

Marek FLEKIEWICZ, Mateusz SZYMONIK

## STEROWANIE WTRYSKIEM PALIWA GAZOWEGO W UKŁADZIE „MASTER-SLAVE”

**Streszczenie.** Artykuł poświęcony został samochodowym systemom zasilania gazowego. Zawiera informacje dotyczące czynników konstrukcyjnych, które mają wpływ na poprawę jakości pracy samochodowej instalacji gazowej, oraz rozwoju samochodowych systemów zasilania gazowego. Głównym nurtem artykułu jest określenie sposobu prowadzenia badań, które umożliwiają poprawę jakości powstających instalacji gazowych. W artykule przedstawiona została możliwość realizacji badań nad poprawą jakości systemów gazowych w warunkach laboratoryjnych, czyli pozasamochodowych. W tym celu skonstruowano urządzenie symulujące pracę samochodowej instalacji gazowej oraz reagujące na zmiany poszczególnych parametrów, które mają wpływ na dawkowanie paliwa gazowego. Omówiono w nim istotę działania skonstruowanego urządzenia sterującego procesem wtrysku paliwa gazowego, a także przedstawiono niektóre z jego możliwości przez wykonanie badań stanowiskowych.

**Słowa kluczowe:** Samochodowa instalacja gazowa, sterowanie, budowa instalacji, symulacja pracy, badania, poprawa jakości, funkcja korygująca

## CONTROL FUEL INJECTED GAS IN "MASTER-SLAVE" SYSTEM

**Summary.** Article was devoted to the automobile gas supply systems. Contains information about the structural factors that have an impact on improving the quality of work car gas system, and the development of automotive power systems of gas. The main subject of the work is to determine how to conduct research for improving the quality produced gas installations. The paper presents the possibility of implementing research on improving the quality of the gas system in the laboratory or outside the car. For this purpose a device simulating car gas installation work, and responding to changes in various parameters affecting the gas dosage. It discusses the nature of the action constructed in the control of gas injection process, and presents some of its features by performing stand tests.

**Keywords:** Car gas installation, control, construction of the gas system, the simulation work, research, quality improvement, correction function

## 1. WPROWADZENIE

Jak wiadomo, zasoby ropy naftowej są ograniczone, a co za tym idzie ograniczona jest ilość paliw ropopochodnych, takich jak m.in. benzyna. Szacuje się, że przybliżony czas wyczerpania się zasobów ropy naftowej to ok. 50 lat. Dlatego zasadny wydaje się rozwój technologii, pozwalający na zasilanie silników samochodowych gazami. Polska należy do czołówek krajów Europy, w których stosuje się gaz LPG jako paliwo do napędu pojazdów samochodowych. Rozpowszechnienie stosowania gazu LPG związane jest ze stosunkowo niskimi cenami tego paliwa, co z kolei związane jest z niską akcyzą na propan-butan. W efekcie, z każdym rokiem na polskich drogach pojawia się coraz więcej samochodów z instalacją gazową. Kolejnym powodem coraz częstszego wykorzystywania gazu LPG do zasilania silników samochodowych jest ciągle unowocześnianie i podnoszenie standardów instalacji gazowych, które doprowadziło do niemal całkowitego zatarcia granicy pomiędzy silnikami zasilanymi benzyną a gazem LPG [8].

## 2. ZASILANIE POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH PALIWAMI GAZOWYMI

Aby wykorzystanie paliw gazowych do zasilania silników samochodowych przyniosło oczekiwane rezultaty, takie jak zwiększenie ekonomii jazdy, zmniejszenie emisji substancji szkodliwych dla środowiska, przy jednoczesnym utrzymaniu takich samych osiągnięć silnika jak w przypadku zasilania benzynowego, należy:

- doprowadzić do uzyskania optymalnego kąta wyprzedzenia zapłonu,
- w sposób automatyczny przeprowadzać regulację składu mieszanki w pętli sprzężenia zwrotnego przez sondę lambda,
- regulować sekwencję wtrysku gazu do kolektora ssącego silnika,
- optymalizować stopień sprężania,
- optymalizować fazy rozrządu,
- zastosować bezpośredni wtrysk paliwa do cylindra [1,5,2].

Istotnym elementem w dążeniu do zminimalizowania różnicy w osiągnięciach silnika, między jednostkami zasilanymi benzyną a jednostkami gazowymi, jest precyzja dawkowania paliwa gazowego. Ilość wtryskiwanego paliwa powinna odpowiadać aktualnemu obciążeniu silnika, a dokładniej – chwilowemu zapotrzebowaniu na paliwo.

Precyzje dawkowania zapewniają systemy, które określają wielkość dawki paliwa na podstawie sygnałów, szczytanych przez sterowniki benzyny, informujących o:

- obciążeniu silnika,
- zawartości tlenu w spalinach,
- prędkości obrotowej silnika,
- temperaturze powietrza zasysanego,
- temperaturze cieczy chłodzącej,
- wartości ciśnienia atmosferycznego,
- położeniu przepustnicy [5,1].

### 3. URZĄDZENIE STERUJĄCE PROCESEM WTRYSKU PALIWA GAZOWEGO W UKŁADZIE „MASTER – SLAVE”

W celu przeprowadzenia badań polegających na określeniu zależności pomiędzy poszczególnymi parametrami odczytywanymi przez sterownik gazowy a czasem otwarcia wtryskiwacza gazowego, a także w celu zobrazowania pracy systemu sterowania samochodową instalacją gazową skonstruowano urządzenie, które w warunkach pozasamochodowych będzie ukazywać pracę sterownika gazowego oraz połączonego z nim wtryskiwacza gazowego. Głównym problemem tego zadania było zasymulowanie sygnałów, generowanych w pojeździe samochodowym, odczytywanych przez sterownik gazowy. Na rys. 4.1 przedstawiono schemat połączeń elektrycznych, które umożliwiają prawidłowy przepływ sygnałów, docierających do sterownika gazowego podczas pracy samochodowej instalacji gazowej. W powstałym urządzeniu badawczym, wszystkie te sygnały zostały zastąpione przez odpowiednio dobrane generatory sygnałów, potencjometry, a także dzielniki napięć. Kolejnymi etapami były zasilenie sterownika gazowego oraz zapewnienie sterowania poziomem generowanych sygnałów. Dodatkowo, dzięki wyposażeniu stanowiska w gniazdo diagnostyczne możliwe jest podłączenie komputera do stanowiska badawczego, co pozwoli dokonać obserwacji parametrów oraz procesów zachodzących po zmianie ich ustawienia. Sygnały konieczne do zasymulowania w celu zapewnienia prawidłowego działania sterownika gazowego to:

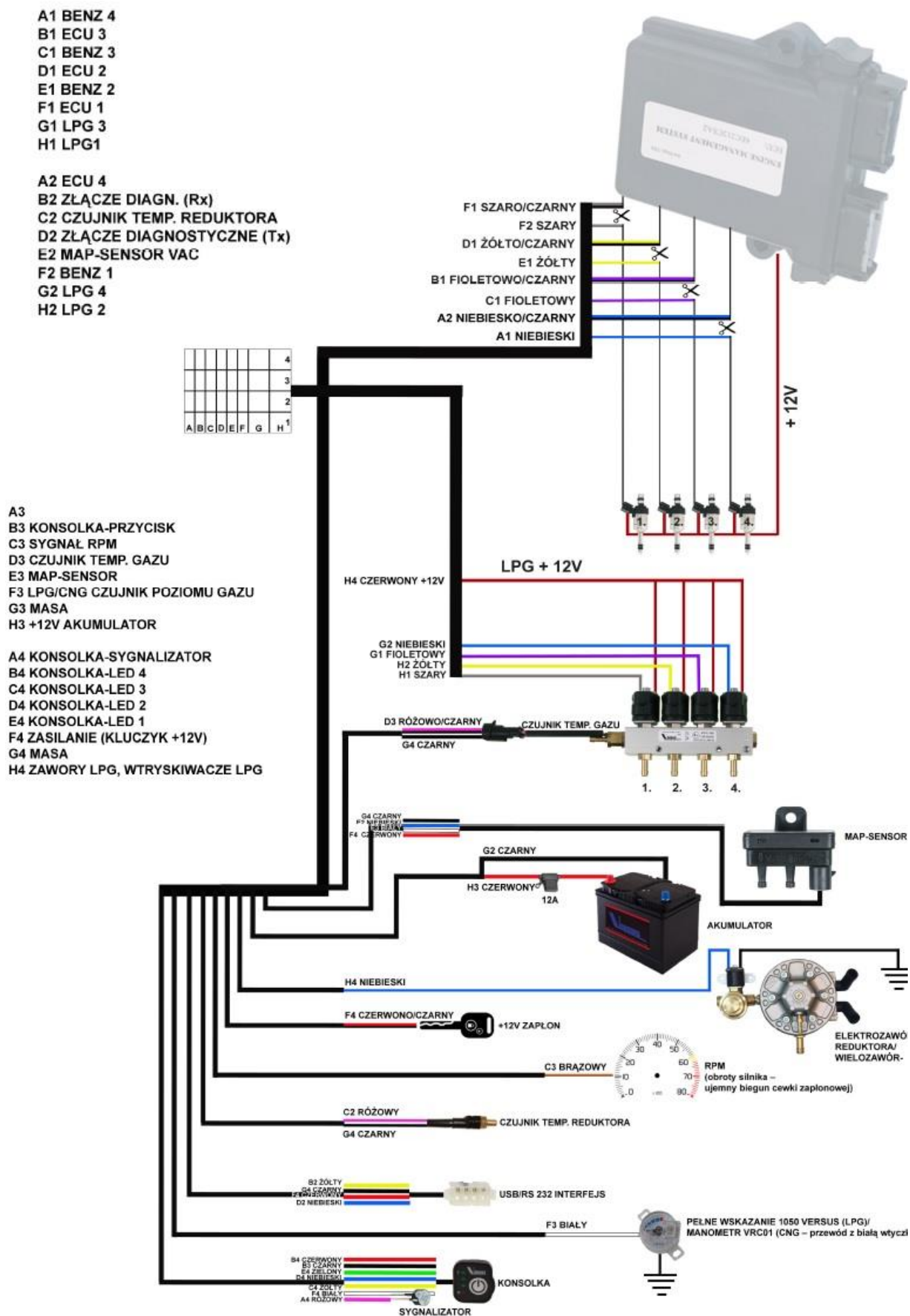
- sygnał temperatury reduktora,
- sygnał temperatury gazu,
- sygnał prędkości obrotowej wału korbowego silnika,
- sygnał obciążenia silnika,
- czas otwarcia wtryskiwaczy benzynowych,
- sygnał ilości gazu w zbiorniku.

Powstałe urządzenie symulacyjne składa się z następujących elementów:

- generatora fali prostokątnej, służącego do symulacji czasu otwarcia wtryskiwacza benzynowego,
- generatora fali prostokątnej, służącego do symulacji prędkości obrotowej wału korbowego,
- potencjometru 20 k $\Omega$ , służącego do symulacji temperatury LPG,
- potencjometru 20 k $\Omega$ , służącego do symulacji temperatury reduktora,
- potencjometru 10 k $\Omega$ , służącego do symulacji stanu paliwa w zbiorniku,
- dzielnika napięcia, służącego do symulacji obciążenia silnika,
- wyprowadzeń, umożliwiających podłączenie oscyloskopu i śledzenie generowanych sygnałów,
- gniazda, które umożliwiają połączenie urządzenia z komputerem,
- przełącznika LPG\BENZ wraz z wyświetlaczem poziomu paliwa,
- oprogramowania firmy Versusgas, które umożliwiają obserwacje zmian parametrów na ekranie komputera,
- sterownika gazowego firmy Versusgas.

Schemat połączeń elektrycznych przedstawiono na rys. 1, natomiast widok urządzenia oraz przykładowy widok okna programu diagnostycznego na rys. 2 i 3.

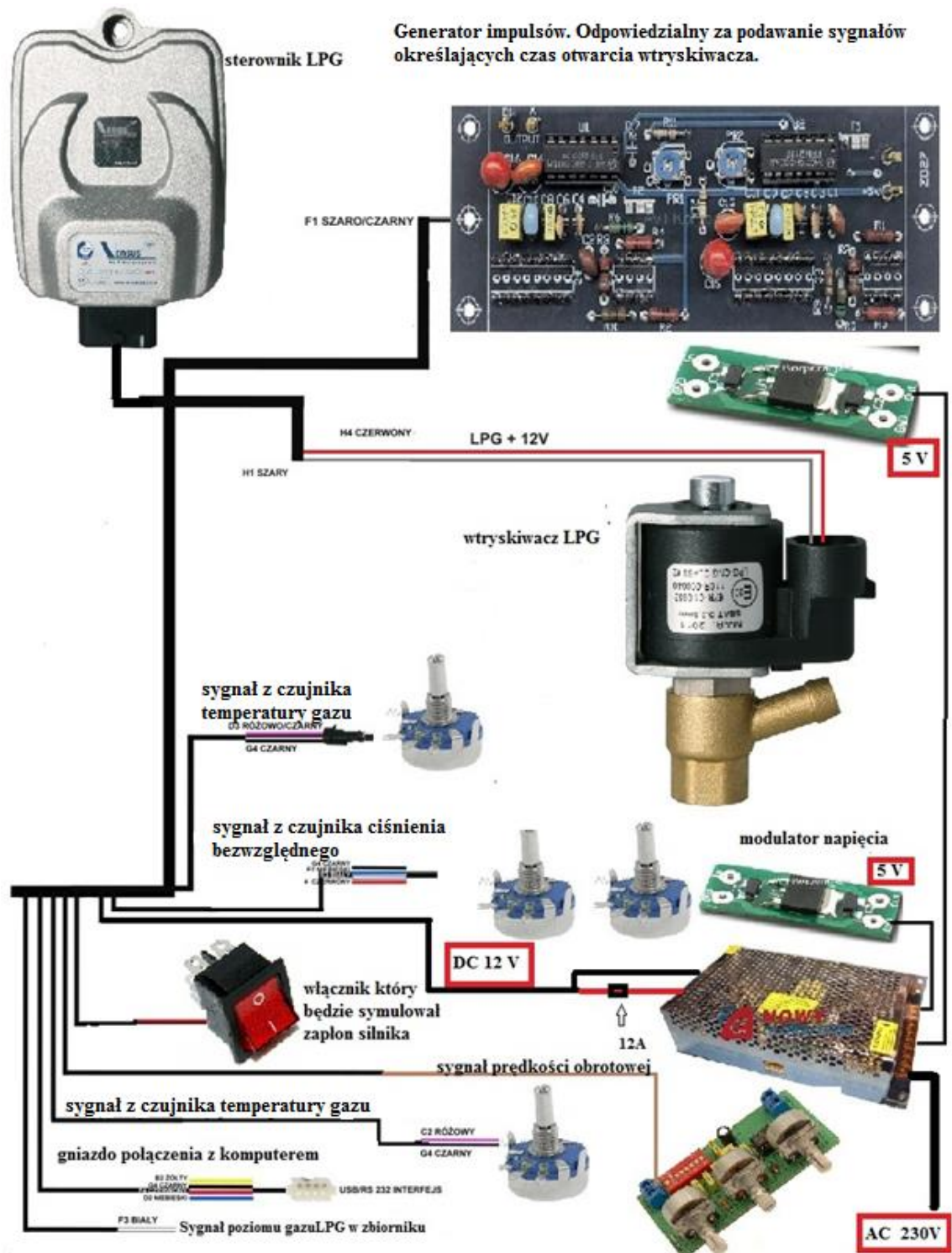
Sposób zastąpienia połączeń elektrycznych pokazanych na rys. 1, przedstawiony został na rys. 4.



Rys. 1. Schemat połączeń elektrycznych dla systemu Versusgas MV4 [3]  
 Fig. 1. Wiring diagram for the system Versusgas MV4 [3]







Rys. 4. Schemat wiązki elektrycznej mechatronicznej makiety sterowania wtryskiem LPG

Fig. 4. Wiring diagram The Mechatronic Control Model

#### 4. BADANIA SYMULACYJNE

W ramach badań stanowiskowych określono kilka istotnych zależności, kształtujących przebieg zmian sygnału sterującego wtryskiwaczem gazowym, w tym między innymi:

- zależności pomiędzy prędkością obrotową wału korbowego a czasem otwarcia wtryskiwacza benzynowego,
- zależności pomiędzy czasem otwarcia wtryskiwacza benzynowego a czasem otwarcia wtryskiwacza gazowego, przy stałym ciśnieniu obciążenia 120 kPa i zmiennej temperaturze,
- zależności pomiędzy czasem wtrysku wtryskiwacza benzynowego a czasem wtrysku wtryskiwacza gazowego, przy stałej temperaturze 70°C i zmiennym ciśnieniu obciążenia.

Czas otwarcia wtryskiwacza gazowego zmodyfikowany jest w stosunku do czasu otwarcia wtryskiwacza benzyny przez funkcję adaptacyjną.

Funkcja adaptacyjna opisana jest następującą zależnością:

$$t_{wgaz} = t_{wbenz} * (k_1 * k_2 * k_3 * k_4), \quad (1)$$

gdzie:

$t_{wgaz}$  - czas otwarcia wtryskiwacza gazowego,

$t_{wbenz}$  - czas otwarcia wtryskiwacza benzynowego,

$k_1$  - funkcja korygująca ze względu na temperaturę parownika-regulatora,

$k_2$  - funkcja korygująca ze względu na ciśnienie paliwa,

$k_3$  - funkcja korygująca ze względu na temperaturę paliwa,

$k_4$  - funkcja korygująca uwzględniająca różnice fizykochemiczne paliw oraz wydatek wtryskiwaczy  $k_4=f(n*l)$ ,

$n$  - prędkość obrotowa silnika [l/min],

$l$  - obciążenie silnika [%].

#### 5. WNIOSKI

Wnioski z przeprowadzonych badań stanowiskowych są następujące:

1. Na zmianę czasu wtrysku wtryskiwacza gazowego mają wpływ:
  - temperatura LPG,
  - ciśnienie w kolektorze dolotowym,
  - temperatura parownika-regulatora,
  - ciśnienie paliwa.
2. Przy temperaturze LPG równej 70°C i ciśnieniu obciążenia równym 80 kPa oraz prędkości obrotowej od 3389 do 4290 obr\min wtryskiwacz wchodzi w tryb wtrysku ciągłego.
3. Układ przełączy się na zasilanie benzyną, gdy ciśnienie obciążenia spadnie poniżej 80 kPa.

4. Przy obciążeniach 80-100 kPa mamy do czynienia z dużymi różnicami czasów wtrysku benzyny LPG.
5. Przy obciążeniach rzędu od 120 do 160 kPa różnica pomiędzy czasem wtrysku benzyny i gazu jest stosunkowo niewielka.
6. W warunkach rzeczywistych (w pojeździe samochodowym) przy prędkościach obrotowych powyżej 6000 obr/min wtryskiwacz przechodzi w tryb „wtrysku ciągłego”, co wynika z bezwładności elementów składowych wtryskiwacza. Zatem, wartości odczytywane i zestawiane na wykresach powyżej 6000obr/min traktujemy jako wartości poglądowe, możliwe do odczytu jedynie na stanowisku badawczym.

Opracowane urządzenie symulujące i sterujące pracą sterownika gazowego pełni funkcję pomocy dydaktycznej dla studentów Politechniki Śląskiej. Urządzenie to umożliwia symulację pracy układu wtrysku gazowego w warunkach laboratoryjnych, zmianę istotnych dla pracy całego układu parametrów, takich jak temperatura LPG, temperatura reduktora, obciążenie silnika, czas wtrysku wtryskiwacza benzynowego oraz regulacja prędkości obrotowej wału korbowego. Dodatkowo, dzięki wyposażeniu stanowiska w gniazdo diagnostyczne i skonfigurowaniu go z odpowiednim oprogramowaniem firmy Versusgas, możliwa jest obserwacja wszystkich zmian na ekranie komputera, symulacja nieprawidłowości działania układu, odczyt i usuwanie kodów błędów, mapowanie pracy układu oraz wiele innych funkcji, przydatnych w procesie nauki.

## Bibliografia

1. Flekiewicz B. 2006. „Ocena wpływu funkcji adaptacji czasu wtrysku na wybrane wskaźniki pracy silników ZI zasilanych paliwem gazowym”. Rozprawa doktorska, Katowice: Wydział Transportu Politechniki Śląskiej. [In Polish: “Evaluation of the impact feature adaptation of the injection time on selected indicators of the work of SI engines for gaseous fuels”. PhD thesis, Katowice: Faculty of Transport, Silesian University of Technology].
2. Hansub Sim, Lee Kangyoon, Chung Namhoon, Sunwoo. 2005. “A study on the injection characteristic of a liquid-phase liquefied petroleum gas injector for air-fuel ratio”. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering* 219(8): 1037-1046.
3. *Materiały techniczne udostępnione przez firmę Versus*. [In Polish: *Technical materials provided by Versus*].
4. Merkiś J., I. Pielecha. 2004. *Alternatywne paliwa i układy napędowe pojazdów*. [In Polish: *Alternative fuels and drive systems of vehicles*]. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej.
5. Romaniszyn K.M. 2007. *Alternatywne zasilanie samochodów benzyną oraz gazami LPG i CNG*. [In Polish: *Alternative power cars and petrol gas LPG and CNG*]. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
6. <http://www.autokult.pl>
7. <http://www.gazeo.pl>
8. <http://www.versusgas.pl>