

## Experimental research on the influence of the pulse injector control parameters on its flow rate

*The paper presents the results of the impact of the control parameters on the fuel mass flow from the injector. The control parameters examined in the paper were: frequency and pulse width modulation of the modulated control signal (the second part of the injector control signal). The analysis covers 6 injector types of different design of the valve element and the coil. The experiments have shown that the frequency of the signal does not affect the injector performance, contrary to pulse modulation affecting the injector performance significantly.*

Key words: injector, mass flow, control, LPG, CNG

### Badania eksperymentalne wpływu parametrów sterowania na wydatek impulsowych wtryskiwaczy gazu

*W artykule przedstawiono wyniki badań stanowiskowych wpływu parametrów sterowania na wydatek wtryskiwacza. Jako parametry sterowania rozumiano wypełnienie oraz częstotliwość sygnału modulowanego, czyli drugiej części sygnału sterowania wtryskiwaczem. Przedstawiono wyniki badań stanowiskowych 6 typów wtryskiwaczy różniących się konstrukcją zarówno elementu zaworowego, jak i cewki elektromagnetycznej. Wykazano, że częstotliwość sygnału prawie nie wpływa na wydajność wtryskiwaczy, w przeciwieństwie do wypełnienia, które wpływa znacznie.*

Słowa kluczowe: wtryskiwacz, wydatek, sterowanie, LPG, CNG

#### 1. Introduction

The fundamental trend in the development of motor transport is the reduction of the emission of carbon dioxide [1, 2]. This is done by optimizing the combustion process, aftertreatment and by application of fuels of lower carbon content [3]. Instead of high carbon content fuels such as gasoline and diesel fuel, liquid fuels of lower carbon content are introduced (ethanol and methanol) and well as gaseous fuels (propane-butane – LPG, methane – CNG, hydrogen).

Today, most of the fuel systems fitted in spark ignition engines are based on sequential injection systems (injection to the intake manifold or directly to the combustion chamber) using pulse injectors. These injectors are two state valves (open-close) in the nominally closed position [4].

Figure 1 presents an example design of a gas pulse injector. This is a single plate injector calibrated by the stroke of the valve element. The fuel is fed via the intake duct to the chamber above the valve seat. The valve element in this injector is a plate moving axially between the coil and the valve seat closing the flow by a sealing element at its bottom. The injector mass flow (understood as an average mass flow of the fuel) is calibrated by the stroke of the valve element, i.e. the lateral surface of the cylinder formed between the outlet channel and the sealing element.

The position of the valve element (the plate in this case) depends on the balance of two forces:

- 1) the pressing force of the valve element resulting from the difference of pressures below and above the element; it depends on the injector operating conditions (feed pressure and target pressure) and the design of the injector

#### 1. Wprowadzenie

Podstawowym kierunkiem rozwoju transportu samochodowego jest obniżanie emisji dwutlenku węgla [1, 2]. Uzyskuje się to dzięki optymalizacji procesu spalania i oczyszczania oraz przez stosowanie paliw o zmniejszonej zawartości węgla [3]. Zamiast paliw wysokowęglowych (takich jak benzyna i olej napędowy) wprowadzane są paliwa o znacznie mniejszej zawartości węgla – zarówno paliwa ciekłe (etanol i metanol), jak i paliwa gazowe (propan-butan – LPG, metan – CNG, wodór).

Obecnie większość układów zasilania paliwem silników spalinowych o zapłonie iskrowym opiera się na systemach wtrysku sekwencyjnego (do kolektora dolotowego lub bezpośrednio do cylindra), wykorzystujących wtryskiwacze impulsowe. Wtryskiwacze te są zaworami dwustanowymi (otwarty, zamknięty) normalnie zamkniętymi [4].

Na rysunku 1 przedstawiono przykładową konstrukcję impulsowego wtryskiwacza gazu WGs. Jest to wtryskiwacz płytkowy, kalibrowany wznosem elementu zaworowego, pojedynczy. Paliwo doprowadzane jest kanałem dolotowym do komory znajdującej się nad gniazdem zaworowym. Elementem zaworowym w tym wtryskiwaczu jest płytka poruszająca się osiowo pomiędzy cewką a gniazdem zaworowym, zamykająca przepływ za pomocą elementu uszczelniającego znajdującego się na jej spodzie. Wydajność wtryskiwacza (rozumiana jako średni strumień masy wypływającego paliwa) kalibrowana jest za pomocą skoku elementu zaworowego, czyli powierzchni bocznej walca tworzonego między kanałem wylotowym a elementem uszczelniającym.

Położenie elementu zaworowego (w tym przypadku płytki) zależy od bilansu dwóch sił:

- (area of the valve seat, distribution of pressures during the fuel flow),
- 2) the force of electromagnetic attraction of the valve element to the coil; it depends on the design of the electromagnetic circuit and the current flowing through the coil.

In some injector designs there is an additional force resulting from the operation of the spring-loaded element pushing the valve element to the valve seat [4]. The balance of these forces determines the position of the valve element, thus the flow of fuel through the injector.

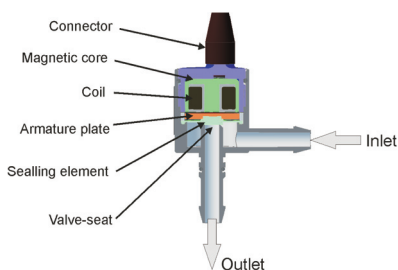


Fig. 1. WGs gas pulse injector

Rys. 1. Impulsowy wtryskiwacz gazu WGs

The force generated by the coil is of particular importance here. As shown in [5], the value of this force determines the injector-opening rate, which is why increasingly stronger coils are becoming commonplace. This, however, requires the applica-

tion of low resistance coils, which results in a considerable increase in power consumption compared to gasoline injectors (approx. 1 A to 8 A on average) [4, 5]. Such an increase in undesired not only because of energy demand partly obtained from fuel (from the alternator powered by the engine) but release of large amounts of heat in the coil circuit after the injector opening [6].

For this reason, injector control with voltage standby is applied. It consists in dividing of the control signal into two parts (Fig. 2): continuous pulse and modulated control. The first part of the control pulse – a continuous pulse ( $t_{imp\_con}$ ) is responsible for the quickest possible coil charge, hence injector opening. The second part – a modulated pulse ( $t_{imp\_PWM}$ ) is responsible only for maintaining of the injector's open position. It is a modulated signal of constant frequency and duty cycle.

The frequency and the duty cycle can be adjusted by the control unit. A question arises, however, if the frequency

- 1) siły docisku elementu zaworowego wynikającej z różnicy ciśnień nad i pod tym elementem; zależy ona od warunków pracy wtryskiwacza (ciśnienia zasilania oraz ciśnienia odbioru) oraz konstrukcji samego wtryskiwacza (pola powierzchni gniazda zaworowego, rozkładu ciśnień podczas przepływu),
- 2) siły elektromagnetycznego przyciągania elementu zaworowego do cewki elektromagnetycznej; zależy ona od konstrukcji obwodu elektromagnetycznego oraz prądu przepływającego przez cewkę.

W niektórych konstrukcjach wtryskiwaczy występuje jeszcze dodatkowa siła wynikająca z działania elementu sprężystego dopychającego element zaworowy do gniazda zaworowego [4]. Bilans tych sił determinuje położenie elementu zaworowego, a przez to wypływ paliwa z wtryskiwacza.

Szczególnie istotnym elementem jest tu siła generowana przez cewkę. Jak przedstawiono w pracy [5], wielkość tej siły determinuje szybkość otwierania wtryskiwacza, dlatego stosowane są coraz silniejsze cewki. Wymaga to jednak stosowania cewek o niskiej rezystancji. Powoduje to znaczny wzrost poboru prądu przez taki wtryskiwacz w stosunku do wtryskiwaczy benzynowych (średnio z około 1 A do nawet 8 A) [4, 5]. Taki wzrost jest niekorzystny nie tylko ze względu na zapotrzebowanie energii pobieranej pośrednio z paliwa (poprzez alternator napędzany z wału korbowego), ale przede wszystkim ze względu na wydzielanie dużych ilości ciepła w obwodzie cewki już po otwarciu wtryskiwacza [6].

Z tego względu stosuje się sterowanie z podtrzymaniem prądowym. Polega ono na podzieleniu sygnału sterującego na dwie części (rys. 2): impuls ciągły i sterowanie modulowane. Pierwsza część impulsu sterującego – impuls ciągły ( $t_{imp\_con}$ ) odpowiada za jak najszybsze naładowanie cewki, a dzięki temu otwarcie wtryskiwacza. Druga część – impuls modulowany ( $t_{imp\_PWM}$ ) odpowiada jedynie za podtrzymanie otwarcia wtryskiwacza. Jest ona sygnałem modulowanym o stałej częstotliwości i wypełnieniu.

Wielkość zarówno częstotliwości, jak i wypełnienia może być regulowana przez jednostkę sterującą. Pojawia się jednak pytanie, czy wartość częstotliwości oraz stopnia wypełnienia wpływają na wydatek wtryskiwacza? Niniejszy artykuł stanowi na nie odpowiedź.

## 2. Opis badań

### 2.1 Obiekty badań

Celem pracy jest analiza wpływu częstotliwości i wypełnienia sygnału modulowanego sterowania wtryskiwaczem na jego wydajność dla różnych konstrukcji impulsowego wtryskiwacza gazu.

Do badań wybrano typowe dla rynku instalacji gazowych rozwiązania konstrukcyjne impulsowych wtryskiwaczy gazu. Różnią się one zarówno elementem zaworowym (płytką, tłoczek), metodą kalibracji (średnicą otworu lub skokiem), jak i możliwością grupowania (pojedyncze, możliwe do grupowania, szyny paliwowe). Schemat podziału typów badanych wtryskiwaczy przedstawiono na rysunku 3, a dane techniczne w tabeli 1.

Badania przeprowadzono na 6. konstrukcjach:

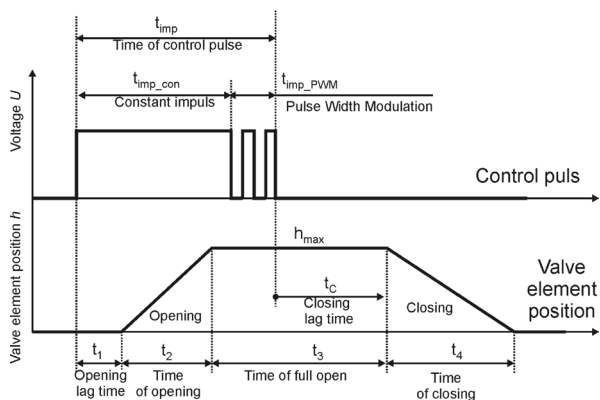


Fig. 2. Control pulse and the position of the valve element in time

Rys. 2. Przebieg czasowy impulsu sterującego oraz położenia elementu zaworowego

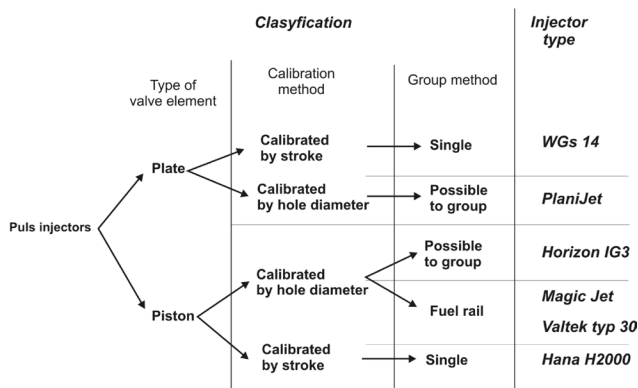


Fig. 3. Classification of the research objects

Rys. 3. Klasyfikacja obiektów badań

and duty cycle are impactful on the fuel mass flow from the injector? This paper attempts to address this issue.

## 2. Research description

### 2.1. Research objects

The aim of this work is the analysis of the influence of the injector control modulated signal frequency and duty cycle on the efficiency of different types of gas injectors.

Typical LPG injector designs have been selected for the tests. They vary in terms of design of the valve elements (plate, piston), calibration method (hole diameter or valve stroke) and the possibility of fitting in groups (single, or multiple fuel rails). The diagram of the division of the tested injectors has been shown in Fig. 3 and the technical specifications in Table 1.

The tests were performed on 6 units:

1. Hana H2000 by Hana Engineering, Korea,
2. Horizon IG3 by Rail SpA, Italy,
3. Magic Jet by HL Propan s.r.o., Czech Republic,
4. Valtek type 30 by Valtek SpA Unipersonale, Italy,

1. Hana H2000 firmy Hana Engineering, Korea,
2. Horizon IG3 firmy Rail SpA, Włochy,
3. Magic Jet firmy HL Propan s.r.o., Czechy,
4. Valtek typ 30 firmy Valtek SpA Unipersonale, Włochy,
5. PlaniJet firmy Planiplastic Ireneusz Moćko, Polska,
6. WG's 14 firmy BD Plus Andrzej Pryzowicz, Polska.

### 2.2. Stanowisko badawcze

Podstawą analiz były badania stanowiskowe na stanowisku pozasilnikowym, umożliwiającym badanie impulsowych wtryskiwaczy gazu zasilanych powietrzem. Stanowisko składa się z (rys. 4):

- a) układu pneumatycznego obejmującego sekcję przygotowania powietrza, stabilizacji jego przepływu, wtryskiwacza gazu, sekcji stabilizacji przepływu i przepływomierza masowego,
- b) systemu sterowania wraz z układem zasilania elektrycznego umożliwiającego regulację napięcia w pożądanym zakresie – prostownik z filtrem RC zasilany przez auto-transformator,
- c) systemu pomiarowego NI cDAQ-9178 z kartami pomiarowymi NI-9215 BNC mierzącymi sygnały:
  - sygnał sterujący (sygnał przekazywany wewnątrz jednostki sterującej z procesora do klucza prądowego),
  - napięcie w obwodzie cewki elektromagnetycznej,
  - prąd w obwodzie cewki elektromagnetycznej,
  - ciśnienie zasilania wtryskiwacza,
  - ciśnienie za wtryskiwaczem mierzone w dwóch odległościach od dyszy,
  - przyspieszenia w osi ruchu elementu zaworowego.

Stanowisko wyposażone jest w układ sterowania opracowany przez pracowników Politechniki Lubelskiej, pozwalający na dowolne sterowanie impulsowymi wtryskiwaczami gazu. Układ ten umożliwia (z poziomu programu na komputerze – rys. 5) sterowanie wtryskiwaczem z określoną:

- a) częstotliwością występowania impulsów,

Table 1. Technical parameters of the tested injectors

Tabela 2. Parametry techniczne badanych wtryskiwaczy

Name/konstrukcja	Hana H2000	Horizon IG3	Magic Jet	Valtek, type 30	PlaniJet	WG's14
Resistance/rezystancja	1.9 Ω	2.8 Ω	2.0 Ω	3.0 Ω	4.0 Ω	3.0 Ω
Voltage/napięcie zasilania	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V	12 V
Operating pressure/ciśnienie pracy	50–300 kPa	50–200 kPa	50–300 kPa	50–250 kPa	50–300 kPa	50–350 kPa
Maximum pressure/maksym. ciśnienie	450 kPa	450 kPa	450 kPa	450 kPa	450 kPa	450 kPa
Time of continuous pulse/czas impulsu ciągłego	3.2 ms	2.8 ms	4.0 ms	4.5 ms	4.0 ms	1.7 ms
Modulated signal duty cycle/wypełnienie sygnału modulowanego	40% ±10%	50% ±20%	40% ±10%	> 30%	40% ±10%	30%
Modulated signal frequency/częstotliwość sygnału modulowanego	10 kHz	10 kHz	10 kHz	10 kHz	10 kHz	10 kHz
Opening delay time <sup>1</sup> /czas opóźnienia otwierania	2.9 ms	2.5 ms	2.2 ms	3.3 ms	1.7 ms	1.0 ms
Switch off time <sup>1</sup> /czas wyłączenia	1.2 ms	2.0 ms	1.0 ms	2.2 ms	2.5 ms	1.2 ms
Calibration/kalibrowanie	by stroke/ kalibracja skokiem	by hole diameter/ otworem dyszy średnice from 1.0 do 3.5 mm	by hole diameter/ otworem dyszy średnice from 1.0 do 3.0 mm	by hole diameter/ otworem dyszy średnice from 1.0 do 4.0 mm	by hole diameter/ otworem dyszy średnice from 1.0 do 3.0 mm	by stroke/ kalibracja skokiem
Operating temperature range/zakres temperatury pracy	−40 °C–120 °C	−20 °C–120 °C	−20 °C–120 °C	−20 °C–120 °C	−20 °C–120 °C	−20 °C–120 °C

<sup>1</sup> at the operating pressure of 100 kPa and the control pulse time of 12 ms/przy ciśnieniu zasilania 100 kPa i czasie impulsu sterującego 12 ms

5. PlaniJet by Planiplastic Ireneusz Moćko, Poland,
6. WGs 14 by BD Plus Andrzej Przyzowicz, Poland.

## 2.2. Test stand

The analyses were performed on a non-engine test stand for pulse gas injectors fed with air. The test stand is composed of (Fig. 4):

- a) pneumatic system including the section of air preparation, airflow stabilization, gas injector, its flow stabilization and a mass flow meter
- b) control systems including the electrical power supply allowing voltage adjustment in a required range – voltage converter with an RC filter powered by the autotransformer,
- c) measurement system (NI cDAQ-9178) with measurement cards (NI-9215 BNC) measuring the following signals:
  - control signal (signal sent within the control unit to the switch),
  - voltage in the electromagnetic coil circuit,
  - current in the electromagnetic coil circuit,
  - injector feed pressure,
  - pressure downstream of the injector measured at two distances from the nozzle,
  - acceleration in the movement axis of the valve element.

The test stand is equipped with a control system developed by engineers of Lublin University of Technology. The system allows a free adjustment of the gas pulse injectors (from the software installed on a PC – Fig. 5) with a given:

- a) pulse frequency,
- b) total pulse time,
- c) time of continuous pulse,
- d) frequency of the modulated pulse,
- e) duty cycle of the modulated pulse.

## 2.3. Scope of research

The scope of the investigations included two series of tests for each type of gas pulse injector. The following trials were assumed:

1. Change of the duty cycle (from 10 to 100% at a step of 10%) at constant frequency (10 kHz).
2. Change of the pulse frequency (2, 5, 7, 10, 13 and 15 kHz) at a duty cycle of 30%.

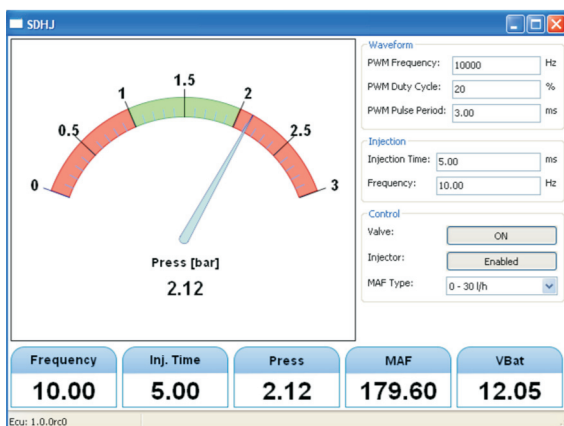


Fig. 5. SDHJ software interface for the test stand control

Rys. 5. Ekran oprogramowania SDHJ do obsługi sterowania stanowiska badawczego

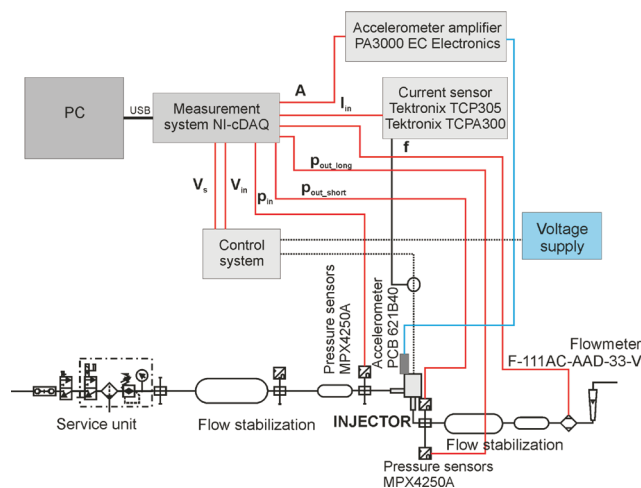


Fig. 4. Diagram of the test stand

Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego

- b) czasem impulsu całkowitego,
- c) czasem impulsu ciągłego,
- d) częstotliwością impulsu modulowanego,
- e) wypełnieniem impulsu modulowanego.

## 2.3. Zakres badań

Zakres badań obejmował przeprowadzenie dwóch serii badawczych dla każdego typu impulsowego wtryskiwacza gazu. Założono wykonanie następujących prób:

1. Zmianę stopnia wypełnienia (od 10 do 100% co 10%) przy stałej częstotliwości (10 kHz).
2. Zmianę częstotliwości impulsów (2, 5, 7, 10, 13 i 15 kHz) przy wypełnieniu (30%).

Wybór wartości stałych wynikał z tego, że są to wartości typowe dla pracy impulsowego wtryskiwacza gazu w warunkach eksploatacyjnych [4].

Przyjęto następujące stałe parametry pracy wtryskiwacza:

- ciśnienie odbioru (ciśnienie, do którego prowadzony był wtrysk): 100 kPa,
- czynnik roboczy: powietrze,
- temperatura czynnika roboczego: 25±5 °C,
- badania w warunkach ustalonych,
- czas impulsu całkowitego: 6 ms,
- czas impulsu ciągłego: 3 ms.

W każdym punkcie badawczym pomiary wykonano pięciokrotnie, a wyniki stanowią wartość uśrednioną.

## 3. Wyniki badań

W pierwszym cyklu badań przeprowadzono analizę wpływu stopnia wypełnienia sygnału modulowanego na wydajność wtryskiwacza (rys. 6).

Jak można zauważyć, dla wszystkich konstrukcji wzrost stopnia wypełnienia powoduje wzrost wydatku wtryskiwacza. Zmiana ta jest jednak różna w zależności od konstrukcji. Dla lepszego zobrazowania tej zależności wyznaczono zmianę wydatku w stosunku do sterowania standardowego, czyli wypełnienia wynoszącego 30%.

Na rysunku 7 przedstawiono zmianę wydatku wtryskiwacza przy zmianie stopnia wypełnienia w stosunku do

The selection of the constant values resulted from the fact that these are values typical of gas pulse injectors under operation [4].

The following constant operating parameters were adopted:

- release pressure (target pressure of the injector): 100 kPa,
- medium: air,
- medium temperature:  $25 \pm 5$  °C,
- tests under stationary conditions,
- total pulse time: 6 ms,
- constant pulse time: 3 ms.

At each research point, the measurements were performed five times and the results were averaged.

### 3. Results

In the first stage of the research the analysis of the impact of the modulated signal duty cycle on the injector efficiency was performed (Fig. 6).

As can be observed, for all types of the injectors the increase in the duty cycle results in the increase in the injector flow rate. The change is different depending on the injector type. For better description of this relation, a change of the injector flow rate against standard duty cycle (30%) was determined.

Figure 7 presents the change in the injector flow rate after modifying the modulated signal duty cycle against the duty cycle of 30%. After statistical approximation analysis it was observed that this relation could be described with a curve of degree two. It is visible that most of the injectors remain within the variability range of 0.97 to 1.04, except Valtek that significantly deviated from the range, showing a variability from 0.94 to 1.10. The smallest variability was observed for WGs14 and Magic Jet injectors (from 0.99 to 1.01).

In the second stage of the research, an analysis of the influence of frequency rate of the modulated signal on the injector efficiency was performed (Fig. 8).

As can be observed, for all types of injectors the change in the signal frequency does not change the injector flow rate. For

sterowania o wypełnieniu 30%. Po przeprowadzeniu analizy statystycznej aproksymacji stwierdzono, że zależność ta może być opisana krzywą drugiego stopnia. Widoczne jest, że większość wtryskiwaczy mieści się w zakresie zmienności od 0,97 do 1,04 a jedynie wtryskiwacz Valtek znacznie odbieg od tego zakresu, wykazując zmienność na poziomie od 0,94 do 1,10. Najmniejsze zmienności wykazują wtryskiwacze WGs14 i Magic Jet (od 0,99 do 1,01).

W drugim cyklu badań przeprowadzono analizę wpływu stopnia częstotliwości sygnału modulowanego na wydajność wtryskiwaczy (rys. 8).

Jak można zauważyć, dla wszystkich konstrukcji zmiana częstotliwości sygnału prawie nie powoduje zmiany wydatku wtryskiwacza. Dla lepszego zobrazowania tej zależności wyznaczono zmianę wydatku w stosunku do sterowania standardowego, czyli częstotliwości wynoszącej 10 kHz.

Na rysunku 9 przedstawiono zmianę wydatku wtryskiwacza przy zmianie częstotliwości sygnału modulowanego

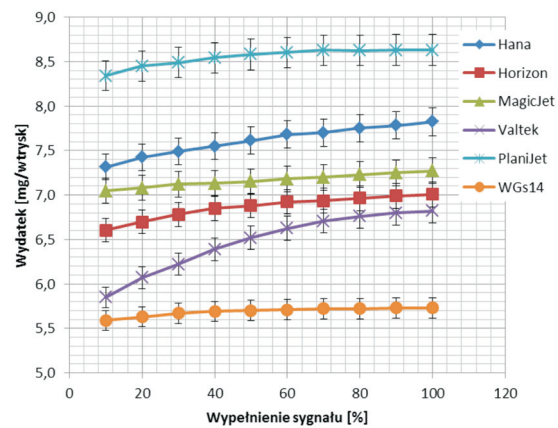


Fig. 6. The relation between the injector flow rate and the modulated signal duty cycle for individual gas pulse injectors

Rys. 6. Zależność wydatku wtryskiwacza od stopnia wypełnienia impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu

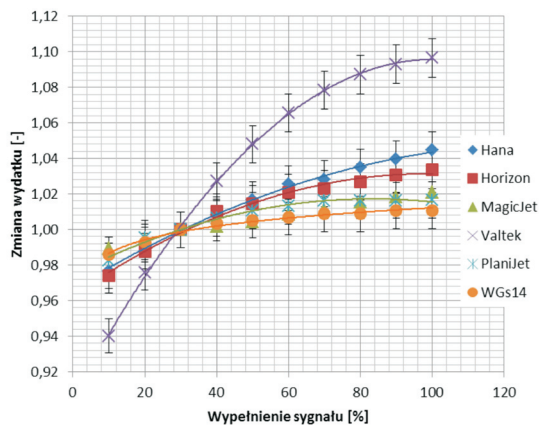


Fig. 7. Relation between the variability of the injector efficiency and the modulated signal duty cycle for individual gas pulse injectors

Rys. 7. Zależność zmienności wydatku wtryskiwacza od stopnia wypełnienia impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu

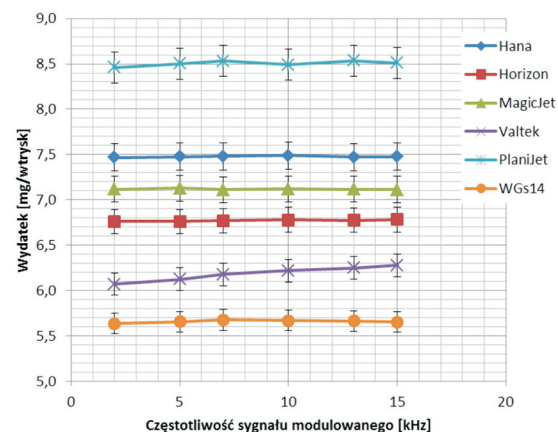


Fig. 8. The relation between the injector flow rate and the modulated pulse frequency for individual types of gas pulse injectors

Rys. 8. Zależność wydatku wtryskiwacza od częstotliwości impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu

better description of this relation, a change of the injector flow rate against standard frequency (10 kHz) was determined.

Figure 9 presents the change of the injector flow rate for varied frequencies of the modulated signal compared with the standard control of 10 kHz. Upon statistical approximation analysis it was observed that this relation could be described linearly. For most of the injector types this value is statistically constant. The only exception is the Valtek injector whose relation falls in the range from 0.98 to 1.01 in the tested frequency variation range.

#### 4. Conclusions

The analysis of the performed tests led to the following conclusions:

1. The method of control of the pulse injector is impactful on its flow rate.
2. The increase in the modulated signal duty cycle results in an increase in the injector's flow rate. This change can be described with a curve of degree two. In most of the tested types, the variability ranges from  $-3\%$  to  $+4\%$  of the flow rate against standard 30% duty cycle. The values will change depending on the duration of the control pulse, as confirmed in [4]. The change results from the influence of the current in the injector circuit on the time of its closing, as confirmed in [4, 7].
3. Changing the frequency of the modulated signal does not influence the injector flow rate. For most of the tested injector types such a relation did not take place. The only exception was the Valtek injector in the case of which such an influence was observed but it was negligibly small: approx. 2% of the change in the tested frequency range.

#### Nomenclature/Skróty i oznaczenia

CNG Compressed Natural Gas/*sprężony gaz ziemny*  
LPG Liquefied Petroleum Gas/*gaz skroplony*

#### Bibliography/Literatura

- [1] Bleischwitz R., Bader N. Policies for the transportation toward a hydrogen economy: The EU case, *Energy Policy* 38 (2010) 5388-5398.
- [2] Litschke A., Knitschky G. Future development in road freight transport regarding more environmentally friendly vehicle technology, *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 48 (2012) 1557-1567.
- [3] Kenihan S. Reducing the emissions from your council fleet. Cities for Climate Protection Australia: An ICLEI program in collaboration with the AGO, <http://www.iclei.org>, 1999.
- [4] Czarnigowski J. Teoretyczno-empiryczne studium modelowania impulsowego wtryskiwacza gazu, *Monografie Politechniki Lubelskiej*, Lublin 2012.
- [5] Czarnigowski J. The model of pulse injector opening lag time. *Combustion Engines*. 2013, 154(3), 393-398. ISSN 0138-0346.
- [6] Elbaum J. *Obwody magnetyczne*. Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1959.
- [7] Duk M., Czarnigowski J., Zyska T., Jakliński P., Iskakova A. Badania eksperymentalne wpływu wypełnienia sygnału sterującego na czas wyłączenia impulsowego wtrysku gazu, *Przegląd Elektroniczny* 2014, nr 3, vol. 90, s. 199-202, ISSN 0033-2097.

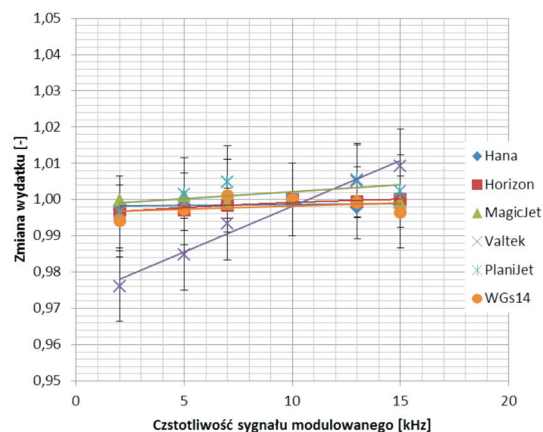


Fig. 9. The relation between the change of the injector flow rate and the frequency of the modulated pulse for individual types of gas pulse injectors

Rys. 9. Zależność zmiany wydatku wtryskiwacza od częstotliwości impulsu modulowanego dla poszczególnych konstrukcji impulsowych wtryskiwaczy gazu

w stosunku do sterowania o częstotliwości 10 kHz. Po przeprowadzeniu analizy statystycznej aproksymacji stwierdzono, że zależność ta może być opisana zależnością liniową. Dla większości konstrukcji wtryskiwaczy jest to wartość statystycznie stała. Jedyne dla wtryskiwacza Valtek występuje zależność wynosząca od 0,98 do 1,01 w badanym zakresie zmian częstotliwości.

#### 4. Podsumowanie

Analizując wykonane badania, można sformułować następujące wnioski:

1. Sposób sterowania impulsowym wtryskiwaczem gazu wpływa na jego wydatek.
2. Wzrost wypełnienia sygnału modulowanego powoduje wzrost wydatku wtryskiwacza. Zmiana ta może być opisana krzywą drugiego stopnia. W większości badanych konstrukcji zmienność ta mieści się w zakresie od  $-3\%$  do  $+4\%$  wydatku w stosunku do standardowego sterowania o 30-procentowym wypełnieniu impulsu sterującego. Wartości te będą jednak zmieniać się w zależności od czasu trwania impulsu sterującego, co wykazano w pracy [4]. Zmienność ta wynika z wpływu prądu w obwodzie wtryskiwacza na czas jego zamykania, co wykazano w pracach [4, 7].
3. Zmiana częstotliwości sygnału modulowanego nie wpływa na wydatek wtryskiwacza. Większość badanych konstrukcji nie wykazywała takiej zależności. Jedyne dla wtryskiwacza Valtek taki wpływ zauważono; jest on jednak pomijalnie mały: około 2% zmiany w badanym zakresie częstotliwości.

Jacek Czarnigowski, DSc, DEng. – Professor in the Faculty of Mechanical Engineering at Lublin University of Technology.

Dr hab. inż. Jacek Czarnigowski, prof. PL – profesor nadzwyczajny na Wydziale Mechanicznym Politechniki Lubelskiej.

e-mail: [j.czarnigowski@pollub.pl](mailto:j.czarnigowski@pollub.pl)

