

WPLYW LEPKOŚCI OLEJU NAPĘDOWEGO NA PROCES TWORZENIA STRUGI PALIWA W SILNIKU Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM (ZS)

Cezary I. Bocheński

Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wstęp

Lepkość paliwa jest miarą tarcia wewnętrznego, charakteryzującą opór jaki występuje przy przepływie. Lepkość zależy od składu chemicznego i technologii przeróbki ropy naftowej. Ponadto jest bardzo silnie zależna od temperatury i ciśnienia. Ze wzrostem lepkości rośnie zasięg strugi, która jest bardziej zwarta i posiada większe krople.

Produkcja olejów napędowych uwzględnia sezonowość ich stosowania. Dlatego lepkość dla olejów letnich i przejściowych wynosi 2–4,5 mm²·s⁻¹, natomiast dla zimowych zawiera się w granicach 1,8–4,0 mm²·s⁻¹. W zależności od rodzaju oleju napędowego zauważa się bardzo duży rozrzut wartości lepkości.

W silnikach nowej generacji powszechnie stosowane są wysokociśnieniowe, elektronicznie sterowane zasobnikowe systemy doprowadzenia paliwa (Common Rail), w których występują ciśnienia do 2000 bar [BOCHEŃSKI 2002; BOCHEŃSKI, MRUK 2000]. Tak wysokie ciśnienia w stosunku do rozwiązań konwencjonalnych mają wpływ na zmianę procesu tworzenia strugi. Rozrzut lepkości paliw, stosowanych w eksploatacji, dodatkowo wpływa na zasięg strugi, objętość rozpylenia czy wielkość kropeł. Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu lepkości na parametry strugi, przy wysokich ciśnieniach wtrysku.

Stanowisko badawcze, metodyka badań

Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym opisanym w poprzednich publikacjach [BOCHEŃSKI, MRUK 2000]. Wtrysk paliwa realizowany był przez sterowany, zasobnikowy układ paliwowy (Common Rail). Komora doświadczalna do której jest wtryskiwane paliwo, umożliwia wizualizację procesu tworzenia strugi. W doświadczeniach wykorzystano metodę smugoskopową oraz metodę PIV (Particle Image Velocimetry), umożliwiającą rejestrację procesu przy bardzo krótkich czasach ekspozycji (nanosekundy) i określenie struktury rozpylonej strugi, jej głębokości penetracji oraz rozkładu prędkości w strudze. Do badań wykonano dwa paliwa doświadczalne o znacznie różniącej się lepkości – paliwo 1 o lepkości 4,7 mm²·s⁻¹ oraz paliwo 2 o lepkości 1,7 mm²·s⁻¹. Pozostałe właściwości paliwa, mające wpływ na rozpylenie strugi, wynosiły:

– gęstość (kg·m⁻³)

- paliwo 1 → $803,53 \pm 0,03$; paliwo 2 → $826,04 \pm 0,03$
 – napięcie powierzchniowe ($J \cdot m^{-2}$)
 paliwo 1 → $35,9 \cdot 10^{-3}$; paliwo 2 → $36,8 \cdot 10^{-3}$

W badaniach kontrolowano temperaturę wtryskiwanego paliwa. Stosowano różne ciśnienia wtrysku – 600 bar, 1000 bar, 1350 bar oraz 1700 bar.

Wyniki badań

Wykorzystanie różnych technik pomiarowych pozwala na pełniejszą analizę procesu tworzenia strugi dla dwóch różnych paliw badawczych o różnej lepkości.

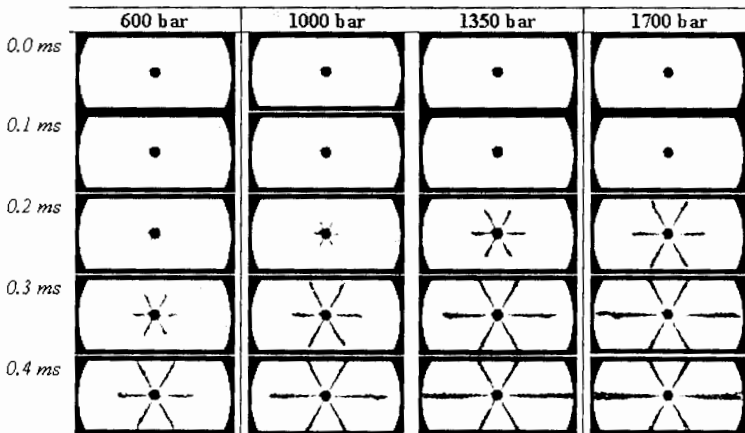
a) Metoda smugoskopowa badania strugi paliwa

Zastosowanie kamery do zdjęć szybkich, pozwoliło na rejestrację kolejnych faz procesu, co przedstawiają rysunki 1 i 2.

Na podstawie tych zdjęć możliwe było określenie drogi strugi paliwa dla różnych ciśnień i paliw o różnej lepkości.

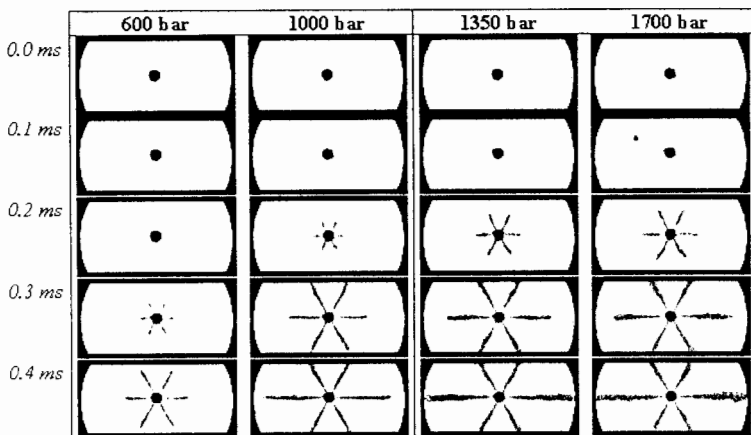
Zmianę prędkości strugi dla badanych ciśnień i paliw przedstawia rysunek 3.

Wzrost ciśnienia wtrysku od wartości 600 bar do 1700 bar, spowodował, że po czasie 0,3 ms od początku wtrysku różnica drogi strumienia wynosiła 0,05 m (5 cm) dla paliwa o lepkości $4,7 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ oraz 0,03 m (3 cm) dla paliwa o lepkości $1,7 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Te różnice powodują, że przy ciśnieniu 1700 bar czoło strugi osiąga ściankę komory po 0,3 ms, a przy ciśnieniu 600 bar proces zaledwie się rozpoczyna. Wzrost lepkości powoduje nie tylko zwiększenie zasięgu strugi, ale również mniejsze rozpylenie paliwa oraz wzrost prędkości czoła strugi od $260 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ do 320 m/s (dla ciśnienia 1700 bar). Przy ciśnieniach 600 bar występujących w konwencjonalnych układach paliwowych prędkość czoła strugi wynosi ok. 160 m/s a przy ciśnieniu 1700 bar wynosi $320 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dla paliw o lepkości $4,7 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ i $250 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ przy lepkości $1,7 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.



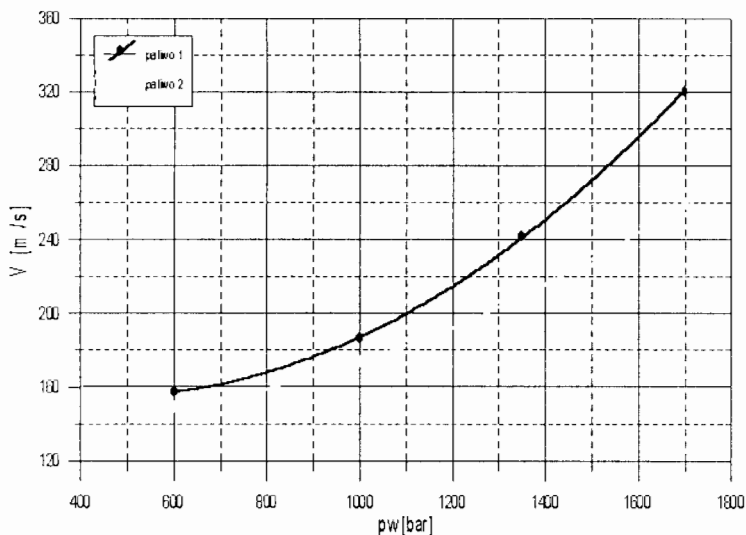
Rys. 1. Widok strugi paliwa w płaszczyźnie prostopadłej osi wtryskiwacza dla różnych ciśnień (czas wtrysku 1,5 ms, paliwo nr 1)

Fig. 1. View of fuel stream in the plane perpendicular to injector axis at various pressures (injection time 1.5 ms, fuel No 1)



Rys. 2. Widok strugi paliwa w płaszczyźnie prostopadłej osi wtryskiwacza dla różnych ciśnień (czas wtrysku 1,5 ms, paliwo nr 2)

Fig. 2. View of fuel stream in the plane perpendicular to injector axis at various pressures (injection time 1.5 ms, fuel No 2)

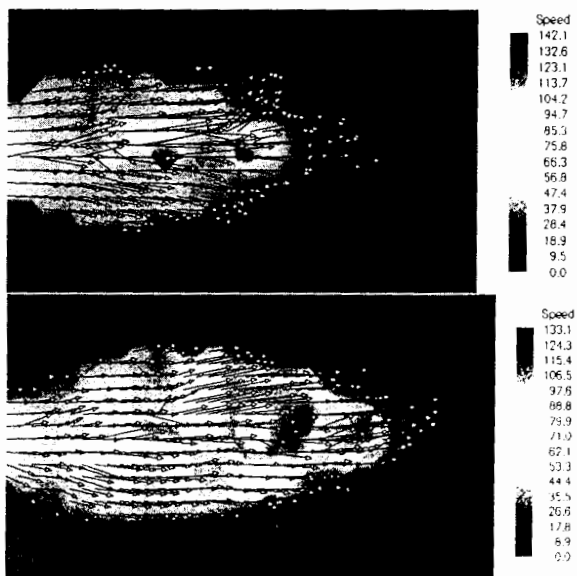


Rys. 3. Wykres zmiany prędkości strugi paliwa dla różnych ciśnień (czas wtrysku 1,5 ms)

Fig. 3. Changes in fuel stream velocity at various pressures (injection time 1.5 ms)

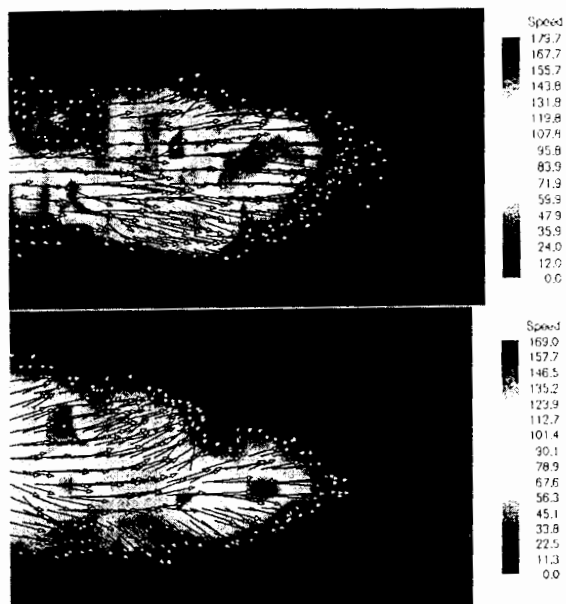
Tak duże różnice zarówno w prędkości strugi, jak też objętości rozpylenia i zasięgu strugi, powoduje odmienny przebieg procesu tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej. Przy różnych ciśnieniach i lepkości paliwa, tworzenie mieszaniny ma charakter objętościowy. Natomiast przy wysokich ciśnieniach i dużej lepkości paliwa, następuje natrysk części strugi na ściankę komory, co przy mniejszym rozpyleniu, prowadzi do objętościowo-powietrzego modelu tworzenia mieszaniny.

b) Metoda PIV badania strugi paliwa



Rys. 4. Pole prędkości w strudze paliwa dla przypadku rozpylenia paliwa nr 2 i paliwa nr 2 i ciśnienia wtrysku $p = 700$ bar

Fig. 4. Velocity field for fuel No 1 and No 2 sprayed at injection pressure $p = 700$ bar



Rys. 5. Pole prędkości w strudze paliwa dla przypadku rozpylenia paliwa nr 1, paliwa nr 2 i ciśnienia wtrysku $p = 1000$ bar

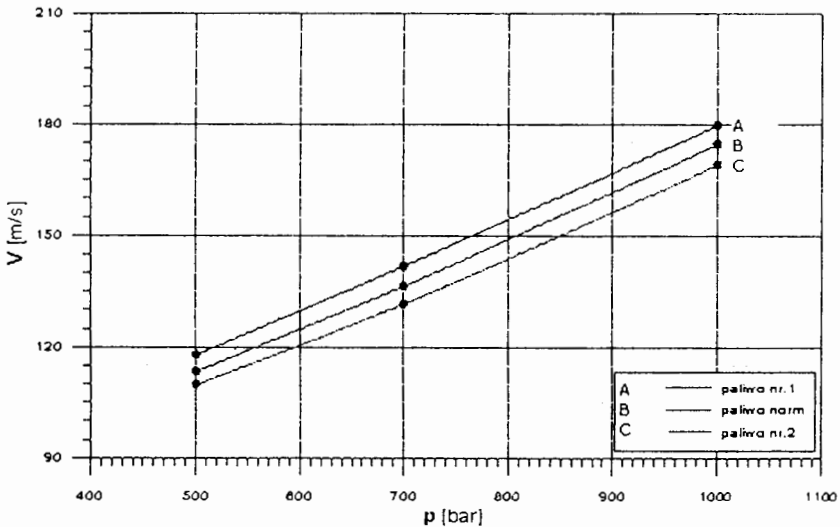
Fig. 5. Velocity field for fuel No 1 and No 2 sprayed at injection pressure $p = 1000$ bar

Zastosowana technika badawcza pozwala na określenie nie tylko kształtu strugi, ale również jej struktury i rozkładu wektorów prędkości w różnych odległościach od wylotu z dyszy i odpowiadającym im czasach od początku wtrysku.

Różnicę obrazu przebiegu rozpylenia przy ciśnieniu 700 bar dla paliwa 1 i paliwa 2 po czasie 0,34 ms i 0,40 ms od początku wtrysku przedstawia rysunek 4.

Dalszy wzrost ciśnienia do wartości 1000 bar dla paliwa 1 i paliwa 2, po czasie odpowiednio 0,39 ms i 0,44 ms zmienia obraz rozpylenia jak na rysunku 5.

Zmianę prędkości strugi w funkcji ciśnienia wtrysku dla paliwa 1, paliwa 2 oraz paliwa handlowego (norm) przedstawia rysunek 6.



Rys. 6. Zmiana prędkości w funkcji ciśnienia wtrysku dla paliwa nr 1, paliwa nr 2 oraz paliwa handlowego

Fig. 6. Change in velocity against injection pressure for: fuel No 1, No 2 and commercial fuel

Omówienie wyników badań

Zmiana lepkości paliwa ma istotny wpływ na przebieg procesu tworzenia strugi, różny w zależności od ciśnienia wtrysku. Dla paliwa Nr 1, przy ciśnieniu wtrysku 500 bar obszar największych prędkości (powyżej 120 m·s⁻¹) zmienia swoje położenie. W początkowej fazie wtrysku największe prędkości występują na wylocie z dyszy, przesuując się z czasem w kierunku środka i czoła strugi. Obszar prędkości nie ma charakteru ciągłego a ponadto nie uzyskano pełnej powtarzalności wyników pomimo występowania powtarzalności tendencji w procesie tworzenia strugi.

Wzrost ciśnienia dla paliwa Nr 1 do wartości 700 bar, powodował bardziej równomierny rozkład pola prędkości i brak wyraźnych obszarów z dużymi prędkościami.

Dla paliwa Nr 2 (mniejsza lepkość), przy tym samym ciśnieniu wtrysku obserwuje się dalsze zwiększenie objętości strugi i równomierne rozpylenie przy znacznej zmienności kierunków wektorów prędkości.

Paliwo o większej lepkości charakteryzowało się bardziej uporządkowanym polem prędkości, szczególnie w wysokich ciśnieniach.

W badaniach paliw o różnej lepkości, wtryskiwanym przy różnym ciśnieniu stwierdzono silną niejednorodność pola prędkości.

Literatura

BOCHEŃSKI C. 2002. *Badania wpływu właściwości fizykochemicznych paliwa do silników wysokoprężnych na charakterystykę wtrysku i trwałości elementów układu paliwowego konwencjonalnego i Common Rail.* Projekt badawczy KBN nr 9T12D00716: 490 ss.

BOCHEŃSKI C.I., MRUK R. 2000. *Badania wstępne wtrysku paliwa z zastosowaniem w zastosowaniu systemu Common Rail.* VIII Sympozjum im. C. Kanafojskiego „Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych”, 21–22 IX 2000 Płock, t. 1: 75–84.

Słowa kluczowe: silniki z ZS, układy wtryskowe, paliwo

Streszczenie

Przeprowadzono badania wpływu lepkości oleju napędowego na proces tworzenia się strugi jak w silniku ZS. Badania przeprowadzono przy użyciu metody smugoskopowej i PIV. Stwierdzono istotny wpływ lepkości na proces rozpylenia.

EFFECT OF DIESEL OIL VISCOSITY ON THE PROCESS OF FUEL STREAM FORMING IN SELF-IGNITION ENGINES

Cezary Bocheński

Department of Production Management and Engineering,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

Key words: self-ignition engine, injection system, fuel

Summary

Investigations on diesel oil viscosity on the process of fuel stream forming in self-ignition engines were carried out with the use of trail-inspection method and particle image velocimetry method. A significant effect of fuel viscosity on the process of spraying was found.

Prof. dr hab. inż. Cezary I. **Bocheński**
Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166
02-787 WARSZAWA
e-mail: wip_zit@alpha.sggw.waw.pl