

BOGUTA Artur<sup>1</sup>  
 CHRZANOWSKI Tomasz

## Symulacja pracy elektronicznego sterownika silnika Common Rail

*Słowa kluczowe*  
 Common Rail, silnik z zapłonem samoczynnym, układ zasobnikowy

### Streszczenie

Przedstawiona praca poświęcona jest nowoczesnym układom wtryskowym silników z zapłonem samoczynnym. W pracy przedstawiono budowę, zasadę pracy układu Common Rail oraz przedstawiono symulację komputerową pracy układu wtryskowego silnika z zapłonem samoczynnym. Symulacja wykorzystująca środowisko LabView pozwala na zobrazowanie pracy sterownika EDC. Wyświetlane czasy wtrysku oraz ilość wtrysków paliwa w zależności od warunków pracy silnika pozwala na wyjaśnienie sposobu sterowania nowoczesną jednostką napędową stosowaną w pojazdach osobowych.

### SIMULATION OF THE ELECTRONIC COMMON RAIL ENGINE DRIVER

#### Abstract

The present paper is devoted to modern for systems injection compression ignition engines. The paper presents the construction and working principle of the Common Rail system, and presents the computer simulation of the injection system of work-ignition engine. Simulation using LabView environment allows visualization controller operation EDC. Showing injection timing and fuel injection quantity depending on the engine allows you to control a modern explanation of the driving unit used in passenger vehicles.

#### 1. WSTĘP

Dynamiczny rozwój techniki motoryzacyjnej w ostatnich dekadach spowodował, że elementy i układy elektroniczne są już codziennością w dzisiejszych samochodach. Tendencja ta powoduje, że kolejne elementy budowy pojazdów zastępowane są przez ich elektryczne odpowiedniki. Po raz pierwszy silnik wysokoprężny został użyty do napędu pojazdu ciężarowego w 1927 roku, a już kilka lat później, w roku 1936 Mercedes-Benz zaprezentował pierwszy samochód osobowy z tym silnikiem. W pojazdach użytkowych silnik ZS rozpowszechnił się ze względu na ekonomiczność oraz trwałość, natomiast w zastosowaniu do samochodów osobowych długo pozostawał w cieniu silnika o zapłonie iskrowym. Silniki te, popularnie zwane dziś „dieslami”, przeżywają nieustanny rozwój. Dotyczy on szczególnie układów doładowania i układów zasilania paliwem. Dopiero doładowane silniki wysokoprężne o wtrysku bezpośrednim rozpowszechniły się szeroko, jako źródło napędu w samochodach osobowych. Rozwój technologiczny doprowadził do tego, że na przestrzeni ostatnich kilku dekad możemy zaobserwować znaczną poprawę wskaźników jakości pracy silników ZS. Jednostkowa moc silnika z zapłonem samoczynnym uzyskiwana z jednego litra pojemności skokowej, od chwili rozpoczęcia produkcji do dzisiejszych czasów wzrosła niemal 3-krotnie.

#### 2. SYMULACJA PRACY UKŁADU COMMON RAIL

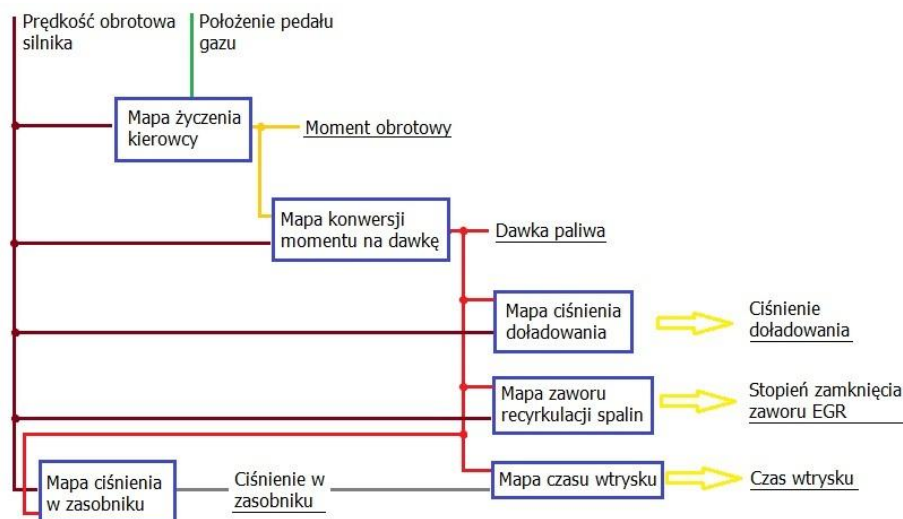
Aplikacja służąca do symulacji pracy układu Common Rail została zaprojektowana w środowisku LabView. Żeby działanie układu wiernie przedstawiało układ rzeczywisty wykorzystano mapy sterowania silnikiem. Bazowano na mapach silnika 2,0 TDI, w którym zastosowano układ Common Rail trzeciej generacji z maksymalnym ciśnieniem wtrysku 180MPa i wtryskiwaczami piezoelektrycznymi.

Do odczytania map sterowania silnika wykorzystano program WinOLS, który pozwala na przeglądanie pamięci sterownika, odczytanie map sterowania wtryskiem silnika w zależności od warunków pracy jednostki napędowej.

Wirtualne stanowisko pomiarowe posiada dwie zakładki: Rozruch i Jazda. W pierwszej zakładce „Rozruch”, na podstawie mapy rozruchowej możemy zaobserwować zmienność wartości dawki wtrysku w zależności temperatury cieczy chłodzącej, zmierzonej przez czujnik. Sygnały dla doboru dawki wtrysku przekazywane są od chwili włączenia stacyjki, do czasu osiągnięcia przez silnik odpowiedniej prędkości obrotowej. Zakres charakterystyki obejmuje niskie prędkości obrotowe od 150 do 1400 obr/min. Kierowca nie ma wpływu na wielkość dawki rozruchowej ponieważ jest ona zapisana w pamięci sterownika.

Zakładka „Jazda” stanowi symulację pracy układu CR podczas jazdy. Użytkownik dysponuje dwoma suwakami, regulującymi położenie pedału przyspieszenia oraz prędkość obrotową silnika. Na podstawie tych dwóch zmiennych obliczana jest dawka i czas wtrysku (rys.1).

<sup>1</sup>Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Inżynierii Komputerowej i Elektrycznej, 20-618 Lublin; ul. Nadbystrzycka 38A  
 tel: 81 538 43 01; fax: 81 538 42 99; mail: a.boguta@pollub.pl



Rys.1. Sterownie dawką paliwa silnika Common Rali podczas jazdy

Podczas normalnej pracy silnika w czasie jazdy, dawka paliwa wyznaczana jest na podstawie położenia pedału przyspieszenia i aktualnej prędkości obrotowej silnika. Potencjometryczny czujnik położenia pedału przyspieszenia określany jest jako procentowy stopień jego wciśnięcia. Mapa odpowiedzialna za dawkę paliwa nazywana jest mapą „życzenia kierowcy”, ze względu na fakt, że kierowca ma możliwość regulacji prędkości obrotowej poprzez operowanie pedałem gazu. Wielkością wyjściową tej mapy jest zadany moment obrotowy  $M$  [Nm].

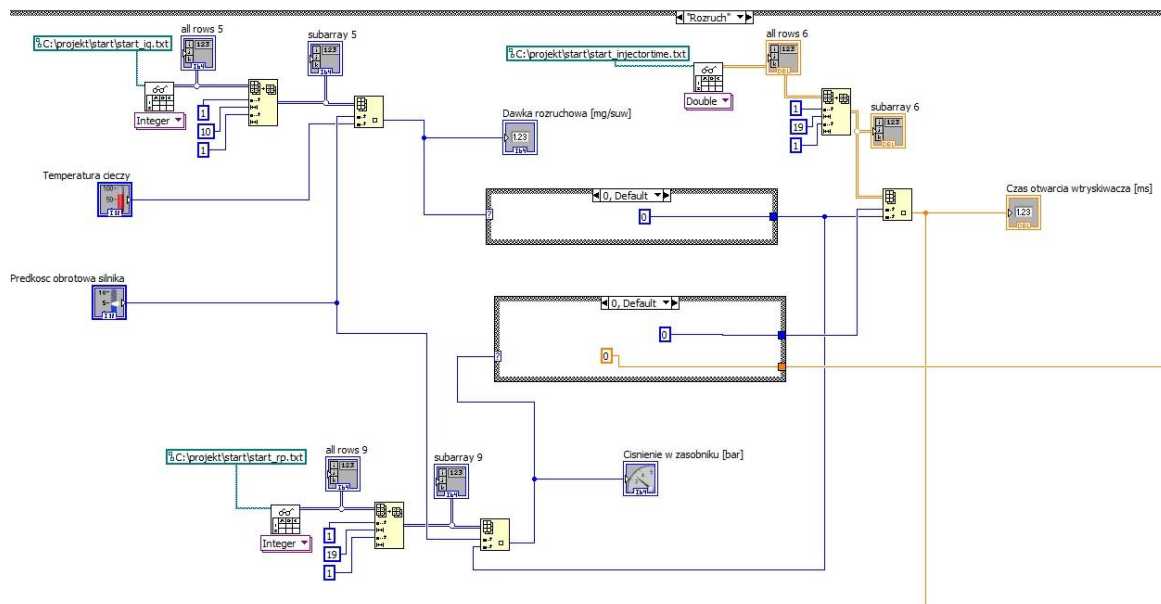
Aby silnik mógł zostać uruchomiony, ciśnienie w zasobniku musi osiągnąć wartość około 200 bar. W zakresie niskiej prędkości obrotowej silnika do 1250 obr/min ciśnienie w zasobniku osiąga wartości między 200 a 500 bar, zależnie od dawki wtrysku. Przy większej dawce wtrysku, wartość ciśnienia wzrasta stopniowo, w miarę zwiększania prędkości obrotowej. Przy najwyższych prędkościach obrotowych i dużych dawkach wtrysku ciśnienie w zasobniku osiąga wartość maksymalną 1800 bar.

Kolejną charakterystyką wykorzystaną w symulacji jest mapa sterowania zaworem EGR. Praca zaworu recyrkulacji spalin uwarunkowana jest aktualnym stanem pracy silnika. Podobnie jak w przypadku ciśnienia doładowania, do sterowania zaworem recyrkulacji spalin wykorzystywana jest wartość dawki wtrysku i aktualna prędkość obrotowa. Na podstawie tych informacji określana jest ilość spalin, która poprzez zawór EGR będzie uczestniczyć w napełnianiu cylindrów w kolejnych cyklach wtrysku. Wielkością wynikającą z tej charakterystyki jest współczynnik wypełnienia zaworu EGR.

Sterowanie ciśnieniem doładowania w symulacji realizowane jest na podstawie informacji o prędkości obrotowej silnika i aktualnej dawki wtrysku. Charakterystyka ta określa zadane ciśnienie doładowania, którego wartość będzie optymalna dla podawanej dawki wtrysku.

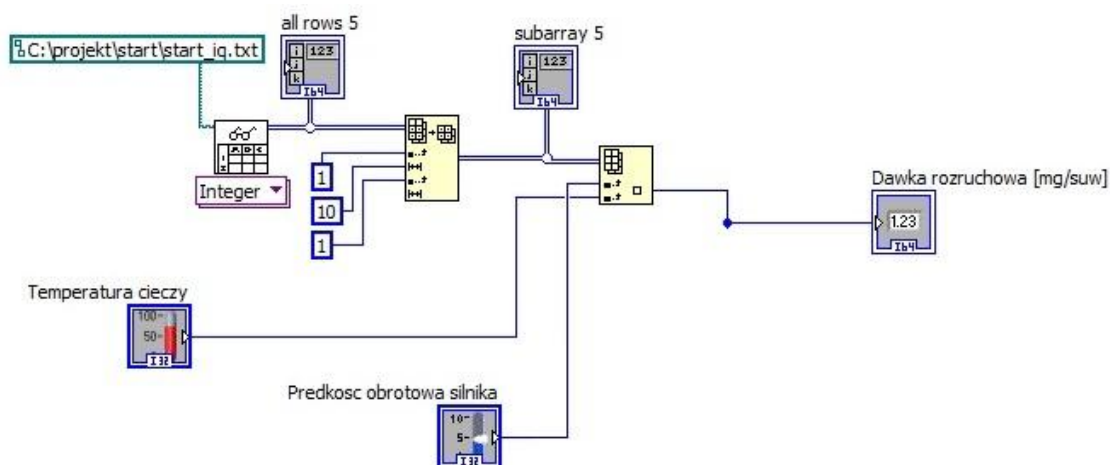
### 3. APLIKACJA SYMULACJI PRACY STEROWNIKA EDC W ŚRODOWISKU LABVIEW

Kod źródłowy stanowiska pomiarowego umieszczony jest w pętli „While”. Powoduje to ciągłość wykonywania procedur programu. Bezpośrednio w tej pętli znajduje się struktura „Case”, obsługująca przyciski wyboru zakładki, za pomocą funkcji „Tab Control”. Zawartość struktury „Case” stanowi główny kod wykonawczy programu, który jest oddzielny dla danego trybu pracy, czyli wybranej zakładki. Dla trybu „Rozruch”, wewnątrz struktury „Case” znajduje się kolejna pętla „While”, która odpowiada za realizację ciągłości działania funkcji doboru dawki rozruchowej. Kod źródłowy zakładki „Rozruch” przedstawiony jest na rys.2.



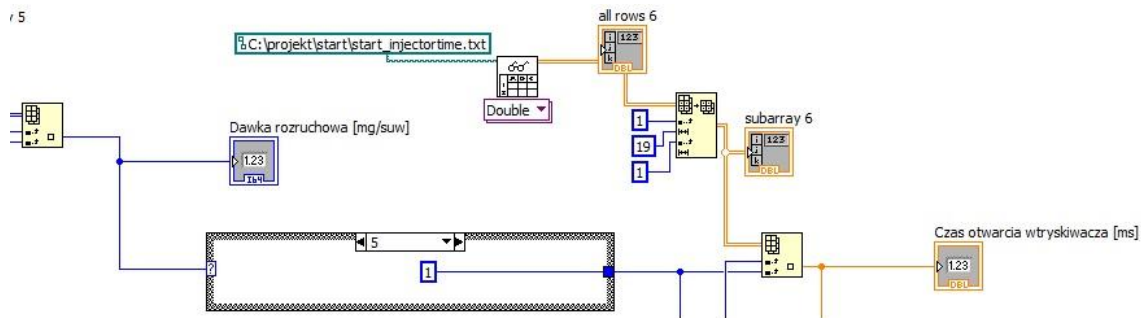
Rys.2. Struktura kodu źródłowego programu dla zakładki „Rozruch

Wewnątrz wspomnianej pętli „While” znajdują się elementy bezpośrednio sterujące pracą aplikacji. Działanie symulacji oparte jest na odpowiednio sformatowanych plikach tekstowych. Każdy z nich jest oddzielnie wczytywany, w oparciu o podaną ścieżkę. Schemat procesu wczytywania pliku tekstowego pokazany jest na rys.3.



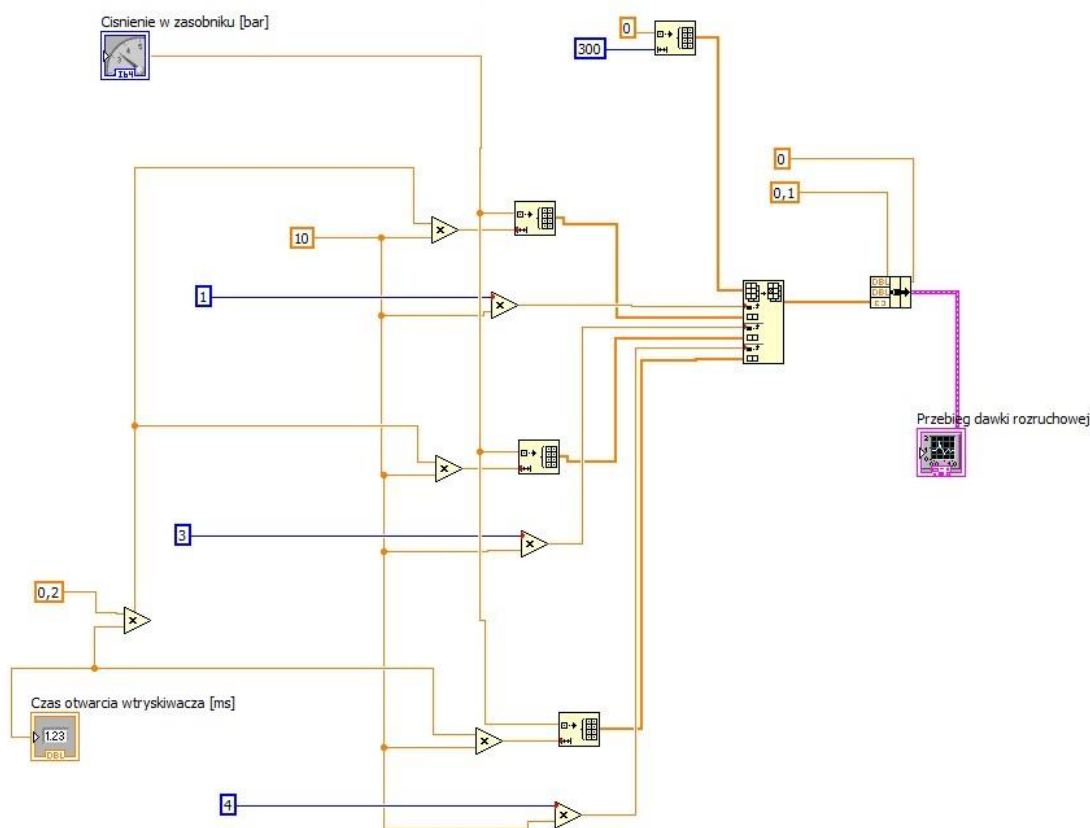
Rys.3. Schemat przebiegu wczytywania wartości dawki rozruchowej

Wczytanie pliku realizowane jest za pomocą funkcji „Read From Spreadsheet File” z określonej ścieżki umieszczonej w polu „Path”. Następnie zawartość pliku umieszczana jest w bloku „Array Subset”, w którym poprzez stałe podłączone do przyłączy „index” i „length” definiujemy ilość wczytywanych kolumn. Elementy „All rows” i „Subarray” są pomocniczymi wskaźnikami, dzięki którym możliwy jest podgląd zakresu wczytywanych wartości. Dane przekazywane są do bloku „Index Array”, do którego podłączone są suwaki odpowiedzialne za temperaturę cieczy chłodzącej i prędkość obrotową silnika. Suwaki te posiadają „Text Labels” przypisany do reprezentujących ich wartości, gdyż opisany sposób nie pozwala na przeszukiwanie pliku po zawartości, tylko po kolumnach. Zatem poruszanie suwakiem powoduje zmianę kolumny, z której wartość ma być wczytana. Bloczek „Index Array” wybiera jeden element z tablicy, odpowiadający położeniu suwaków. Element ten wyświetlany jest poprzez przypisanie do niego wskaźnika (Indicator). W tym przypadku jest to wczytana dawka rozruchowa. Opisany sposób wczytywania wartości z pliku tekstowego jest taki sam w przypadku wszystkich plików tekstowych użytych w symulacji. Aby wczytany element mógł być użyty w dalszej części symulacji, należy zastosować strukturę „Case”. Spowodowane jest to wspomnianym wcześniej wyszukiwaniem „po kolumnach”. Struktura ta ma charakter decyzyjny, a co ważniejsze wielowartościowy. Dzięki temu mamy możliwość przyporządkowania wielu wartości dawki rozruchowej do kolumn bądź wierszy dla kolejnego wczytywanego pliku. Na rys.4 widoczny jest przykład użycia struktury „Case” - do rozruchowej dawki paliwa o wielkości 5 mg/suw przyporządkowana jest pierwsza kolumna w kolejnym wczytywanym pliku charakterystyki czasów włączenia wtryskiwacza.



Rys.4. Struktura „Case” i jej zastosowanie w symulacji

Kolejnym elementem symulacji jest wizualizacja procesu wtrysku, czyli charakterystyka napięcia sterującego wtryskiwacza w dziedzinie czasu. Wykorzystano tu wartość czasu wtrysku, oraz pośrednio wartość ciśnienia w zasobniku w celu regulacji amplitudy napięcia sterującego wtryskiwaczem, przy użyciu struktury „Case”.

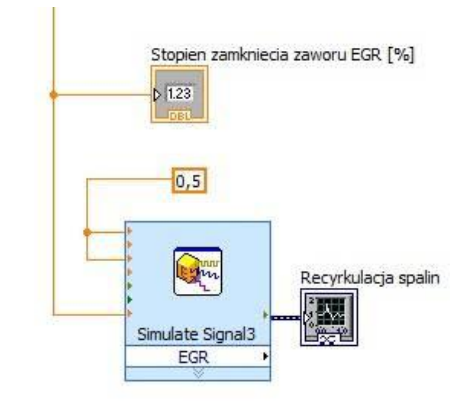


Rys.5. Schemat budowy wizualizacji procesu wtrysku

Głównym elementem wizualizacji procesu wtrysku jest moduł „Replace Array Subset”. Do jego terminala wejściowego „n-dimension array” podłączony jest moduł „Initialize Array”, który wraz ze zdefiniowanymi stałymi określają długość przebiegu. Stałe oznaczone kolorem niebieskim, pomnożone przez moduł „Multiply” i liczbę 10 określają początek każdego ze zdarzeń wtryskowych, wtrysk pilotażowy rozpoczyna się w 1-wszej ms przebiegu, przed-wtrysk zaplanowany jest na trzecią milisekundę, natomiast wtrysk zasadniczy odbywa się w 4 milisekundzie. Wartości te doprowadzone są do przyłącza „Index” modułu „Replace Array Subset”. Wartość amplitudy napięcia sterującego pobierana jest ze struktury „Case”. Długość wtrysku pilotażowego i przed-wtrysku stanowi 0,2 czasu otwarcia wtryskiwacza. Obie te wielkości podłączone są do modułu „Initialize Array”, a następnie trafiają do terminala modułu „Replace Array Subset”, oznaczonego nazwą „New Element/Subarray”. Na wyjściu tego modułu otrzymujemy wiązkę danych, która jest doprowadzona do modułu „Waveform Graph”, i przez niego wyświetlana.

Oprogramowanie zakładki „Jazda” przeprowadzone jest analogicznie, jednak z wykorzystaniem oddzielnych plików tekstowych. Spowodowane jest to różnymi zakresami wartości parametrów dla rozruchu i normalnej pracy silnika podczas jazdy. Zasada działania symulacji i wyświetlania przebiegu napięcia sterującego wtryskiwaczem jest jednak taka sama. Dodatkowo wprowadzono możliwość obserwacji stopnia wysterowania zaworu recyrkulacji spalin. Wczytana z pliku

tekstowej wartości współczynnika wypełnienia impulsu, podłączona do terminala „Duty Cycle” funkcji „Simulate Signal”, pozwala na obserwację przebiegu sygnału PWM, sterującego zaworem EGR.



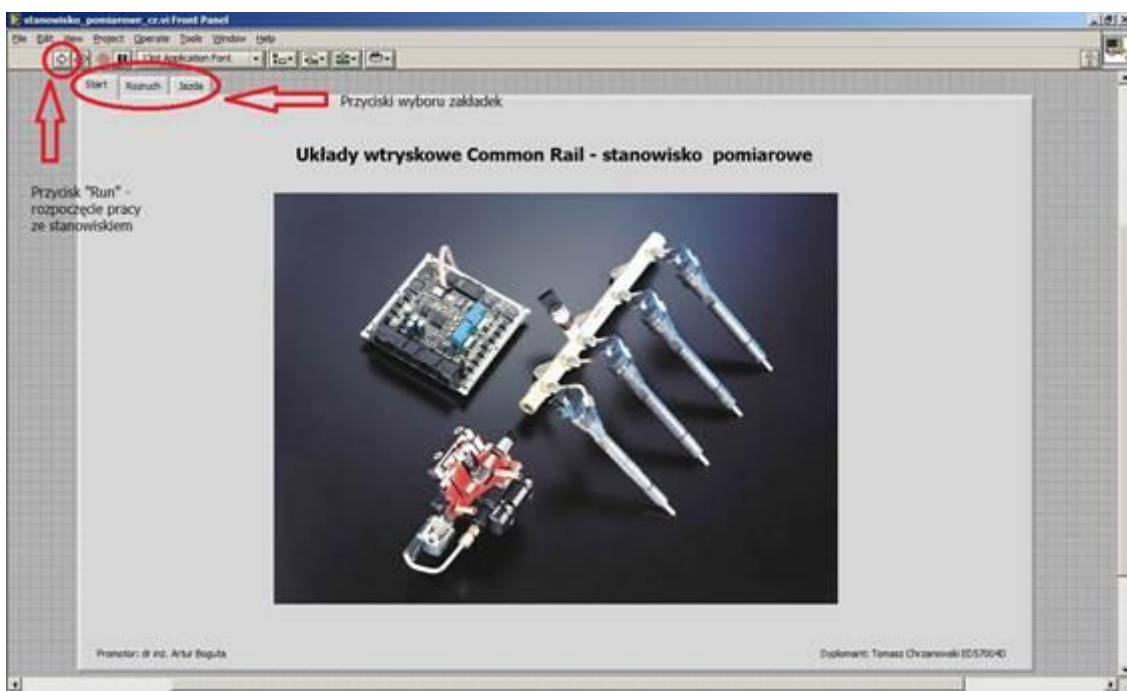
Rys.5. Wizualizacja przebiegu sygnału PWM sterującego zaworem EGR

W celu uzupełnienia symulacji wyświetlania przebiegu napięcia sterującego wtryskiwaczem o zdarzenia wtryskowe mające miejsce po zasadniczej dawce paliwa, w lewym dolnym rogu zakładki „Jazda” umieszczono przełącznik odpowiedzialny za funkcję regeneracji filtra cząstek stałych. Po jego włączeniu, w określonych warunkach pracy silnika pojawiają się dwa dodatkowe impulsy sterujące, symulujące po-wtryski stosowane w celu zwiększenia temperatury w filtrze cząstek stałych, podczas jego aktywnej regeneracji. Aby wyświetlić więcej zdarzeń wtryskowych, konieczne jest rozszerzenie modułu „Replace Array Subset” o dwie kolejne pary terminali „Index” i „New element/Subarray”, oraz dołączenie analogicznych modułów do tych terminali. Po-wtryski obsługiwane są poprzez strukturę „Case”, a ich występowanie uzależnione jest od położenia pedału gazu i prędkości obrotowej silnika.

Panel czołowy stanowiska składa się z trzech zakładek. Każda z nich odpowiada za inne funkcje programu. Po uruchomieniu programu widoczny jest ekran startowy, przedstawiony na rys.6, stanowiący zawartość pierwszej zakładki „Start”. Jest to ekran powitalny programu. Obok zakładki start, widoczne są kolejne 2 zakładki: „Rozruch” i „Jazda”. Zakładka zatytułowana „Rozruch” odpowiada za symulację mapy rozruchowej. Ostatnia z zakładek, oznaczona tytułem „Jazda”, stanowi symulację obliczania dawki i czasu wtrysku podczas normalnej jazdy.

#### 4. OBSŁUGA APLIKACJI

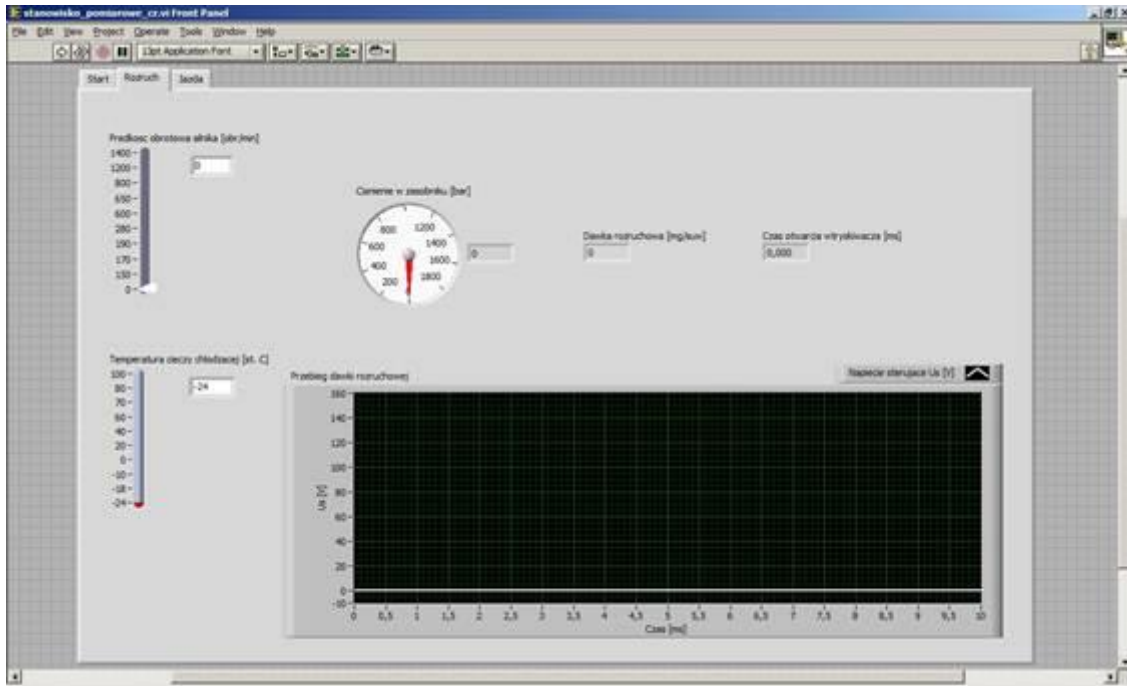
Po uruchomieniu środowiska LabView i załadowaniu aplikacji stanowiska, ukazuje się panel czołowy, widoczny na rys.6.



Rys.6. Obsługa panelu czołowego programu

Aby rozpocząć działanie programu należy wcisnąć kombinację klawiszy Ctrl+R, lub nacisnąć przycisk „Run”. Kolejnym krokiem jest wybór zakładki. Domyślnie aplikacja rozpoczyna się zakładką „Start”. Wybór trybu symulacji odbywa się za pomocą przycisków oznaczonych nazwami „Rozruch” i „Jazda”.

W przypadku zakładki „Rozruch”, która widoczna jest na rys.7, do dyspozycji użytkownika są dwa suwaki. Jeden z nich odpowiada za wartość temperatury cieczy chłodzącej, zaś drugi za prędkość obrotową silnika. Regulując położenie suwaków, aplikacja wczytuje rozruchową dawkę wtrysku paliwa, oraz ciśnienie w zasobniku, w zależności od obrotów silnika i zadanej dawki. Na tej podstawie wyznaczany jest czas otwarcia wtryskiwacza, oraz generowany jest przebieg napięcia sterującego wtryskiwaczem. Dane pomiarowe wyświetlone są w polach „Dawka rozruchowa”, „Czas otwarcia wtryskiwacza” oraz „Ciśnienie w zasobniku”.



Rys.7 Widok programu po wybraniu zakładki „Rozruch”

Analogicznie zrealizowano obsługę zakładki „Jazda”, przedstawionej na rys.8. W tym przypadku użytkownik, poprzez zmianę położenia suwaków ma wpływ na prędkość obrotową silnika oraz położenie pedału przyspieszenia. Dzięki temu, że całość programu znajduje się w pętli „While”, po zmianie wartości dowolnej ze zmiennych, regulowanych poprzez suwaki, algorytm programu zostanie powtórzony, a wyniki obliczeń aktualnych parametrów pracy silnika wyświetlone zostaną w odpowiednich polach i wskaźnikach. W stosunku do zakładki „Rozruch”, tryb „Jazda” został dodatkowo wzbogacony o wskaźnik ciśnienia doładowania, którego wskazania oparte są na oddzielnej mapie, włącznik aktywnej regeneracji filtra cząstek stałych DPF oraz wizualizację przebiegu współczynnika wypełnienia zaworu recyrkulacji spalin, działającą również w oparciu o plik tekstowy.

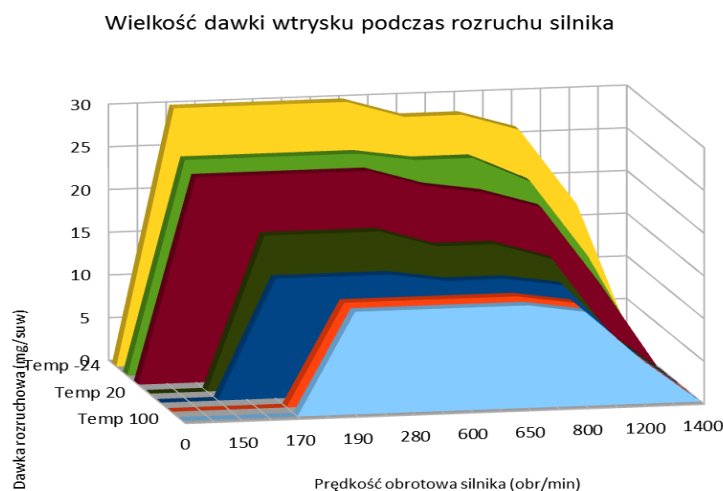


Rys.8. Widok programu po wybraniu zakładki „Jazda”

W zakładce „Rozruch”, dane pomiarowe wynikające z położenia suwaków i wyliczeń aplikacji wyświetlane są w polach „Moment obrotowy”, „Dawka wtrysku” oraz „Czas otwarcia wtryskiwacza”. Wartości ciśnienia paliwa w zasobniku, oraz ciśnienia doładowania są wskazywane poprzez moduły „Gauge” z palety „Numeric Indicators”, oraz dodatkowo wyświetlane w polach obok.

## 5. BADANIA

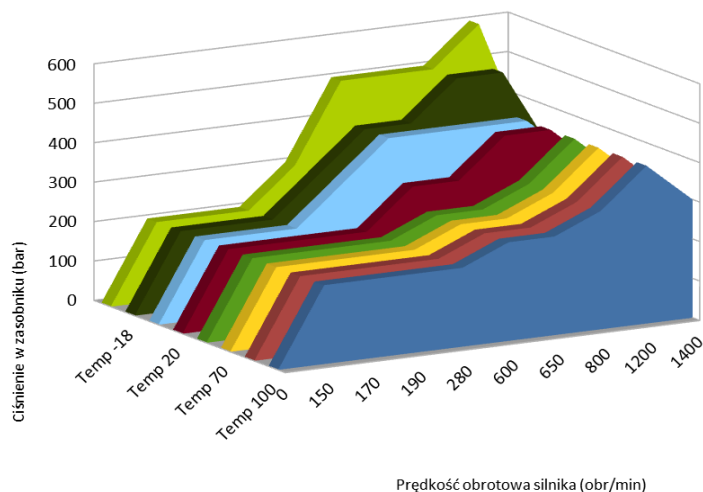
Przedstawiona aplikacja pozwala zaobserwować pracę sterownika silnika z zapłonem samoczynnym. W przypadku symulacji rozruchu, możemy dokonać pomiaru dawki wtrysku dla różnych wartości temperatury cieczy chłodzącej, w zakresie prędkości obrotowych od 0 do 1400 obr/min. Na rys. 10 zamieszczono wyniki pomiarów rozruchowej dawki wtrysku w postaci wykresu 3D.



Rys.10. Wyniki pomiarów wielkości dawki rozruchowej dla różnych wartości temperatury cieczy chłodzącej

Jak wynika z powyższego wykresu, rozruchowa dawka wtrysku osiąga najwyższe wartości dla najniższych wartości temperatury cieczy chłodzącej. Zatem kiedy silnik jest zimny, układ wtryskowy dostarcza mu większą dawkę paliwa podczas rozruchu. Warto zauważyć, że kiedy silnik jest już rozgrzany, paliwo zostaje podane przy wyższej prędkości obrotowej, aniżeli w przypadku zimnego silnika. Ze względu na to, że w układach Common Rail zapotrzebowanie na ciśnienie w zasobniku zależy od dawki wtryskiwanego paliwa i aktualnej prędkości obrotowej, warto zaobserwować przebiegi zmienności ciśnienia w zasobniku podczas rozruchu przy różnych wartościach temperatury cieczy chłodzącej (rys.11).

Zapotrzebowanie na ciśnienie w zasobniku

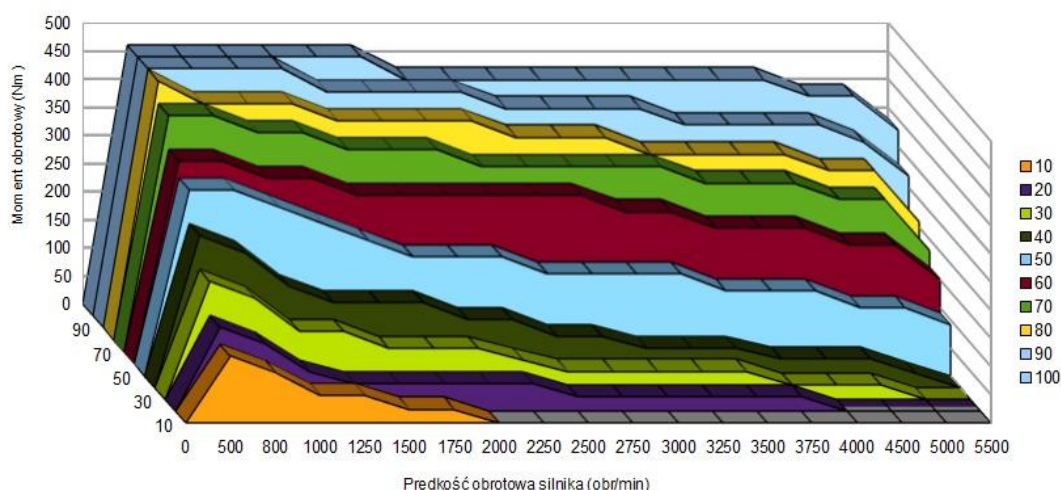


Rys.11. Ciśnienie w zasobniku podczas rozruchu silnika dla różnych wartości temperatury cieczy chłodzącej

Kształt powyższego wykresu wynika z zasady działania układu CR. Zgodnie z wykresem umieszczonym na rys.11, dla ujemnych wartości temperatury cieczy chłodzącej rozruchowa dawka wtrysku jest największa. Przebieg ciśnienia w zasobniku dla wszystkich zakresów temperatury do prędkości obrotowej 190 obr/min jest taki sam. Ze względu na zależność ciśnienia w zasobniku od prędkości obrotowej silnika i od dawki wtrysku, oraz faktu podawania większej dawki paliwa przy niskich temperaturach, zapotrzebowanie na ciśnienie w zasobniku w tych warunkach także jest większe. Podczas rozruchu w wyższych temperaturach cieczy chłodzącej, przebieg zapotrzebowania na ciśnienie w zasobniku jest łagodniejszy, gdyż wtryskiwane dawki są stosunkowo małe, zatem nie wymagają podwyższonego ciśnienia. W trybie „Jazda” dostępne są dwa suwaki, odpowiadające za prędkość obrotową silnika oraz położenie pedału gazu. Zakres prędkości obrotowej silnika w tym trybie obejmuje wartości od 0 do 5500 obr/min, zatem umożliwia obserwację zmiennych w całym zakresie prędkości obrotowej, możliwej do osiągnięcia przez silnik. Dodatkowo, obsługujący ma możliwość zmiany zadanego momentu obrotowego poprzez regulację położenia pedału gazu. W związku z bezpośrednią obsługą suwaków przez użytkownika, wyniki pomiarów zdjętych ze stanowiska pomiarowego pozwalają na opracowanie charakterystyki momentu obrotowego przedstawionej na rys.12.

Wpływ położenia pedału gazu na zadany moment obrotowy

w funkcji prędkości obrotowej silnika



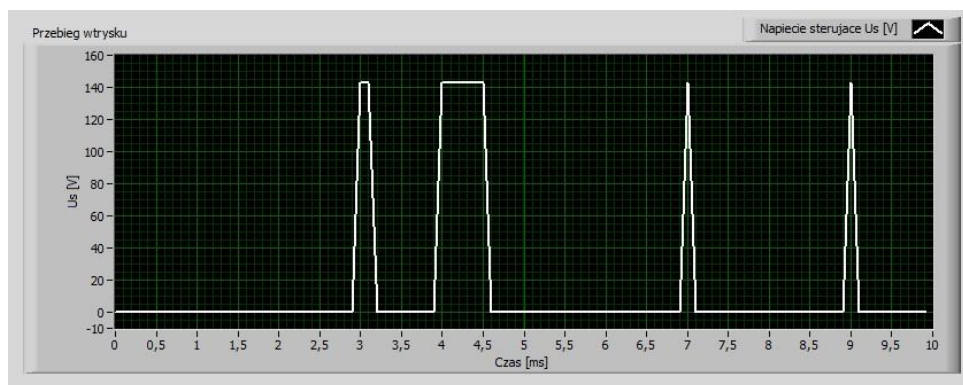
Rys.12. Wpływ położenia pedału gazu na zadany moment obrotowy w funkcji prędkości obrotowej silnika

Poprzez operowanie pedałem gazu zgłaszane jest zapotrzebowanie na moment obrotowy. Im pedał gazu jest bardziej wciśnięty, tym większe jest zapotrzebowanie na moment obrotowy. W związku z charakterystycznym sposobem sterowania użytym tak w rzeczywistym układzie CR, jak i w symulacji, określenie dalszego przebiegu sterowania nie jest możliwe przy użyciu samych wyników pomiarów. Układ został zaprojektowany w ten sposób, aby bazował na



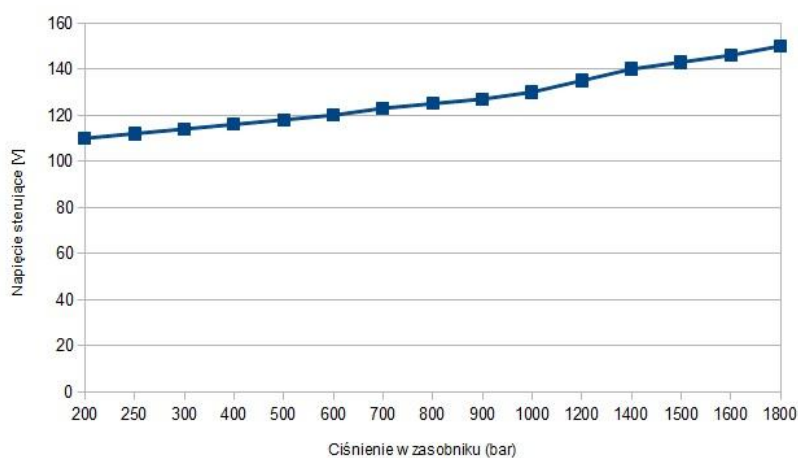
wartościach zapisanych w mapach. Podczas stanu pracy nie korzysta on jednak z całego zakresu mapy, lecz pobiera z tablicy wartość odpowiadającą podanym sygnałom wejściowym. Zatem dokonując pomiarów w symulacji i opracowując ich wyniki, otrzymamy część charakterystyki, z której korzystała symulacja. Przykładowo, w kolejnym kroku przebiegu symulacji, czyli konwersji zadanego momentu obrotowego na dawkę paliwa, konieczną do jego zrealizowania przy określonej prędkości obrotowej silnika, wczytana zostanie wartość momentu wynikająca z mapy „życzenia kierowcy”. Wartość tego momentu, w zestawieniu z aktualną prędkością obrotową silnika określa dawkę wtrysku paliwa. Dawka wtrysku jest związana zależnością z ciśnieniem w zasobniku, które również zależne jest od prędkości obrotowej. Zatem, dla przykładu, w symulacji nie znajdziemy sytuacji, w której przy maksymalnej prędkości obrotowej układ podaje maksymalną jednostkową dawkę wtrysku przy maksymalnym ciśnieniu. Kształt map użytych do oprogramowania symulacji, oraz ich wzajemne korelacje nie przewidują takiej sytuacji, dlatego też wyniki pomiarów nie wystarczą do opracowania map-charakterystyk sterowania w całości. Symulacja naśladuje układ rzeczywisty, lecz wyniki pomiarów są powtarzalne, gdyż wczytywane są z map-charakterystyk. Sytuacja ta zdeterminowana jest w pewnym stopniu poprzez wartości występujące w charakterystyce „życzenia kierowcy”, której nie modyfikowano, aby jak najwierniej oddać sposób sterowania układem.

Oprócz symulacji zasady działania układu, stworzona aplikacja pozwala na obserwację przebiegu napięcia sterującego wtryskiwaczem piezoelektrycznym. Dzięki temu użytkownik stanowiska ma możliwość sprawdzenia obecności przed-wtrysku, wtrysku głównego oraz do-wtrysków, w zależności od warunków pracy silnika. Przykładowy przebieg napięcia sterującego wtryskiwaczem pochodzący z aplikacji zamieszczony jest na rys.13. Widzimy na nim zdarzenie wtryskowe podzielone na 4 etapy. Pierwszy etap to przed-wtrysk, pojawiający się w 3ms, poprzedzający zasadniczą dawkę wtrysku zaplanowaną na 4ms. Dwa kolejne zdarzenia wtryskowe symulują dotryski paliwa, występujące podczas aktywnej regeneracji filtra cząstek stałych. W symulacji zmienne jest występowanie wtrysku pilotowego i przed-wtrysku, długość trwania wtrysku zasadniczego, oraz występowanie po-wtrysków, które uzależnione jest od prędkości obrotowej silnika oraz położenia przycisku włączającego tryb aktywnej regeneracji filtra.



Rys.13. Przykładowy przebieg napięcia sterującego wtryskiwaczem piezoelektrycznym

Dodatkowo wprowadzono również pomiar amplitudy napięcia sterującego wtryskiwaczem, której wartość jest zależna od ciśnienia panującego w zasobniku, i wyświetlana jest w polu „Amplituda”. Przebieg tej zależności przedstawia rys.14.



Rys.14. Zależność amplitudy napięcia sterującego wtryskiwaczem piezoelektrycznym od ciśnienia w zasobniku paliwa

### 6. WNIOSKI

Zasobnikowe układy wtryskowe ze względu na unikalną budowę, sposób sterowania i osiągnięte parametry ustalają nową jakość wśród układów zasilania paliwem. Swoją innowacyjność układy Common Rail zawdzięczają odseparowaniu procesu wytwarzania wysokiego ciśnienia od dawkowania paliwa. W połączeniu z elektronicznym sterowaniem elementów układu, odpowiedzialnych za szereg funkcji od wytwarzania i regulacji wysokiego ciśnienia paliwa, na dawkowaniu kończąc, stanowią obecnie najbardziej precyzyjne, oszczędne i ekologiczne rozwiązanie na rynku silników wysokoprężnych. Wykorzystanie nowych w tej dziedzinie materiałów, kryształów piezoelektrycznych, umożliwiło konstrukcję wtryskiwaczy o bardzo krótkim czasie przełączenia, dzięki czemu proces podawania paliwa może być dowolnie kształtowany. Postęp technologiczny i rozwój techniki mikroprocesorowej pozwolił na opracowanie rozbudowanych układów sterowania, pozwalających na spełnienie norm emisji spalin. Wyposażone w szybką jednostkę centralną i dużą liczbę czujników układy Common Rail stanowią bardzo dobry przykład rozbudowanego układu regulacji, w którym występuje wiele sprzężeń zwrotnych. Dzięki temu praca układu jest wydajna i precyzyjna.

### 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Janiszewski T., Mavrantzas S., Elektroniczne układy wtryskowe silników wysokoprężnych, Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności 2009.
- [2] Praca zbiorowa (2009), Zasobnikowe układy wtryskowe Common Rail. Informator techniczny Bosch. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności 2009.
- [3] S. Styła, S. Walusiak, Ł. Cienkiera, W. Pietrzyk: Symulacyjny model sterowania czasem wtrysku silnika samochodowego. Teka Komisji Motoryzacji, PAN Oddział w Krakowie, Zeszyt Nr 33-34, 2008, s. 405-412.