

## PROTOTYPOWE UKŁADY STEROWANIA STOSOWANE PODCZAS BADAŃ SILNIKÓW SPALINOWYCH I ICH ELEMENTÓW

*BALAWENDER Krzysztof*, dr inż., Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Polska, kbalawen@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-1219-8611

## СТВОРЕННЯ ПРОТОТИПУ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПІДЧАС ВИПРОБУВАНЬ ДВИГУНІВ ТА ЇХ КОМПОНЕНТІВ

*БАЛАВЕНДЕР Кишитоф*, кандидат технічних наук Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, kbalawen@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-1219-8611

## PROTOTYPE CONTROL SYSTEMS USED DURING TESTS OF COMBUSTION ENGINES AND THEIR COMPONENTS

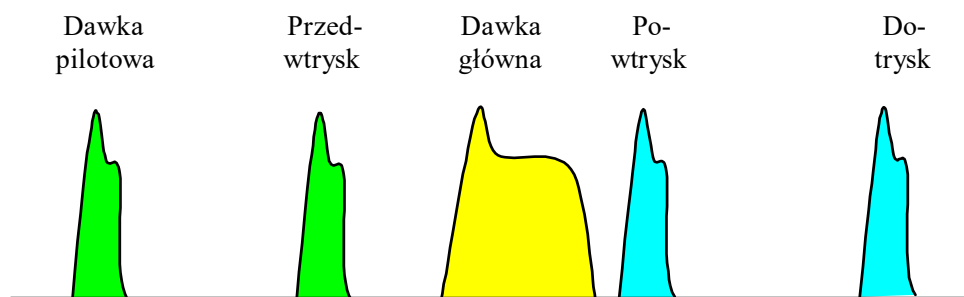
*BALAWENDER Krzysztof*, PhD., Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, kbalawen@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-1219-8611

### WSTĘP

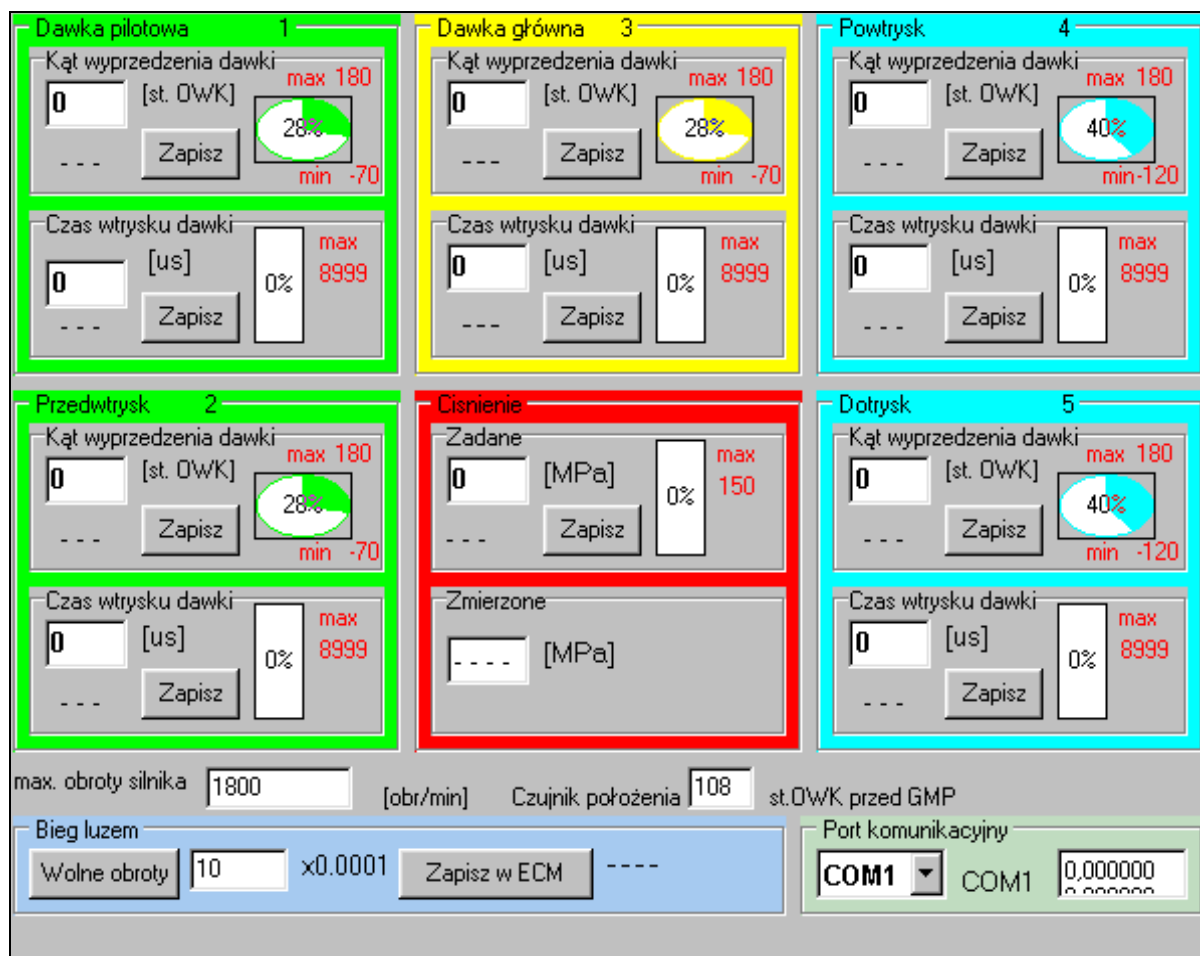
Wzrost wymagań ekologicznych, względem stosowanych powszechnie silników spalinowych, wymusił na ich producentach stosowanie coraz bardziej zaawansowanych układów sterowania elementami wykonawczymi silnika. Wiązało się to ze znaczącą rozbudową układu sterowania i kontroli silnika. Miejsce stosowanych dotychczas układów mechanicznych zajęły układy sterowane elektronicznie. Wzrosła znacząco ilość stosowanych czujników i układów wykonawczych, co wymaga stosowania mikrokontrolerów o coraz większej mocy obliczeniowej. Algorytmy sterowania stają się coraz bardziej zaawansowane i rozbudowane. Dzięki temu uzyskano ograniczenie emisji substancji toksycznych, poprawiono osiągi silników a także poprawiono komfort ich użytkowania. Niestety, wymaga to coraz szerszego zakresu wiedzy i umiejętności osób, które pracują przy tych silnikach. Opracowane przez producentów silników układy sterowania, nie zawsze dają pełne możliwości „przejęcia kontroli” nad obsługiwanym silnikiem. Na rynku pojawiają się także uniwersalne sterowniki silników spalinowych, w których dostępne możliwości regulacji są znacznie większe. Ich przewidziane zastosowanie, dotyczy głównie silników pojazdów biorących udział w wyścigach samochodowych. Układy te są budowane pod kątem zaprogramowania określonych wartości parametrów w silnikach, które są następnie eksploatowane w określonych warunkach. W KSSiT są prowadzone badania silników spalinowych i ich elementów, co wymaga ciągłej zmiany parametrów. Niekiedy wymagane są także specyficzne warunki sterowania przy zmianie jednego parametru i niezmiennych pozostałych parametrach. Niekiedy, badania wymagają specyficznych warunków, np. kolejnego wyłączenia cylindrów silnika z pracy, równoczesnego stosowania wtrysku wielu paliw itp. W związku z tym, opracowywane były kolejne elektroniczne sterowniki i regulatory, które były wykorzystywane w badaniach silników spalinowych. Niektóre z nich zostaną przedstawione w dalszej części opracowania.

### STEROWNIK SILNIKA BADAWCZEGO SB 3.1. o ZS

Silnik SB 3.1 został wyprodukowany przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Sprzętu Komunikacyjnego w Mielcu. Jest to jednocylindrowy wolnossący silnik z możliwością zmiany stopnia sprężania i faz rozrządu. Początkowo był wyposażony w rzędową pompę wtryskową, w której wykorzystana była jedna sekcja. Kąt wyprzedzenia i ciśnienie wtrysku były stałe. Silnik ten został wyposażony w układ wtryskowy typu CR. Specjalnie zaprojektowany i wykonany mikroprocesorowy układ sterowania, umożliwia sterowanie ciśnieniem w zasobniku oraz początkiem i czasem trwania sygnału elektrycznego sterującego wtryskiwaczem, odpowiadającego za jego otwarcie. Dawka paliwa wtryskiwana na jeden cykl roboczy silnika może być podzielona na pięć części [1]: dawkę pilotującą, przedwtrysk, dawkę główną, powtrysk i dotrysk (rys. 1). Dla każdej z części dawki paliwa wtryskiwanej w jednym cyklu roboczym silnika, można ustawić kąt wyprzedzenia wtrysku oraz czas wtrysku (w rzeczywistości dotyczy to sygnałów elektrycznych, ponieważ rzeczywisty wtrysk jest opóźniony w stosunku do sygnałów sterujących wtryskiwaczem, co zostało obszernie opisane w pracach [10, 11, 13]). Zmiany parametrów mogą być dokonywane na bieżąco za pomocą komputera (z opracowanym oprogramowaniem), podłączonego do elektronicznego systemu sterowania przy pomocy portu szeregowego (RS 232). Oprogramowanie zostało napisane w języku DELPHI. Główne okno programu zostało przedstawione na rys. 2.

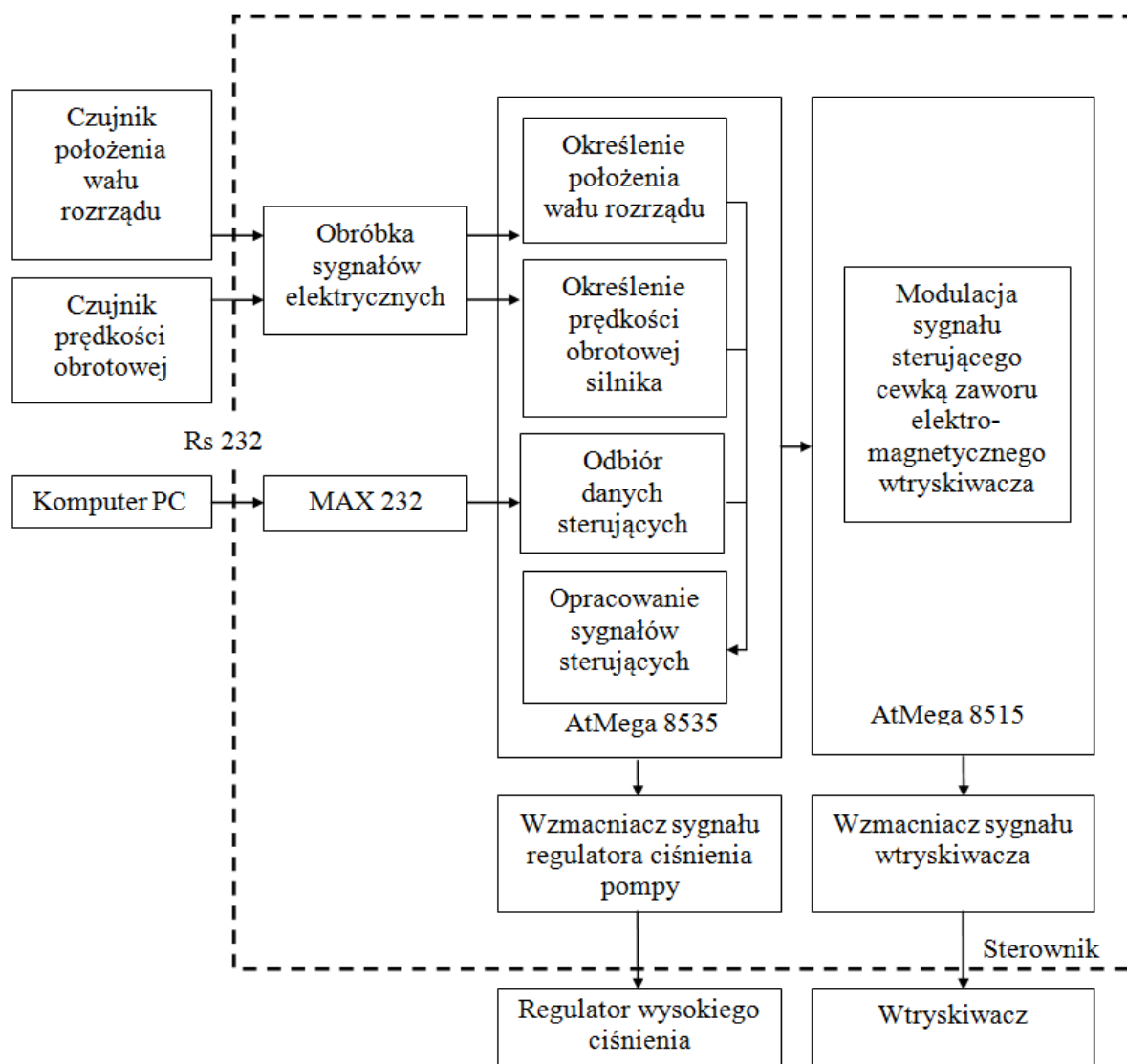


Rysunek 1 – Możliwości realizacji faz wielostopniowego wtrysku w systemie zasobnikowym opracowanym w KSSiT [1]  
 Figure 1 – Possibilities of implementing multi-stage injection phases in a storage system developed in the KSSiT [1]



Rysunek 2 – Główne okno programu sterującego układem wtryskowym silnika SB3.1  
 Figure 2 – The main window of the SB3.1 engine injection control program

Możliwe jest ustawienie sygnału elektrycznego odpowiadającego otwarciu wtryskiwacza w zakresie od 0 do 3000  $\mu\text{s}$  (dla większości wtryskiwaczy czas sygnału otwierającego nie może być krótszy niż 120  $\mu\text{s}$ ). Kąty wtrysku dawek paliwa mogą zawierać się w zakresie od 180°OWK przed GMP do 180°OWK po GMP. Program ostrzega przed ustawieniami, które mogą spowodować „nachodzenie” jednej dawki na drugą, przez co wtryskiwacz nie zamykałby się pomiędzy poszczególnymi częściami dawki, wtryskiwanej w jednym cyklu roboczym silnika. Ponieważ, kąt wtrysku dawek zależy od kąta obrotu wału silnika a czas wtrysku od upływającego czasu, wzięto również pod uwagę prędkość obrotową wału korbowego silnika przy sprawdzaniu „nachodzenia” na siebie poszczególnych części dawki paliwa.



Rysunek 3 – Schemat blokowy układu sterowania silnika SB 3.1 wyposażonego w układ wtryskowy CR [1]  
 Figure 3 – Block diagram of the SB 3.1 engine control system equipped with the CR injection system [1]

Elektroniczny układ sterowania został wykonany w oparciu o mikrokontrolery AVR AtMega 8535 i AtMega 8515. Pierwszy z mikrokontrolerów ma za zadanie pomiar sygnałów z czujników silników, czyli określenie aktualnych parametrów i warunków pracy silnika, określenie czasu początku i trwania wtrysku (co odpowiada wartościom zadany przez prowadzącego badania) a także przesłanie sygnału PWM do wzmacniacza, który zasila regulator na pompie wysokiego ciśnienia. Opracowany przez pierwszy mikrokontroler sygnał (o początku i czasie wtrysku), jest przesyłany do drugiego mikrokontrolera, który modyfikuje sygnał elektryczny, wprowadzając jego modulacje, co jest konieczne do poprawnej pracy wtryskiwacza elektromagnetycznego. Sygnał ten jest wzmacniany przez wzmacniacz, który zasila wtryskiwacz.

W związku z rozbudową silnika badawczego o zawór recyrkulacji spalin EGR, do układu sterowania została dodana odpowiednia opcja, dzięki czemu możliwe jest precyzyjne sterowanie zaworem EGR ze sterowaniem mikroprocesorowym.

Dzięki zastosowanym modyfikacjom silnika możliwe było przeprowadzenie badań dotyczących wpływu parametrów regulacyjnych procesu wtrysku na emisję składników toksycznych i parametry eksploatacyjne silnika o ZS [1, 3, 4].

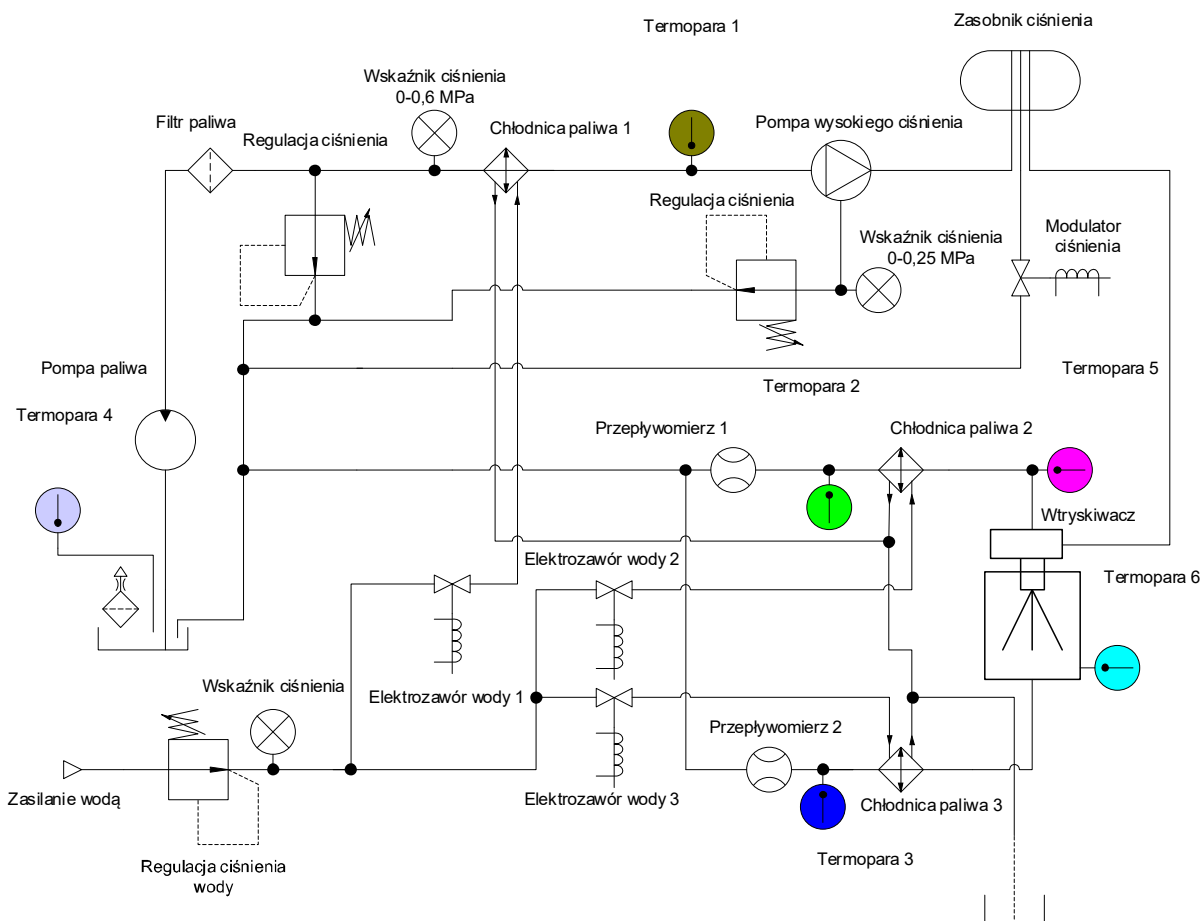
## STEROWNIK DO STOŁU PROBIERCZEGO BOSCH EPS 815

W stanowiskowych badaniach wtryskiwaczy układu wtryskowego Common Rail wykorzystywane są stoły probiercze. W Katedrze Silników Spalinowych i Transportu prowadzone są takie badania na stole probierczym BOSCH EPS 815, wyposażonym w zespół pomiaru dawki paliwa Bosch KMA 822 [5, 12, 13].

Prowadzenie tych badań, wymagało układu sterowania wtryskiem i urządzeniami pomocniczymi, ze względu na następujące problemy:

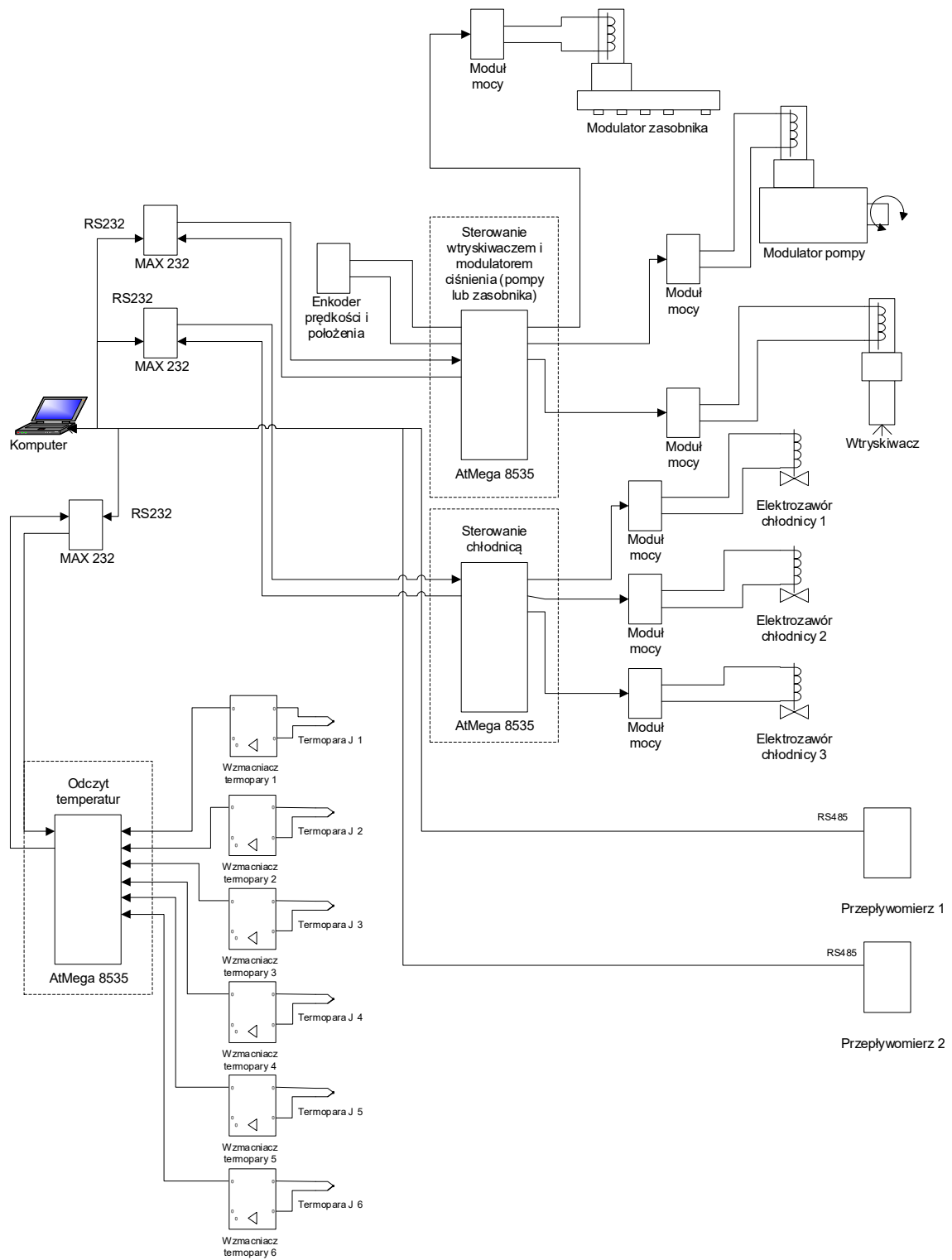
- w stole probierczym może być stosowany wyłącznie olej probierczy zalecany przez producenta,
- sterownik wtrysku stołu probierczego nie ma możliwości realizacji wielokrotnego wtrysku paliwa przy pełnym obrocie wału pompy wysokiego ciśnienia, co odpowiada jednemu cyklowi roboczemu silnika,
- zastosowanie paliw różnego rodzaju wymaga zastosowania wielu urządzeń pomocniczych, które muszą być sterowane.

W związku z tym został opracowany sterownik, który realizuje funkcje: sterowania wtryskiwaczem, pompą paliwa, układem chłodzenia paliwa, modulatorem wysokiego ciśnienia, pomiarem temperatur, przepływu, gęstości i temperatury paliwa w niewrażliwych punktach. Schemat badawczego układu CR został przedstawiony na rys. 4. Schemat układu sterowania został przedstawiony na rys. 5.



Rysunek 4 – Schemat badawczego układu do elementów systemu CR zastosowanego w stole probierczym Bosch EPS 815 [2]

Figure 4 – Scheme of the research system for elements of the CR system used in the Bosch EPS 815 test bench [2]

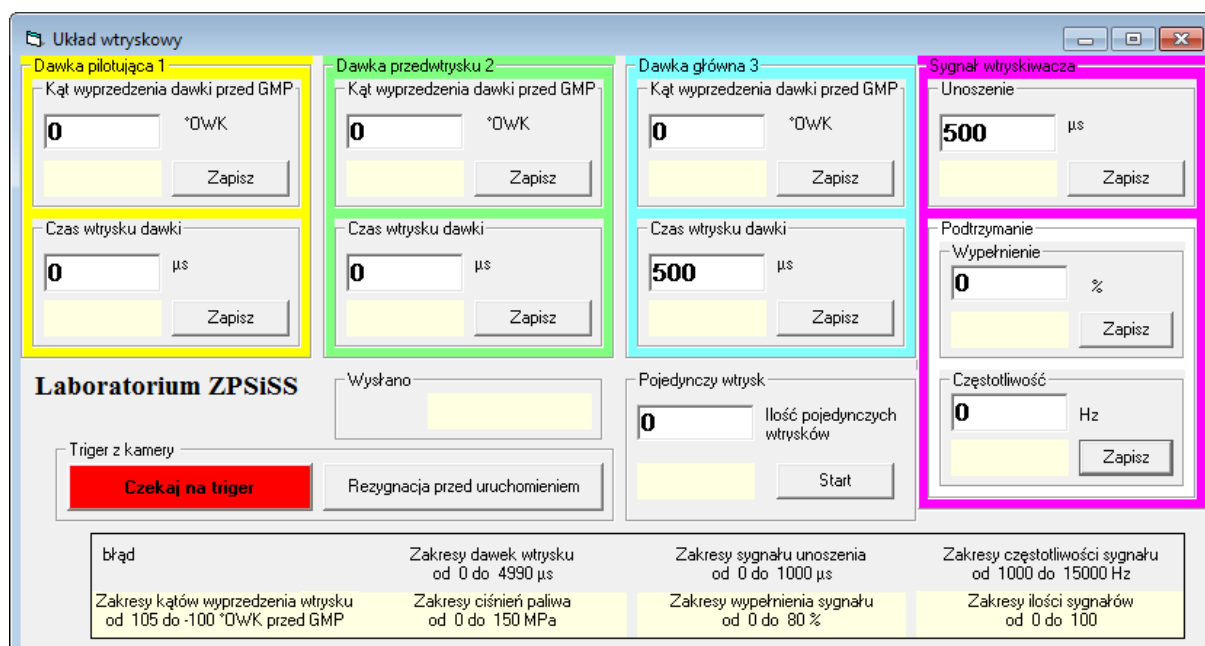


Rysunek 5 – Schemat układu sterowania badawczego układu elementów systemu CR  
 Figure 5 – Diagram of the control system for the research system of elements of the CR system

Układ sterowania składa się z kilku modułów, które zapewniają:

- sterowanie wtryskiwaczem,
- sterowanie modulatorem wysokiego ciśnienia,
- sterowanie zaworami hydraulicznymi przepływu wody przez chłodnice,
- pomiar temperatur w określonych miejscach obwodu hydraulicznego,
- odczyt parametrów przepływu, gęstości i temperatury paliwa z przepływomierzy.

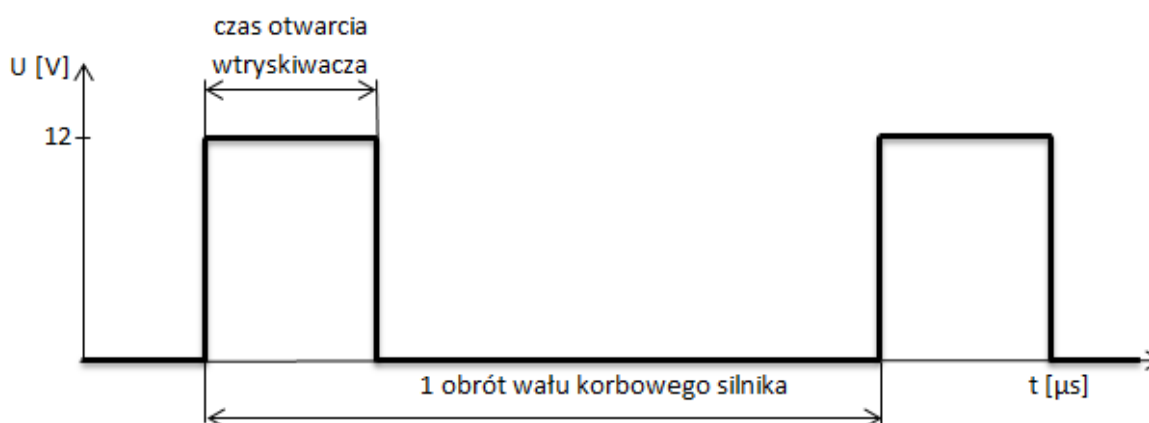
Dzięki zastosowaniu enkodera optycznego, możliwe jest precyzyjne ustawienie kątów wyprzedzenia dawek paliwa (maksymalnie 3), wtryskiwanych w jednym cyklu roboczym silnika. Układ umożliwia także wyzwalanie wtrysku z zewnętrznych urządzeń za pomocą sygnału TTL. Możliwe jest także, ustalenie dowolnej liczby wtrysków i modyfikacje samego sygnału sterującego wtryskiwaczem. Interfejs graficzny modułu sterowania wtryskiem został przedstawiony na rys. 6.



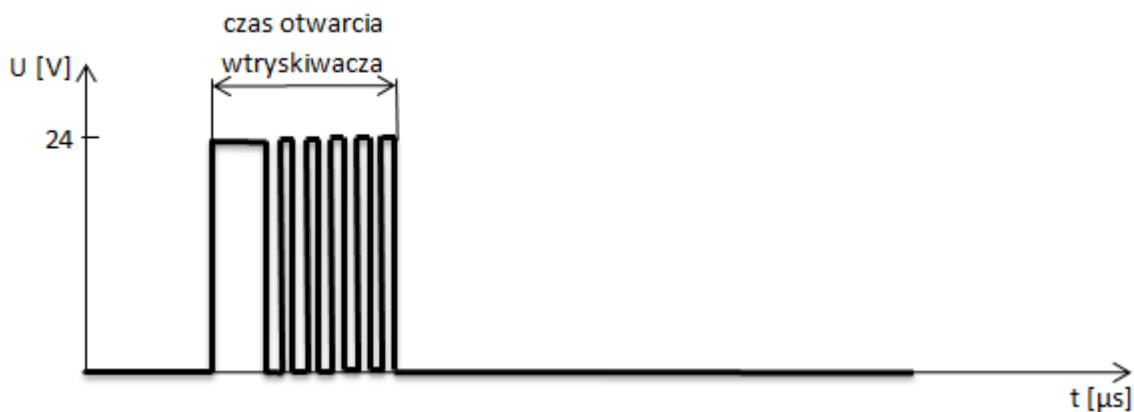
Rysunek 6 – Okno programu do komunikacji z modułem sterowania wtryskiem  
Figure 6 – Program window for communication with the injection control module

### STEROWNIK WTRYSKIWACZY

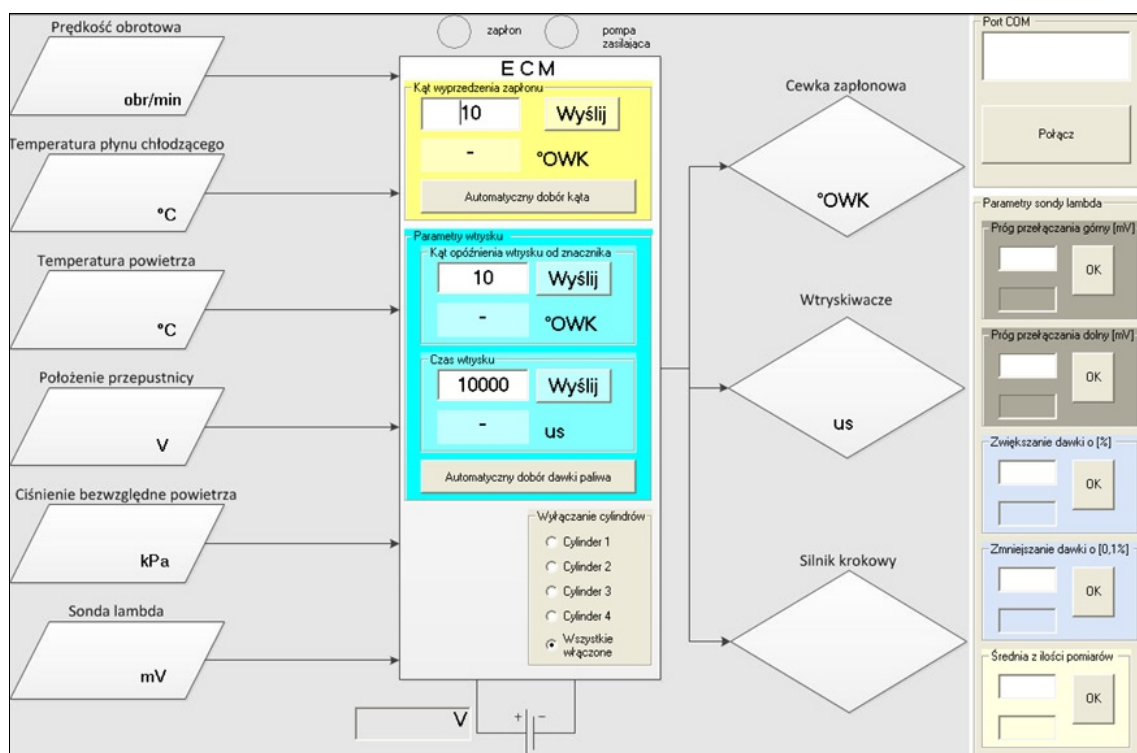
Do badań wydatku wtryskiwaczy sterowanych elektrycznie, konieczne jest zastosowanie sterownika, który będzie wytwarzał odpowiedni sygnał sterujący dla wtryskiwacza. W przypadku wysokoomowych wtryskiwaczy elektromagnetycznych (rezystancja cewki ok. 12 Ω), stosowany jest niemodulowany sygnał prostokątny do otwierania wtryskiwacza.



Rysunek 7 – Elektryczny sygnał sterujący wtryskiwaczem elektromagnetycznym (bez podłączenia wtryskiwacza)  
Figure 7 – Electric signal controlling the electromagnetic injector (without injector connection)



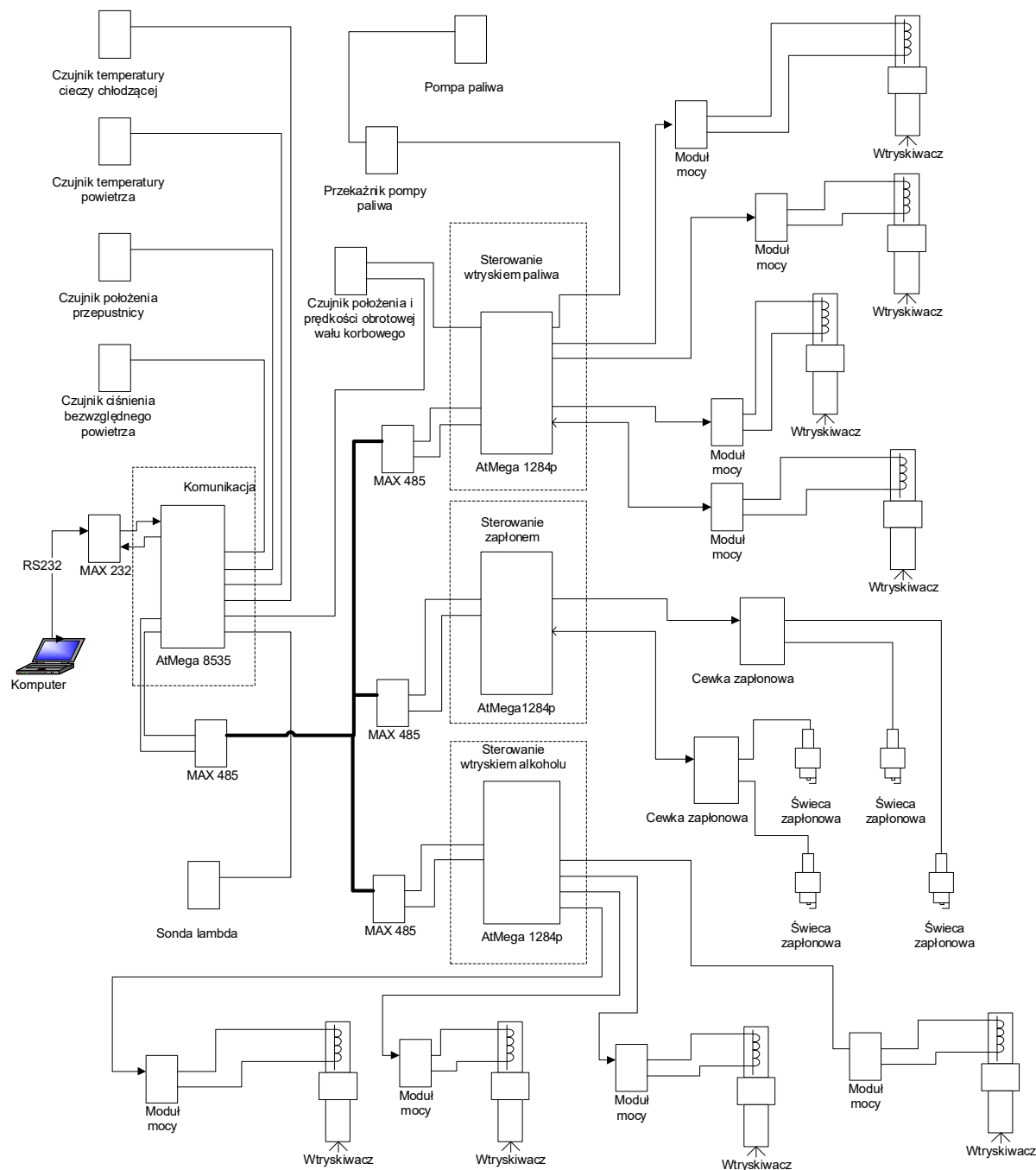
Rysunek 8 – Wieloimpulsowy sygnał sterujący wtryskiwaczem  
Figure 8 – Multi-pulse injector control signal



Rysunek 9 – Okno programu do komunikacji ze sterownikiem badawczym [8]  
Figure 9 – Program window for communication with the test controller [8]

Opracowane urządzenie pozwala na sterowanie sygnałem otwarcia wtryskiwacza w zakresie od 200 do 12000  $\mu\text{s}$  z rozdzielczością 200  $\mu\text{s}$ . Częstotliwość sygnału otwierającego wtryskiwacz odpowiada prędkościom obrotowym silnika w zakresie od 100 do 5100 obr/min. Rozdzielczość wynosi 100 obr/min. Ilość wtrysków można ustawiać w zakresie od 500 do 10500 z rozdzielczością 500. Parametry sygnału sterującego wtryskiwaczem przedstawia rys. 7. Należy mieć na uwadze, że rzeczywisty czas wtrysku jest opóźniony w stosunku do sygnału elektrycznego. Wtrysk paliwa jest wywoływany z częstotliwością odpowiadającą 1 obrotowi wału korbowego, co odpowiada grupowemu (półsekwencyjnemu) wtryskowi paliwa, stosowanemu w wielu powszechnie stosowanych silnikach. Sterownik był wykorzystywany m.in. w badaniach wydatku wtryskiwacza elektromagnetycznego przy zastosowaniu paliw alternatywnych [6].

Jak wykazano w badaniach zawartych w [7], wtryskiwacz sterowany jednoimpulsowo, wtryskuje paliwo ze znacznymi opóźnieniami w stosunku do sygnału elektrycznego nim sterującego. Dlatego sterownik wtrysku został zmodyfikowany. Zastosowano wyższe napięcie zasilające 24 V i modulację sygnału sterującego (rys. 8). Uzyskano w ten sposób skrócenie opóźnienia wtrysku. Różnica w szybkości reakcji wtryskiwacza, między sterowaniem jedno- i wieloimpulsowym wynosiła ok. 800  $\mu\text{s}$  [7].



Rysunek 10 – Schemat systemu do dwupaliwowego zasilania silników o ZI  
 Figure 10 – Diagram of a dual-fuel system for powering ZI engines

### STEROWNIK SILNIKA 1.6 GSI O ZI

W badaniach silników o ZI został wykorzystany sterownik umożliwiający sterowanie wtryskiem paliwa i zapłonem. Dzięki temu sterownikowi możliwe jest zadawanie z komputera parametrów regulacyjnych tj.: kąta wyprzedzenia zapłonu, czasu wtrysku paliwa, kąta rozpoczęcia wtrysku paliwa. Sterownik ten pracuje w systemie wtrysku grupowego. Do ustalenia dokładnej pozycji i prędkości wału korbowego został wykorzystany enkoder optyczny o rozdzielczości 720 dz. Sterownik umożliwia także pomiar i wyświetlania na ekranie komputera parametrów silnika, takich jak: prędkość obrotowa, temperatura cieczy chłodzącej i powietrza w filtrze, położenie przepustnicy, ciśnienie bezwzględne powietrza w kolektorze dolotowym, wartość napięcia na sondzie lambda i akumulatorze. Sterownik umożliwia także



wyłączanie poszczególnych cylindrów silnika z pracy poprzez odłączenie wtryskiwacza i cewki zapłonowej z poziomu komputera. Interfejs graficzny do obsługi systemu został przedstawiony na rys. 9

### **STEROWNIK DO ZASILANEGO DWUPALIOWO SILNIKA 1.6 GSI**

Zastosowanie dodatkowych wtryskiwaczy w silniku 1.6 GSI do wtrysku paliw alternatywnych, wymagało rozbudowy sterownika silnika o układ sterujący tymi wtryskiwaczami. Sterownik pozwala na odrębne sterowanie wtryskiwaczami benzyny i paliw alternatywnych. Ponadto, został opracowany system pomiaru temperatur na stanowisku hamownianym, który ułatwia proces prowadzenia badań, ze względu na możliwość zapisu wszystkich danych w jednym pliku na dysku komputera. Schemat układu sterowania silnikiem dwupaliwowym z dwoma grupami wtryskiwaczy, został przedstawiony na rys. 10.

Pracujący w systemie wtrysku grupowego układ sterowania, przy małych obciążeniach silnika, nie jest w stanie zapewnić wtrysków paliwa, w szerokim zakresie udziałów benzyny i paliw alternatywnych, ze względu na konieczność stosowania długich czasów wtrysku (pow. 2 ms) dla wtryskiwaczy elektromagnetycznych (wtrysk dużych dawek paliwa) i wtryskiwacza odmykającym się dwa razy w ciągu cyklu roboczego silnika. Dlatego opracowywana jest kolejna wersja sterownika, pracującego w systemie sekwencyjnego wtrysku paliwa. Dzięki temu będzie możliwe znaczne rozszerzenie pola zmian udziałów poszczególnych paliw, wtryskiwanych do kolektora silnika.

### **PODSUMOWANIE**

Dzięki zastosowaniu elektrotechniki i elektroniki w sterowaniu silników spalinowych, zostały poprawione ich osiągi, obniżono emisję substancji toksycznych w ich spalinach a także znacznie ułatwiono korzystanie z pojazdów mechanicznych, wyposażonych w te silniki. Stało się to możliwe m.in. dzięki zastosowaniu mikrokontrolerów, które dają bardzo duże możliwości analizy sygnałów generowanych przez czujniki silnika i generowanie sygnałów sterujących układami wykonawczymi silników. Niestety, podnosi to również wymagania dla osób, które zajmują się badaniami rozwojowymi silników lub ich elementów. W związku z tym, w KSSiT, gdzie prowadzone są tego typu badania, istnieje konieczność projektowania i wykonywania układów sterowania silników, które zostały skrótowo opisane w niniejszym opracowaniu.

### **LITERATURA**

1. Balawender K.: Wpływ wybranych parametrów w regulacyjnych procesach wtrysku na emisję cząstek stałych w silniku wysokoprężnym typu DI. Rozprawa doktorska, Rzeszów 2007.
2. Balawender K.: Badania wpływu temperatury na wydatek wtryskiwacza elektromagnetycznego. Prace Zachodniego Centrum Akademii Transportu Ukrainy, nr 20, Lwów 2012. s. 25-29
3. Balawender, K., Kuszewski, H., Ustrzycki, A.: THE EFFECT OF SOME PARAMETERS OF INJECTOR CONTROL SIGNAL ON FUEL INJECTION PROCESS IN THE COMMON RAIL SYSTEM. Journal of KONES 2009 Vol. 16. s. 9-14
4. Balawender K., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A.: THE EFFECT OF ANGLE POSITION OF MAIN, PILOT AND PREINJECTION FUEL DOSE ON NO<sub>x</sub> FORMATION IN COMPRESSION IGNITION ENGINE WITH COMMON RAIL SYSTEM. Journal of KONES 2008 Vol. 15. s. 19-27
5. 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 Vol. 3, No 1. s. 9-13
6. Balawender K., Jaworski A., Woś P.: Badania wydatku wtryskiwacza przy zasilaniu etanolem. Praca zbiorowa pod redakcją Kazimierza Lejdy, Sakon'08 nt. „Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdów samochodowych i maszyn roboczych samojedźnych. Zarządzanie i marketing w motoryzacji”, Rzeszów 2008. s. 95-100
7. Balawender K., Wojtoń M.: Ocena opóźnienia wtrysku paliwa w stosunku do sygnału sterującego wtryskiwaczy elektromagnetycznych silników ZI przy zastosowaniu różnych koncepcji sterowania. NACIONALNIJ TRANSPORTNIJ UNIVERSITET, KIJIV, VISNIK NACIONALNOGO TRANSPORTNOGO UNIVERSITETU TA TRANSPORTNOJ AKADEMII UKRAINI. t.25, KIJIV 2012. s. 167-174,
8. Balawender K., Wojtoń M.: Badania silnika o ZI w komplecie z prototypowym układem wtryskowym. Monografia pod red. naukową Kazimierza Lejdy. Seria: Transport. "Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia", Rzeszów 2013. s. 211-222
9. Kuszewski H., Ustrzycki A.: Badania procesu dawkowania paliwa w zasobnikowym układzie wtryskowym. Wisnik nr 14, Kijów 2007.
10. Kuszewski H., Ustrzycki A.: Wpływ parametrów pracy zasobnikowego układu wtryskowego na

rzeczywisty początek wtrysku paliwa. Silniki Spalinowe, Nr 2007-SC2. s. 107-117

11. Ustrzycki A., Kuszewski H.: Badania elektronicznie sterowanych wtryskiwaczy zasobnikowego układu wtryskowego. Wisnik nr 14, Kijów 2007.

12. 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. s. 297-304

13. Ustrzycki A., Kuszewski H.: Badania początku wtrysku paliwa w układzie wtryskowym typu Common Rail. Mat. XVII Międz. Konf. Naukowej Sakon'06 nt. „Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdów samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych. Zarządzanie i marketing w motoryzacji”, Rzeszów 2006. s. 255-262

## STRESZCZENIE

BALAWENDER Krzysztof. Prototypowe układy sterowania stosowane podczas badań silników spalinowych i ich elementów. / BALAWENDER Krzysztof // Wisnik Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2019. – № 3 (45).

W artykule zostały przedstawione układy sterowania silnikami spalinowymi i ich elementami, wykorzystywane w badaniach prowadzonych w Katedrze Silników Spalinowych i Transportu. Wśród opisywanych sterowników występują: sterownik silnika badawczego o zapłonie samoczynnym z bezpośrednim wtryskiem paliwa do komory spalania, układ sterowania rozszerzający możliwości stołu Bosch EPS 815 (badanie wtrysków wielokrotnych, badania prowadzone z paliwami alternatywnymi, wizualizacja rozpylanej strugi, wpływ miejsca regulacji wysokiego ciśnienia na przebieg procesu wtrysku), sterownik do badania wtryskiwaczy elektromagnetycznych benzyny z jedno- i wieloimpulsowym sygnałem otwarcia, sterownik silnika o zapłonie iskrowym z możliwością wyłączania kolejnych cylindrów silnika z pracy, sterownik silnika o zapłonie iskrowym zasilanym dwupaliwowo z użyciem odrębnych wtryskiwaczy dla benzyny i paliwa alternatywnego. Szczególna uwaga została zwrócona na związek układów sterowania z wymaganiami stawianymi im w trakcie prowadzonych badań, co wymagało specyficznego podejścia do projektowanych urządzeń elektronicznych i oprogramowania, które od czasu wprowadzenia mikrokontrolerów, stało się nieodłącznym elementem układów sterowania silnikami spalinowymi. W artykule zamieszczono także elementy oprogramowania do komunikacji użytkownika systemu ze sterownikami i schematy blokowe systemów sterowania. Przytoczono także niektóre prace badawcze, w których brały udział zaprojektowane i wykonane sterowniki. Wskazano także na konieczność prowadzenia ciągłych modyfikacji systemów sterowania, ze względu na ciągły rozwój silników spalinowych i zastosowanie paliw alternatywnych.

SŁOWA KLUCZOWE: SILNIK, INŻYNIERIA, ZARZĄDZANIE, ALTERNATYWNE PALIWA PALIWOWE, SYSTEM, GRATULACJE, OPROGRAMOWANIE.

## РЕФЕРАТ

БАЛАВЕНДЕР Кшиштоф. Створення прототипу систем управління, що використовуються під час випробувань двигунів та їх компонентів. / БАЛАВЕНДЕР Кшиштоф // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2019. – Вип. 3 (45).

У статті представлені системи контролю двигунів внутрішнього згоряння та їх елементів, що використовуються в дослідженнях, що проводяться на кафедрі дизельних і транспортних двигунів. Серед описаних контролерів є: тест-драйвер дизельного двигуна з прямим впорскуванням палива в камеру згоряння, систему управління, що розширює можливості stołu Bosch EPS 815 (багаторазове випробування, випробування з альтернативними видами палива, візуалізація струменя розпилення, вплив місця регулювання високого тиску на процес ін'єкції), контролер для тестування електромагнітних бензинових інжекторів з одно- і мульти-імпульсним відкритим сигналом, драйвер двигуна іскрового запалювання з можливістю відключення чергових циліндрів двигуна від роботи, водій двигуна іскрового запалювання, що працює від подвійного палива з використанням окремих форсунок для бензину і альтернативного палива. Особлива увага приділялася взаємозв'язку між системами управління та вимогами, що пред'являються до них під час дослідження, що вимагало спеціального підходу до розроблених електронних пристроїв та програмного забезпечення, яке з моменту впровадження мікроконтролерів стало невід'ємним елементом систем управління двигунів

внутрішнього згорання. У статті також містяться елементи програмного забезпечення для комунікації користувачів системи з контролерами і блок-схемами систем управління. Також були згадані деякі науково-дослідні роботи, в яких розроблялися і робили водії. Також було зазначено, що необхідно постійно модифікувати системи управління за рахунок постійного розвитку двигунів внутрішнього згорання та використання альтернативних видів палива.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДВИГУН, ВПОРСКУВАННЯ, УПРАВЛІННЯ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА, СИСТЕМА, ЗГОРАННЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

#### **ABSTRACT**

BALAWENDER Krzysztof. Prototype control systems used during tests of combustion engines and their components. Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Kyiv. National Transport University. 2019. Vol. 3 (45).

The article presents control systems for combustion engines and their elements, used in research conducted at the Department of Combustion Engines And Transport. Among the described controllers are: diesel engine test driver with direct fuel injection to the combustion chamber, control system expanding the possibilities of the Bosch EPS 815 table (multiple injection testing, tests with alternative fuels, visualization of the spray jet, influence of the high pressure regulation site on the process injection), controller for testing electromagnetic gasoline injectors with one- and multi-pulse open signal, the spark-ignition engine driver with the possibility of shutting off the next engine cylinders from work, the spark-ignition engine driver powered by dual fuel using separate injectors for gasoline and alternative fuel. Particular attention was paid to the relationship between the control systems and the requirements posed to them during the research, which required a specific approach to designed electronic devices and software, which since the introduction of microcontrollers, has become an inherent element of the control systems of internal combustion engines. The article also includes elements of software for system user communication with controllers and block diagrams of control systems. Some research works were also mentioned, in which designed and made drivers participated. It was also pointed out that it is necessary to constantly modify the control systems due to the continuous development of combustion engines and the use of alternative fuels.

**KEY WORDS:** ENGINE, INJECTION, MANAGEMENT, ALTERNATIVE FUELS, SYSTEM, COMBUSTION, SOFTWARE.

#### **AUTOR:**

BALAWENDER Krzysztof, dr inż., Politechnika Rzeszowska, adiunkt, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, e-mail: kbalawen@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1588, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-1219-8611.

#### **АВТОР:**

БАЛАВЕНДЕР Кшиштоф, кандидат технічних наук, Жешувська Політехніка, доцент, кафедра двигунів внутрішнього згорання і транспорту, e-mail: kbalawen@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1588, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-1219-8611.

#### **AUTHOR:**

BALAWENDER Krzysztof, PhD in Technical Sciences, Rzeszow University of Technology, associate professor, Department of Internal Combustion Engines and Transport, e-mail: kbalawen@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1588, 35-959, Rzeszow, Poland, Av. Powstancow Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-1219-8611.

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Любас Януш, доктор технічних наук, професор, Жешувська політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згорання і транспорту, Жешув, Польща.

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

#### **REVIEWERS:**

Lubas Janush, Doctor of Technical Sciences, professor, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, Rzeszow, Poland.

Gutarevych Yu.F., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Head of the Engines and Heating Engineering Department, Kyiv, Ukraine.