

## THE EFFECT OF SOME PARAMETERS OF INJECTOR CONTROL SIGNAL ON FUEL INJECTION PROCESS IN THE COMMON RAIL SYSTEM

Krzysztof Balawender, Hubert Kuszewski, Adam Ustrzycki

Rzeszow University of Technology  
Department of Dept of Automotive Vehicles  
and Internal Combustion Engines  
Powstańców Warszawy Av. 8, 35-959 Rzeszów, Poland  
tel.: +48 17 8651524, fax: +48 17 8543112  
e-mail: kbalawen@prz.edu.pl  
hkuszews@prz.edu.pl  
austrzyc@prz.edu.pl

### Abstract

*In recent years the compression ignition engines with direct injection equipped with common rail system are subject to intensive development. Mainly, the reason for it the ecological considerations are. Generally the engines of this type are characterized by relatively low specific fuel consumption, lower noisy and lower emission of toxicity components in relation to DI engines with conventional injection system. Especially the main advantage of common rail system is possibility of easy controlling the injection parameters. Therefore a very important is parameters of control signals of injection system, including injectors, because they have the influence on fuel amount. In the article the effect of CR injector control signal on injection process was presented. The measurements were taken at constant frequency running of injector and set values of rail pressure. The temperature of injected fuel was controlled also. The researches were conducted with test stand equipped with test bench with electronic measuring of fuel amount. In the centre of attention was peak current-duration at set values of injector opening signal. The tests were conducted at single injection and for two types of injector.*

**Keywords:** common rail, fuel injection, injection control

## WPLYW WYBRANYCH PARAMETRÓW SYGNAŁU STERUJĄCEGO WTRYSKIWACZEM NA PROCES WTRYSKU PALIWA W UKŁADZIE ZASILANIA TYPU COMMON RAIL

### Streszczenie

*Intensywny rozwój silników wysokoprężnych z bezpośrednim wtryskiem paliwa, wyposażonych w akumulacyjne układy zasilania typu Common Rail, jest podyktowany głównie względami ekologicznymi. Ogólnie, silniki tego typu charakteryzują się stosunkowo niskim jednostkowym zużyciem paliwa, mniejszą hałaśliwością i mniejszą emisją toksycznych składników spalin w stosunku do silników typu DI z konwencjonalnym układem wtryskowym. Szczególnie ważną zaletą zasobnikowych układów wtryskowych jest możliwość łatwego sterowania parametrami wtrysku. Bardzo istotne są przy tym parametry sygnałów sterujących elementami układu wtryskowego, w tym wtryskiwaczy, gdyż oddziałują one bezpośrednio na wielkość dawki paliwa. W artykule przedstawiono wpływ wybranych parametrów sygnału sterującego wtryskiwacza typu CR na proces wtrysku paliwa. Pomiar realizowano dla stałych wartości częstotliwości pracy wtryskiwacza oraz zadanych wartości ciśnienia w szynie zasilającej wtryskiwacz. Kontrolą podlegała także temperatura wtrysku paliwa. W badaniach, które prowadzono na stole probierczym wyposażonym w system elektronicznego pomiaru dawki paliwa, szczególną uwagę zwrócono na czas fazy załączania wtryskiwacza, przy ustalonych długościach sygnału otwarcia wtryskiwacza, w warunkach wtrysku jednofazowego dla dwóch różnych typów wtryskiwacza.*

**Słowa kluczowe:** common rail, wtrysk paliwa, sterowanie wtryskiem

## 1. Wprowadzenie

Elektronicznie sterowane zasobnikowe systemy zasilania typu Common Rail charakteryzują się dużymi możliwościami w zakresie kształtowania charakterystyki wtrysku. Z tego względu są obecnie szeroko stosowanymi układami wtryskowego zasilania w silnikach wysokoprężnych [9]. Od układu wtryskowego oczekiwana jest duża precyzja dozowania wtryskiwanego do cylindra paliwa, dokładność w sterowaniu początkiem wtrysku, powtarzalność oraz niezawodność i trwałość, jak również utrzymanie tych parametrów przez możliwie długi okres eksploatacji. Jest to szczególnie istotne, ponieważ w nowych przepisach przewiduje się zwiększenie tzw. okresu życia pojazdów z 80 tys. do 160 tys km przebiegu, w którym to okresie pojazdy muszą spełniać ustalone, wysokie wymagania w zakresie emisji [7]. Jak wykazuje praktyka, jednym z najbardziej zawodnych elementów systemu zasobnikowego jest wtryskiwacz, a w szczególności cewka wtryskiwacza. Wynika to z faktu, że pracuje ona w stosunkowo trudnych warunkach, na które składają się wysoka temperatura, będąca wynikiem, zarówno pracy silnika jak i samego układu wtryskowego (wysokie temperatury przetłaczanego pod znacznym ciśnieniem paliwa oraz nagrzewania się cewki wtryskiwacza od płynącego w niej prądu). Dodatkowym czynnikiem są tu także drgania, które również mogą wpływać na trwałość cewki elektrozaworu wtryskiwacza. Stąd też istotnym zagadnieniem jest ograniczenie zakresu temperatur i obciążenia cewki poprzez ograniczenie wartości płynącego prądu, bez pogorszenia parametrów wtryskiwacza. Osiąga się to poprzez częściową modulację sygnału sterującego wtryskiwaczem. Jednakże wprowadzone w ten sposób zmiany (zmniejszenie) strumienia magnetycznego mogą wpływać na przebieg siły magnetycznej podnoszącej zawór sterujący, a zatem na pracę całego wtryskiwacza, szczególnie przy zmianach napięcia zasilającego, które dodatkowo modyfikuje pracę elektrozaworu.

W niniejszym artykule zaprezentowano badania wpływu parametrów sygnału sterującego na proces dawkowania paliwa. W szczególności skupiono się na wpływie długości trwania impulsu załączającego na wielkość dawki paliwa w odniesieniu do całkowitej długości trwania wtrysku.

## 2. Metodyka badań i stanowisko badawcze

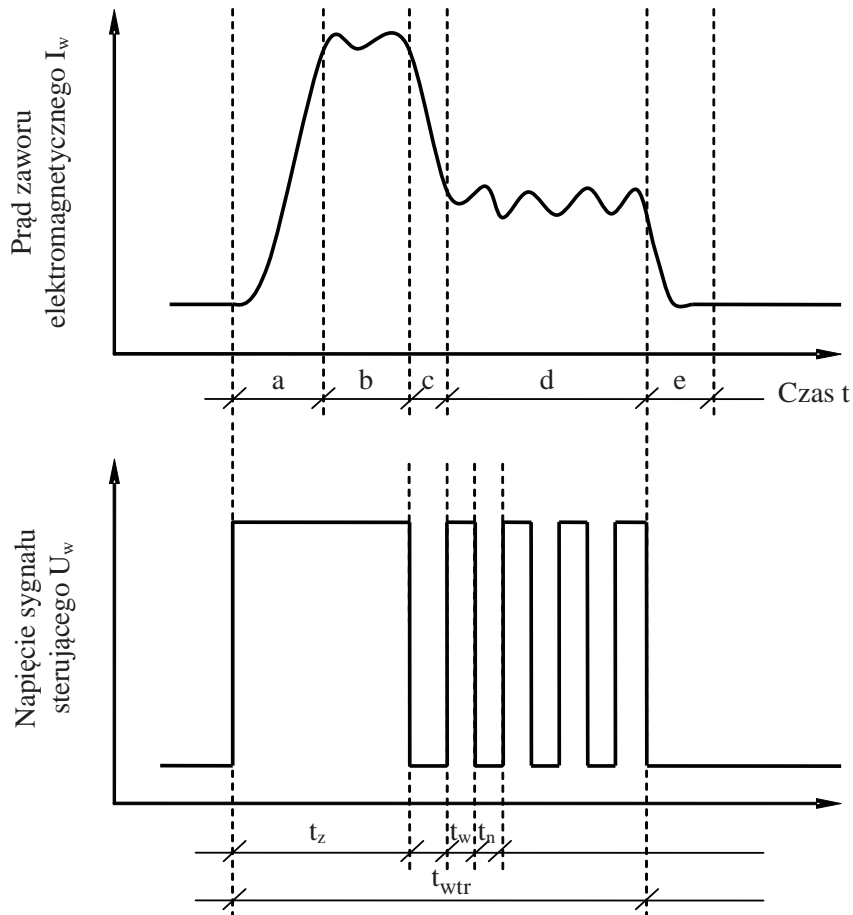
Celem badań doświadczalnych było określenie wpływu długości impulsu załączającego wtryskiwacz  $t_z$  na wielkość dawki paliwa w odniesieniu do całkowitego czasu wtrysku  $t_{wtr}$  (Rys. 1). W celu określenia wpływu napięcia zasilania na proces dawkowania paliwa zbudowano stanowisko badawcze, którego podstawowymi urządzeniami były stół probierczy Bosch EPS-815 wraz z zespołem pomiaru dawki paliwa Bosch KMA-822 z wymiennikiem ciepła, oraz modulem do badania elementów układu Common Rail CRS-845. Paliwo wtryskiwane było do specjalnej komory wypełnionej paliwem. Opis stanowiska przedstawiono w pracach [1-3, 6].

Ze względu na stwierdzony wpływ temperatury wtryskiwanego paliwa na proces dawkowania [8] badania przeprowadzono przy ustalonej temperaturze, która była mierzona przy wpływie z komory pomiarowej i wynosiła 75°C. Temperatura paliwa w zbiorniku była stabilizowana i wynosiła 40 ±1°C. W badaniach wykorzystano wtryskiwacz z silnika Fiat Multijet 1.3 (o oznaczeniu fabrycznym 445 110 083) oraz silnika Renault G9T (o oznaczeniu fabrycznym 445 110 641). Wtryskiwacze współpracowały z pompą wysokociśnieniową CR/CP1K3/R55/10-S. Sterowanie wtryskiwaczem realizowane było przez opracowany w Zakładzie Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Rzeszowskiej sterownik, którego opis przedstawiono w pracy [5].

Badania prowadzono przy realizacji wtrysku jednofazowego, celem uniknięcia zmian w procesie dawkowania wynikających z wahań ciśnienia powstających przy wtrysku wielofazowym [4]. Układ sterowania wtryskiwaczem zasilany był z akumulatora współpracującego z zasilaczem, co umożliwiało precyzyjne utrzymanie założonego napięcia zasilania, które wynosiło 13 ±0,02 V.

Badania prowadzono dla dwóch różnych czasów wtrysku  $t_{wtr} = 900 \mu s$  i  $t_{wtr} = 3000 \mu s$ , przy czym czas załączania  $t_z$  zmieniany był w zakresie od 250 do 900  $\mu s$ . Sygnał modulowany

charakteryzował się 50% stopniem wypełnienia, przy czym stopień ten był zakładany programowo. Rzeczywiste wartości wypełnienia mogą się różnić od wartości zadanych ze względu na istnienie zarówno indukcyjności, jak i pojemności w układzie. Wartości czasów  $t_w$  i  $t_n$  wynosiły  $15 \mu\text{s}$  co oznacza, że częstotliwość modulacji wynosiła 33,3 kHz. Badania realizowano dla różnych ciśnień w układzie wynoszących 75, 100 i 125 MPa oraz prędkości obrotowej wynoszącej 1000 obr/min.



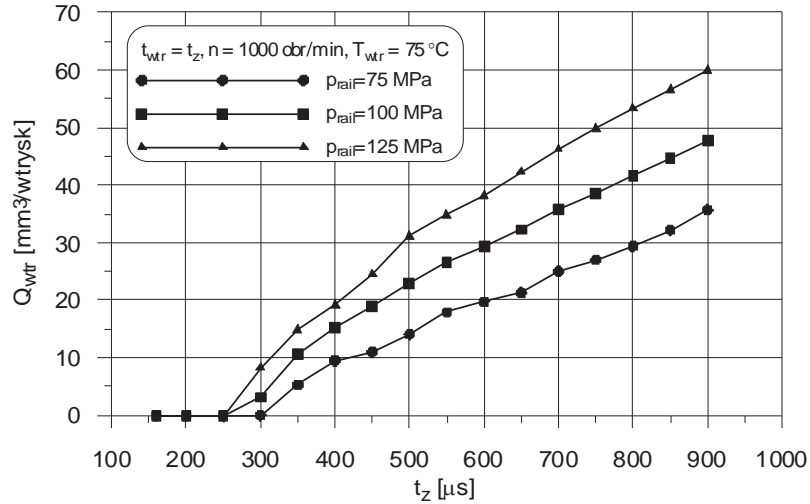
Rys. 1. Przebieg sygnału sterującego wtryskiwaczem [9]: a – faza prądu otwierania, b – faza prądu przyciągania, c – przejście do fazy prądu podtrzymania, d – faza prądu podtrzymania, e – wyłączenie,  $t_{wtr}$  – czas trwania sygnału sterującego otwarciem wtryskiwacza,  $t_z$  – czas trwania sygnału załączania,  $t_w$  – czas trwania sygnału wysokiego poziomu,  $t_n$  – czas trwania sygnału niskiego poziomu

Fig. 1. The course of injector control signal [9]: a – opening current, b – attractive current, c – transition to holding current, d – holding current, e – switching off,  $t_{wtr}$  – duration of injector control signal,  $t_z$  – peak current-duration,  $t_w$  – duration of high level signal,  $t_n$  – duration of low level signal

### 3. Analiza wyników badań

Na Rys. 2 przedstawiono wyniki badań wpływu czasu wtrysku na wielkość dawki paliwa dla wtryskiwacza Fiat Multijet. Sygnał nie był modulowany, czyli czas wtrysku był równy czasowi załączania. Jak widać minimalny czas wtrysku, przy którym wtryskiwacz zaczyna pracować wynosi powyżej  $250 \mu\text{s}$ , przy czym wielkość dawki jest oczywiście tym większa im wyższe jest ciśnienie w szynie  $p_{rail}$ . Poza początkową fazą, zależność pomiędzy czasem wtrysku a dawką jest zbliżona do liniowej.

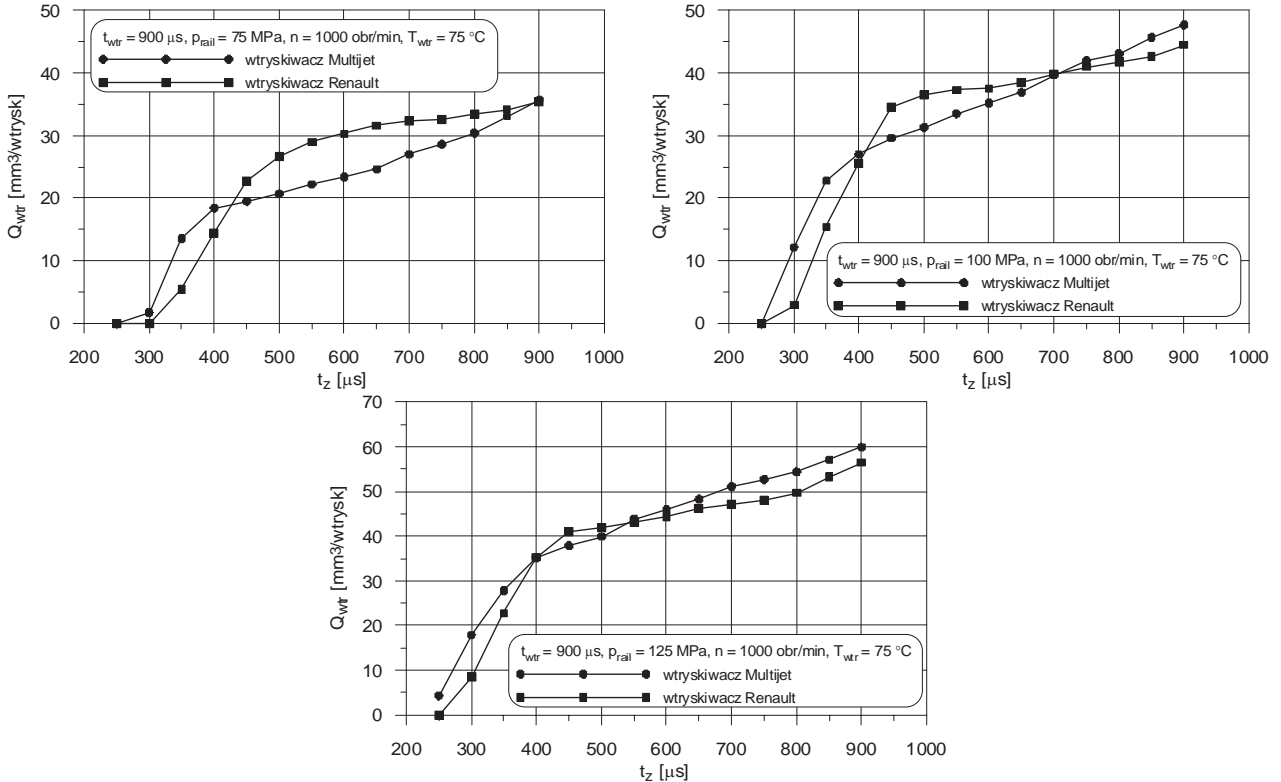
Na Rys. 3 przedstawiono zmiany dawkowania paliwa dla dwóch badanych wtryskiwaczy Fiat Multijet i Renault przy całkowitym czasie wtrysku wynoszącym  $900 \mu\text{s}$  oraz zmieniającym się czasie załączania  $t_z$ .



Rys. 2. Wpływ czasu załączania wtryskiwacza  $t_z$  na wielkość dawki paliwa  $Q_{wtr}$  dla różnych ciśnień paliwa w szynie  $p_{rail}$  (wtryskiwacz Multijet,  $t_{wtr} = t_z$ ,  $n = 1000$  obr/min,  $T_{wtr} = 75$  °C)

Fig. 2. The effect of peak current-duration  $t_z$  on fuel amount  $Q_{wtr}$  at different rail pressures  $p_{rail}$  (injector Multijet,  $t_{wtr} = t_z$ ,  $n = 1000$  rpm,  $T_{wtr} = 75$  °C)

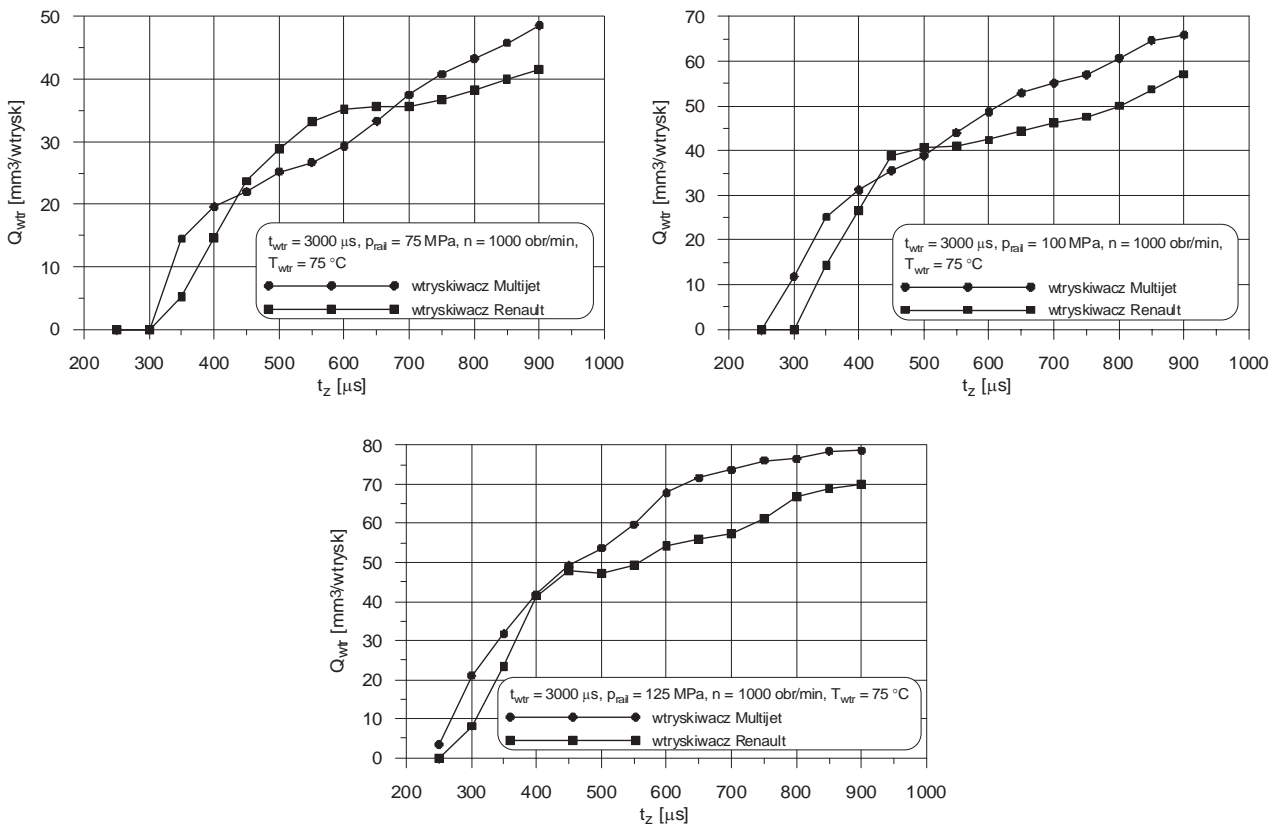
Wszystkie krzywe charakteryzują się specyficznym przegięciem, które występuje przy czasie załączania  $t_z$  wynoszącym 400-450  $\mu s$ . Od tego momentu zależność staje się prawie liniowa i wpływ impulsu załączającego staje się mniej widoczny (mniejsze nachylenie charakterystyki). Wartość 450  $\mu s$  można uznać za wystarczającą do prawidłowej pracy wtryskiwacza. Przy czym, jak widać charakterystyki obu wtryskiwaczy znacząco różnią się od siebie przy niższych ciśnieniach w szynie.



Rys. 3. Porównanie wpływu czasu załączania  $t_z$  wtryskiwacza na wielkość dawki paliwa  $Q_{wtr}$  dla dwóch typów wtryskiwaczy, przy różnych ciśnieniach paliwa w szynie  $p_{rail}$  ( $t_{wtr} = 900$   $\mu s$ ,  $n = 1000$  obr/min,  $T_{wtr} = 75$  °C)

Fig. 3. The comparison the effect of peak current-duration  $t_z$  on fuel amount  $Q_{wtr}$  for two injector types, at different rail pressures  $p_{rail}$  ( $t_{wtr} = 900$   $\mu s$ ,  $n = 1000$  rpm,  $T_{wtr} = 75$  °C)

Dla wtryskiwacza Renault, przy ciśnieniu 75 MPa krzywa zmienia swoje nachylenie dopiero przy 500-550  $\mu\text{s}$ . Różnice w dawkowaniu obu wtryskiwaczy zanikają przy wyższym ciśnieniu wynoszącym 125 MPa, co świadczy o tym, że przy wyższych ciśnieniach różnice w sposobie podnoszenia się zaworu sterującego w mniejszym stopniu wpływają na dawkowanie.



Rys. 4. Porównanie wpływu czasu załączenia  $t_z$  wtryskiwacza na wielkość dawki paliwa  $Q_{wtr}$  dla dwóch typów wtryskiwaczy, przy różnych ciśnieniach paliwa w szynie  $p_{rail}$  ( $t_{wtr} = 3000 \mu\text{s}$ ,  $n = 1000 \text{ obr/min}$ ,  $T_{wtr} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ )

Fig. 4. The comparison the effect of peak current-duration  $t_z$  on fuel amount  $Q_{wtr}$  for two injector types, at different rail pressures  $p_{rail}$  ( $t_{wtr} = 3000 \mu\text{s}$ ,  $n = 1000 \text{ rpm}$ ,  $T_{wtr} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ )

]

Na Rys. 4 przedstawiono w podobnym układzie wyniki badań dla całkowitego czasu wtrysku  $t_{wtr} = 3000 \mu\text{s}$ . Charakterystyczne przegięcie charakterystyki występuje tu także dla czasu załączenia  $t_z = 400\text{-}450 \mu\text{s}$ , przy czym krótsze czasy występują dla wtryskiwacza Fiat Multijet. Odmienne, jak dla krótszego całkowitego czasu wtrysku, wraz ze wzrostem czasu załączenia przy wyższych ciśnieniach występują większe różnice w dawkowaniu, co może wynikać z różnic w ilości i rozmiarach otworków rozpylacza. Długi czas wtrysku i wyższe ciśnienia powodują, że różnice w tych parametrach stają się decydujące.

#### 4. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że sygnał sterujący wtryskiwaczem powinien mieć określone parametry. Czas załączenia wtryskiwacza powinien być wystarczająco długi w celu zapewnienia liniowej charakterystyki wydatku wtryskiwacza. Dla obu badanych wtryskiwaczy, czas załączenia powinien wynosić w granicach 450-500  $\mu\text{s}$ . Zbyt długi czas załączenia powoduje hałaśliwą pracę wtryskiwacza i może prowadzić do przegrzewania się cewki. Zbyt krótki czas wtryskiwacza (poniżej 200  $\mu\text{s}$  dla obu badanych wtryskiwaczy) może natomiast powodować zakłócenia podczas otwarcia wtryskiwacza. Minimalny czas, przy którym wtryskiwacz się otwiera zależy nie tylko od parametrów wtryskiwacza, lecz także od ciśnienia panującego w układzie. Im

wyższe ciśnienie, tym krótszy może być czas załączania wtryskiwacza.

Wyniki zebrane w czasie badań mogą być wykorzystane podczas opracowywania prototypowych sterowników wtryskiwaczy, które następnie można będzie wykorzystać podczas badań hamownianych silników z zasobnikowym układem wtryskowym. Znajomość oddziaływania parametrów sygnału sterującego na wielkość dawki paliwa pozwoli na taki dobór parametrów sterownika, które zapewnią optymalny przebieg dawkowania paliwa. Ma to szczególne znaczenie w sytuacji, gdy prototypowy sterownik wtrysku ma współpracować z różnymi typami wtryskiwaczy.

Przeprowadzone badania dotyczące wpływu parametrów sygnału sterującego będą kontynuowane także w odniesieniu do drugiej, modulowanej części sygnału sterującego (sygnału PWM). Badania w tym zakresie będą dotyczyć wpływu zarówno wypełnienia sygnału PWM, jak również jego częstotliwości na proces dawkowania paliwa w zasobnikowym układzie wtryskowym.

## Literatura

- [1] Balawender, K., Kuszewski, H., Lejda, K., Ustrzycki, A., *Test of fuel dose variation of common rail injectors for 4-cylinder diesel engine*, Combustion Engines, No. SC2/2009.
- [2] Balawender, K., Kuszewski, H., Lejda, K., Ustrzycki, A., *The effect of angle position of main, pilot and preinjection fuel dose on NOX formation in compression ignition engine with common rail system*, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 15, No. 3/2008.
- [3] Balawender, K., Kuszewski, H., Lejda, K., Ustrzycki, A., *The influence of mutual angle position of main, pilot and preinjection dose on fuel dosing in Common Rail system*, Journal of POLISH CIMAC, No. 3, 2008.
- [4] Balawender, K., Kuszewski, H., Lejda, K., Ustrzycki, A., *The effect of multi-phasing injection on selected parameters of common rail fuel system*, Combustion Engines, No. 4/2008.
- [5] Balawender, K., Kuszewski, H., Ustrzycki, A., *Stanowisko do badań wpływu sygnału sterującego na pracę elektromagnetycznych wtryskiwaczy układów Common Rail*, Науково-технічний збірник No 18 `2009, Wisnik Nacjonalnogo Transportnogo Universiteta, pp. 43-49, Kijv 2008
- [6] 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, Z. 12 (105), s. 161-172, Kraków 2008.
- [7] Merksiz, J., Radzimirski, S., *Trends in european legislation on LDV pollutant emissions*, Combustion Engines, No. 3, 2008.
- [8] 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.
- [9] *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail*, Informatory techniczne Bosch, WKiŁ, Warszawa 2005.