

WYZNACZENIE WPŁYWU TEMPERATURY NA LEPKOŚĆ DYNAMICZNĄ BIOPALIW ROŚLINNYCH

Grzegorz Wcisło

Katedra Energetyki Rolniczej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu temperatury na lepkość dynamiczną biopaliw typu Biodiesel RME i SME oraz dla porównania oleju napędowego. Badania stanowiskowe przeprowadzono na reometrze RHEOLABQC niemieckiej firmy Anton Paar GmbH. W celu określenia wpływu temperatury na lepkość dynamiczną reometr został wyposażony w wannę termostatyczną firmy GRANT. Dla badanych paliw wyznaczono zmienność lepkości w zakresie temperatur od -10 do 20°C. W temperaturze -10°C najwyższą lepkością wynoszącą 42 mPa·s charakteryzował się RME, nie co niższą wartość lepkości uzyskano dla SME – 36 mPa·s, natomiast najniższą lepkością cechuje się olej napędowy - 10,3 mPa·s. Wraz ze wzrostem temperatury lepkość malała, przy czym dla RME i SME gwałtownie w zakresie temperatur od -10 do -6°C. Dla pozostałego zakresu temperatur lepkość maleje praktycznie liniowo wraz ze wzrostem temperatur. W temperaturze 20°C lepkość przyjmowała następujące wartości około 13 mPa·s dla RME oraz SME i odpowiednio 8,4 mPa·s dla oleju napędowego.

Słowa kluczowe: biodiesel, RME, SME, lepkość dynamiczna

Wstęp

W celu wywołania przepływu cieczy trzeba wykonać pewną pracę, która musi pokonać siły bezwładności i oddziaływań wewnętrznych. Wielkość włożonej pracy rośnie wraz ze wzrostem oporów mechanicznych przemieszczania warstw cieczy oraz jest uzależniona od wielkości oddziaływań międzycząsteczkowych. Z prawa przepływu Newtona wynika zależność sił przeciwdziałających przemieszczaniu się warstw cieczy, które znajdują się w odległości dx od siebie, z prędkością dv .

$$F = \eta \cdot S \cdot \frac{dV}{dx} \quad (1)$$

gdzie:

- η – lepkość dynamiczna,
- S – powierzchnie warstwy,
- F – siła styczna,
- V – prędkość przemieszczenia,
- x – odległość warstw,
- τ – naprężenie styczne [$\tau = f(dv/dx)$].

Przy odniesieniu siły do jednostki powierzchni i pewnym przekształceniu wzoru otrzymamy wyrażenie na lepkość dynamiczną.

$$\eta = \frac{\tau}{\frac{dv}{dx}} \quad (2)$$

gdzie:

dv/dx – gradient prędkości ścinania.

Wielkość η jest określana powszechnie mianem lepkości dynamicznej i jest współczynnikiem proporcjonalności między naprężeniem stycznym, a odpowiadającym mu gradientem prędkości. Lepkość dynamiczna jest miarą oporu przepływu lub deformacji cieczy [Polska norma PN-EN ISO 3104]. Lepkość decyduje o oporze przepływu paliwa przez przewody, filtry i otwory rozpylacza. Wpływa również na przebieg wtrysku, zasięg strugi i rozpylanie paliwa w komorze spalania silnika. Wpływa na własności smarne, co jest szczególnie ważne w przypadku rotacyjnych pomp wtryskowych, ponieważ w tego typu pompach smarowanie elementów pompy odbywa się olejem napędowym. 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 [Szlachta 2002, Juva i in. 1998]. Istnieje również ścisła zależność między lepkością a temperaturą i prędkością ścinania.

Problem z nadmierną lepkością niektórych biopaliw jest bardzo poważny, a w ostatnich latach urosł do rangi jednego z kluczowych. Wiąże się to przede wszystkim z stosowaniem aparatury wtryskowej, która podaje paliwo do silnika przy ciśnieniu dynamicznym dochodzącym do 260 MPa. Dlatego nawet niewielkie zwiększenie tego parametru może się odbić negatywnie na pracy aparatury wtryskowej. O tym, że biopaliwa będą wchodziły na rynki paliwowe było wiadomo już roku 1997, dlatego producenci powinni dostosować układy wtryskowe również do paliw o lepkości większej o 20 do 40%. Problem zasilania biopaliwami dotyczy głównie osób, które same chcą produkować biopaliwa, czyli głównie chodzi o rolników. Analizując sytuację rynkową pod kątem urządzeń do produkcji biopaliw jestem mocno zaniepokojony. Okazuje się bowiem, że zdecydowana większość oferowanych reaktorów (estryfikatorów) wytwarza biopaliwo o bardzo wątpliwej jakości. Po pierwsze uzyskuje się niskie stopnie konwersji, czyli zamiany oleju (triacyllogliceroli) w estry wyższych kwasów tłuszczowych. Najczęściej uzyskiwane stopnie konwersji wynoszą od około 85%, co oznacza, że około 15% kwasów tłuszczowych oleju nie została zamieniona w estry odpowiednich kwasów. Pozostaje więc w biopaliwie stosunkowo dużo lepkich monoacylogliceroli i diacylogliceroli, które pogarszają własności reologiczne biopaliwa. Norma EN 14214 na biopaliwo typu Biodiesel FAME podaje, że monoacylogliceroli może być w paliwie maksymalnie - 0,8% (m/m), natomiast diacylogliceroli - tylko 0,2% (m/m). Tymczasem pozostawienie nawet śladowych ilości fazy glicerynowej powoduje znaczny wzrost lepkości. Jak wynika z badań własnych autora publikacji lepkość prawidłowo oddzielonej fazy glicerynowej uzyskanej po metanolizie oleju rzepakowego w temperaturze 20°C wynosi około 940 [mPas], podczas gdy oleju napędowego około 8 mPas, estrów RME około 13 mPas, natomiast oleju rzepakowego około 70 mPas. Z powyższego wynika, że w temp. temperaturze 20°C lepkość oleju jest o 5,5 krotnie większa, a fazy glicerynowej o ponad 72 razy od lepkości RME.

Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu temperatury oraz szybkości ścinania na lepkość dynamiczną paliwa typu Biodiesel oraz dla porównania oleju napędowego letni typu City Diesel. Badaniom poddano estry metylowe oleju rzepakowego - Biodiesel RME (ang. Rapeseed Methyl Esters) oraz estry metylowe oleju sojowego - Biodiesel SME (ang. Soybean Methyl Esters). W trakcie badań wyznaczono zmienność lepkości dynamicznej w zakresie temperatur od -10 do 20°C . W pierwszej części badań szybkość ścinania wrzeczona reometru była stała i przyjmowała wartość $1000[\text{s}^{-1}]$, natomiast w drugiej zmieniała swoją wielkość w zakresie od 1000 do $1500 [\text{s}^{-1}]$.

Charakterystyka stanowiska badawczego

Głównym urządzeniem stanowiska badawczego jest reometr ReolabQC niemieckiej firmy Anton Paar GmbH - rys. 1. Wymieniony reometr jest przyrządem przeznaczonym do wyznaczania parametrów mechanicznych, reologicznych płynów oraz paliw. Przyrząd mierzy m in. lepkość dynamiczną, napięcie powierzchniowe, siły ścinające, szybkość ścinania, napięcie ścinania, itp. Reometr jest również wyposażony w czujnik temperatury oraz zintegrowany system pomiaru czasu. W celu określenia wpływu temperatury na ww. parametry stanowisko badawcze; reometr zostało dodatkowo wyposażone w wannę termostatyczną firmy Grant. Wyniki badań poprzez system pomiarowy lepkościomierza były przesyłane do komputera i tam zapisywane oraz obrabiane w programie RHEOPLUS/32 V3.0.



Rys. 1. Stanowisko badawcze wyposażone w reometr oraz wannę termostatyczną
Fig. 1. Test stand equipped with rheometer and thermostatic tank

Reometr wyposażony jest w wewnętrzną pamięć oraz system generowania programów badań. Pracą reometru z zewnątrz może zarządzać komputer umożliwiający tworzenie i edytowanie programów pomiarowych, dzięki któremu możliwe jest dowolne i wielokrotne ustawienie parametrów i zapisanie ich bez konieczności kasowania.

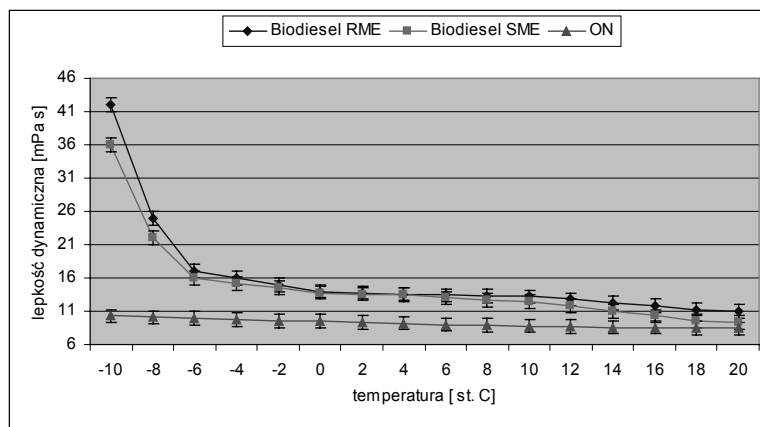
Badaniom wpływu temperatury na lepkość dynamiczną poddano dwa rodzaje biopaliw B100 - RME i SME oraz dla porównania oleju napędowego. Wybrano do badań dwa rodzaje, które w swoich rejonach świata dominują. W Europie najczęściej jest wytwarzanego RME, natomiast w na kontynentach amerykańskich SME.

Na reometrze ustalono czas wykonywania pomiaru i rejestracji danych co 30 s. W tym okresie komputer reometru rejestrował wartości lepkości dynamicznej oraz sił ścinających.

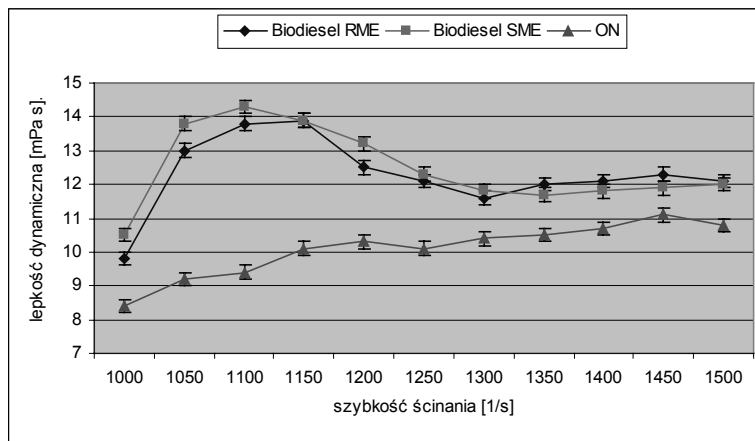
Wyniki badań

W pierwszej części badań stałym parametrem była szybkość ścinania. Dla wszystkich badanych paliw wartość szybkości ścinania wynosiła 1000 s^{-1} . Na rysunku 1 przedstawiono, jaki wpływ na lepkość dynamiczną wywiera temperatura. Badania wykonano dla zakresu temperatur od -10 do 20°C . Błąd standardowy wyznaczania wpływu temperatury na lepkość dynamiczną jest mniejszy niż 1%.

Na rysunku 2 pokazano jaki wpływ na lepkość dynamiczną wywiera szybkość ścinania. Badania wpływu temperatury na lepkość dynamiczną przeprowadzono przy założeniu zmiennej prędkości ścinania od 1000 do 1500 s^{-1} . Błąd standardowy wyznaczania wpływu szybkości ścinania na lepkość dynamiczną jest mniejszy niż 1% .



Rys. 1. Wpływ temperatury na lepkość dynamiczną paliw
Fig. 1. Temperature impact on dynamic viscosity of fuels



Rys. 2. Wpływ szybkości ścinania na lepkość dynamiczną

Fig. 2. Shearing rate impact on dynamic viscosity

Podsumowanie i wnioski

Z danych zawartych na rys. 1 wynika, że szczególnie przy niskich temperaturach lepkość znacznie rośnie. Należy zauważyć, że dla paliw typu Biodiesel RME i SME charakter zmian lepkości w funkcji temperatury jest podobny. Najniższe wartości lepkości dynamicznej uzyskano dla oleju napędowego. Przy temperaturze 20°C lepkość wyniosła 8,4 mPa·s. Wraz ze wzrostem temperatury lepkość rosła i przy -10°C osiągnęła wartość 10,3 mPa·s. Lepkość biopaliw w temperaturze 20°C przyjmowała odpowiednio, dla RME wartość 11 mPa·s, natomiast dla SME 9,3 mPa·s. Wraz z obniżeniem temperatury lepkość rośnie, przy czym jej przyrost jest bardzo duży w temperaturach poniżej -6°C. W temperaturze -10°C lepkość dla RME wynosiła już 42 mPa·s, natomiast dla SME przyjmowała wartość 36 mPa·s. Z danych zawartych na rys. 2. wynika, że dla oleju napędowego występuje zależność, wraz ze wzrostem szybkości ścinania wartość lepkości dynamicznej wzrasta. Podobny charakter zmian można zaobserwować dla paliw typu RME i SME, choć dla badanego zakresu można zaobserwować dla obydwu biopaliw ekstrema przy prędkości ścinania od 1050 do 1200 [s⁻¹]. W tym zakresie lepkość dynamiczna RME i SME jest o około 40% wyższa od lepkości oleju napędowego. Badania pokazały, że podobnie jak to ma miejsce dla lepkości kinematycznej wraz z obniżaniem temperatury jej wartość rośnie. Taka sytuacja oczywiście nie jest korzystna z punktu widzenia zasilania silników czystymi biopaliwami. Jak dotychczas przeważnie wyznaczano lepkość kinematyczną, a następnie wyliczano lepkość dynamiczną. Dlatego popełniając nawet niewielki błąd przy wyznaczeniu lepkości kinematycznej można go było zwielokrotnić podczas dalszych przeliczeń. Wykorzystanie do badań zależności mechanicznych paliw reometru pozwala uzyskać bardzo szybkie i wiarygodne wyniki.

Bibliografia

- Szlachta Z.** 2002. Zasilanie silników wysokoprężnych paliwami rzepakowymi. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ - Warszawa.
- Juva A., Helenka P., Tritthart P.** 1998. Influence of Diesel Fuel Properties and Ambient Temperature on Engine Operation and Exhaust Emissions. SAE Transactions. Nr 89 0012.
- Szlachta Z., Zablocki M., Cisek J., Sowa K.** 1995. Badania wpływu paliw z oleju rzepakowego na rozruch i pracę silników wysokoprężnych w niskich temperaturach otoczenia. Badania wykonane wysokoprężnych ramach Projektu Badawczego KBN nr 9 S604 013 04 (mat. nie publikowane).
- Vellguth G.** 1983. Performance of Vegetable Oils and their Monoesters as Fuels for Diesel Engines. SAE Transactions, 1983. Vol. 83. s.1358.
- Polska norma PN-EN ISO 3104:2004. Oznaczanie lepkości kinematycznej i obliczanie lepkości dynamicznej paliw i biopaliw.

DETERMINATION OF TEMPERATURE IMPACT ON DYNAMIC VISCOSITY OF PLANT BIOFUELS

Abstract. The paper presents results of the research concerning temperature impact on dynamic viscosity of Biodiesel RME and SME type biofuels, and diesel oil for comparison purposes. Tests at the stand were performed using RHEOLABQC rheometer from German manufacturer Anton Paar GmbH. In order to determine temperature impact on dynamic viscosity, the rheometer was equipped with GRANT thermostatic tank. Viscosity variability was determined for the examined fuels within temperature range from -10 to 20°C. At the temperature of -10°C, the RME was characterised by highest viscosity value of 42 mPa·s. Slightly lower viscosity value was obtained for the SME – 36 mPa·s, whereas lowest viscosity was characteristic for diesel oil - 10.3 mPa·s. Viscosity value was dropping with increasing temperature, while for the RME and SME the drop was rapid within temperature range from -10 to -6°C. For the remaining temperature range viscosity drop with temperature rise was in practice linear. At the temperature of 20°C viscosity had the following values: approximately 13 mPa·s for the RME and SME, and respectively 8.4 mPa·s for diesel oil.

Key words: biodiesel, RME, SME, dynamic viscosity diesel engine

Adres do korespondencji:

Grzegorz Wcisło; e-mail: gwcislo@ar.krakow.pl
Katedra Energetyki Rolniczej
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków