

ZMIANY PROCESU TWORZENIA STRUGI PALIWA W SILNIKACH Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM PRZY ZASTOSOWANIU WYSOKICH CIŚNIEŃ WTRYSKU

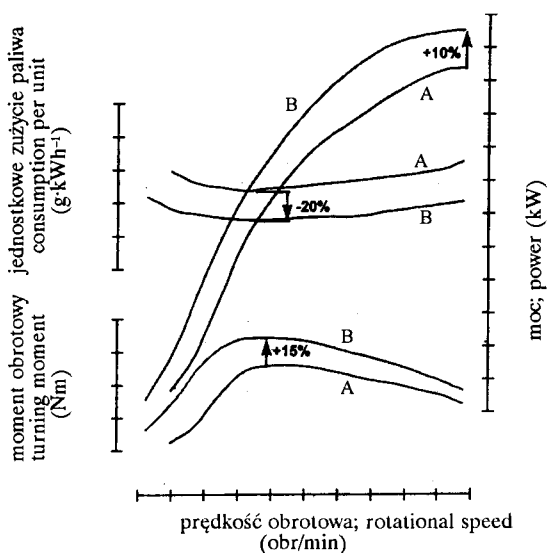
Cezary I. Bocheński

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

Wstęp

Silniki z zapłonem samoczynnym (ZS) są podstawowym źródłem napędu ciągników i maszyn rolniczych. Coraz ostrzejsze przepisy w zakresie ochrony środowiska naturalnego spowodowały szukanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych głównie w celu obniżenia zawartości związków toksycznych spalin.

Sprostanie wymaganiom zawartym w tych przepisach spowodowało wprowadzenie między innymi wysokociśnieniowego, elektronicznie sterowanego systemu wtrysku Common Rail, który znalazł powszechne zastosowanie w silnikach używanych w samochodach, ale coraz częściej w system ten wyposażone są silniki do ciągników, maszyn roboczych i samochodów ciężarowych.



A – Układ wtryskowy klasyczny; Classic injection system
B – Układ Common Rail; Common Rail system

Rys. 1. Zestawienie zmian głównych parametrów silnika po wprowadzeniu systemu wtryskowego Common Rail

Fig. 1. Changes in engine main parameters following introduction of Common Rail injection system

Nowe systemy doprowadzania paliwa, poza wysokim ciśnieniem wtrysku (do 2000 bar) mają szereg innych zalet, pozwalających na poprawę procesu spalania:

- zmianę początku podawania paliwa,
- wielofazowy wtrysk z możliwością zmiany parametrów czasowych.

Wymienione zalety pozwalają na zmianę procesu tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej oraz zwiększenie jej homogenizacji. Prowadzi to do poprawy spalania, zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa oraz wzrostu mocy i momentu, co przedstawia rysunek 1.

Największą zaletą systemu zasobnikowego jest znaczne obniżenie toksyczności spalin, co umożliwia spełnienie najnowszych norm europejskich EURO IV.

Zastosowanie wysokiego ciśnienia wtrysku powoduje odmienny w stosunku do konwencjonalnego przebieg procesu tworzenia strugi. Przedstawione zostaną wyniki badań wpływu ciśnienia na charakterystykę rozpylonego paliwa.

Stanowisko badawcze

W stanowisku badawczym można wyróżnić trzy zasadnicze układy – zasilający, sterujący i właściwy układ wtryskowy typu Common Rail stosowany w silniku z zs OM611 produkowanym przez firmę Daimler – Chrysler [BOCHEŃSKI 2002; BOCHEŃSKI, MRUK 2000]. Badania wtrysku i rozpylenia paliwa przeprowadzono w komorze o stałej objętości umożliwiającej wizualizację i rejestrację procesu przy użyciu kamery do zdjęć szybkich. Stanowisko pozwala na przeprowadzenie badań przy różnych ciśnieniach wtrysku (do 2000 bar) oraz odmiennych czasach wtrysku. W badaniach użyto paliwa o różnych właściwościach fizyko-chemicznych.

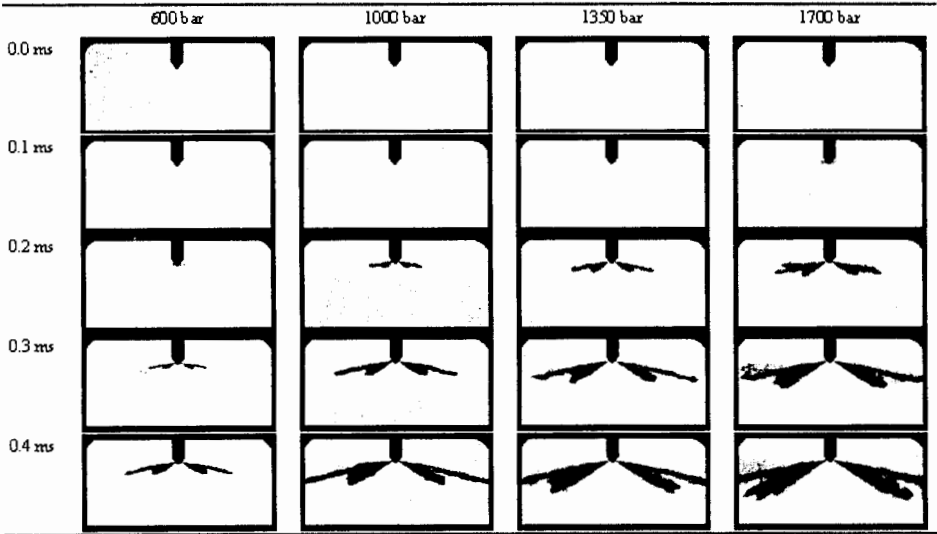
Badanie wpływu ciśnienia wtrysku na charakterystykę strugi paliwa

Badania przeprowadzono przy użyciu różnych technik pomiarowych, co pozwoliło na pełniejszą ocenę uzyskanych wyników badań. Badania przeprowadzono dla czterech ciśnień wtrysku: 600 bar, 1000 bar, 1350 bar i 1700 bar. W badaniach zastosowano metodę smugową oraz metodę PIV (Particle Image Velocimetry).

Metoda smugowa badania procesu wtrysku

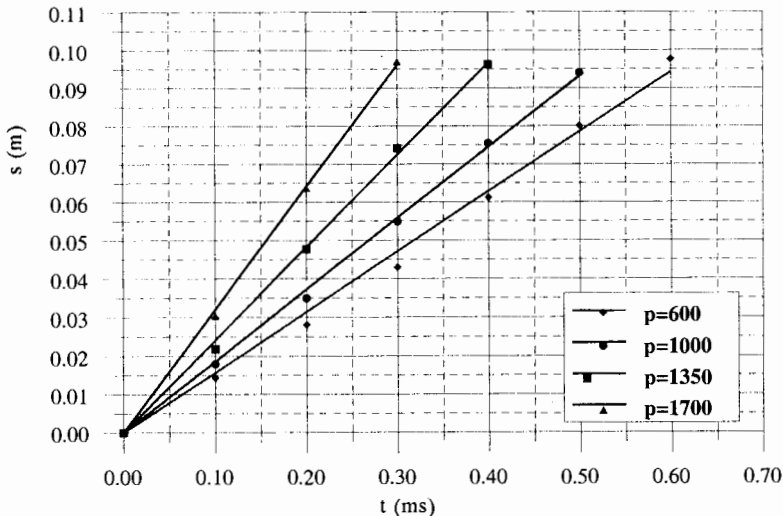
Metoda ta wykorzystuje różnice w jasności oświetlenia, przechodzącego przez strugę, wskutek zmiany współczynnika załamania światła. W kierunku na których odchyłone są promienie, otrzymuje się więcej światła na obrazie. Współczynnik załamania światła zależy od gęstości ośrodka. Metoda smugowa wykorzystuje zmiany jasności oświetlenia do oceny obszaru badanego. W badaniach wykorzystano smugoskop soczewkowy z laserowym źródłem światła o częstotliwości błysków 10 000 Hz oraz kamerę bębnową.

Zmianę obrazu strugi paliwa, przy wykorzystaniu metody smugoskopowej, dla różnych ciśnień przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Widok strugi paliwa w płaszczyźnie osi wtryskiwacza dla różnych ciśnień
 Fig. 2. View of fuel stream in the plane of injector axis at various pressures

Kiedy przy ciśnieniu, występującym w konwencjonalnych układach paliwowych, obserwujemy początek wypływu paliwa z dyszy, struga paliwa przy ciśnieniu 1700 bar osiąga już ścianki komory. Struga paliwa o wyższym ciśnieniu charakteryzuje się przy tym nie tylko większą szybkością penetracji, ale również większym rozpyleniem (zwiększenie objętości strugi). Wzrost ciśnienia wpływa również na zwiększenie jednorodności strugi i zmniejszenie wielkości kropli. Średnica Saute-ra (SMD) kropeł przy wzroście ciśnienia od 700 bar do 1300 bar uległa zmniejszeniu w granicach od 41% do 47%. Zmianę drogi czoła strugi dla różnych ciśnień przedstawia rysunek 3.

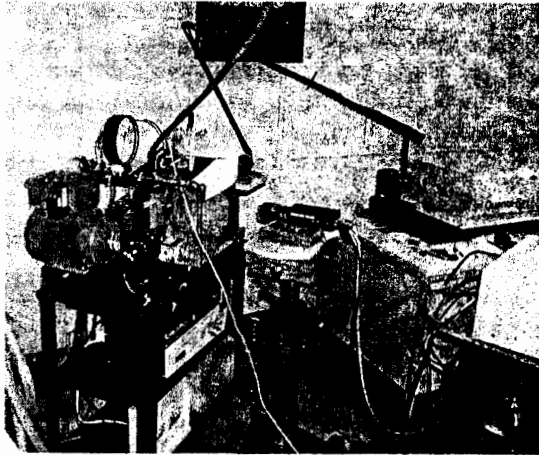


Rys. 3. Wykres zmiany drogi strugi paliwa dla różnych ciśnień
 Fig. 3. Changes in fuel stream path at various pressures

Zmiana ciśnienia od wartości 600 bar do 1700 bar spowodowała około dwukrotny wzrost prędkości strugi. W celu pełniejszej oceny wtrysku paliwa, przy różnych ciśnieniach, przeprowadzono badania struktury, głębokości penetracji oraz rozkładu prędkości w strudze paliwa. Badania wykonano przy użyciu unikalnej metody PIV.

Metoda PIV badania wtrysku paliwa

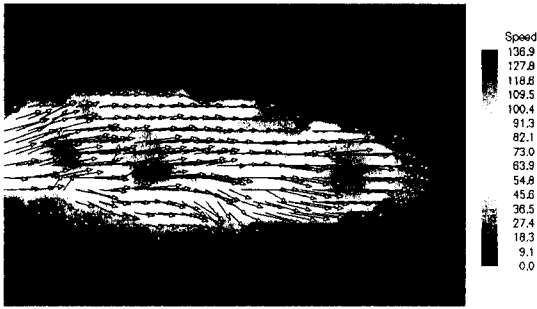
System PIV (Particle Image Velocimetry) pozwala na zobrazowanie pola prędkości w obserwowanej przestrzeni pomiarowej, w której rozpylone krople naświetlane są dwoma, krótko po sobie następującymi impulsami laserowymi. Czas pojedynczego impulsu laserowego wynosi kilka nanosekund, natomiast czas pomiędzy pulsami wynosi kilka mikrosekund. Rozproszenie światła przez krople umożliwia zapis obrazu przez kamerę do zdjęć szybkich o dużej czasowej i przestrzennej zdolności rozdzielczej. Wektory prędkości kropeł wyznaczone są w oparciu o przemieszczenie cząstki w czasie między pierwszym i drugim impulsem laserowym. Przyjmuje się, że wewnątrz badanego mikroobszaru, pomiędzy naświetleniami ruch cząsteczek jest jednorodny. Ponadto czas między naświetleniami musi być na tyle długi, aby można było ustalić przemieszczenie kropli. Widok stanowiska badawczego, z wysokociśnieniowym elektronicznie sterowanym systemem wtrysku Common Rail przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Widok stanowiska badawczego systemu Common-Rail oraz układu PIV
 Fig. 4. View of experimental stand for Common Rail system and particle image velocimetry

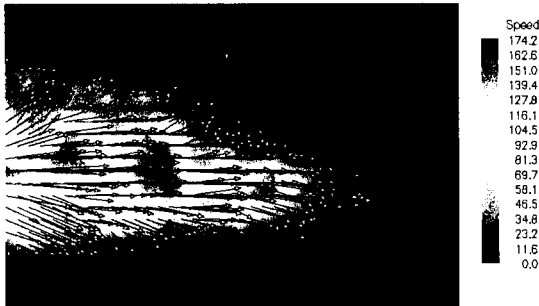
Badania przeprowadzono dla paliwa handlowego, wykonując oznaczenia struktury oraz pola prędkości na czole rozpylonej strugi paliwa w funkcji ciśnienia wtrysku. Dokonano przedstawienia obrazu procesu rozpylenia dla różnych czasów, licząc od początku wtrysku, co pozwoliło na wyznaczenie zmian prędkości w funkcji czasu.

Przykładowe pole prędkości przy ciśnieniu 700 bar przedstawia rysunek 5 a dla ciśnienia 1000 bar rysunek 6.



Rys. 5. Pole prędkości rozpylanego paliwa handlowego przy ciśnieniu wtrysku 700 bar dla czasu 0,36 ms od początku wtrysku

Fig. 5. Velocity field for commercial fuel sprayed at injection pressure 700 bar and time 0.36 ms from the beginning of injection



Rys. 6. Pole prędkości rozpylanego paliwa handlowego przy ciśnieniu wtrysku 1000 bar dla czasu 0,41 ms od początku wtrysku

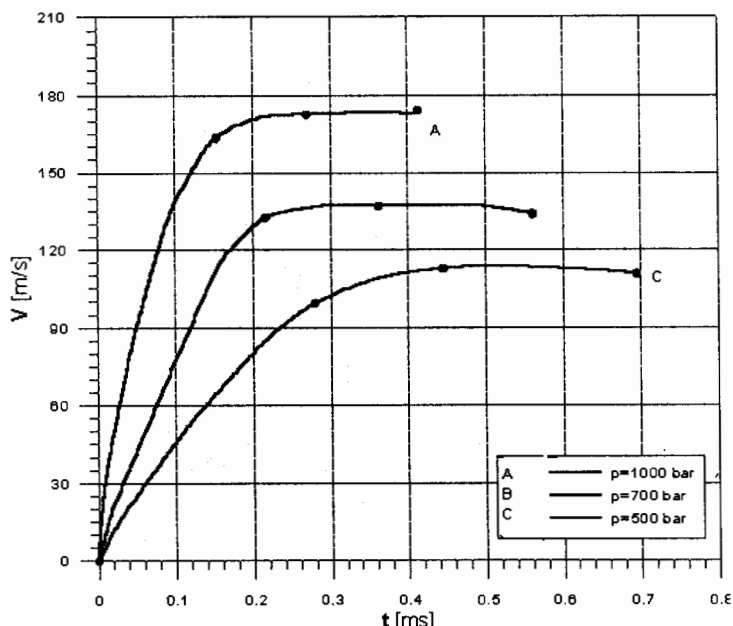
Fig. 6. Velocity field for commercial fuel sprayed at injection pressure 1000 bar and time 0.41 ms from the beginning of injection

Zmianę prędkości w funkcji czasu trwania wtrysku i badanych ciśnień, przedstawia rysunek 7.

Wnioski końcowe

Maksymalne prędkości czoła rozpylanego paliwa są osiągane po czasie ok. 0,4 ms dla ciśnienia wtrysku 500 bar, po ok. 0,2 ms dla ciśnienia wynoszącego 1000 bar. Maksymalne prędkości dla badanego zakresu ciśnień zmieniają się od $135 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ do $175 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Stała maksymalna prędkość utrzymuje się przez okres od 0,2 do 0,3 ms. W początkowej fazie wtrysku największe prędkości występują u wylotu dyszy, a po czasie ok. 0,4 ms przesuwiają się w okolice czoła i środka strugi. Obszar największych prędkości nie ma charakteru ciągłego. Na czole strugi prędkości kropel są mniejsze. Wzrost ciśnienia powoduje bardziej równo-

mierny rozkład pola prędkości i struktury strugi oraz brak wyraźnych obszarów z dużymi prędkościami. Wzrost ciśnienia daje ponadto dalszy zasięg strugi, jej homogenizację oraz zwiększoną objętość rozpylenia. W objętości strugi obserwuje się przy tym nierównomierny i nieciągły rozkład prędkości. Proces tworzenia strugi nie ma powtarzalności. Przeprowadzone badania metodą PIV dają nowe informacje co do zmian strukturalnych w strudze paliwa, przy zmiennym ciśnieniu. Dalsza homogenizacja procesu, nierównomierny rozkład prędkości oraz wzrost objętości rozpylenia, przyczyniają się do poprawy warunków tworzenia mieszaniny paliwowo-powietrznej oraz lepszego rozpylania.



Rys. 7. Zmiana prędkości w funkcji czasu trwania procesu wtrysku dla: paliwa norm, ciśnienie wtrysku $p = 500, 700, 100$ bar; czas otwarcia wtryskiwacza $0,5$ ms

Fig. 7. Change in velocity against duration time of injection process for: standard fuel, injection pressure $p = 500, 700, 1000$ bar; time of injector opening $0,5$ ms

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 z zastosowaniem systemu Common Rail*. VIII Sympozjum im. C. Kanafojskiego. „Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych” 21–22 IX 2000 Płock, t. I: 75–84.

Słowa kluczowe: silniki z zs, układy paliwowe

Streszczenie

Przeprowadzono badania rozpylenia paliwa przy wysokich ciśnieniach wtrysku. Wyniki badań wskazują na duży wpływ tego parametru na charakterystykę strugi.

CHANGES IN THE PROCESS OF FUEL STREAM FORMING IN SELF-IGNITION ENGINES AT HIGH INJECTION PRESSURES

Cezary Bocheński

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

Key words: self-ignition engine, fuel system

Summary

Investigations on fuel spraying at high injection pressures were carried out. The results showed a substantial effect of this parameter on fuel stream characteristic.

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