

**dr inż. Mirosław Czechowski¹,
dr inż. Wojciech Golimowski²,
prof. dr hab. inż. Tadeusz Sęk¹,
mgr inż. Jacek Szymanowicz¹**

1. Instytut Inżynierii Biosystemów,
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, Polska
E-mail: mczech@up.poznan.pl
2. Zakład Odnawialnych Źródeł Energii,
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy;
ul. Biskupińska 67, 60-463 Poznań, Polska
E-mail: w.golimowski@itep.edu.pl

Zadymienie spalin silnika z zapłonem samoczynnym zasilanego tłuszczami zwierzęcymi

Słowa kluczowe: Biopaliwa, tłuszcz wieprzowy, lepkość kinematyczna, zadymienie spalin

Abstrakt: Dywersyfikację źródeł energii uznano za jedno z działań zapobiegających negatywnemu oddziaływaniu człowieka na środowisko. W tym celu konieczne jest rozwiązanie problemów związanych z zastępowaniem paliw kopalnych biopaliwami, m. in. wzrost cen produktów spożywczych, wywołany dynamicznym rozwojem biopaliw pochodzenia roślinnego. Dlatego za cel badań przyjęto wykonanie eksperymentu, polegającego na ocenie możliwości technicznych zastąpienia oleju napędowego wytopionymi tłuszczami zwierzęcymi. Z przeprowadzonych badań wstępnych wynika, że tłuszcze w temperaturze 120°C charakteryzują się lepkością kinematyczną porównywalną do oleju napędowego w 40°C, ponadto zasilany nimi silnik ZS emitował o 70% mniej cząstek stałych w spalinach w porównaniu do silnika zasilanego olejem napędowym.

1. Wstęp

Transport na całym świecie uzależniony jest od ciągłych dostaw paliw ciekłych i gazowych. Z powodu coraz większej uciążliwości pojazdów, emitujących do środowiska naturalnego szkodliwe gazy, wiele placówek naukowych podejmuje prace w celu rozwiązania tego problemu. Za takie rozwiązanie uznano wprowadzanie alternatywnych paliw w stosunku do paliw kopalnych, zwanych ogólnie biopaliwami. Wytwarzane są one z różnego rodzaju biomasy za pomocą różnych technologii i przekształcane do postaci paliw formowanych.

Jednym z rodzajów biopaliw, mających największe szanse rozwoju w gospodarce, są paliwa ciekłe, otrzymywane z olejów roślinnych [13]. Na podstawie wyników dotychczas przeprowadzonych badań, dowiedziono braku technicznych barier stosowania oleju roślinnego w czystej postaci jako paliwa do pojazdów rolniczych [10, 22]. Czechowski i in. w 2006 roku nie stwierdzili negatywnego oddziaływania biopaliw na elementy robocze pompy wtryskowej ciągnika rolniczego [7]. Natomiast Koniuszy w 2001 roku zasygnalizował, że wzrost ilości biopaliw w oleju silnikowym wpływa na pogorszenie warunków smarowania elementów silnika, co skutkuje koniecznością zwiększenia częstotliwości wymiany oleju w silniku z ZS [16].

Z drugiej strony stosowanie biopaliw wytwarzanych z olejów roślinnych jest poważnym problemem społecznym i gospodarczym. Nonhebel w 2012 roku podkreślił, że

wytwarzanie biopaliw z biomasy jest poważnym zagrożeniem dla produkcji żywności [19]. Mueller i in. w 2011 opublikowali rezultaty badań, z których wynika, że wzrost cen zbóż jest silnie skorelowany ze wzrostem podaży biopaliw [18]. Peri i Baldi w 2013 roku wykazali silną korelację cen rynkowych pomiędzy olejem napędowym a olejem roślinnym [21]. Reasumując, można stwierdzić, że wzrost cen oleju napędowego silnie oddziałuje na ceny żywności i biomase, z której wytwarzane są biopaliwa.

Zastąpienie oleju napędowego biopaliwami pochodzenia roślinnego jest uznawane za działania proekologiczne, co wynika z ograniczenia emisji CO₂. Z badań przeprowadzonych przez Dzieniszewskiego w 2009 roku, wynika że poziom emisji CO₂, po uwzględnieniu nakładów pracy na wytworzenie biopaliw, następnie ich spalania w silnikach ZS jest znacznie większy niż w przypadku stosowania oleju napędowego [6]. Istotnym powodem tego zjawiska są duże nakłady pracy na celowe uprawy energetyczne. W odpowiedzi na tą informację Pasyniuk w 2010 roku stwierdził, że podczas zasilania silników ZS biopaliwami zachowany jest bilans CO₂, gdyż rośliny przyswajają całą ilość CO₂ wyemitowaną przez silniki, zasilane paliwami wyprodukowanymi z tych roślin [20]. Należy również podkreślić, że silniki zasilane biopaliwami emitują znacznie mniej związków toksycznych tj. tlenku węgla, węglowodorów oraz cząstek stałych. Shirmeshan w 2013 wykazał 30% redukcję tych związków przy 20% udziale biopaliw [24]. Również Kalam i in. w 2010 roku stwierdzili, że wraz ze wzrostem udziału biopaliw w oleju napędowym następuje znacząca redukcja tych związków [14]. Jednakże w obydwu przypadkach stwierdzono wzrost emisji tlenków azotu. Hossain i Davies w 2010 roku wykazali możliwość redukcji emisji tlenków azotu zastępując częściowo olej napędowy olejem słonecznikowym [12]. Senthil i in. w 2005 roku wykonali doświadczenia polegające na zasilaniu silnika rozgrzаныmi tłuszczami zwierzęcymi i doszedł do wniosku, że wraz ze wzrostem temperatury tego paliwa emisja tlenków azotu ulega ograniczeniu [25]. Powyższe wyniki wskazują więc, że uzasadniona jest produkcja biopaliw z biomasy niepochodzącej bezpośrednio z produkcji roślinnej, co z pewnością pozwoli na ograniczenie lub wręcz zaprzestanie prowadzenia celowych upraw energetycznych.

Jednym z ciekawych rozwiązań do rozważenia jest wytwarzanie biopaliw z tłuszczów niespożywczych oraz tłuszczów zwierzęcych. Roszkowski w 2012 roku stwierdził, że realny termin wdrożenia technologii pozwalających na produkcję biopaliw z tłuszczów pochodzących z rynku wtórnego w UE to lata 2015-2017 [23]. Z dotychczas prowadzonych badań wynika, że nie ma technicznych barier uniemożliwiających zasilanie silników starszych generacji tłuszczami różnego pochodzenia. Czaczyk i in. w 2012 roku wykonali eksperyment czynny, w którym badali parametry energetyczne silnika ciągnika rolniczego zasilanego tłuszczami posmażalniczymi [5]. Wegner i in. w 2013 opublikowali wyniki badań parametrów energetycznych silnika zasilanego paliwem zwierzęcym od 15% do 50% zużytego oleju sojowego [27]. W ostatnich latach wykonano również wiele badań parametrów pracy silnika ZS, zasilanego estrami z tłuszczów zwierzęcych [2, 3]. Stosowanie biopaliw w porównaniu do paliw konwencjonalnych przyczynia się do obniżenia zadymienia spalin oraz wzrostu emisji NO_x [1]. Natomiast stosowanie wytopionych tłuszczów zwierzęcych lub w postaci emulsji z etanolem jako paliwa, powoduje znaczącą redukcję zadymienia spalin jak również redukcję NO_x [15, 26].

Ilość surowców, tj. tłuszczów zwierzęcych oraz olejów z rynku wtórnego jest ograniczona. Marczak w 2010 roku opublikował dane szacunkowe ilości tłuszczów zwierzęcych wytwarzanych w Polsce, które mogą być użyte do produkcji biopaliw bez negatywnego oddziaływania na poziom cen produktów spożywczych. Stwierdził on, że do 2020 roku w Polsce będzie co roku wytwarzane około 60 tys. Mg tłuszczu wołowego i wieprzowego niezagospodarowanego na cele spożywcze, w tym tłuszczów z odpadów poubojowych [17]. Ferenc i Pikoń w 2003 oszacowali potencjał wytwórczy tłuszczów odpadowych w Polsce. Stwierdzili oni, że w roku 2002 w Polsce wytworzono łącznie około

130 tys. Mg takich tłuszczów, natomiast w roku następnym około 150 tys. Mg. Według opinii autorów przedstawione dane są mocno zaniżone, gdyż wystąpiła duża rozbieżność wyników między badaniami ankietowymi a danymi z okresowych raportów o odpadach [7].

Na podstawie przedstawionej powyżej analizy stanu wiedzy podjęto badania wstępne, w celu określenia zmian właściwości reologicznych pod wpływem temperatury wytopionych tłuszczów wieprzowych i możliwości redukcji poziomu zadymienia spalin silnika ZS, na skutek zastosowania tłuszczu jako paliwa o temperaturze powyżej 80°C.

2. Metodyka badań

Badania były prowadzone dwuetapowo. W pierwszym etapie wyznaczono rozkład lepkości kinematycznej tłuszczu wieprzowego w funkcji temperatury, natomiast w drugim dokonano pomiarów zadymienia spalin silnika ZS zasilanego tłuszczem wieprzowym o różnych temperaturach.

Przyjęto, że pomiary lepkości badanego tłuszczu wieprzowego zostaną przeprowadzone w zakresie temperatur od 60 do 160°C z rozdzielczością co 10°C. Jednocześnie ustalono, że każdy pomiar zostanie powtórzony trzykrotnie, a za wynik przyjęta zostanie średnia arytmetyczna ze wszystkich trzech pomiarów.

Badanie lepkości zostało przeprowadzone zgodnie z normą PN-77/C-04014. Na podstawie przeprowadzonych badań określono lepkość kinetyczną. Oznaczanie lepkości tłuszczu polegało na dokonaniu pomiaru czasu wypływu 200 cm³ badanego tłuszczu o określonej temperaturze, oraz czasu wypływu takiej samej objętości wody destylowanej w temperaturze 20°C w warunkach określonych w normie (PN-77/C-04014). Następnie obliczono lepkości względne w stopniach Englera °E, a na podstawie uzyskanych wyników z tablic dołączonych do normy odczytano lepkość kinematyczną badanego tłuszczu.

Przed rozpoczęciem badań wyznaczono stałą k dla zastosowanego do badań wiskozymetru Englera. W tym celu trzykrotnie dokonano pomiaru czasu wypływu 200 cm³ wody destylowanej o temperaturze 20°C. Za stałą k przyrządu przyjęto średnią arytmetyczną z tych trzech pomiarów.

Podczas pomiarów lepkościomierz napełniano rozgrzanym tłuszczem wieprzowym o temperaturze wyższej niż zakładana temperatura pomiaru. Jednocześnie ciecz wypełniająca łaźnię wodną wiskozymetru podgrzewano wcześniej do temperatury, dla której miano przeprowadzić pomiar. Po napełnieniu wiskozymetru badaną próbką konieczne było odczekanie do osiągnięcia przez wiskozymetr i próbkę zakładanej temperatury pomiaru. Gdy to nastąpiło wykonywano pomiar czasu wypływu badanego tłuszczu do wcześniej przygotowanej kolby miarowej.

Do przeprowadzenia eksperymentu czynnego oceny zadymienia spalin, wykorzystano silnik z zapłonem samoczynnym o pojemności skokowej 1588 cm³ i mocy nominalnej 37 kW, uzyskiwanej przy 4800 obr·min⁻¹. Układ zasilania paliwa składał się z rozdzielaczowej pompy wtryskowej z systemem wtrysku pośredniego do komory wirowej. Z uwagi na to, że prowadzono badania o charakterze porównawczym, do próby kontrolnej, wykonywanej na znormalizowanym oleju napędowym, nie brano pod uwagę stopnia wyeksploatowania silnika. Silnik został wyposażony w dwa zbiorniki paliwa, nie ogrzewany na olej napędowy oraz zaizolowany i wyposażony w układ podgrzewania przeznaczony na tłuszcz zwierzęcy. W celu zmniejszenia strat ciepła, przewody paliwowe zostały wyposażone w system grzewczy, zasilany energią elektryczną, co pozwoliło utrzymać zadaną temperaturę wtryskiwanego do cylindrów paliwa.

Do obciążenia silnika niezbędnego do osiągnięcia stanu równowagi termicznej użyto hydrauliczny dynamometr stacjonarny systemu Junkersa typ H0. Dynamometr został

połączony bezpośrednio do koła zamachowego silnika za pomocą wału przegubowo-teleskopowego.

Do pomiarów zadymienia spalin wykorzystano dymomierz optyczny Radiotechnika DO 9500, którego podstawowe dane techniczne zamieszczono w poniższej tabeli. Pomiarzy zadymienia prowadzono na rozgrzanym silniku zasilanym badanym paliwem.

Tabela 1. Charakterystyka techniczna dymomierza optycznego Radiotechnika DO 9500

Wielkości mierzone	Zakres	Rozdzielczość	Jednostka
Zadymienie spalin: Współczynnik absorpcji k	0...∞	0,01	m ⁻¹
Nieprzeźroczystość N	0...100	1 lub 0,1	%
Prędkość obrotowa	60...9999	1	obr·min ⁻¹
Temp. oleju T _{oil}	0...150	1	°C

Badania zadymienia spalin przeprowadzono zgodnie z poniższą procedurą. Po uruchomieniu silnik został wstępnie rozgrzany a następnie obciążony mocą nominalną, aż do osiągnięcia stanu równowagi termicznej. Bezpośrednio po rozgrzaniu silnika wyznaczono charakterystykę zewnętrzną eksploatacyjną silnika zasilanego olejem napędowym. Następnie dokonano pomiaru zadymienia spalin silnika zasilanego napędowym standardowym paliwem.

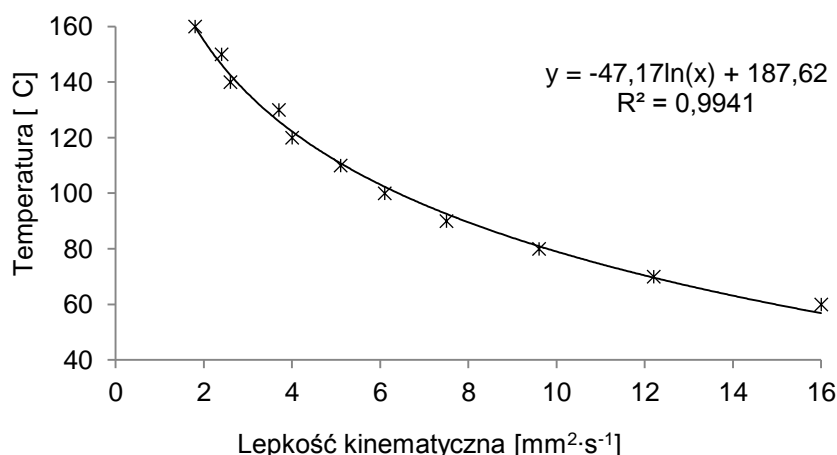
Pomiar współczynnika absorpcji k przeprowadzono metodą swobodnego przyspieszania, polegającą na obciążeniu silnika bezwładnością wirujących elementów samego silnika oraz połączonego z nim hamulca silnikowego. W celu dokonania pomiaru zwiększano gwałtownie prędkość obrotową silnika od prędkości biegu jałowego do maksymalnej poprzez zdecydowane przesunięcie dźwigni dawkowania paliwa z położenia biegu jałowego w położenie maksymalnej dawki paliwa. W celu uśrednienia wyników pomiaru dokonano dziesięciokrotnie zachowując pomiędzy kolejnymi pomiarami 15 sekundowy okres pracy silnika na biegu jałowym.

Po zakończeniu tego pomiaru napełniono układ paliwowy silnika tłuszczem wieprzowym i przez 15 minut silnik pracował z mocą nominalną z celu zagwarantowania całkowitego usunięcia oleju napędowego z elementów układu paliwowego. Następnie powtórzono trzykrotnie powyższą procedurę pomiarową dla wybranych temperatur tłuszczu wieprzowego.

3. Omówienie wyników badań

Stała k dla układu pomiarowego lepkości wynosiła 50,66 przy współczynniku zmienności <1%. Średnie arytmetyczne czasów wypływu tłuszczu, dla których współczynnik zmienności wynosił <5% do zmiany temperatur miały logarytmiczny rozkład o dopasowaniu $R^2 > 0,99$.

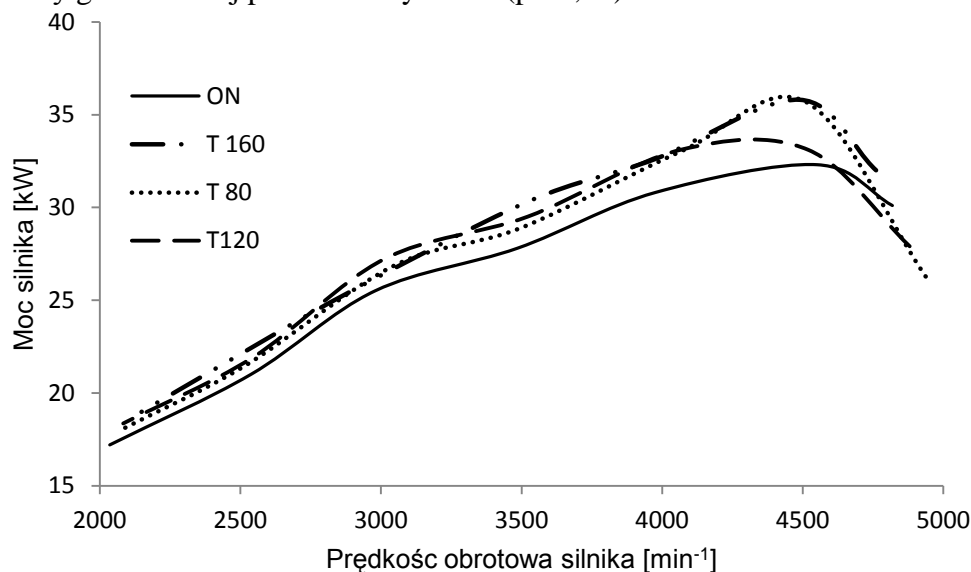
Lekkość kinematyczna tłuszczu wyznaczona w założonym przedziale temperatur (60-160)°C osiągała wartości od 1,8 do 12 mm²·s⁻¹, i była wysoce ujemnie skorelowana względem temperatury $r = -0,94$ (rys. 1).



Rys. 1. Zależność pomiędzy lepkością kinematyczną tłuszczu wieprzowego, a temperaturą jego ogrzania

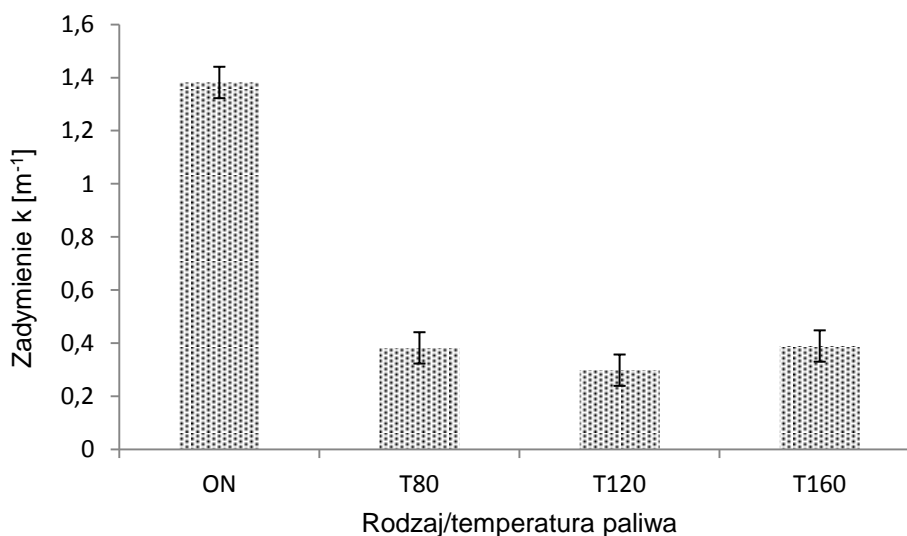
Temperatury, w których lepkość kinematyczna tłuszczu wieprzowego jest zbliżona do lepkości oleju napędowego w 40°C, mieści się w przedziale 120 – 140°C. Tłuszcze zwierzęce składają się w około 35% z kwasów stearynowego i palmitynowego (temperatura topnienia 70°C i 64°C), dlatego w warunkach otoczenia zachowują stały stan skupienia [5]. Temperaturę krzepnięcia tego rodzaju paliw można zmienić chemicznie poprzez proces transestryfikacji, wtedy tego rodzaju paliwa krzepną w temperaturze zbliżonej do 10°C. Według Goodruma i in. tłuszcze zwierzęce mogą być stosowane jako komponent oleju opałowego do instalacji grzewczych, w których paliwo jest wstępnie ogrzewane a warunki jego przechowywania nie ulegają zmianie [11].

Stwierdzono, że rodzaj zastosowanego paliwa, oraz temperatura tłuszczu wieprzowego nie miały istotnego wpływu na generowaną przez silnik moc. Jak wynika z przeprowadzonych badań, silnik zasilany rozgrzanym tłuszczem zwierzęcym (temperatury paliwa 80°C, 120°C i 160°C) generował maksymalną moc wynoszącą średnio 34,9 kW ± 4%, natomiast przy zasilaniu olejem napędowym moc ta wynosiła 32,3 kW ± 8% (rys. 2). Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej, wariancji jednoczynnikowej przyjmując 5% poziomie ufności stwierdzono, że rodzaj paliwa nie ma istotnego wpływu na maksymalną wartość mocy generowanej przez badany silnik (p= 0,08).



Rys. 2. Moc silnika w warunkach maksymalnego nastawienia pompy wtryskowej; ON- olej napędowy; T80 , T120, T160 – tłuszcz wieprzowy o temperaturach wynoszących odpowiednio 80°C, 120°C, 160°C

Kolejnym etapem badań był pomiar zadymienia spalin silnika zasilanego olejem napędowym a następnie przetopionymi tłuszczami zwierzęcymi. Średnia wartość zadymienia spalin dla silnika zasilanego olejem napędowym wyniosła $k = 1,38 \text{ m}^{-1}$. Porównując tę wartość z wartościami uzyskanymi podczas zasilania silnika podgrzany tłuszczem zwierzęcym, które wynosiły od $k=0,38 \text{ m}^{-1}$ (80°C), poprzez $k=0,30 \text{ m}^{-1}$ (120°C), aż po $k=0,39 \text{ m}^{-1}$ (160°C) stwierdzono znaczącą redukcję zadymienia spalin sięgającą około 70% (rys. 3.). Tak mała wartość zadymienia wynikać może między m.in. z różnic udziału węgla i tlenu w porównywanych paliwach. W oleju napędowym ilość węgla wynosi 84-87% i praktycznie brak jest tlenu, w tłuszczach zwierzęcych węgiel stanowi około 73% (m/m), natomiast udział tlenu wynosi ok. 12,5% (m/m) [25].



Rys. 3. Porównanie zadymienia spalin silnika zasilanego olejem napędowym i tłuszczem wieprzowym: ON- olej napędowy; T80, T120, T160 – tłuszcz wieprzowy o temperaturach wynoszących odpowiednio 80°C , 120°C , 160°C

4. Podsumowanie

Z literatury wynika, że tłuszcze są mieszaniną kwasów tłuszczowych, które charakteryzują się różnymi temperaturami płynięcia od -14°C kwas linolenowy do 70°C kwas stearynowy [8]. Jak wynika z badań Golimowskiego i in., tłuszcze niezależnie od pochodzenia i rodzaju charakteryzują się lepkością kinematyczną na poziomie $19,67 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \pm 5\%$ uzyskiwaną w temperaturze 60°C (za wyjątkiem tłuszczów posmażalniczych) [9]. Natomiast w niższych temperaturach lepkość kinematyczna zależy od rodzaju tłuszczów. Na tej podstawie, w odniesieniu do wyników uzyskanych w niniejszej pracy, można przyjąć hipotezę, że tłuszcze pochodzenia roślinnego również będą charakteryzowały się porównywalną do oleju napędowego lepkością kinematyczną w temperaturze powyżej 120°C . Potwierdzenie tej hipotezy wymaga ponownego przeprowadzenia badań zgodnie z opracowaną przez autorów metodyką.

W 2005 roku Senthil i in. dowiedli, że wzrost temperatury tłuszczów zwierzęcych zastosowanych do zasilania silnika ZS wpływa na obniżenie zadymienia spalin. Zadymienie spalin emitowanych przez silnik zasilany tłuszczami o temperaturze 30°C było mniejsze w stosunku do silnika zasilanego olejem napędowym o około 30%. Wzrost temperatury tłuszczów do 70°C spowodował redukcję zadymienia o 60% w porównaniu do oleju napędowego [25]. Natomiast na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono, że zasilanie silnika tłuszczem wieprzowym o temperaturze 80°C spowodowało spadek

zadymienia spalin o około 70% w porównaniu do silnika zasilanego olejem napędowym. Ponadto stwierdzono, że dalszy wzrost temperatury tłuszczu nie powodował istotnej zmiany stopnia zadymienia spalin. Senthil i in. stwierdzili, że mniejsze zadymienie spalin wynika z charakterystyki wywiązywania się ciepła w cylindrach. Podczas pierwszej fazy, gdzie następuje dynamiczny przyrost ciśnienia w cylindrach, w przypadku tłuszczów zwierzęcych zaobserwowano mniejszą dynamikę wywiązywania się ciepła. Natomiast odwrotnie było w fazie dopalenia paliwa [25]. Powodem tego zjawiska jest mniejsza ilość węgla w tłuszczu i obecność tlenu. Większa ilość ciepła w fazie dopalenia paliwa sprzyja wyższej temperaturze emitowanych spalin [2]. Barrios i in. stwierdzili natomiast, że różnice zadymienia spalin silnika zasilanego olejem napędowym, następnie mieszaniną biodiesla z tłuszczu zwierzęcego i oleju napędowego (50/50) nie zależą od obciążenia silnika. Wraz ze wzrostem średnich prędkości przemieszczającego się pojazdu, co bezpośrednio przekłada się na wzrost obciążenia silnika, różnice poziomu zadymienia spali były wprost proporcjonalnie równe dla wszystkich badanych obciążeń silnika [3]. Innym, skutecznym sposobem obniżenia zadymienia spalin jest stosowanie tłuszczu zwierzęcego w postaci emulsji tłuszczu zwierzęcego z etanolem [15]. Należałoby więc podjąć badania i w sposób kompleksowy określić wpływ paliw pochodzenia roślinnego i zwierzęcego o temperaturze, w której lepkość kinematyczna byłaby porównywalna do oleju napędowego w 40°C, na parametry pracy i poziom emisji silnika ZS.

5. Wnioski

- Wytopione tłuszcze wieprzowe charakteryzują się lepkością kinematyczną 2,5-4 mm²·s⁻¹ (lepkość oleju napędowego w 40°C) w temperaturach od 120°C do 140°C.
- Zasilanie silnika z zapłonem samoczynnym rozgrzanyymi tłuszczami zwierzęcymi wpływa na znaczącą redukcję zadymienia spalin i wzrost o 10% mocy w porównaniu do oleju napędowego. Z przeprowadzonych badań wynika, że silniki zasilane rozgrzanyymi tłuszczami zwierzęcymi o temperaturze wyższej niż 80°C, emitują o 70% mniej zanieczyszczeń stałych do atmosfery.
- Paliwo może być wstępnie podgrzewane za pomocą cieczy chłodzącej silnik, a następnie za pomocą układu elektrycznego do temperatury min. 80°C. Dalszy wzrost temperatury tłuszczów nie miał wpływu zmianę badanych parametrów silnika.

6. Bibliografia

1. Armas O, Gracja-Contreras R, Ramos A. Emissions of light duty vehicle tested under urban and extraurban real-world driving conditions with diesel, animal fat biodiesel and GTL fuels. SAE Technical Paper 2013; 13240176.
2. Awad S, Loubar K, Tazerout M. Experimental investigation on the combustion, performance and pollutant emissions of biodiesel from animal fat residues on a direct injection diesel engine. Energy 2014; 69: 826-836.
3. Barrios CC, Dominguez-Saez A, Martin C, Alvarez P. Effects of animal fat based biodiesel on a TDI diesel engine performance, combustion characteristics and particle number and size distribution emissions. Fuel 2014; 117: 618-623.
4. Czechlowski M, Krysztofiak A, Adamski M, Antczak W. Wpływ stosowania oleju rzepakowego jako paliwa na trwałość aparatury wtryskowej silników ZS. Inżynieria Rolnicza 2006; 12(87): 85-92.

5. Czaczyk Z, Czechowski M, Golimowski W, Dereń B. Badanie parametrów fizycznych zużytych tłuszczów naturalnych i ich wpływ na parametry pracy silnika ciągnika rolniczego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 2012; 2(57): 51–57.
6. Dzieniszewski G. Wybrane aspekty ekologiczne i ekonomiczne zasilania silników Diesla paliwami roślinnymi. *Inżynieria Rolnicza* 2009; 6(115): 45–52.
7. Ferenc Z, Pikoń K. Przegląd rodzajów i ilości odpadów tłuszczowych i olejowych w Polsce. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska* 2005; 2: 69–80.
8. Gawęcki J. Prawda o tłuszczach. Warszawa. W: Instytut Danone FPZ 1997. ISBN 83-907366-1-6: 78.
9. Golimowski W, Golimowska R, Kliber A. Zależność temperaturowa lepkości kinematycznej tłuszczów zwierzęcych, olejów roślinnych oraz produktów reakcji transestryfikacji. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 2011; 1(56): 50-55.
10. Golimowski W., Pasyniuk P., Berger A.W. 2013. Common rail diesel tractor engine performance running on pure plant oil. *Fuel* 2013; 103: 227–231.
11. Goodrum JW, Geller DP, Adams TT. Rheological characterization of animal fats and their mixtures with #2 fuel oil. *Biomass and Bioenergy* 2003; 3(24): 249–256.
12. Hossain AK, Davies PA, Plant oils as fuels for compression ignition engines: A technical review and life-cycle analysis. *Renewable Energy* 2010. 35: 1–13.
13. Jackowska I, Krasucki W, Piekarski W, Tys J, Zając G. Rzepak z pola do baku. PWRL Warszawa 2004, ISBN 83-09-01781-2: 134.
14. Kalam MA, Masjuki HH, Jayed MH, Liaquat AM. Emission and performance characteristics of an indirect ignition diesel engine fuelled with waste cooking oil. *Energy* 2011; 1(36): 397–402.
15. Kerihuel A, Santhil K.M, Belletter J, Tazerout M. Investigations on a CI Engine Using Animal Fat and Its Emulsions With Water and Methanol as Fuel. *SEA Technical Paper* 2005; 05011729.
16. Koniuszy A. 2001. Wpływ stosowania biopaliwa RME w silnikach wysokoprężnych pojazdów rolniczych na wybrane własności użytkowe oleju silnikowego. *Inżynieria Rolnicza* 2001; Nr 1(21): 135–140.
17. Marczak P. Wykorzystanie tłuszczu zwierzęcego jako biopaliwa – Wybrane zagadnienia. *Opracowania tematyczne OT-589*. Warszawa 2010: 14.
18. Mueller SA, Anderson JA, Wallington TJ. Impact of biofuel production and other supply and demand factors on food price increases in 2008. *Biomass and Bioenergy* 2011; 5(35): 1623–1632.
19. Nonhebel S. Global food supply and the impacts of increased use of biofuels. *Energy* 2012; 1(37): 115–121.

20. Pasyniuk P. Ograniczenie emisji gazów cieplarnianych przez zastąpienie oleju napędowego olejami roślinnymi. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2010; 4: 79-89
21. Peri M, Baldi L. The effect of biofuel policies on feedstock market: Empirical evidence for rapeseed oil prices in EU. *Resource and Energy Economics* 2013; 1(35): 18–37.
22. Rathbauer J, Krammer K, Kriechbaum T, Prankl H, Breinesberger J. Rapsöl als Treibstoffalternative für die Landwirtschaft BMLFUW-LE.1.3.2/0037-II/1/2006. Forschungsprojekt No. 1337: 317.
23. Roszkowski A. Biodiesel w UE i Polsce – obecne uwarunkowania i perspektywy. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2012. 3(77): 65–78.
24. Shirneshan A. HC, CO, CO₂ and NO_x emission evaluation of a diesel engine fueled with waste frying oil methyl ester. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 2012; 3(75): 292–297.
25. Senthil KM, Kerihuel A, Bellettre J, Tazerout M. Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine. *Renewable Energy* 2005; 9(30): 1443–1456.
26. Takayuki M, Takaaki M. Diesel Engine Operation and Exhaust Emissions When Fueled with Animal Fats. SEA Technical Paper 2005; 05013673.
27. Wegner EP, Lambert PD, Moyle TM, Koehle MA. Diesel vehicle performance on unaltered waste soybean oil blended with petroleum fuels. *Fuel* 2013; 107: 757-765.