

WIZUALIZACJA WTRYSKU I SPALANIA EMULSJI RME Z WODĄ W SILNIKU WYSOKOPRĘŻNYM

Jerzy Cisek

Instytut Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych, Politechnika Krakowska

Streszczenie. Celem niniejszego opracowania było określenie możliwości zastosowania systemu wizualizacji wtrysku i spalania paliwa AVL VideoScope 513D do analizy zjawisk wewnątrz cylindra silnika wysokoprężnego zasilanego emulsjami estrów metylowych oleju rzepakowego (RME) z wodą. Stosując hamowniane stanowisko badawcze z jednocyldrowym silnikiem badawczym, analizie poddano zjawiska związane z przebiegiem wtrysku, samozapłonu i spalania badanych paliw.

Słowa kluczowe: silnik wysokoprężny, emulsje wodne, RME, wtrysk, spalanie, wizualizacja

WSTĘP

Najbardziej ekonomicznymi spalinowymi źródłami napędu różnych odbiorników mocy są silniki wysokoprężne, które w porównaniu z benzynowymi wykazują mniejsze zużycie paliwa, nawet do 30%. Jednym z poważniejszych problemów związanych z ich eksploatacją jest emisja spalin, zawierających składniki toksyczne, takie jak tlenki azotu NO_x i cząstki stałe PM, często w nadmiernych ilościach. W świetle wymogów ochrony środowiska dążenie do zmniejszenia ich zawartości w spalinach jest więc wciąż aktualne, ważne, a jego podejmowanie ze wszech miar uzasadnione.

Równoczesne obniżenie zawartości obydwu wymienionych toksycznych składników w spalinach poprzez wprowadzane modyfikacje silników wysokoprężnych nie jest możliwe na obecnym poziomie stanu wiedzy i techniki. W ostatnich latach opracowano wprawdzie nowe metody oczyszczania gazów spalinowych, ale dopiero po opuszczeniu przez nie cylindrów, poza silnikiem. Ujemną stroną tych metod, ograniczających ich praktyczne wykorzystywanie, są wysokie koszty. Dlatego też nadal zmierza się do takiej modyfikacji warunków tworzenia mieszaniny palnej i jej spalania w silniku, aby zlikwidować, a przynajmniej w znacznym stopniu ograniczyć te strefy, w których wytwarzane są tlenki azotu (strefy z wysoką temperaturą i bogate w tlen), a także te, gdzie panują sprzyjające warunki tworzenia się sadzy.

Wyniki dotychczasowych rozważań teoretycznych oraz badań eksperymentalnych jednoznacznie pokazują, że efektywnym sposobem obniżania emisji tlenków azotu jest wtryskiwanie do cylindra odpowiednio przygotowanej emulsji paliwowo-wodnej. Wówczas można uzyskać równoczesne zmniejszenie emisji cząstek stałych, w pewnych wa-

runkach, nawet przy obniżonym zużyciu paliwa. Problemem dotychczas nierozwiązanym pozostaje jednak sposób przygotowania takiej emulsji.

SPOSÓB PRZYGOTOWANIA EMULSJI RME-WODA

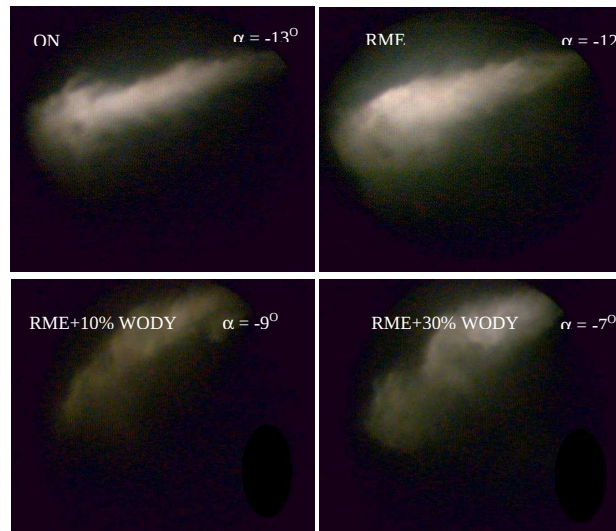
W prezentowanych badaniach wykorzystano do tego celu mieszalnik helikoidalny, umieszczony w układzie zasilania silnika. Przepływ helikoidalny płynów w szczelinie pierścieniowej pomiędzy współosiowymi cylindrami, z których wewnętrzny wiruje, stanowi złożenie przepływu osiowego Poiseuille'a i rotacyjnego Couette'a. W przepływających płynach, w wyniku utraty stabilności tworzą się wiry komórkowe, tzw. wiry Taylora. Dzięki nim płyny są intensywnie mieszane, przy czym współczynniki dyspersji w płaszczyźnie prostopadłej do osi są bardzo wysokie, natomiast dyspersja osiowa jest nieznaczna (przepływ ma charakter tłokowy). W ramach dotychczas przeprowadzonych badań, dotyczących rozpraszania dwóch cieczy w sobie nierozpuszczalnych stwierdzono możliwość wytwarzania w takim mieszalniku emulsji, i to w szerokich zakresach zmian zarówno wydatków objętościowych przepływu cieczy, jak i wzajemnych ich proporcji.

STANOWISKO I METODYKA BADAŃ

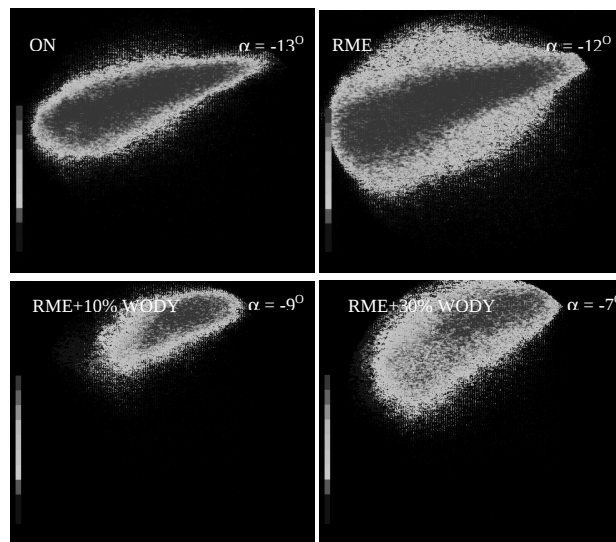
W badaniach wykorzystano stanowisko pomiarowe z badawczym, jednocylindrowym silnikiem wysokoprężnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa SB3.1. wyposażonym we wtryskiwacz z 4-otworowym rozpylaczem o średnicach otworów wylotowych 0,34 mm. Pomiary wykonywano przy niezmienniej prędkości obrotowej (1600 obr/min – prędkość obrotowa momentu maksymalnego) i stałym obciążeniu silnika, niezależnie od stosowanego paliwa. Stanowisko hamowniane wyposażono m.in. w aparaturę pomiarową do pomiaru szybkozmiennych ciśnień w cylindrze silnika i w instalacji wtryskowej (AVL Indimeter), zestaw analizatorów do pomiaru stężeń CO, THC, NO_x (AVL CEBII), stanowisko pomiarowe do emisji cząstek stałych PM oraz system pomiarowy do wizualizacji wtrysku i spalania paliwa w cylindrze silnika (AVL VideoScope). System ten pozwala na archiwizację obrazów rejestrujących przebieg wtrysku i spalania paliwa z częstotliwością do 0,1° kąta obrotu wału korbowego [Cisek 2004]. Dla każdego kąta obrotu wału korbowego wykonywano 10 powtórzeń pomiarów w celu dalszej obróbki statystycznej obrazów (określenia prawdopodobieństwa występowania wtrysku i/lub płomienia). Ponadto, posługując się metodą dwu kolorów [Cisek 2004], określano rozkład izoterm w płomieniu dyfuzyjnym w funkcji kąta obrotu wału korbowego. Dla każdego z badanych paliw określono kolejne fazy wtrysku, samozapłonu i spalania paliwa.

WIZUALIZACJA WTRYSKU I SPALANIA PALIW

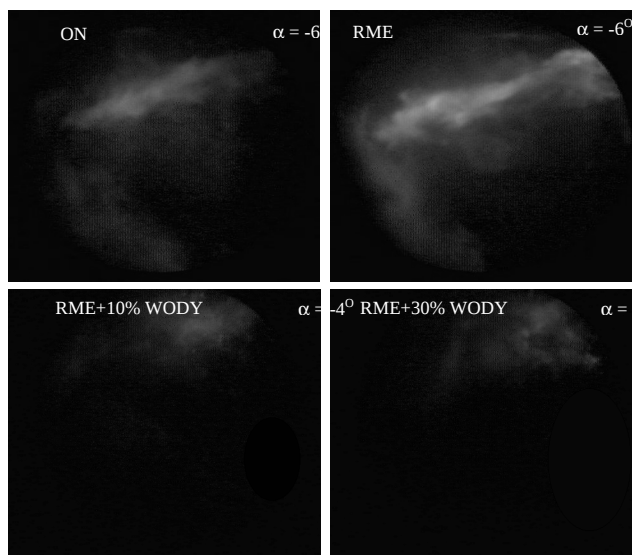
Wizualizacja obejmowała rejestrację obrazów w cylindrze silnika w zakresie od początku wtrysku paliwa do widocznego końca spalania. Częstotliwość próbkowania obrazu wynosiła 1° OWK. Na rys.1–7 zarejestrowano obrazy odpowiadające kątom obrotu wału korbowego silnika, charakterystycznym dla wybranych parametrów obiegu roboczego silnika. Do parametrów tych należą: maksymalna prędkość wtrysku paliwa, początek samozapłonu paliwa oraz maksymalne ciśnienie spalania.



Fot. 1. Obraz w cylindrze silnika dla kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego maksymalnej prędkości wtrysku paliwa do cylindra silnika α_{dq_max} : ON – olej napędowy, RME – estry metylo- we oleju rzepakowego, RME+10% wody – emulsja, RME+30% wody – emulsja
 Phot. 1 Image in engine's cylinder for crankshaft rotation angle corresponding to maximum velocity of fuel injection to engine's cylinder α_{dq_max} : ON – engine oil, RME – rape oil methyl esters, RME + 10% water – emulsion, RME + 30% water – emulsion

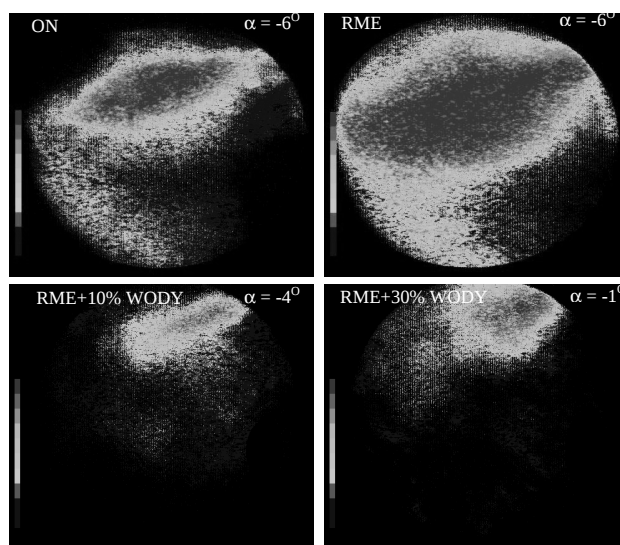


Fot. 2. Rozkład prawdopodobieństwa występowania wtrysku paliwa dla kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego maksymalnej prędkości wtrysku paliwa do cylindra silnika α_{dq_max}
 Phot. 2. Distribution of fuel injection occurrence probability for crankshaft rotation angle corresponding to maximum velocity of fuel injection to engine's cylinder α_{dq_max}



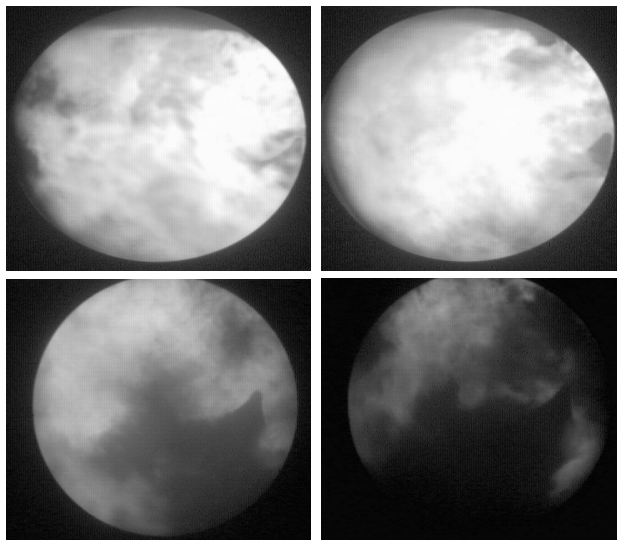
Fot. 3. Obraz w cylindrze silnika dla kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego początkowi samozapłonu paliwa α_{ps}

Phot. 3. Image in engine's cylinder for crankshaft rotation angle corresponding to fuel self-ignition start α_{ps}



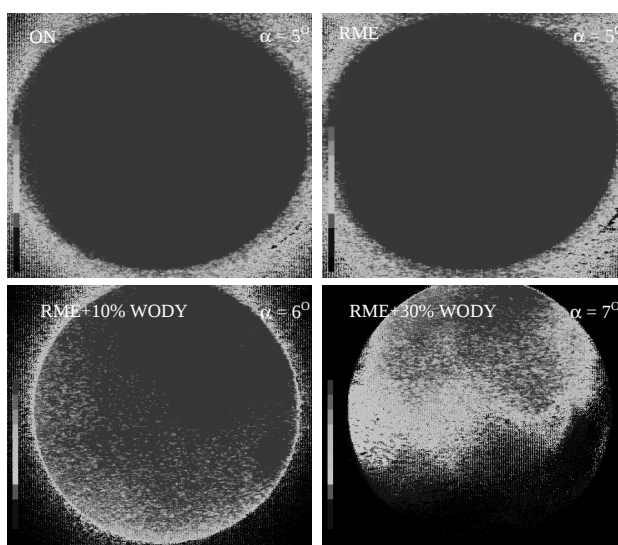
Fot. 4. Rozkład prawdopodobieństwa występowania wtrysku paliwa dla kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego początkowi samozapłonu paliwa α_{ps}

Phot. 4. Distribution of fuel injection occurrence probability for crankshaft rotation angle corresponding to fuel self-ignition start α_{ps}



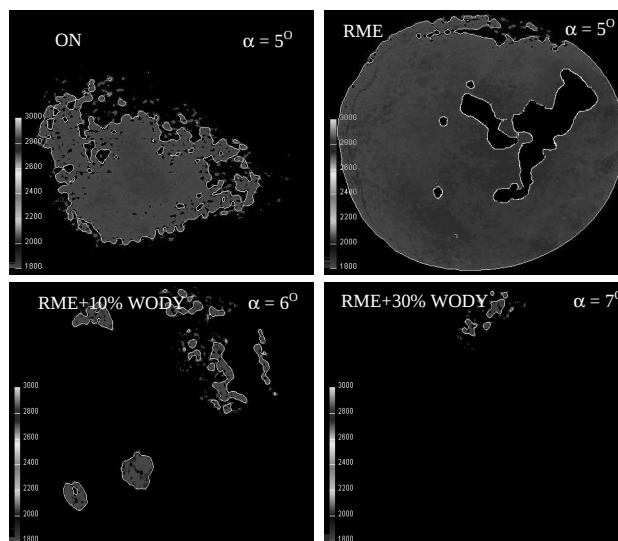
Fot. 5. Obraz w cylindrze silnika dla kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego maksymalnemu ciśnieniu spalania α_{pmax}

Phot. 5. Image in engine's cylinder for crankshaft rotation angle corresponding to maximum combustion pressure α_{pmax}



Fot. 6. Rozkład prawdopodobieństwa występowania wtrysku paliwa dla kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego maksymalnemu ciśnieniu spalania α_{pmax}

Phot. 6. Distribution of fuel injection occurrence probability for crankshaft rotation angle corresponding to maximum combustion pressure α_{pmax}



Fot. 7. Rozkład temperatur w płomieniu (pow. 1800 K) dla kąta obrotu wału korbowego odpowiadającego maksymalnemu ciśnieniu α_{pmax}

Phot. 7. Distribution of temperatures in flame (1800 K) for crankshaft rotation angle corresponding to maximum pressure α_{pmax}

Z analizy zjawisk zarejestrowanych na przedstawionych zdjęciach wynikają istotne wnioski związane z przebiegiem spalania badanych paliw. Przebieg procesu wtrysku jest zupełnie odmienny dla testowanych paliw. Dla RME wokół strugi wtryskiwanego paliwa tworzy się „obłok” bardzo dobrze rozpylonego paliwa (fot.1–2), które później ulega spalaniu w dużej objętości. Inaczej przedstawia się sytuacja dla emulsji oleju napędowego z wodą. Okazuje się, że brak monotoniczności pomiędzy ilością wody w oleju napędowym (w postaci emulsji) a zasięgiem i kątem stożka rozpylenia takiego paliwa. Większe ilości wody w emulsji sprzyjają większym zasięgom strugi paliwa i kąta stożka rozpylenia, bardziej zbliżonym do zjawisk obserwowanych dla samego RME. Wynika to z faktu, że małe zawartości wody w oleju napędowym (kilka do kilkunastu procent) charakteryzują się lokalnym ekstremum lepkości takiego paliwa. Prowadzi to do gwałtownego wzrostu oporów przepływu paliw o małej zawartości wody m.in. przez otwory wylotowe rozpylacza. Dalszy wzrost ilości wody w emulsji zmniejsza lepkość kinematyczną paliwa i zbliża proces wtrysku takich emulsji do przebiegu zjawisk obserwowanych dla samego RME.

Obszar objęty płomieniem w chwili samozapłonu paliwa jest największy dla RME, a najmniejszy dla 30% wody w oleju napędowym (fot. 3–4). Ma to związek zarówno z widmem rozpylenia, rozpyleniem paliwa w skali makro, jak również z ciepłem utajonym niezbędnym do odparowania wody w paliwie. Jednocześnie wraz ze wzrostem ilości wody w emulsji początek samozapłonu paliwa jest coraz późniejszy.

Przy maksymalnym ciśnieniu spalania (fot. 5–7) zjawiska w cylindrze silnika dla badanych paliw przebiegają zupełnie odmiennie. Skutkiem zasilania silnika RME są wówczas wyższe maksymalne temperatury spalania. W efekcie paliwo takie charakteryzuje się większą emisją NO_x niż olej napędowy. Dodatek wody do RME radykalnie

obniża „maksimum maksimorum” temperatur czynnika roboczego, zarówno w odniesieniu do czasu trwania jak i objętości przestrzeni cylindra. Efektem jest bardzo silne obniżenie emisji NO_x w spalinach.

PODSUMOWANIE

Dzięki usprawnieniu w przygotowaniu paliwa można w znacznym stopniu poprawić skład spalin. Wymaga to szerokich studiów i analiz, których przyczynek stanowią mogą badania objęte niniejszym projektem. Prace z tego zakresu są obecnie realizowane w różnych ośrodkach naukowych na świecie [Murayama *et al.* 1978, Miyamoto *et al.* 1995, Velji *et al.* 1995, Mello and Mellor 1999], w ograniczonym zakresie także w Polsce [Merkisz i Piaseczny 2001]. Kompleksowe poszukiwanie związków między własnościami emulsji paliwowo-wodnych a własnościami silnika pozwoli na szersze włączenie badaczy z naszego kraju do tych analiz i odegranie w nich znaczącej roli.

PIŚMIENNICTWO

- Cisek J., 2004: Options for the analysis of fuel injection using visual digitized methods. *Journal of Middle European Construction and Design of Cars*, 3.
- Miyamoto N., Ogawa H., Wang J., 1995: Significant NO_x reductions with direct water injection into the sub-chamber of an IDI diesel engine. *SAE Transactions*, 950609.
- Miyano H., Sungawa T., Tayama K., Nagae Y., Yasueda S. 1995: The ship test for low- NO_x By stratified fuel-water injection system. 21st International Congress On Combustion Engines. Interlaken 1995.
- Murayama T., Morishima Y., Tsukahara M., Miyamoto N., 1978: Experimental reduction of NO_x , smoke, and BSFC in a diesel engine using uniquely produced water (0–80%) to fuel emulsion. *SAE Transactions*, 780224.
- Velji A., Rimmels W., Schmidt R., M., 1995: Water to reduce NO_x – emission in diesel engines. A basic study. 21st International Congress on Combustion Engines. Interlaken 1995, CIMAC.
- Mello J.P., Mellor A.M., 1999: NO_x Emission from direct injection diesel engines with water/steam dilution. *SAE Transactions*.
- Merkisz J., Piaseczny L., 2001: Wpływ zasilania emulsją paliwowo-wodną na toksyczność i wskaźniki pracy okrętowego średnioobrotowego silnika spalinowego. *Journal of KONES*, 3–4, 294–303.

VISUALISATION OF INJECTION AND COMBUSTION OF RME WITH WATER EMULSIONS IN DIESEL ENGINE

Summary. This paper presents possibilities of using fully digitized trigger able video system AVL VideoScope 513D for analysis of injection and combustion inside diesel engine cylinder fuelled by RME with water emulsions. As a research objects were used: standard diesel fuel, rapeseed methyl ester (RME) and RME – water emulsions (up to 30% of water). Using one-cylinder test diesel engine with systems for visualization the injection and combustion phenomena were described and compared.

Key words: diesel engine, RME – water emulsions, injection, combustion, visualization