzrostu ich temperatur. Tę korzystną cechę wykorzystują urządzenia, które są instalowane w pojazdach zasilanych OR, pozwalając tym samym na ich spalanie w silniku. Modyfikacja sprowadza się do takiego dostosowania układu zasilania, by olej został odpowiednio ogrzany (powyżej 40°C), dzięki czemu będzie mniej lepki. Operacja ta pozwoli następnie na prawidłowe rozpylenie paliwa przez rozpylacze. Zestaw konwertujący składa się z elektrycznych podgrzewaczy paliwa, przewodów paliwowych o zwiększonej średnicy, wtryskiwaczy pozwalających uzyskiwać większe ciśnienia wtrysku oraz świec żarowych o zwiększonej mocy. Gdy włączony w układ chłodzenia wymiennik ciepła osiągnie odpowiednią temperaturę, grzejniki elektryczne wyłączają się. Zestaw wyposażony jest w dwa zbiorniki paliwa. W jednym zbiorniku znajduje się olej napędowy, w drugim olej rzepakowy zasilający silnik, gdy jest już nagrany. Zaletą tego rozwiązania jest więc możliwość przełączania rodzaju paliwa. Zasadniczą wadę stanowi jednak brak możliwości

instalowania urządzenia w pojazdach z pompowtryskiwaczami, lub z układem typu common rail.

4. PODSUMOWANIE

Reasumując należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, iż wartości lepkości i gęstości analizowanych paliw rzepakowych są wyższe w porównaniu z tradycyjnymi paliwami co utrudnia, ale nie wyklucza stosowania biopaliw w silnikach tłokowych.

Temperatura wpływa na zmiany wielu parametrów paliwa, istotnych ze względu na procesy zachodzące w układzie wtryskowym silnika podczas tłoczenia paliwa, procesy rozpylenia i odparowania, a także spalania paliwa w cylindrze. Różna budowa chemiczna stosowanych paliw powoduje także odmienne skutki i zachowania się tych paliw w różnych temperaturach. Największe różnice dotyczą zmiany lepkości, gęstości i zachowania się paliw w niskich temperaturach.

Zasilanie silników spalinowych paliwami pochodzenia roślinnego wiąże się nie tylko z problemami dotyczącymi procesów rozpylenia, odparowania kropeł, ale również spalania. Wykorzystywanie biopaliw dotyczy również problemu dystrybucji paliwa począwszy od zbiornika paliwa, pompę niskiego i wysokiego ciśnienia, filtr paliwa, a kończąc na wtryskiwaczach.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Szlachta Z.: *Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi*. WKŁ, Warszawa 2002.
- [2] Serdecki W.: (p.r.): *Badania układów silników spalinowych*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2000.
- [3] Zabłocki M.: *Wtrysk i spalanie paliwa w silnikach wysokoprężnych*. WKŁ, Warszawa 1976.
- [4] Wakuri Y.: Takasaki K., Yang Y.: *Studies on the Fuel – Spray Combustion Characteristics in a Diesel Engine by the Aid of Photographic Visualisation*. W: Proceedings of the 18th CIMAC. Vol. 1. D.18. Tianjin 1989.
- [5] Varde K.S., Popa D.M. Varde L.K.: *Spray Angle and Atomization in Diesel Sprays*. SAE Transactions, 1984, nr 84 1055.
- [6] Heywood J.B.: *Internal Combustion Engine Fundamentals*. Mc Graw – Hill, Singapore 1989.