

# STANOWISKO BADAWCZE WTRYSKOWYCH UKŁADÓW COMMON RAIL ZASILANYCH PALIWAMI RÓŻNEGO TYPU

Krzysztof BALAWENDER, Kazimierz LEJDA, Adam USTRZYCKI<sup>1</sup>

W artykule przedstawiono stanowisko do badania przebiegu procesu wtrysku w zasobnikowych układach wtryskowych. Stanowisko umożliwia prowadzenie badań układów wtryskowych z wtryskiwaczami sterowanymi elektromagnetycznie i zasilanych różnego rodzaju paliwami, w tym także paliwami alternatywnymi.

## 1. WSTĘP

Badania układów wtryskowych i ich elementów prowadzi się z reguły na stanowiskach badawczych, w których wykorzystywany jest olej probierczy o specjalnych właściwościach. Paliwa spotykane w eksploatacji silników spalinowych zazwyczaj mają inne parametry, co może skutkować odmienną pracą takiego układu wtryskowego. Na proces wtrysku i wielkość dawki paliwa ma wpływ szereg parametrów, nie tylko układu wtryskowego [1,3,4,5], ale także zastosowanego paliwa. Rozwiązania konstrukcyjne wtryskiwaczy elektromagnetycznych, mających istotny wpływ na proces dawkowania paliwa, charakteryzują się wysoką precyzją. Niewielkie wymiary otworków, przez które przepływa paliwo w rozpylaczu i elektrozaworze oraz kalibrowanych otworków sterujących we wtryskiwaczu powodują, że każda zmiana związana z takimi parametrami paliwa, jak lepkość czy gęstość, wpływa na przebieg procesu wtrysku. W związku z tym, istotnym jest konieczność prowadzenia badań układów wtryskowych pracujących na paliwach rzeczywistych, zwłaszcza w kontekście stosowania do zasilania silników spalinowych paliw alternatywnych, których parametry mogą w znacznym stopniu odbiegać od parametrów oleju probierczego. Jednakże, użycie innego oleju niż olej probierczy w typowym stanowisku probierczym jest niedozwolone przez producenta, ze względu na to, że paliwa będące mieszaninami z zastosowaniem biokomponentów mogą mieć negatywny wpływ na systemy uszczelnienia stołu probierczego oraz układ pomiarowy. Stąd też w celu umożliwienia badań procesu wtrysku w układach wtryskowych typu Common Rail, z wykorzystaniem paliw różnego typu, opracowano specjalne stanowisko badawcze. Stanowisko to umożliwia uzyskanie stabilnych parametrów pracy układu wtryskowego, szczególnie w odniesieniu do parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem oraz temperatury w poszczególnych punktach tego układu, ze względu na jej istotny wpływ na proces dawkowania paliwa [2,3,6].

## 2. ZAŁOŻENIA KONSTRUKCYJNE STANOWISKA BADAWCZEGO

Stanowisko badawcze układów wtryskowych typu Common Rail zbudowano w oparciu o stanowisko probiercze firmy Bosch EPS-815, które w naszym przypadku wykorzystywane jest do napędu pompy wysokociśnieniowej. Biorąc pod uwagę przewidywany zakres badań, przyjęto następujące założenia przy konstruowaniu stanowiska, które powinno:

- stanowić odrębny, zamknięty pod względem hydraulicznym system, ze względu na paliwa które będą stosowane podczas badań,

---

<sup>1</sup> Dr inż. Krzysztof Balawender, prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda, dr inż. Adam Ustrzycki; Politechnika Rzeszowska, Zakład Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych

- umożliwiać bezpieczną pracę przy prowadzeniu badań, co osiągnięte zostało poprzez umieszczenie wysokociśnieniowej części układu na stole probierczym i wykorzystanie zabezpieczeń stołu probierczego (drzwi ochronne z czujnikami zamknięcia),
- zapewniać precyzyjny pomiar wydatku paliwa wtryskiwanego przez wtryskiwacz i z przelewu,
- umożliwiać chłodzenie paliwa w celu utrzymania temperatury mierzonego paliwa na stałym poziomie, podobnie jak i stabilnych warunków podawania paliwa przez pompę wysokociśnieniową oraz regulację temperatury paliwa w układzie w sposób zautomatyzowany,
- umożliwiać sterowanie czasem wtrysku, liczbą wtrysków w czasie jednego cyklu, momentem wtrysku poszczególnych części dawki oraz umożliwiać zmiany parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem (czasu przyciągania i parametrów modulowanego sygnału podtrzymującego),
- umożliwiać sterowanie ciśnieniem w układzie za pomocą modulatora ciśnienia umieszczonego na pompie wysokociśnieniowej lub szynie,
- stanowisko powinno umożliwiać kontrolę ciśnienia dopływu i odpływu paliwa z pompy wysokociśnieniowej,
- umożliwiać pomiar temperatury w istotnych punktach układu,
- umożliwiać kontrolę poziomu paliwa w zbiorniku,
- umożliwiać łatwą wymianę paliwa w układzie,
- stanowisko powinno być elastyczne pod względem tworzenia różnorodnych konfiguracji układów wtryskowych,
- informować prowadzących badania o stanach pracy całego układu, istotnych z punktu widzenia prowadzonych badań oraz bezpieczeństwa prowadzących te badania.

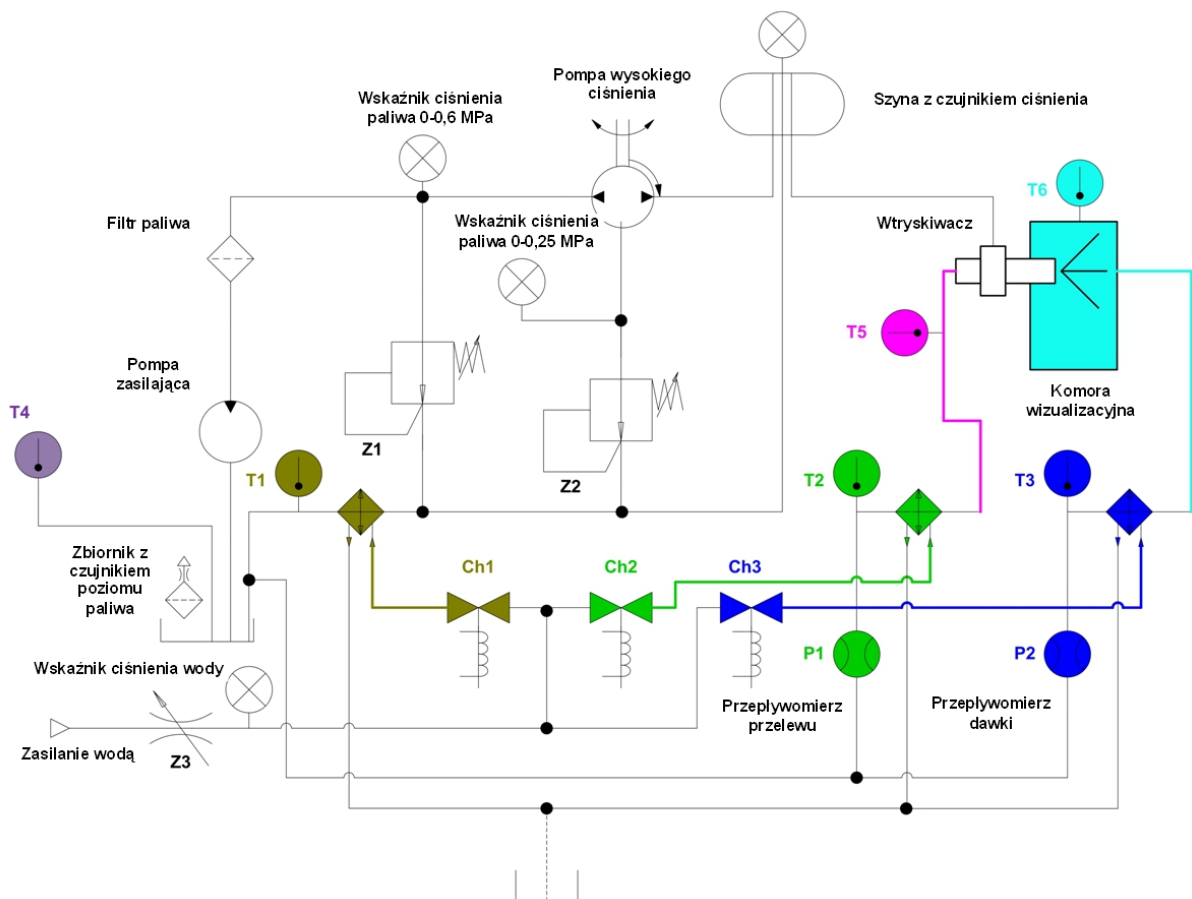
### 3. CHARAKTERYSTYKA STANOWISKA BADAWCZEGO

W oparciu o przyjęte założenia opracowano skomputeryzowane stanowisko badawcze układów wtryskowych typu Common Rail do różnego rodzaju paliw ciekłych, którego schemat przedstawiono na rys. 1. Stanowisko składa się następujących układów funkcjonalnych:

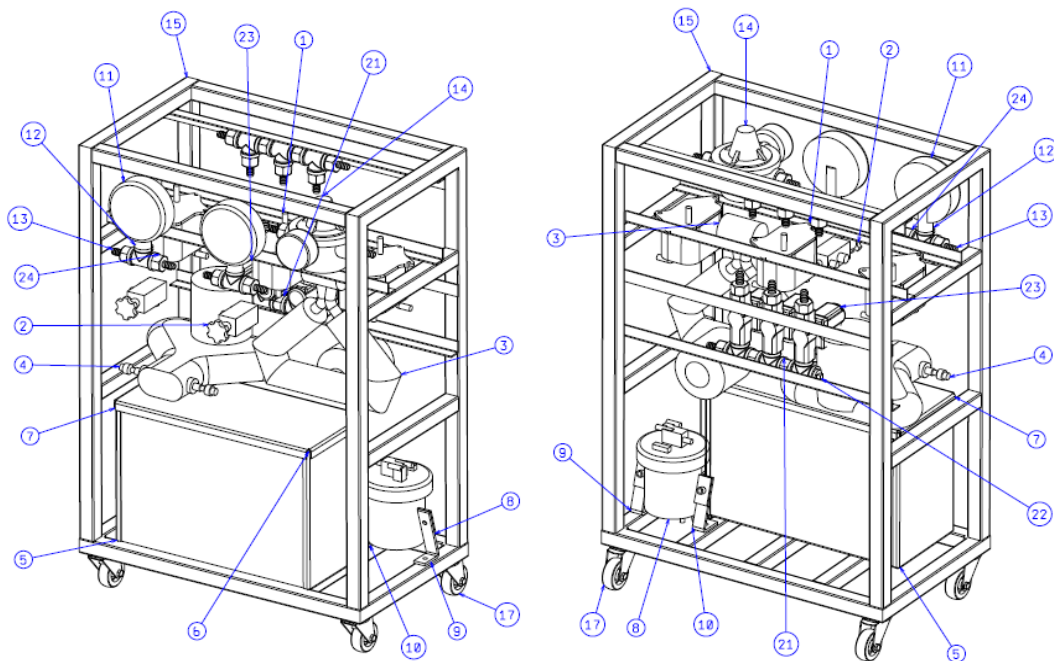
- obwodu niskiego ciśnienia,
- obwodu wysokiego ciśnienia,
- sterownika,
- komputera nadzorującego.

Część niskociśnieniową układu umieszczono w metalowej, mobilnej konstrukcji wraz z elementami systemu chłodzenia paliwa oraz przepływomierzami (rys. 2). Paliwo ze zbiornika podawane jest przez elektryczną pompę paliwa z czujnikiem poziomu paliwa i poprzez filtr dostaje się do pompy wysokiego ciśnienia. Ciśnienie na dolocie do pompy wysokociśnieniowej jest regulowane zaworem nastawnym i mierzone manometrem o odpowiednim zakresie pomiarowym, podobnie jak ciśnienie przelewu pompy, które również ustalane jest za pomocą zaworu nastawnego i kontrolowane za pomocą manometru. Paliwo z zaworów powraca do zbiornika poprzez chłodnicę, przez którą przepływ cieczy chłodzącej jest regulowany za pomocą zaworu elektromagnetycznego, na podstawie informacji o temperaturze powracającego paliwa.

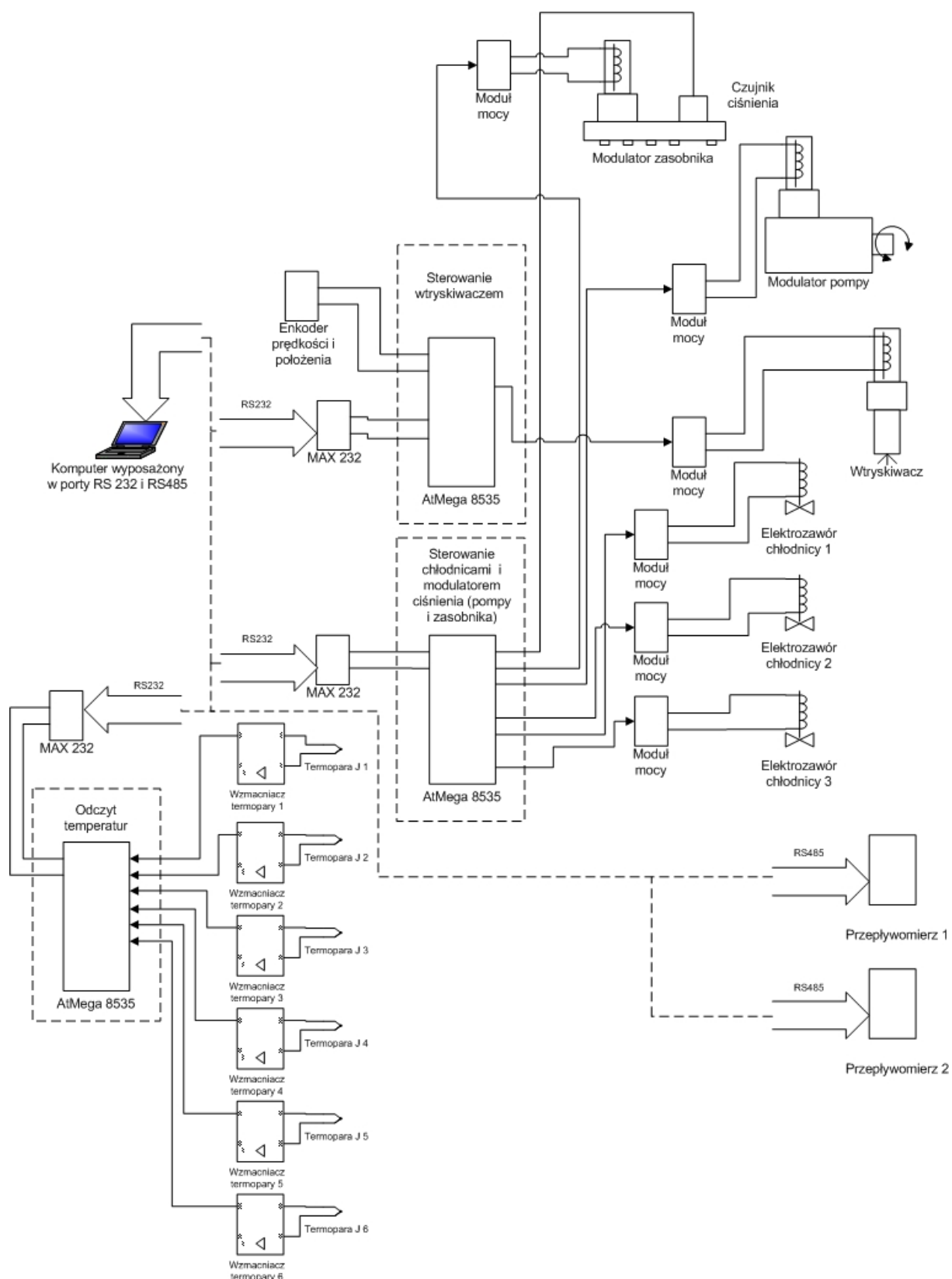
Część wysokociśnieniowa, w skład której wchodzi pompa wysokiego ciśnienia, szyna paliwowa (zasobnik), wtryskiwacz zamontowany w komorze wizualizacyjnej oraz przewody wysokociśnieniowe, umieszczona jest na stanowisku probierczym, które wykorzystywane jest do napędu pompy wysokiego ciśnienia.



Rys. 1. Schemat badawczego układu wtryskowego typu Common Rail do różnego rodzaju paliw ciekłych: T1-T6 – termopary, Z1, Z2 – zawory sterujące ciśnieniem zasilania i przelewu pompy wysokociśnieniowej, Z3 – zawór redukcyjny ciśnienia wody, Ch1, Ch2, Ch3 – elektrozawory sterujące przepływem cieczy chłodzącej



Rys. 2. Rozmieszczenie elementów części niskociśnieniowej układu wtryskowego: 1 - chłodnica paliwa, 2 - zawór regulacyjny, 3 - przepływomierz CMF 025, 4 - przepływomierz CMF 010, 5 - zbiornik paliwa, 6 - pompa paliwa, 7 - pokrywa zbiornika, 8 - filtr paliwa, 9, 10 - wspornik filtra paliwa, 11 - manometr, 12 - trójnik 1/2", 13 - końcówka na węża 1/2", 14 - reduktor do wody z manometrem, 15 - rama, 17 - kółko, 21 - złączka, 22 - zaślepka, 23 - elektrozawór, 24 - końcówka na węża 1/2"



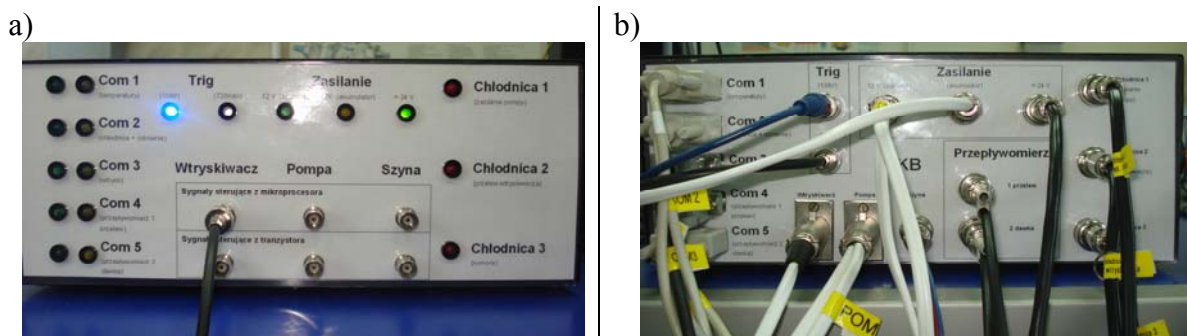
Rys. 3. Schemat funkcjonalny układu sterowania i akwizycji danych stanowiska badawczego układów wtryskowych typu Common Rail do różnego rodzaju paliw ciekłych

Pompa tłoczy paliwo do zasobnika, w którym następuje pomiar ciśnienia, na podstawie którego sterowane są modulatory ciśnienia na pompie lub szynie. Z zasobnika paliwo tłoczony jest do wtryskiwacza, który wtryskuje je do specjalnie zaprojektowanej dla potrzeb stanowiska komory wizualizacyjnej z systemem oświetlenia stroboskopowego. Komora jest

wypełniona paliwem i pozwala na obserwację procesu wtrysku oraz jego rejestrację za pomocą systemu wizualizacyjnego AVL Visioscope. Z komory paliwo przedostaje się do chłodnicy paliwa i w przepływomierzu mierzone jest jego natężenie przepływu oraz temperatura. Paliwo z zaworu elektromagnetycznego wtryskiwacza (przelew wtryskiwacza) również jest chłodzone i mierzone jest jego natężenie przepływu i temperatura. Z przepływomierzy paliwo powraca do zbiornika paliwa. Do pomiaru przepływu wtryskiwanego paliwa jak i wielkości przelewu zastosowano przepływomierze z czujnikami Coriolisa typu MicroMotion firmy Emmercon. Przepływomierze te pozwalają również na pomiar gęstości przepływającego paliwa. Sterowanie przepływem wody w chłodnicach odbywa się za pomocą elektrozaworów kontrolowanych przez sterownik stanowiska badawczego.

Na rys. 3. przedstawiono schemat funkcjonalny układu sterowania stanowiska badawczego i odczytu danych pomiarowych. Układ sterowania oparty jest na 3 mikrokontrolerach, które realizują następujące funkcjami stanowiska:

- sterowanie układem wtryskowym (wtryskiwaczem oraz modulatorami pompy i zasobnika poprzez moduły mocy),
- sterowanie elektrozaworami poszczególnych chłodnic paliwa poprzez moduły mocy i przekaźniki,
- odczyt temperatur z określonych punktów stanowiska, z których część stanowi informację dla układu sterowania chłodnicami paliwa.



Rys. 4. Widok sterownika kontrolującego pracę stanowiska badawczego układów typu Common Rail do różnego rodzaju paliw ciekłych: a) panel przedni, b) panel tylny

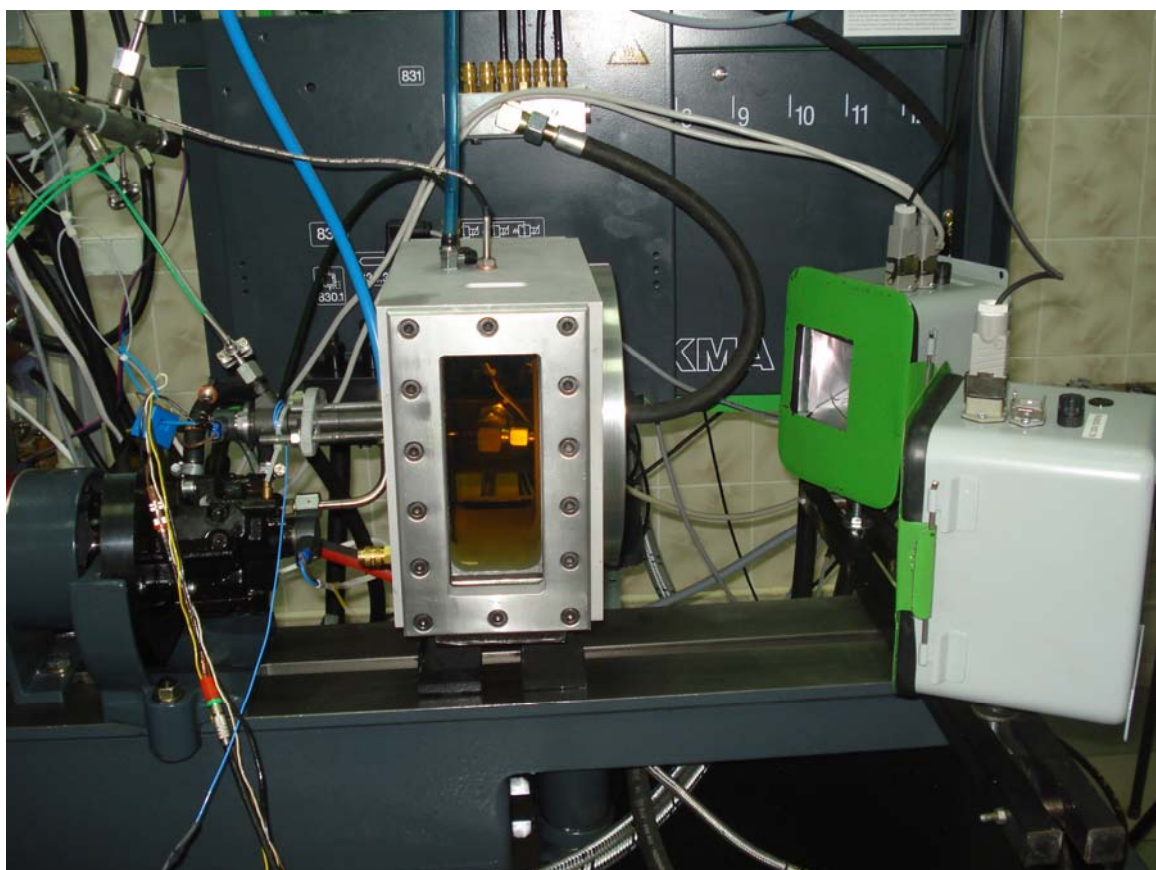
Elementy układu wtryskowego zasilane są, podobnie jak w pojeździe, z akumulatora, natomiast elektrozawory układu chłodzenia zasilane są prądem zmiennym o napięciu 24 V. Z kolei podzespoły elektroniczne układu sterowania zasilane są napięciem 12 V za pomocą zasilacza sieciowego, a komputer zasilany jest z sieci 220 V. Widok sterownika przedstawiono na rys.4.

Pracę stanowiska nadzoruje komputer, z opracowanym oprogramowaniem za pomocą którego wprowadzane są do sterownika nastawy i zapisywane na dysk parametry całego układu. Odczyt informacji z przepływomierzy odbywa się za pomocą portów RS485, a pozostałe informacje przekazywane są za pomocą portów RS232. Widok stanowiska wraz z komorą wizualizacyjną przedstawiono na rys. 5.

Opracowane stanowisko badawcze, we współpracy z systemem wizualizacyjnym oraz systemem pomiarowym przebiegów szybkozmiennych, pozwala na prowadzenie badań procesu wtrysku i pomiar oraz rejestrację następujących parametrów:

- dawki wtryskiwanego paliwa,
- wielkości przelewu z wtryskiwacza,
- gęstości paliwa,
- temperatury paliwa w różnych punktach układu,

- ciśnienia w szynie,
- parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem,
- napięcia w układzie,
- przebiegów szybkozmiennych:
  - ciśnienia w przewodzie wtryskowym przed wtryskiwaczem oraz za szyną,
  - wzniosu iglicy wtryskiwacza (z wykorzystaniem wtryskiwacza z czujnikiem wzniosu),
  - sygnałów sterujących wtryskiwaczem,
  - napięcia i prądu wtryskiwacza,
- makrostruktury strugi poprzez filmowanie procesu jej rozwoju, co pozwala na określenie:
  - rzeczywistego początku i końca wtrysku,
  - zasięgu i kąta strug wtryskiwanego paliwa.



Rys. 5. Widok stanowiska do badania układów wtryskowych typu Common Rail do różnego rodzaju paliw ciekłych z komorą wizualizacyjną i systemem oświetlenia stroboskopowego

#### 4. PODSUMOWANIE

Przedstawione skomputeryzowane stanowisko badawcze pozwala na prowadzenie badań układów wtryskowych typu Common Rail zasilanych paliwami różnego typu z uwzględnieniem paliw alternatywnych. Podział stanowiska na dwie funkcjonalnie odrębne części pozwala na stworzenie elastycznego systemu, umożliwiającego realizację różnych konfiguracji badawczych. Wysokociśnieniowa część układu, montowana na stole probierczym EPS-815, pozwala na wykorzystanie zabezpieczeń stanowiska w celu zapewnienia bezpieczeństwa pracy podczas badań. Niskociśnieniowa część układu, wraz z dodatkowymi elementami służącymi do sterowania układem chłodzenia paliwa, może być traktowana jako mobilna przystawka (moduł) do stołu probierczego, pozwalająca na badanie różnego rodzaju paliw bez zanieczyszczania jego układu hydraulicznego.

Szeroki zakres sterowania samym układem wtryskowym, jak również układem stabilizacji temperatury w układzie oraz opracowany system akwizycji parametrów stanowiska, pozwalają na sprawną i szybką realizację różnego rodzaju badań, zarówno pod względem komplekacji systemu wtryskowego i stosowanych paliw, jak również zakresu badań.

## LITERATURA

- [1] 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.
- [2] 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).
- [3] 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.
- [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] Ustrzycki A.: Wpływ parametrów sygnału sterującego wtryskiwaczem elektromagnetycznym na dawkowanie paliwa w zasobnikowym układzie wtryskowym. Науково-технічний збірник, No 20 `2009, Вісник Національного транспортного університету, Київ 2010.
- [6] 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.

## TEST STAND OF COMMON RAIL SYSTEM SUPPLIED DIFFERENT FUELS TYPE

### Summary

The paper presents the test bench for injection process in the Common Rail systems. The test stand allows to conduct studies of the injection systems with electromagnetically controlled injectors and supplied different types of fuels, including alternative fuels.

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