

WPLYW PARAMETRÓW SYGNAŁU STERUJĄCEGO WTRYSKIWACZEM ELEKTROMAGNETYCZNYM NA DAWKOWANIE PALIWA W ZASOBNIKOWYM UKŁADZIE WTRYSKOWYM

Adam USTRZYCKI

W artykule przedstawiono badania związane z pracą elektromagnetycznie sterowanych wtryskiwaczy układu wtryskowego typu Common Rail. Podczas badań, w których poddano dwa różne wtryskiwacze, określano wpływ parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem na proces dawkowania paliwa. Badania prowadzono na stole probierczym przy różnych ciśnieniach w układzie oraz dla różnych czasów wtrysku.

1. WSTĘP

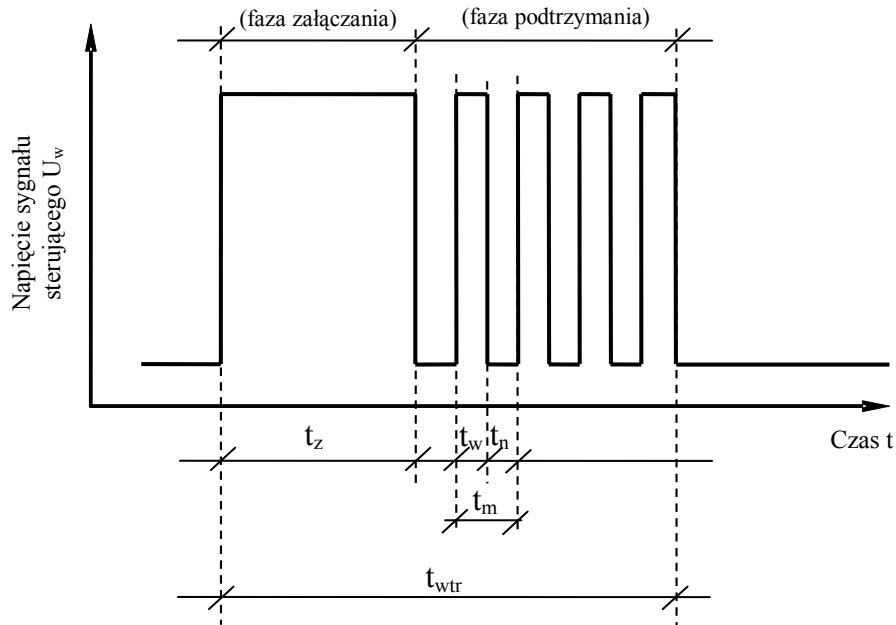
W zasobnikowych układach wtryskowych, jednym z istotniejszych elementów mających wpływ na proces dawkowania paliwa jest wtryskiwacz. To od jego parametrów zależy wielkość dawki i sposób podawania paliwa do cylindra silnika spalinowego. W układach Common Rail stosowane są obecnie dwa rodzaje wtryskiwaczy: elektromagnetyczne i piezoelektryczne. W obu przypadkach, znaczący wpływ na pracę wtryskiwacza i całego układu wtryskowego mają parametry sygnału sterującego tj.: wartość napięcia, prąd cewki wtryskiwacza oraz czas włączenia wtryskiwacza (czas wtrysku). W przypadku wtryskiwaczy elektromagnetycznych czas włączenia wtryskiwacza podzielony jest na dwie fazy – fazę załączania i fazę podtrzymania, która jest stosowana w celu ograniczenia prądu płynącego w cewce wtryskiwacza [12]. Z punktu widzenia pracy takiego wtryskiwacza, istotny jest udział czasu trwania fazy załączania w całym czasie wtrysku oraz parametry fazy podtrzymania (częstotliwość oraz wypełnienie sygnału modulowanego). Czas załączania powinien być wystarczająco długi, aby umożliwić pewne i szybkie otwarcie wtryskiwacza oraz na tyle krótki, by płynący prąd nie powodował nadmiernego nagrzewania się cewki wtryskiwacza, co w niedługim czasie może doprowadzić do jej uszkodzenia. Natomiast, parametry modulowanego sygnału podtrzymania powinny zapewnić utrzymanie zaworu wtryskiwacza w pozycji otwartej, przy jak najmniejszym poborze prądu.

W niniejszym artykule zaprezentowano badania stanowiskowe wpływu czasu załączania wtryskiwacza oraz wypełnienia modulowanego sygnału podtrzymania na wielkość dawki paliwa dwóch różnych wtryskiwaczy sterowanych elektromagnetycznie. Badania stanowią kolejny etap prac dotyczących funkcjonowania systemu Common Rail, których wyniki opublikowano w pracach [1,2,3,5,6,7,8,10,11].

2. STANOWISKO BADAWCZE I METODYKA POMIARÓW

Celem badań doświadczalnych było określenie zmian w dawkowaniu wtryskiwaczy na skutek zmieniających się parametrów sygnału sterującego (rys. 1):

- długości impulsu załączającego wtryskiwacz t_z w odniesieniu do całkowitego czasu wtrysku t_{wtr} ,
- wypełnienia modulowanego sygnału podtrzymania t_w/t_m ,



Rys. 1. Przebieg sygnału sterującego wtryskiwaczem [5]: 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, t_m – okres sygnału modulowanego

W celu określenia wpływu tych czynników zbudowano stanowisko badawcze w oparciu o stół probierczy Bosch EPS-815, który był wyposażony w moduł KMA-822 elektronicznego pomiaru dawki z wymiennikiem ciepła oraz moduł CRS-845 do badania elementów układu Common Rail. Układ wtryskowy poddany badaniom składał się z pompy wysokociśnieniowej typu CP1 bez modulatora sterującego ciśnieniem oraz wtryskiwacza sterowanego elektromagnetycznie. W skład systemu wchodził zasobnik paliwa będący na wyposażeniu stołu probierczego wyposażony w czujnik ciśnienia, czujnik temperatury, trzy elektrozawory do sterowania ciśnieniem w zasobniku oraz zawór bezpieczeństwa. Wtryskiwaczem sterowano za pomocą opracowanego sterownika, umożliwiającego realizację trzyfazowego wtrysku. Sterownik umożliwiał również zmiany czasu załączania i wypełnienia modulowanego sygnału podtrzymania [4]. Układ wtryskowy był zasilany z akumulatora współpracującego z zasilaczem w celu utrzymania stałej wartości napięcia, które wynosiło $13 \pm 0,02$ V. Wpływ zmian napięcia zasilającego przedstawiono w pracy [8]. Podczas badań utrzymywano stałą temperaturę wtryskiwanego paliwa, ze względu na jej wpływ na wielkość dawki [10]. Ponieważ w poszczególnych elementach układu temperatura paliwa jest różna, utrzymywano także ustabilizowaną temperaturę paliwa w zbiorniku (40 ± 1 °C) w celu zminimalizowania wpływu zmian temperatury na procesy zachodzące w całym układzie wtryskowym i dawkowanie paliwa. Ponieważ wielkość przelewu paliwa z wtryskiwacza jest istotnym parametrem dla oceny pracy zaworu elektromagnetycznego i całego wtryskiwacza, poza wielkością dawki wtryskiwanego paliwa mierzono także ten parametr (Q_p). Dokładny opis stanowiska wraz ze schematem przedstawiono m. in. w pracach [1, 2, 3, 8, 11].

Badaniom poddano dwa wtryskiwacze sterowane elektromagnetycznie:

- z silnika Fiat Multijet 1.3 o oznaczeniu 445 110 083,
- z silnika Renault G9T o oznaczeniu 445 110 641.

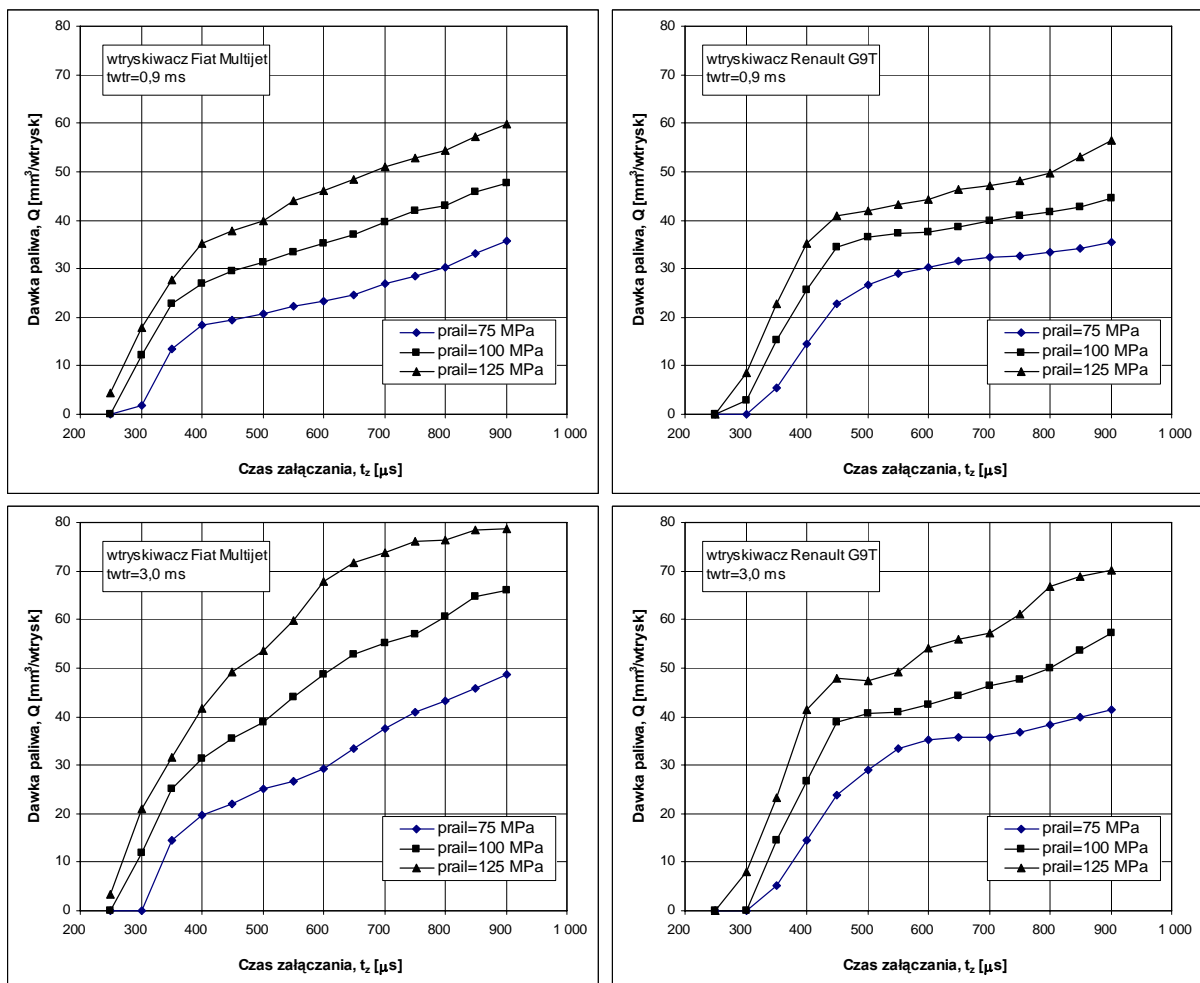
Każdy z wtryskiwaczy był badany w tych samych warunkach, a pomiary wykonywano dla trzech różnych wartości ciśnienia wynoszących 75, 100 oraz 125 MPa i dla dwóch różnych czasów wtrysku. Podczas badań realizowano wtrysk jednofazowy celem uniknięcia wpływu zmian ciśnienia powstających przy wtrysku wielofazowym [1, 2].

Badania wpływu długości impulsu załączającego wtryskiwacz (czasu załączania) t_z na wielkość dawki paliwa prowadzono dla dwóch różnych czasów wtrysku $t_{wtr} = 0,9$ ms i $t_{wtr} = 3$ ms, przy czym czas załączania t_z zmieniany był w zakresie od 250 do 900 μ s. Sygnał modulowany fazy podtrzymania charakteryzował się zaprogramowanym 50 % stopniem wypełnienia.

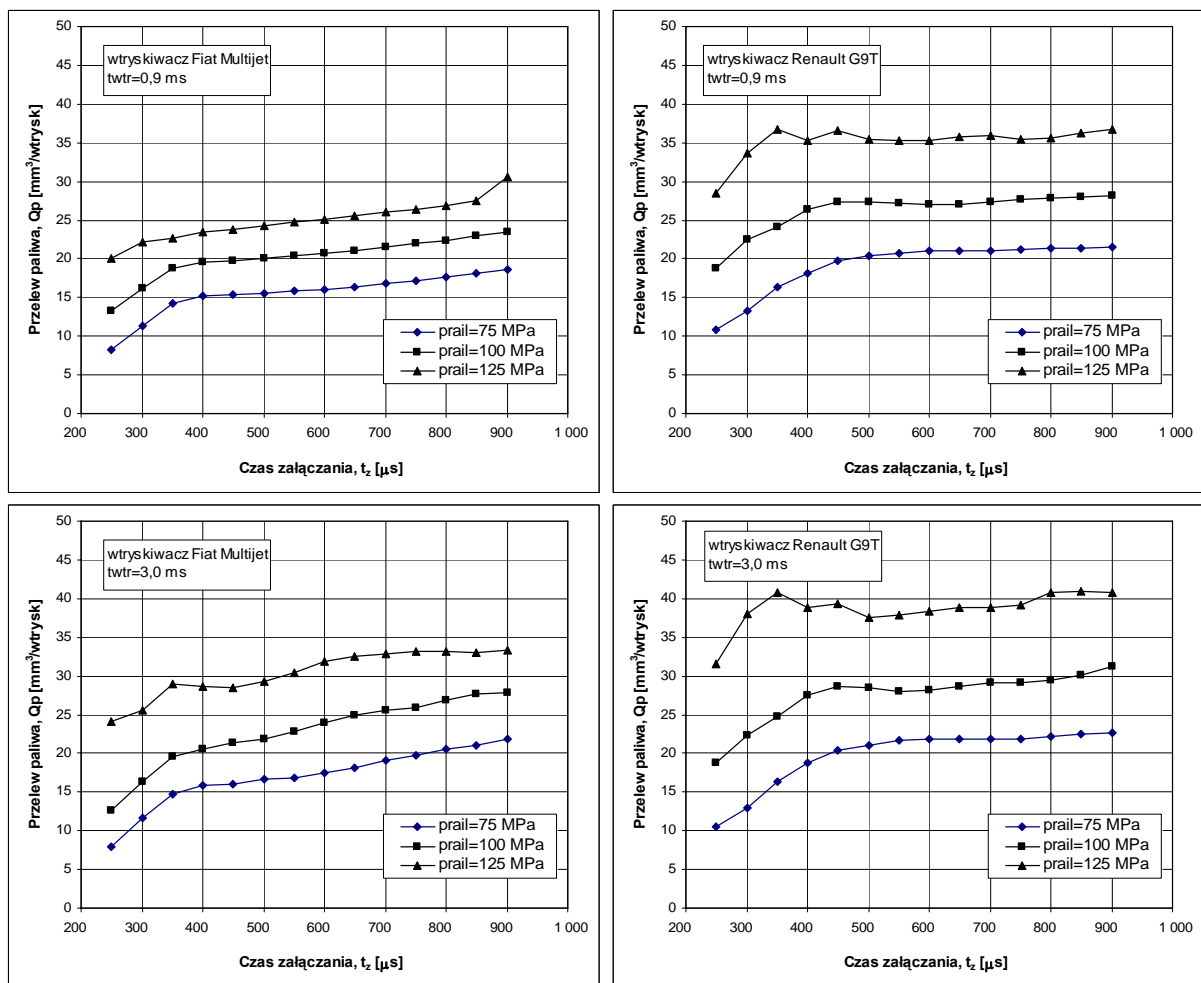
Badania wpływu stopnia wypełnienia sygnału modulowanego na wielkość dawki paliwa prowadzono natomiast przy stałym czasie załączania wynoszącym 0,5 ms i czasach wtrysku t_{wtr} wynoszących 1,0 lub 3,0 ms. Badania prowadzono przy różnych wartościach stopnia wypełnienia sygnału modulowanego w zakresie od 30 do 90 %.

3. WYNIKI BADAŃ

Na rys. 2 przedstawiono zmiany dawkowania paliwa dla dwóch badanych wtryskiwaczy Fiat Multijet i Renault G9T przy zmieniającym się czasie załączania t_z dla dwóch czasów wtrysku wynoszących 0,9 ms i 3 ms i różnych ciśnieniach panujących w układzie wtryskowym (75, 100 i 125 MPa). Wszystkie krzywe charakteryzują się specyficznym przebiegiem, które występuje przy czasie załączania t_z wynoszącym 400÷450 μ s. Od tej wartości wpływ długości impulsu załączającego staje się mniej znaczący - mniejsze nachylenie charakterystyki szczególnie widoczne dla wtryskiwacza Renault G9T i krótszego czasu wtrysku. Podobne załamanie można zauważyć na wykresach przedstawiających zmiany wielkości przelewu z wtryskiwacza w zależności od czasu załączania t_z (rys. 3).



Rys. 2. Wpływ czasu załączania t_z wtryskiwacza na wielkość dawki paliwa Q dla dwóch typów wtryskiwaczy, przy różnych ciśnieniach w szynie p_{rail} i czasach wtrysku t_{wtr} ($n = 1000$ obr/min)



Rys. 3. Wpływ czasu załączania t_z wtryskiwacza na wielkość przelewu paliwa Q_p dla dwóch typów wtryskiwaczy, przy różnych ciśnieniach w szynie p_{rail} i czasach wtrysku t_{wtr} ($n = 1000 \text{ obr/min}$)

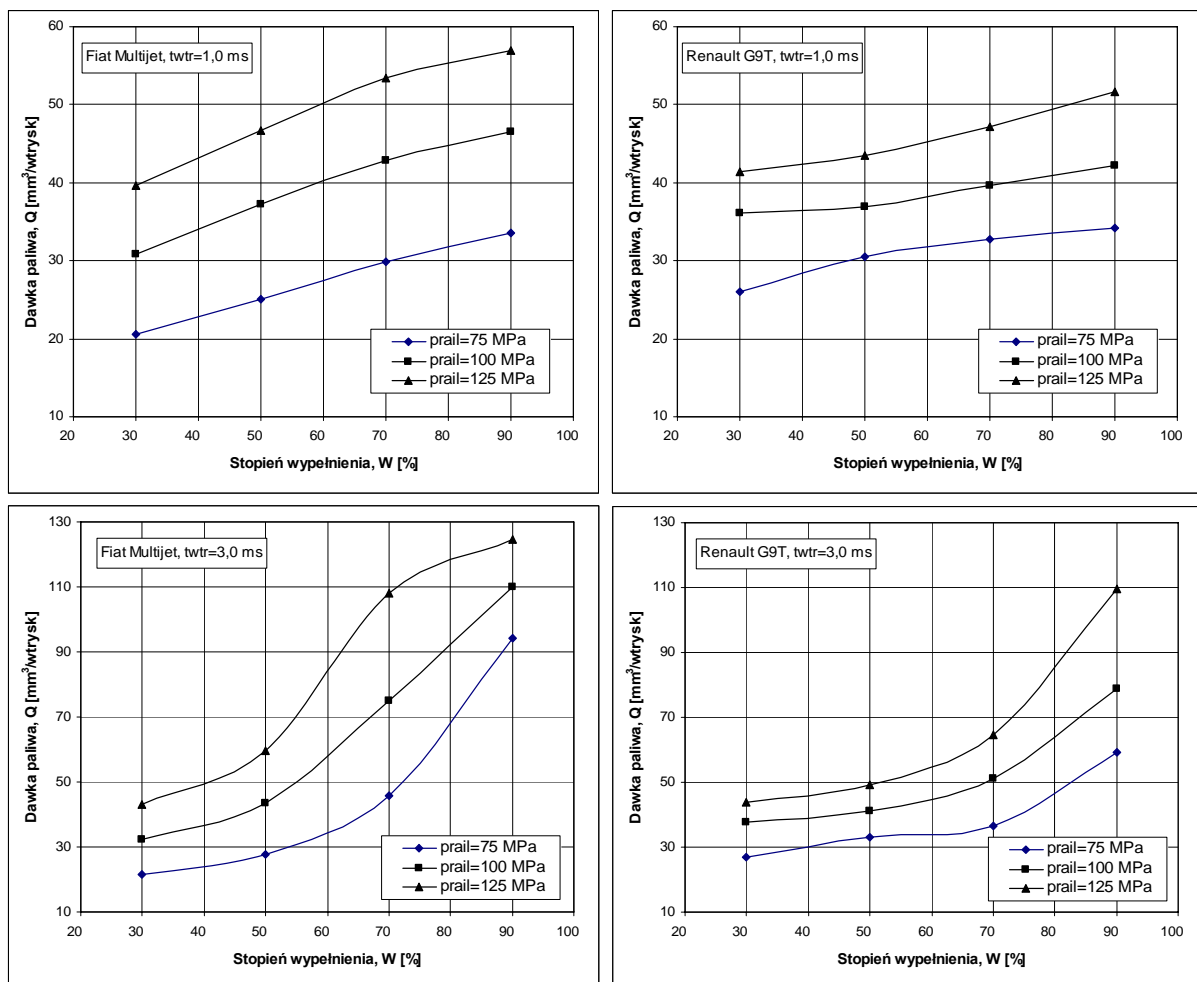
Dla wtryskiwacza Renault G9T, wielkość przelewu przy krótszych czasach wtrysku w nieznacznym tylko stopniu zmienia się przy czasach załączania t_z przekraczających $450 \mu\text{s}$. Dla wtryskiwacza Fiat Multijet zmiany te są nieco większe, co skutkuje także większymi zmianami wielkości wtryskiwanego paliwa Q dla tego wtryskiwacza. Oznacza to, że przepływ paliwa przez zawór elektromagnetyczny tego wtryskiwacza w większym stopniu zależy od położenia zaworu, które wynika z oddziaływania sił elektromagnetycznych. Siły te uzależnione są od płynącego w cewce wtryskiwacza prądu, który z kolei uwarunkowany jest czasem załączania t_z . Dłuższy impuls załączający oznacza większy prąd maksymalny i większe siły działające na zawór elektromagnetyczny, jednakże przy zbyt długim czasie załączania (powyżej ok. $700 \mu\text{s}$) wtryskiwacz zaczyna pracować bardzo głośno.

Przy dłuższym czasie wtrysku, długość impulsu załączania t_z w większym stopniu oddziałuje na dawkę wtryskiwaną przez wtryskiwacz (rys. 2).

Na rys. 4 przedstawiono zależność dawki paliwa od stopnia wypełnienia sygnału modulowanego, który utrzymuje zawór w pozycji otwartej podczas fazy podtrzymania. Czas załączenia był stały i wynosił $500 \mu\text{s}$ przy ustalonych czasach wtrysku ($1,0$ i $3,0 \text{ ms}$), natomiast założony stopień wypełnienia zmieniał od 30 do 90% . Dla krótszego czasu wtrysku i wszystkich analizowanych ciśnień, zależności są zbliżone do liniowych dla obu badanych wtryskiwaczy. Dla dłuższego czasu wtrysku daje się zauważyć istotny wzrost dawki po przekroczeniu 50% stopnia wypełnienia sygnału podtrzymania dla obu wtryskiwaczy, przy czym dla wtryskiwacza Fiat Multijet, gwałtowny przyrost dawki zaczyna się przy mniejszych wartościach tego parametru. Oznacza to, że także w tym przypadku

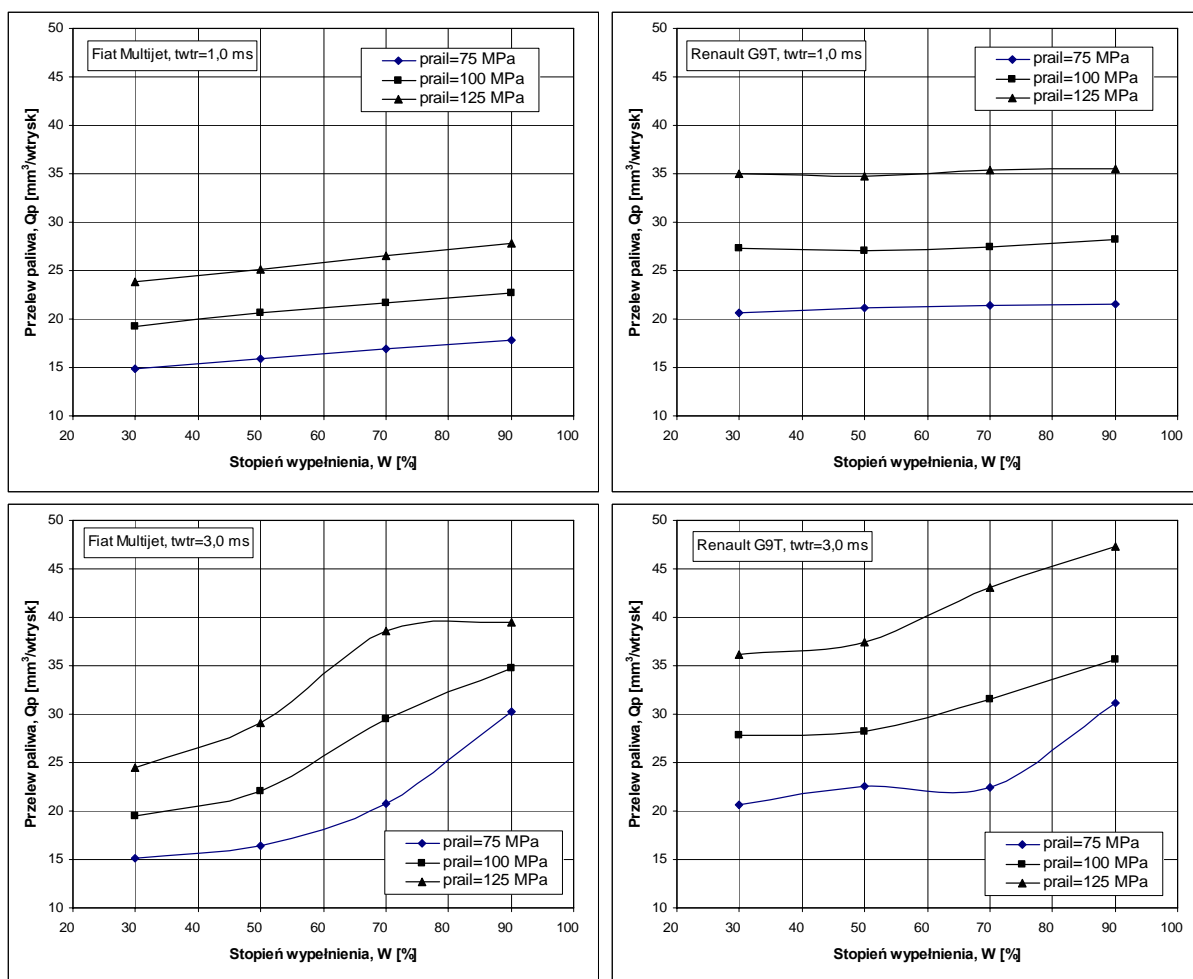
zmienia się położenie zaworu elektromagnetycznego i tym samym wielkość przelewu (rys. 5), co skutkuje zmianami w dawkowaniu wtryskiwacza. W tym wypadku również większą czułość na zmiany w sygnale sterującym wykazuje wtryskiwacz Fiat Multijet. Większe wartości stopnia wypełnienia skutkują większą wartością średniego prądu w cewce wtryskiwacza w fazie podtrzymania i tym samym większymi siłami elektromagnetycznymi oddziałującymi na położenie zaworu elektromagnetycznego sterującego dawką.

Należy tu podkreślić, że założone (programowe) wartości wypełnienia sygnału modulowanego fazy podtrzymania różniły się od wartości rzeczywistych, które na skutek opóźnień w tranzystorach końcowych były mniejsze i zmieniały się, jak wykazały badania oscyloskopowe, w zakresie od 6,44÷29,95% odpowiednio dla wartości programowych wynoszących 30÷90% [9].



Rys. 4. Wpływ stopnia wypełnienia sygnału modulowanego na wielkość dawki paliwa Q dla dwóch typów wtryskiwaczy, przy różnych ciśnieniach w szynie p_{rail} i czasach wtrysku t_{wtr} ($n = 1000$ obr/min)

W zakresie stopnia wypełnienia sygnału sterującego wynoszącego 50÷70% oba wtryskiwacze pracowały jeszcze stosunkowo cicho, przy czym nawet niewielkie niedokładności w generowaniu sygnału modulowanego, wynikające ze zmian parametrów elementów elektronicznych sterownika (np. na skutek zmian temperatury), mogą prowadzić do dużych zmian w dawkowaniu, zwłaszcza przy dłuższych czasach wtrysku. Stąd też istotnym warunkiem przy diagnozowaniu tego typu wtryskiwaczy jest stabilizacja temperaturowa, zarówno układu sterującego, jak i samego wtryskiwacza.



Rys. 5. Wpływ stopnia wypełnienia sygnału modulowanego na wielkość przelewu paliwa Q_p dla dwóch typów wtryskiwaczy, przy różnych ciśnieniach w szynie p_{rail} i czasach wtrysku t_{wtr} ($n = 1000$ obr/min)

Zbyt duże wartości stopnia wypełnienia wynoszące powyżej 80 % powodują głośną pracę wtryskiwacza.

4. PODSUMOWANIE

Wielkość dawki w zasobnikowym układzie wtryskowym typu Common Rail jest uwarunkowana wieloma czynnikami, z których najistotniejsze to czas wtrysku i ciśnienie paliwa w układzie. Jednakże poza tymi parametrami na wielkość dawki paliwa wpływają także parametry sygnału sterującego, do których należy zaliczyć napięcie w układzie, czas załączania, częstotliwość i stopień wypełnienia modulowanego sygnału wykorzystywanego do podtrzymania zaworu w położeniu otwarcia.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zarówno czas załączania jak i stopień wypełnienia sygnału modulowanego w fazie podtrzymania wpływają na proces dawkowania paliwa. Większe wartości tych parametrów powodują zwiększenie zarówno przelewu jak i dawki paliwa. Zmiana tych parametrów powoduje zmianę wartości prądu płynącego w cewce wtryskiwacza, a tym samym strumienia magnetycznego i działających sił elektromagnetycznych w elektrozaworze wtryskiwacza. Powoduje to zmiany położenia zaworu i przekroju sterującego, co w konsekwencji prowadzi do zmian w dawkowaniu. Pomimo ustalonej wartości napięcia zasilającego, zarówno czas załączania jak i stopień wypełnienia sygnału modulowanego mogą ulegać zmianom podczas pracy układu wtryskowego np. na skutek zmian temperatury lub starzenia się elementów elektronicznych

układu sterownika. W efekcie powodować to może istotne zmiany w pracy elektrozaworu oraz całego wtryskiwacza, zmieniając wielkość wtryskiwanej dawki paliwa i wpływając na poprawność procesu spalania w silniku spalinowym.

Przeprowadzone badania wykazały, że w zależności od typu wtryskiwacza zmiany parametrów sygnału sterującego w różnym stopniu wpływają na zmiany w dawkowaniu. Biorąc powyższe pod uwagę należy dążyć przy konstruowaniu wtryskiwaczy sterowanych elektromagnetycznie do takich rozwiązań, w których przekrój zaworu sterującego w szerokim zakresie wzniosu będzie niezmienny. W efekcie, nawet w przypadku dużych drgań zaworu na skutek odbijania się go od zderzaka, nie będzie prowadziło to do zmian przekroju i tym samym zmian w dawkowaniu paliwa do cylindrów silnika spalinowego.

LITERATURA

- [1] Balawender, K., Kuszewski, H., Lejda, K., Ustrzycki, A.: The effect of multi-phase injection on selected parameters of the common rail fuel system. *Silniki Spalinowe*, Nr 4/2008.
- [2] 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*, Nr 3, 2008.
- [3] 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.
- [4] 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, Вісник Національного транспортного університету, Київ 2008.*
- [5] 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.
- [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/2008, zeszyt 12 (105), Kraków 2008, (s. 161-172).
- [7] Kuszewski H., Ustrzycki A.: Wpływ parametrów pracy zasobnikowego układu wtryskowego na rzeczywisty początek wtrysku paliwa. *Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Silniki Spalinowe, „Mixture Formation, Ignition & Combustion”*, 2007-SC2, 2007.
- [8] 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.
- [9] Pisaniak T.: Badania wydatku wtryskiwaczy Common Rail na stanowisku probierczym. *Praca magisterska, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2010.*
- [10] 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.
- [11] Ustrzycki A.: Wpływ zjawisk falowych na proces dawkowania paliwa w układzie wtryskowym typu Common Rail silnika wysokoprężnego. *Prace Zachodniego Centrum Akademii Transportu Ukrainy*, Vol. 16, Lwów 2009.
- [12] *Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail. Informatory techniczne Bosch. WKiŁ, Warszawa 2005.*