

# WIZUALIZACYJNE BADANIA PORÓWNAWCZE PROCESU WTRYSKU ELEKTROMAGNETYCZNYCH WTRYSKIWACZY SYSTEMU COMMON RAIL

**Adam USTRZYCKI, Artur JAWORSKI, Hubert KUSZEWSKI<sup>1</sup>**

W artykule przedstawiono wyniki badań elektromagnetycznych wtryskiwaczy stosowanych w zasobnikowych układach wtryskowych silników wysokoprężnych. Przeprowadzono badania podstawowych parametrów procesu wtrysku z zastosowaniem systemu wizualizacyjnego, za pomocą którego filmowano proces rozwoju strugi paliwa. Na podstawie zarejestrowanych obrazów przeprowadzono analizę porównawczą badanych wtryskiwaczy.

## 1. WSTĘP

Przebieg procesu wtrysku w silnikach wysokoprężnych ma istotny wpływ na przebieg procesu spalania i co za tym idzie, na wszystkie parametry silnika, zarówno operacyjne, jak i ekologiczne [5]. Dokładność dawkowania oraz powtarzalność kolejnych procesów wtrysku wywiera podstawowy wpływ na jakość zachodzących w silniku procesów. Na te parametry ma wpływ wiele czynników, począwszy od konstrukcji i precyzji wykonania samego wtryskiwacza, który jest w głównej mierze odpowiedzialny za proces wtrysku paliwa, a skończywszy na właściwościach paliwa, które mogą być zmienne, nawet w krótkim czasie, ze względu na zmiany temperatury, a co za tym idzie zmiany gęstości i lepkości. Proces wtrysku paliwa jest zjawiskiem krótkotrwałym, stąd też obserwacja tego procesu wymaga zastosowania odpowiednich technik rejestrowania tych szybkozmiennych zjawisk. Ich późniejsza analiza pozwala na szczegółową ocenę tych zjawisk, dając możliwość poznania sposobu rozprzestrzeniania się strug paliwa, ich kształtu oraz pozostałych parametrów jej makro i mikrostruktury.

Badania wizualizacyjne, ze względu na rozwój cyfrowych technik rejestracji i przetwarzania obrazu, są coraz częściej stosowane w inżynierii silników spalinowych [8]. Umożliwiają obserwację procesu wtrysku i jego zaburzeń, pozwalając na takie projektowanie aparatury wtryskowej i systemu spalania, by zachodzące w silniku procesy były bardziej efektywne, co w konsekwencji prowadzi do poprawy parametrów operacyjnych i ekologicznych silnika spalinowego.

W artykule przedstawiono wstępne wyniki badań, które są częścią szerszych rozważań, mających na celu określenie wpływu stosowania różnego rodzaju paliw alternatywnych na proces wtrysku, w różnych typach wtryskiwaczy elektromagnetycznych stosowanych w układach Common Rail. Celem tych badań jest określenie, w jakim stopniu zastosowanie paliwa alternatywnego, które może charakteryzować się parametrami znacznie odbiegającymi od paliwa standardowego, wpływa na proces wtrysku i jakie są niezbędne korekcje, by ten wpływ wyeliminować lub zmniejszyć.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań czterech wtryskiwaczy różnego typu przeprowadzone na specjalnie opracowanym stanowisku badawczym przy zastosowaniu oleju napędowego bez dodatku biokomponentów.

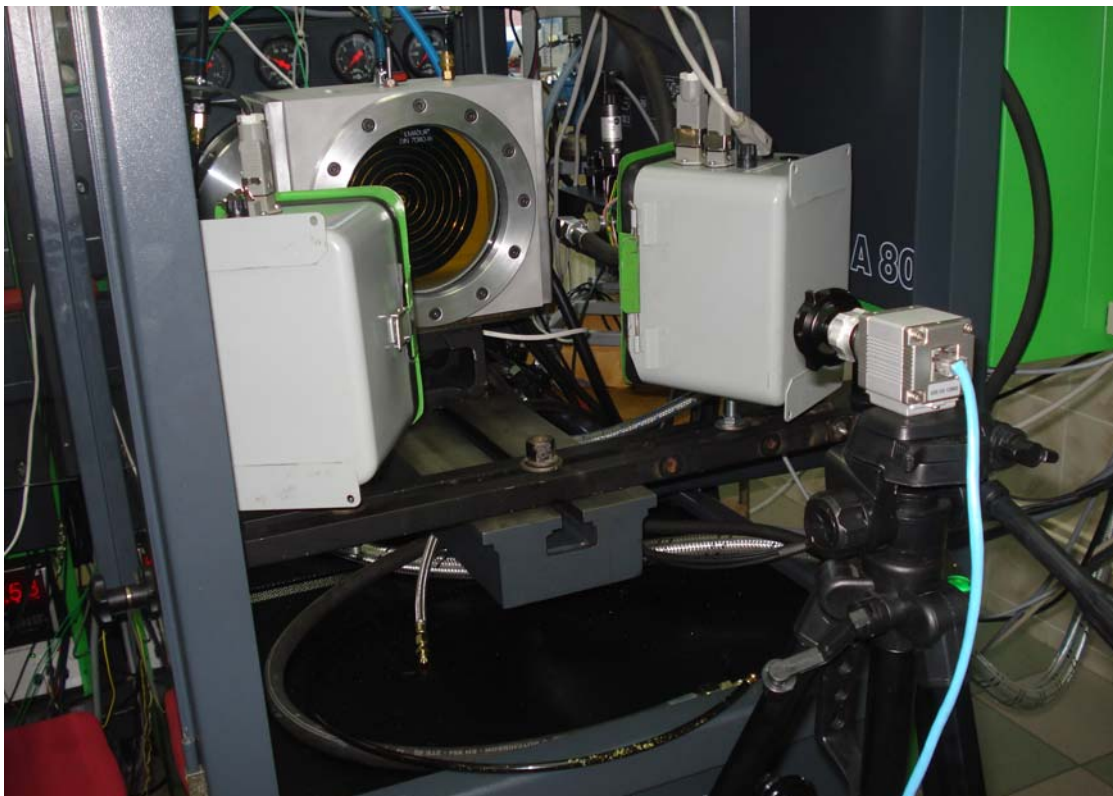
---

<sup>1</sup> Dr inż. Adam Ustrzycki, dr inż. Artur Jaworski, dr inż. Hubert Kuszewski; Politechnika Rzeszowska, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych

## 2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA BADAŃ

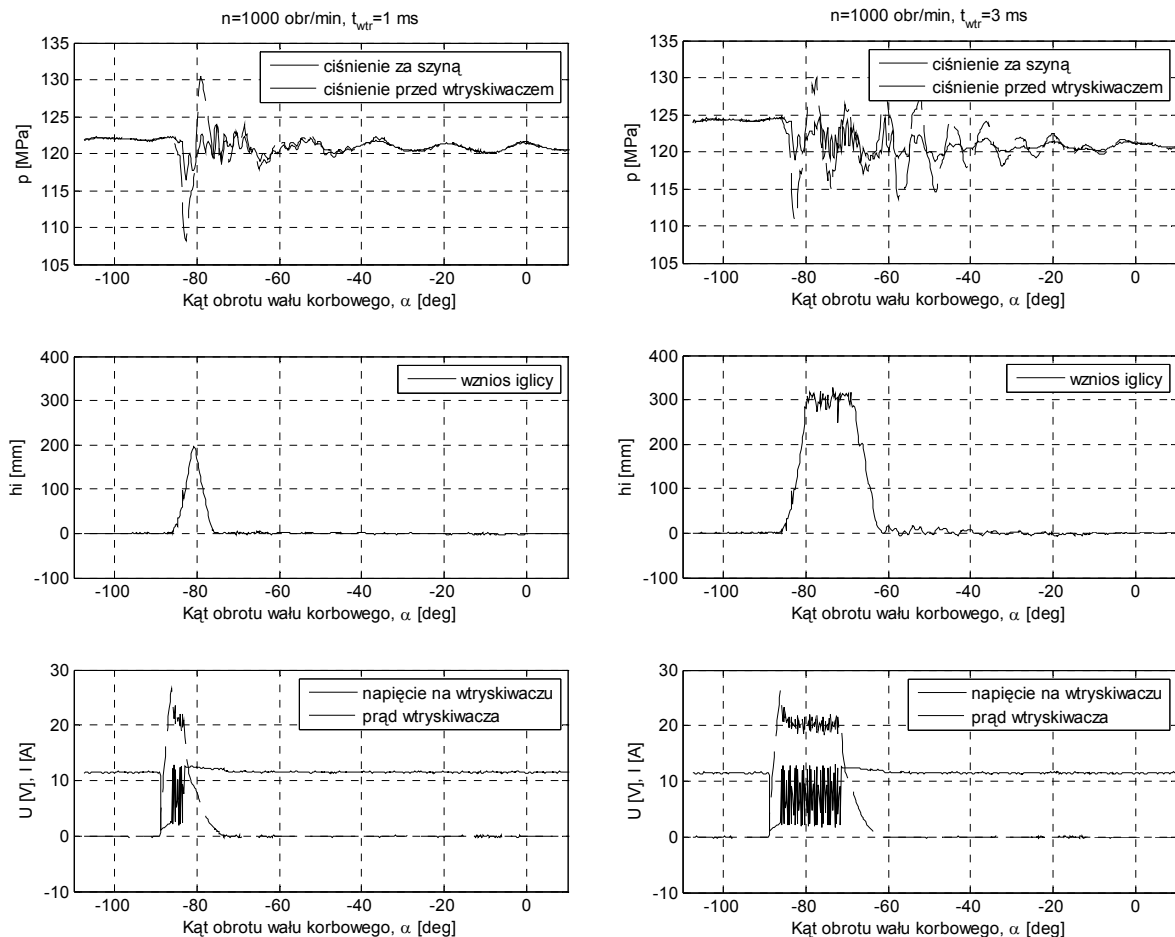
Badania układów wtryskowych i ich elementów powinny być prowadzone z wykorzystaniem paliw stosowanych w eksploatacji silników spalinowych. Rozwiązania konstrukcyjne wtryskiwaczy elektromagnetycznych charakteryzują się wysoką precyzją. Niewielkie wymiary otworków rozpylacza, elektrozaworu i kalibrowanych otworków sterujących we wtryskiwaczu powodują, że każda zmiana związana z takimi parametrami paliwa, jak lepkość czy gęstość, wpływa na przebieg procesu wtrysku i dawkowanie paliwa [3,9]. Stosowany na stanowisku badawczym olej probierczy może znacząco różnić się parametrami od paliw stosowanych w warunkach rzeczywistych, zwłaszcza jeżeli są to paliwa z dodatkiem biokomponentów. Stąd też, na potrzeby badań opracowano specjalne stanowisko badawcze umożliwiające zasilanie układu wtryskowego paliwami różnego rodzaju umożliwiające uzyskanie stabilnych parametrów pracy układu wtryskowego, szczególnie w odniesieniu do parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem [2,4,6,7] oraz temperatury w poszczególnych punktach tego układu, ze względu na jej istotny wpływ na proces dawkowania paliwa.

Stanowisko badawcze układów wtryskowych typu Common Rail zbudowano w oparciu o stanowisko probiercze firmy Bosch EPS-815, które wykorzystywane jest do napędu pompy wysokociśnieniowej. Dokładny opis stanowiska przedstawiono w pracy [1]. Stanowisko wyposażono w specjalnie zaprojektowaną komorę wizualizacyjną z systemem oświetlenia stroboskopowego do rejestracji rozwoju strugi wtryskiwanego paliwa (rys.1). Proces rozwoju strugi filmowano za pomocą systemu wizualizacyjnego typu AVL Visioscope. Do rejestracji przebiegów szybkozmiennych, takich jak ciśnienia w układzie wtryskowym oraz sygnały elektryczne, zastosowano system akwizycji danych oparty na karcie pomiarowej AT-MIO-16E-1 firmy National Instruments. Przykład zarejestrowanych przebiegów przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Widok komory wizualizacyjnej z systemem oświetlenia stroboskopowego zamontowanych na stanowisku badawczym

Systemem Visioscope i systemem akwizycji przebiegów szybkozmiennych sterowano za pomocą nadajnika impulsów AVL 365C, zapewniającego filmowanie rozwoju strugi z rozdzielczością kątową wynoszącą  $0,1^\circ$  obrotu wału pompy. Impulsy z tego nadajnika wykorzystywane były także jako sygnały sterujące elektronicznym sterownikiem wtryskiwacza. W tym wypadku rozdzielczość kąтова wynosiła 720 impulsów na obrót, co zapewniało bardzo dużą precyzję sterowania początkiem wtrysku.



Rys. 2. Zarejestrowane szybkozmiennne przebiegi: ciśnienia w przewodzie przed wtryskiwaczem i za szyną, wzniosu iglicy wtryskiwacza, napięcia i prądu wtryskiwacza pomiarowego dla różnych czasów wtrysku ( $p_{raii}=125$  MPa,  $n=1000$  obr/min)

Badaniom poddano cztery różne wtryskiwacze sterowane elektromagnetycznie:

- pięciootwórkowy – z silnika Fiat 1.3 MultiJet o oznaczeniu 0 445 110 083 (W083),
- pięciootwórkowy – z silnika Peugeot 2.0 HDI o oznaczeniu 0 445 110 044 (W044),
- sześciotwórkowy – z silnika Mercedes 2,3 CDI o oznaczeniu 0 445 110 089 (W189),
- pięciootwórkowy – o oznaczeniu 0 445 110 083 z czujnikiem wzniosu iglicy (Wpom).

Badania prowadzono dla czasów wtrysku 1 i 3 ms, ciśnienie w układzie wynoszących 75, 100 i 125 MPa oraz prędkości obrotowej wynoszącej 1000 obr/min. Badania prowadzono przy realizacji wtrysku jednofazowego, celem uniknięcia zmian w procesie dawkowania wynikających z wahań ciśnienia powstających przy wtrysku wielofazowym oraz przy stałej wartości napięcia zasilającego [2,3,4]. Parametry sygnału sterującego były jednakowe dla wszystkich badanych wtryskiwaczy.

Zasadniczym celem badań było określenie wielkości dawki paliwa i przelewu, rzeczywistego początku wtrysku oraz zasięgu strugi.

### 3. WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano serie zdjęć (rys. 3), z których odczytano początki wtrysku oraz zasięg strugi. Za początek wtrysku uznawano kąt ze zdjęcia, dla którego na następnej fotografii można było zaobserwować strugę paliwa wypływającą z któregośkolwiek otworka rozpylacza. Zasięg strugi określano po uzyskaniu 5° obrotu wałka pompy licząc od rzeczywistego początku wtrysku. W tym punkcie określano zasięg dla każdej strugi oddzielnie i obliczano wartość średnią zasięgu.



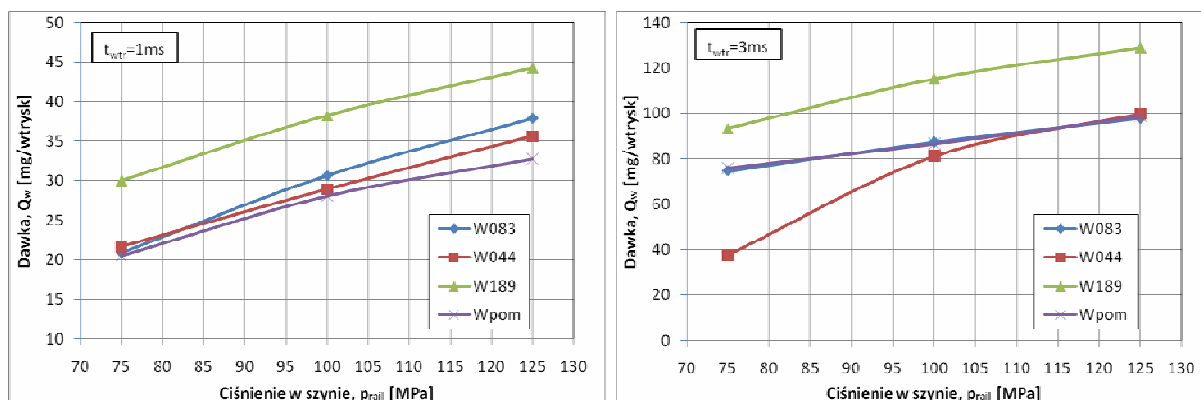
Rys. 3. Widok strug paliwa sfotografowany po 5° obrotu wałka pompy od rzeczywistego początku wtrysku dla czterech badanych wtryskiwaczy ( $t_{wtr}=3$  ms,  $p_{raii}=125$  MPa,  $n=1000$  obr/min)

Jak widać z rys. 4 pomimo, że badane wtryskiwacze stosowane są w silnikach o różnej objętości skokowej to wielkość dawki jest zbliżona. Większe wartości dawki uzyskiwane są dla wtryskiwacza W189, który posiada w przeciwieństwie do pozostałych, 6 otworków rozpylających i przeznaczony jest do silnika o największej objętości skokowej. Dawka dla

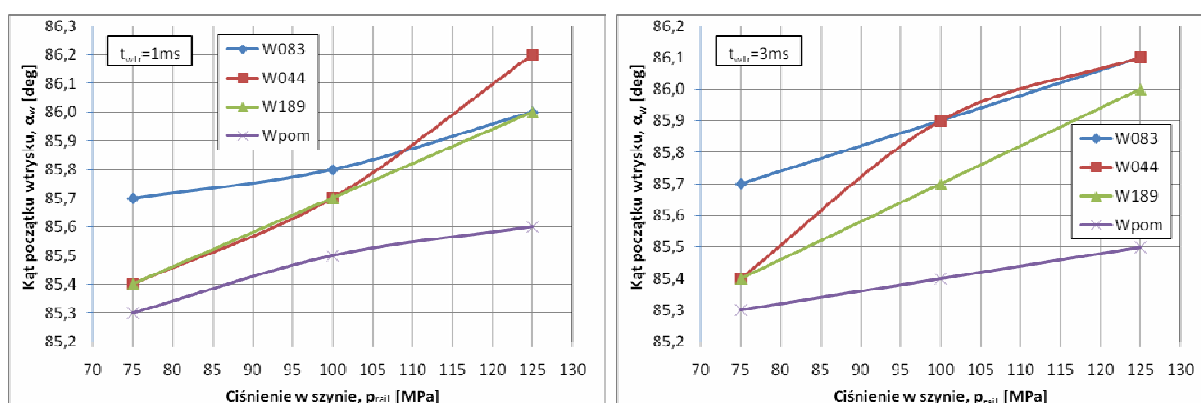


tego wtryskiwacza jest większa w całym zakresie badanych ciśnień i obu czasów wtrysku. Świadczy to o tym, że parametry otworków rozpylacza są podobne jak w pozostałych wtryskiwaczach, a przy tym samym sposobie wysterowania, różnica w dawkach może wynikać przede wszystkim z ilości otworków w rozpylaczu.

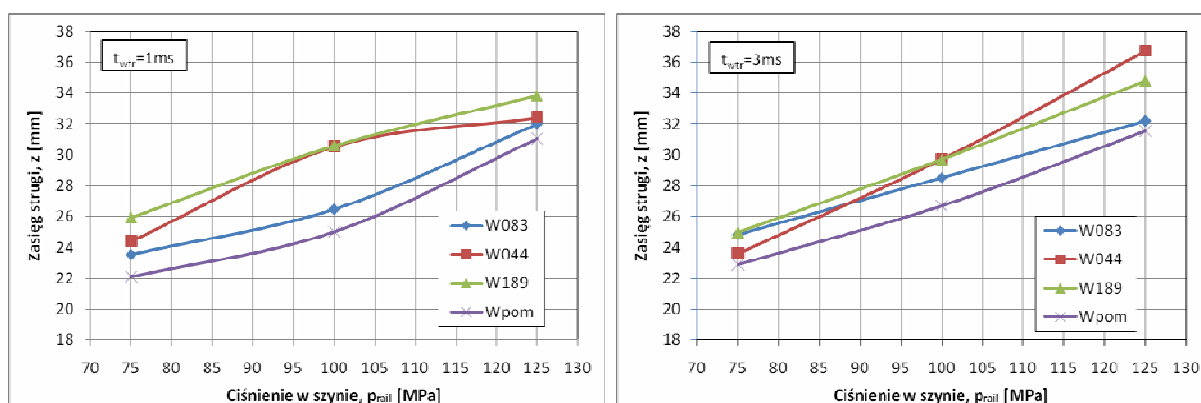
Przy dłuższym czasie wtrysku, największą czułość na zmiany ciśnienia wykazuje wtryskiwacz W044, przy czym jego charakterystyka w największym stopniu odbiega od liniowej.



Rys. 4. Dawka paliwa  $Q_w$  dla czterech badanych wtryskiwaczy w zależności od ciśnienia w szynie  $p_{rail}$  ( $n = 1000$  obr/min)



Rys. 5. Kąt początku wtrysku  $\alpha_w$  dla czterech badanych wtryskiwaczy w zależności od ciśnienia w szynie  $p_{rail}$  ( $n = 1000$  obr/min)



Rys. 6. Zasięg strugi paliwa  $z$  dla czterech badanych wtryskiwaczy w zależności od ciśnienia w szynie  $p_{rail}$  ( $n = 1000$  obr/min)

Na rys. 5 przedstawiono zmiany kąta początku wtrysku dla badanych wtryskiwaczy. Jak widać, różnice są nieznaczne, przy czym podobnie jak poprzednio w największym stopniu na zmiany ciśnienia reaguje wtryskiwacz W044, a w najmniejszym stopniu wtryskiwacz W083 i

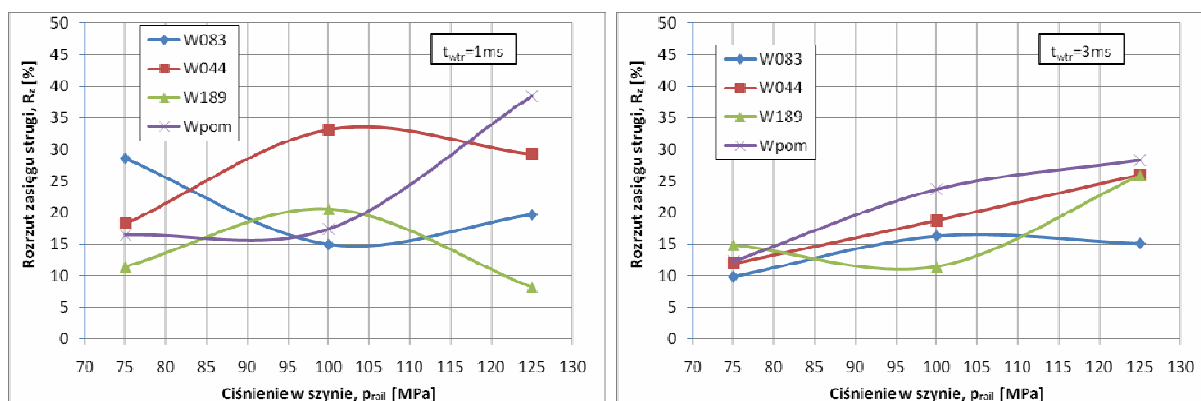
wtryskiwacz pomiarowy Wpom, będący jego modyfikacją (zaimplementowany czujnik wzniosu iglicy).

Uwzględniając te początki wtrysku, określono zasięg strug paliwa po 5° obrotu wałka pompy od rzeczywistego początku wtrysku. Na rys. 6 przedstawiono średni zasięg strugi paliwa dla badanych wtryskiwaczy, a na rys. 7 przedstawiono rozrzut zasięgu poszczególnych strug określony wg następującego wzoru:

$$R_z = \frac{2 \cdot |z_{max} - z_{min}|}{z_{max} + z_{min}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

gdzie:

$z_{max}$ ,  $z_{min}$  – maksymalny i minimalny zasięg strugi paliwa dla danego wtryskiwacza w określonym punkcie pracy.



Rys. 7. Rozrzut zasięgu strugi  $R_z$  dla czterech badanych wtryskiwaczy w zależności od ciśnienia w szynie  $p_{rail}$  ( $n = 1000$  obr/min)

Największe zmiany zasięgu strugi wraz ze wzrostem ciśnienia występują dla wtryskiwacza W044 przy dłuższym czasie wtrysku, przy czym dla tego czasu, zasięg strug przy ciśnieniu 125 MPa jest nieco większy niż przy czasie krótszym wynoszącym 1 ms.

Wszystkie badane wtryskiwacze charakteryzują się dużymi różnicami zasięgu poszczególnych strug, Określona nierównomierność zasięgu strug dochodzi do 40 % dla wtryskiwacza pomiarowego (rys. 7), przy czym dla krótszego czasu wartości te są nieco większe niż dla czasu dłuższego. Może to wynikać z większych zmian ciśnienia w trakcie jednego wtrysku, które występują przy krótszym analizowanym czasie wtrysku wynoszącym 1 ms (rys. 2).

#### 4. PODSUMOWANIE

Analizując przedstawione wyniki oraz zarejestrowane przebiegi rozwoju strugi można stwierdzić, że wszystkie badane wtryskiwacze charakteryzują się dużą niepowtarzalnością kolejnych cykli pracy, co jest szczególnie widoczne ze względu na poklatkowy sposób rejestracji tych przebiegów, polegający na filmowaniu kolejnych klatek filmu w kolejnych cyklach pracy wtryskiwacza. Niepowtarzalność ta może wynikać z dużych zmian ciśnienia występujących we wtryskiwaczu. Niepowtarzalność ta wpływa w istotnym stopniu także na duży rozrzut zasięgu poszczególnych strug paliwa, przy czym dodatkowy wpływ mogą tu mieć zawirowania paliwa w komorze będące skutkiem poprzednich wtrysków. Niepowtarzalność pracy wtryskiwacza i rozrzut zasięgu strug paliwa może skutkować niepowtarzalnością procesu spalania w poszczególnych cyklach pracy silnika spalinowego.

Badania procesu wtrysku będą prowadzone także dla innych paliw celem określenia wpływu ich parametrów na ten proces.

## LITERATURA

- [1] Balawender K., Lejda K., Ustrzycki A.: Stanowisko badawcze wtryskowych układów Common rail zasilanych paliwami różnego typu. No 22 `2011, Вісник Національного транспортного університету, Київ 2011.
- [2] Balawender K., Kuszewski H., Ustrzycki A.: Wpływ wybranych parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem na proces wtrysku paliwa w układzie zasilania typu common Rail. Journal of KONES, Vol. 16, No. 2/2009.
- [3] Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A.: Determinanty dokładności dawkowania paliwa w systemie zasobnikowego układu zasilania Common Rail. Czasopismo Techniczne - Mechanika, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, z. 8-M/2008, zeszyt 12 (105), Kraków 2008.
- [4] Lejda K., Ustrzycki A.: Effect of supply voltage on the dosage of fuel in injection system the Common Rail type. Journal of Polish CIMAC, Vol. 4, No. 2, 2009.
- [5] Praca zbiorowa: Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail. Informatory techniczne Bosch. WKŁ, Warszawa 2005.
- [6] Ustrzycki A.: Wpływ parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem elektromagnetycznym na dawkowanie paliwa w zasobnikowym układzie wtryskowym. Науково-технічний збірник, No 20 `2010, Вісник Національного транспортного університету, Київ 2010.
- [7] Ustrzycki A., Balawender K., Ogiba T.: Wpływ częstotliwości sygnału sterującego wtryskiwaczem na dawkowanie paliwa w układzie zasilania typu Common Rail. Systemy i środki transportu samochodowego, Nr 1. Oficyna Wyd. Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2010.
- [8] Wisłocki K.: Studium wykorzystania badań optycznych do analizy procesów wtrysku i spalania w silnikach o zapłonie samoczynnym, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
- [9] Ustrzycki A., Kuszewski H.: Wpływ temperatury wtryskiwanego paliwa na wielkość dawki w zasobnikowym układzie wtryskowym typu Common Rail. Mat. XVIII Międzynarodowej Konferencji Naukowej SAKON'07 nt. "Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdów samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych. Zarządzanie i marketing w motoryzacji", Rzeszów 2007.

## **COMPARATIVE OPTICAL STUDY FOR ELECTROMAGNETIC INJECTORS OF COMMON RAIL INJECTION SYSTEM**

The paper presents the test results obtained for electromagnetic injectors used in the Common Rail injection systems for diesel engines. Investigations of the basic parameters of the injection process were conducted using the special visualization system by recording a fuel stream. Based on the recorded images a comparative analysis of the injectors was made.

*Praca naukowa finansowana jest ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy*