

## Wpływ parametrów sekwencyjnego wtrysku ciekłego LPG na wybrane parametry użytkowe silnika spalinowego

*W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań dotyczących wpływu parametrów sekwencyjnego wtrysku ciekłego LPG na parametry użytkowe silnika spalinowego. Badania realizowano w Zakładzie Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych na silniku ZI typu MD-111E, który przystosowano do zasilania paliwem LPG w systemie wielopunktowego wtrysku paliwa do kanałów kolektora dolotowego. W badaniach realizowano wtrysk sekwencyjny pojedynczy i podwójny. Uzyskane wyniki badań świadczą o bardzo dużym wpływie parametrów wtrysku (początku wtrysku i wielkości dawki) na parametry użytkowe silnika, takie jak: moc, moment obrotowy i sprawność silnika.*

*Słowa kluczowe: system zasilania silnika spalinowego, zasilanie LPG, wtrysk sekwencyjny, wtrysk LPG w fazie ciekłej*

### The effect of injection timing parameters for liquid LPG fuel on selected operating parameters of the internal combustion engine

*This article presents selected results of scientific research concerning the influence of the LPG fuel sequential injection parameters on the operating parameters of the internal combustion engine. Research was performed in the Department of Vehicles and IC Engines on SI MD-111E engine, which has been adapted to LPG fuel supply in multi-point injection system to the branches of the inlet manifold. During the research the sequential single and double injection were performed. The tests results obtained show very significant influence of the injection parameters (onset of injection and size of the dose) on the engine operating parameters such as: engine power, torque and efficiency.*

*Key words: LPG fuelling systems, sequential fuel injection, liquid phase LPG injection*

## 1. Wprowadzenie

Równoległe do rozwoju układów zasilania olejem napędowym silników wysokoprężnych oraz układów zasilania benzyną silników o zapłonie iskrowym [8, 10] rozwijają się układy zasilania LPG [1, 2, 5, 9]. Schematycznie rozwój ten ilustruje rys. 1. Konstrukcja układów zasilania LPG silników o zapłonie iskrowym musi być odpowiednia w relacji do układów zasilania benzyną, ze względu na konieczność spełnienia limitów emisji związków toksycznych, jak również ze względu na możliwość współpracy z systemami sterowania pracą silnika i autodiagnostyki pokładowej OBD.

Uzyskanie poprawy w zakresie ograniczenia emisji związków toksycznych przez silnik benzynowy przy zasilaniu gazem LPG wymaga znacznego wysiłku przy doborze i regulacji układu sterującego pracą silnika [6, 7]. Dla zapewnienia poprawnego zaopatrzenia w paliwo we wszystkich warunkach pracy silnika niezbędne jest stosowanie elektronicznego sterowania dawką podawanego paliwa indywidualnie dla każdego cylindra, co jest stosowane przez nowe systemy zasilania.

Oferowane na rynku systemy wtryskowego zasilania LPG w fazie ciekłej do kolektora dolotowego realizują proces wtrysku analogicznie do zastosowanego procesu wtrysku benzyny [14]. Działają one na zasadzie „master-slave”, tzn. sterownikiem nadrzędnym jest sterownik systemu wtrysku benzyny, natomiast sterownik LPG jest sterownikiem podrzędnym. Proces wtrysku LPG jest zatem uzależniony od

## 1. Introduction

Simultaneously to the development of the diesel oil fuelling systems for diesel engines and gasoline fuelling systems [8, 10] for spark ignition engines LPG fuelling systems [1, 2, 5, 9] are developed. This development is presented schematically in Fig. 1. The design of the LPG fuelling systems for spark ignition engines has to be appropriate in relation to gasoline fuelling systems, because of the need to keep the compliance with the emission limits for toxic components, as well as because of the possible cooperation with engine control systems and OBD (on-board diagnostic systems).

Obtaining the improvement in the field of limiting of the toxic compounds emission by the gasoline engine while fuelling with the LPG requires a lot of effort during the selection and adjustment of the engine control system. It is necessary to assure the correct supply of the fuel in all conditions of engine operation using the electronic control of the dose of the fuel supplied individually to each cylinder, which is applied in new fuelling systems.

Systems of injection fuelling with LPG in the liquid phase to the inlet manifold offered today on the market accomplish the process of injection analogically to the process of the injection of gasoline [14]. These systems operate based on the „master-slave” principle, meaning that the controller of the gasoline injection system is the superior controller, and the LPG controller is the subordinate controller. Process of the LPG injection is in this way made dependent

parametrów wtrysku benzyny, tj. głównie od czasu wtrysku i początku wtrysku. Z uwagi na odmienne właściwości fizykochemiczne paliwa LPG w relacji do benzyny wymagane są niezbędne korekty w realizacji procesu wtrysku [2, 3, 4, 12].

W Zakładzie Pojazdów Samochodowych i Silników Spalinowych Politechniki Rzeszowskiej przeprowadzono szeroki zakres badań dotyczących wpływu parametrów sekwencyjnego wtrysku ciekłym LPG na wybrane parametry użytkowe i ekologiczne silnika spalinowego [4, 5, 6, 7]. W prezentowanej publikacji zawarto wyniki badań i ich ocenę w aspekcie parametrów użytkowych.

Analizując dane prezentowane w literaturze dotyczące wyników uzyskiwanych parametrów użytkowych przy zasilaniu benzyną w relacji do zastosowanego systemu wtrysku, okazuje się, że w przypadku wtrysku pośredniego benzyny wtrysk sekwencyjny jest znacznie korzystniejszy od wtrysku symultanicznego [11, 13]. Silnik pracujący pod obciążeniem przy wtrysku sekwencyjnym, w porównaniu z zasilaniem z wtryskiem jednoczesnym, charakteryzuje się zmniejszonym zużyciem paliwa i niższą zawartością składników szkodliwych w spalinach. W systemach z wtryskiem sekwencyjnym paliwo podawane jest do każdego cylindra podczas jednego wtrysku (wtrysk pojedynczy) lub dwóch wtrysków (wtrysk podwójny) realizowanych w określonej fazie.

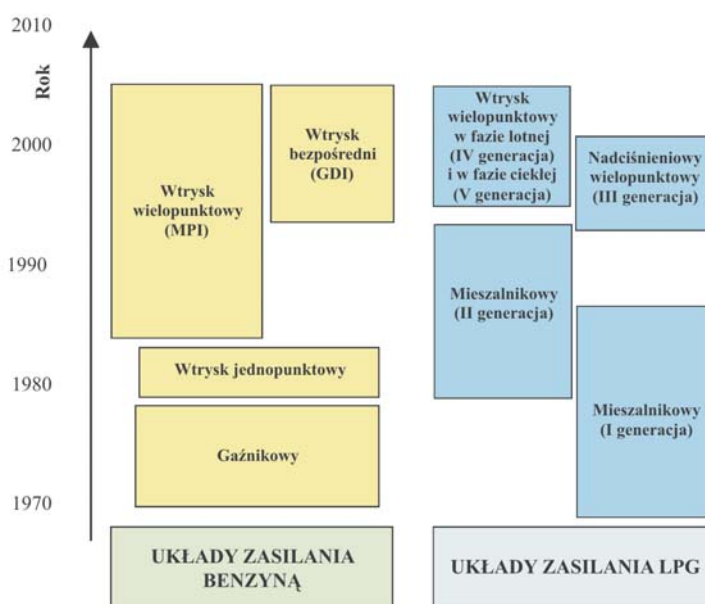
Przy zasilaniu w systemie wtrysku symultanicznego (jednoczesnego) paliwo podawane jest jednocześnie do wszystkich cylindrów w tej samej chwili. Wyróżnia się wtrysk synchroniczny, w którym paliwo podawane jest do kolektora w fazie otwarcia zaworu dolotowego oraz wtrysk asynchroniczny, realizowany w okresie zamknięcia zaworu dolotowego.

## 2. Obiekt i zakres badań eksperymentalnych

Obiektem wykorzystywanym do badań był sześciocylindrowy turbodoładowany silnik z zapłonem iskrowym typu MD-111ET<sup>1)</sup> z turbosprężarką Čz K36 przeznaczony do agregatu prądotwórczego. Silnik ten jest zmodyfikowaną konstrukcją silnika wysokoprężnego typu MD-111E.1 produkcji Wytwórni Silników Wysokoprężnych „PZL Mielec”. W wersji zasilania ciekłym LPG zastosowano system wtrysku sekwencyjnego firmy Vialle (rys. 2). W silniku zasilanym LPG w relacji do wersji wysokoprężnej MD-111E.1 dokonano szeregu zmian konstrukcyjnych, m.in.: obniżono stopień sprężania z 16,5 do 9 przez zmianę komory spalania w tłoku, zamontowano układ zasilania LPG firmy Vialle, zabudowano układ zapłonowy (świece zapłonowe zamontowano w miejscu wtryskiwaczy) oraz wprowadzono przepustnicę mieszanki w kolektorze dolotowym. Podstawowe dane techniczne silnika zawiera tab. 1.

Badania eksperymentalne realizowano pod kątem analizy zależności pomiędzy parametrami wtrysku sekwencyjnego

<sup>1)</sup>Oznaczenie zmodyfikowanego silnika zostało ustalone przez WSW „PZL-Mielec”.



Rys. 1. Rozwój systemów zasilania benzyną i LPG

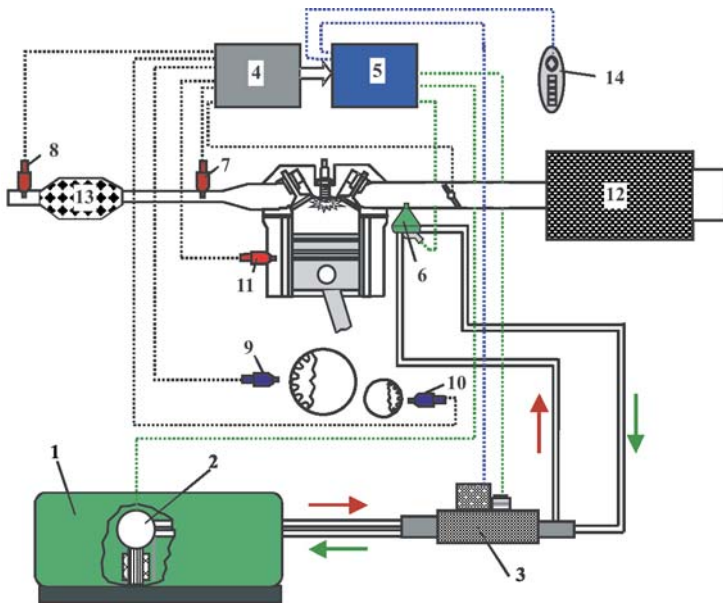
Fig. 1. Development of gasoline and LPG fuelling systems

on parameters of the gasoline injection, which means, it is mainly dependent on the injection time and the onset time of the injection. With regard to different physical and chemical properties of the LPG fuel in relation to gasoline during the realization of the injection process appropriate corrections are required [2, 3, 4, 12].

In the Department of Automotive Vehicles and Internal Combustion Engines of Rzeszów University of Technology a wide range of research was carried out regarding the influence of sequential injection of liquid LPG fuel parameters on selected operating and ecological parameters of the internal-combustion engine [4, 5, 6, 7]. In the presented publication results of the conducted research and their assessment in the aspect of operating parameters was included.

During the analysis of the data presented in the literature and referring to the effects of the obtained operating parameters in the case of fuelling with gasoline in relation to the applied injection system, it was emerged, that in the case of indirect injection of gasoline the sequential injection is significantly more profitable than the simultaneous injection [11, 13]. Engine running under the load with sequential injection, in comparison to fuelling with simultaneous injection, is characterized by a reduced consumption of fuel and lower contents of toxic components in the exhaust gases. In the sequential injection systems the fuel is being delivered to each of the cylinders during one injection (single injection) or during two injections (double injection) accomplished in the specified phase.

When fuelling in the system of the simultaneous injection (concurrent), the fuel is being delivered simultaneously to all cylinders at the same moment. Synchronous injection in which the fuel is being delivered to the manifold in the phase of the inlet valve opening is the distinctive one as well as the asynchronous injection, which takes place during the period of the inlet valve closure.



Rys. 2. Schemat instalacji firmy VIALLE: 1 – zbiornik paliwa LPG, 2 – pompa LPG, 3 – regulator ciśnienia, 4 – sterownik benzyny, 5 – sterownik LPG, 6 – wtryskiwacz LPG, 7 – pierwszy czujnik tlenu, 8 – drugi czujnik tlenu, 9 – czujnik prędkości obrotowej, 10 – czujnik położenia wałka rozrządu, 11 – czujnik temperatury cieczy chłodzącej, 12 – filtr powietrza, 13 – katalizator spalin, 14 – przełącznik wyboru paliwa

Fig. 2. Schematics of the VIALLE system: 1 – LPG fuel tank, 2 – LPG pump, 3 – pressure controller, 4 – gasoline controller, 5 – LPG controller, 6 – LPG injector, 7 – first oxygen sensor, 9 – engine speed sensor, 10 – camshaft position sensor, 11 – coolant temperature sensor, 12 – air filter, 13 – catalytic converter, 14 – switch for changing fuel type

ciekłej mieszaniny propanu i butanu a wskaźnikami pracy silnika [4]. Zrealizowano względnie dużą liczbę pomiarów, aby osiągnąć założony cel badań doświadczalnych. Podstawowymi parametrami, które podlegały rejestracji były m.in.:

## 2. Subject of research and range of experimental works

The object used during the tests was a six-cylinder turbocharged spark ignition engine of MD-111ET type with the Čz K36 turbocharger intended for the power generator. This engine is the modified design of the MD-111E.1 type diesel engine produced by „PZL Mielec” Diesel Engines Factory. The system of the sequential injection of the VIALLE company was applied to the version fuelling with LPG in a

Tabela 1. Podstawowe dane techniczne silnika MD-111ET

Table 1. Basic technical data of the MD-111ET engine

Parametr/Parameter	Wielkość/Quantity
Obieg pracy/Engine work circulation	czterosuwowy/four-stroke-cycle
Średnica cylindra/Bore	127 mm
Skok tłoka/Stroke	146 mm
Pojemność skokowa/Displacement	11 097 cm <sup>3</sup>
Liczba i układ cylindrów/Number and arrangement of cylinders	6-cylindrowy, rzędowy/six cylinder in-line engine
Kolejności zapłonu/Ignition order	1-5-3-6-2-4
Układ spalania/Combustion system	zapłon iskrowy/spark ignition
Stopień sprężania/Compression ratio	9
Układ chłodzenia/Cooling system	cieczowy/liquid
Kąty otwarcia i zamknięcia zaworów/Valve opening and closure angles: dolotowego (otwarcie, zamknięcie)/of inlet valve (opening, closure) wylotowego (otwarcie, zamknięcie)/of outlet valve (opening, closure)	8° przed ZZ, 232° po ZZ/8° before clos., 232° after clos. 134° po ZZ, 20° po ZZ/134° before clos., 20° after clos.
Układ zasilania LPG/LPG fuelling system	wtryskowy z wielopunktowym wtryskiem sekwencyjnym ciekłej mieszaniny LPG do kolektora dolotowego/injection system, with multipoint sequential injection of liquid LPG mixture to the inlet manifold
Zbiornik LPG/LPG fuel tank	– ciśnieniowy firmy Stako/pressure vessel from Stako co.
Pompa z wielozaworem/Pump with multi-valve	– przeponowa firmy VIALLE/VIALLE diaphragm pump
Silnik napędu pompy/Pump drive motor	– bezszczotkowy prądu przemiennego/brushless AC motor
Regulator ciśnienia/Pressure controller	– z mechanicznym modulem regulacji ciśnienia i elektrozaworem odcinającym utrzymujący stałe nadciśnienie zasilania 0,5 MPa w stosunku do ciśnienia w zbiorniku/with mechanical pressure regulation module and electromagnetic shut-off valve, keeping constant fuelling overpressure of 0.5 MPa in relation to the tank pressure
Wtryskiwacze/Injectors	– elektromagnetyczne firmy VIALLE/electromagnetic of VIALLE co.
Oporność cewki wtryskiwacza/Injector coil resistance	– 1,8 Ω/1,8 Ω
Mocowanie wtryskiwaczy/Injectors fixing	– w korpusie z adapterem/in holder with adaptor
Układ sterowania/Management system	– sterownik firmy VIALLE współpracujący z układem sterowania wtryskiem firmy Delta Tech Electronics/controller of VIALLE co. interoperating with the injection control system of Delta Tech Electronics company

- ilość zasysanego powietrza,
- zużycie paliwa,
- czas sygnału wtrysku sterownika nadrzędnego sterującego wtryskiem,
- czas sygnału wtrysku sterownika LPG,
- prędkość obrotowa i położenie wału korbowego,
- parametry determinujące przebieg wtrysku paliwa: ciśnienie wtrysku, początek wtrysku, temperatura paliwa, gęstość paliwa,
- przebieg ciśnienia w komorze spalania,
- wznios zaworu dolotowego i wydechowego,
- temperatura otoczenia, cieczy chłodzącej, spalin,
- stężenie węglowodorów HC, tlenku węgla CO, tlenków azotu NO<sub>x</sub> w spalinach.

Pomiary przeprowadzono dla różnych warunków obciążenia silnika i prędkości obrotowej (tab. 2 i 3).

Tabela 2. Plan badań dla wtrysku pojedynczego

Table 2. Research plan for single injection

Prędkość obrotowa/ engine speed	Obciążenie*/load*			
	20%	40%	60%	100%
900	–	•	•	•
1500	•	–	•	•

\* obciążenie odniesione do maksymalnego możliwego do uzyskania przy wtrysku pojedynczym/load in relation to max load possible to obtain with single-point injection

Wybrano dwie prędkości obrotowe: 900 obr/min (prędkość maksymalnej sprawności napełniania) oraz 1500 obr/min (prędkość robocza silnika wynikająca z zastosowania do napędu prądnicy w elektrowni kontenerowej). W badaniach realizowano wtrysk sekwencyjny pojedynczy oraz podwójny. Możliwy zakres zmian początku wtrysku, dla ustalonego położenia czujnika tarczy sygnałowej, wynosił 360° (łącznie z czasem wtrysku). W procesie wtrysku dokonywano m.in. zmian czasu sygnału wtrysku, kąta opóźnienia wtrysku (wyznaczającego początek wtrysku), czasu sygnału wtrysku pilotującego<sup>2)</sup> i opóźnienia przed wtryskiem pilotującym dla wtrysku podwójnego sekwencyjnego oraz prędkości obrotowej silnika pompy LPG (która miała wpływ na ciśnienie wtryskiwanego LPG).

### 3. Stanowisko badawcze i procedura badań

Konfiguracja stanowiska badawczego była następująca (rys. 3):

- hamulec hydrauliczny Schenck D-630E, pozwalający na płynną zmianę obciążenia silnika w całym zakresie prędkości obrotowej i mocy użytecznej,
- zautomatyzowany system masowego pomiaru zużycia paliwa firmy AVL z dwoma czujnikami pomiarowymi firmy Micro Motion F025M oraz F010M,
- system masowego pomiaru zużycia powietrza firmy AVL, pozwalający na bieżąco śledzić zmiany współczynnika napełniania,

<sup>2)</sup> Przez wtrysk pilotujący należy rozumieć w tym opracowaniu pierwszą część dawki w układzie podwójnego wtrysku sekwencyjnego.

liquid form (Fig. 2). In the LPG fuelled engine in relation to the MD-111E.1 diesel version a number of changes was made, among other things: compression ratio was lowered from 16.5 to 9 through changes in the combustion chamber in the piston, the Vialle LPG fuelling system was installed, ignition system was fitted (in the place of the injectors the spark plugs were installed) and the mixture throttling valve was installed in the inlet manifold. Basic technical data are presented in Table 1.

Experimental tests were realized with the consideration of the analysis of dependencies between the sequential injection parameters of the liquid propane butane mixture and the indicators of the engine operation [4]. Relatively large number of measurements was performed in order to reach the assumed purpose of experimental tests. Basic parameters, among other, which were recorded are as follows:

- amount of sucked air,
- fuel consumption,
- time of the signal from parent controller, which controls the fuel injection,
- time of the signal of the LPG controller,
- engine speed and position of the crankshaft,
- parameters which determine the course of the fuel injection: injection pressure, onset of injection, fuel temperature, fuel density,
- time course of pressure in the combustion chamber,
- valve lift of the inlet and outlet valves,
- temperature: ambient, coolant and exhaust gas temperature,
- concentration of hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO) and nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) in exhaust gas.

Measurements were performed for various conditions of the engine load and various speeds (Tables 2 and 3).

Tabela 3. Plan badań dla wtrysku podwójnego

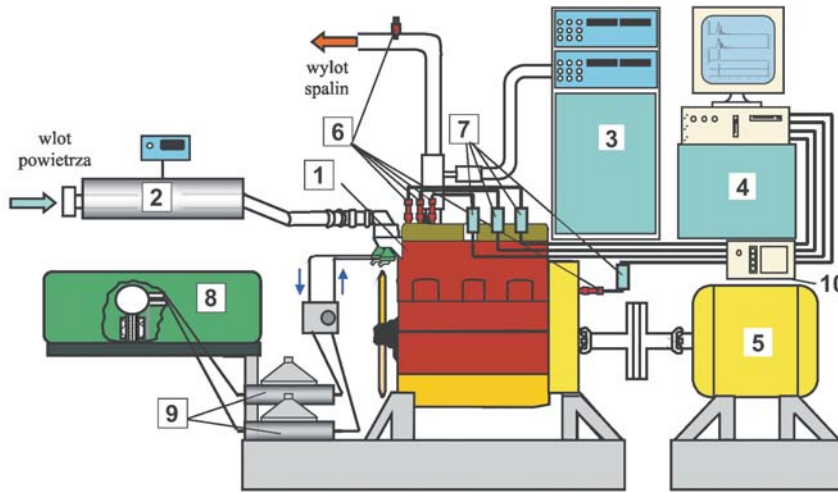
Table 3. Research plan for double injection

Prędkość obrotowa/ engine speed	Obciążenie/load			
	25%	50%	75%	100%
900	–	•	•	•
1500	•	–	•	•

Two engine speeds were selected: 900 rpm (maximum filling efficiency speed) and 1500 rpm (working speed resulting from the use of the engine to drive a generator in a container – mounted power plant). During this research the sequential single and double injection was realized. Possible range of changes of the injection onset for specified position of the signal disc sensor was 360° (including time of injection). During the injection the following parameters were modified: injection signal time, injection delay angle (which determines the onset of injection), time of the piloting injection<sup>2)</sup> signal and the time of delay before the piloting injection for sequential double injection and the speed of the LPG pump motor (which had an impact on the pressure of injected LPG fuel).

<sup>2)</sup> The pilot injection shall mean the first part of the dose in the sequential, double injection system.





Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego: 1 – silnik, 2 – system pomiaru zużycia powietrza, 3 – analizatory spalin, 4 – komputer sterujący z kartą rejestrującą, 5 – hamulec, 6 – czujniki pomiarowe wielkości szybkozmiennych, 7 – wzmacniacze pomiarowe, 8 – zbiornik LPG, 9 – miernice zużycia paliwa, 10 – separator sygnału

Fig. 3. Diagram of the testing station: 1 – engine, 2 – system for air consumption measurement, 3 – exhaust gas analyzer, 4 – controlling computer with recording card, 5 – brake, 6 – sensors for measuring of dynamic values (fast changing values), 7 – measuring amplifiers, 8 – LPG fuel tank, 9 – fuel consumption gauges, 10 – signal separator

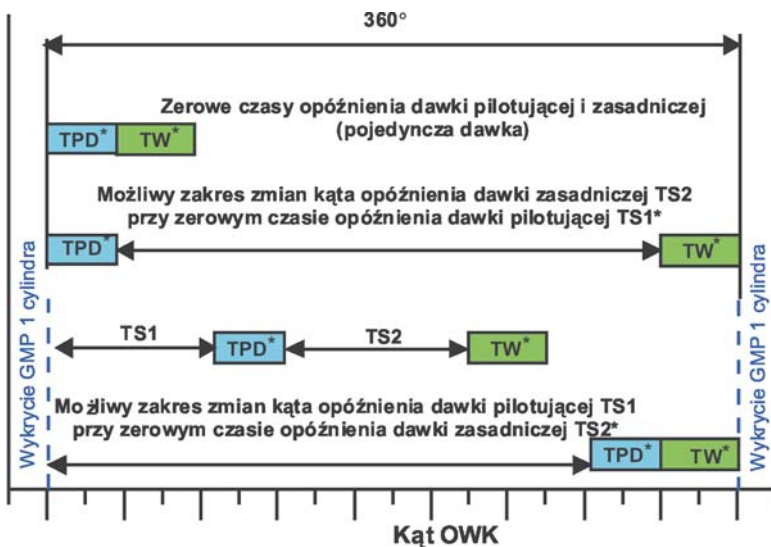
### 3. Testing station and testing procedure

Configuration of the testing station was as follows (Fig. 3):

- hydraulic brake by Schenck, type D-630E, enabling a smooth change of engine load in the entire range of engine speed and power output,
- automated system by AVL designed for the mass measurement of the fuel consumption equipped with 2 sensors of Micro Motion: F025M and F010M,
- system by AVL for mass measurement of air consumption, which allows tracing the changes of the cylinder filling ratio on an on-going basis,
- exhaust gas analysis system of AMA 2000 type by PIERBURG, intended for the measurement of the hydrocarbons and nitric oxides concentration in the exhaust gases,
- exhaust-gas analyzer type BEA-350 by BOSCH co. intended for the measurement of the carbon monoxide concentration in exhaust gas and for analysis of the  $\lambda$  air excess coefficient,

- system analizy spalin firmy PIERBURG typu AMA 2000 do pomiaru stężenia węglowodorów i tlenków azotu w spalinach,
- analizator spalin typu BEA-350 firmy BOSCH do pomiaru stężenia tlenku węgla w spalinach oraz do analizy współczynnika nadmiaru powietrza  $\lambda$ ,
- komputerowy system rejestracji wielkości szybkozmiennych, wykorzystany do pomiaru przebiegu sygnałów sterujących otwarciem wtryskiwaczy, ciśnienia w kolektorze dolotowym, wzniosu zaworów silnika, przebiegu ciśnień w cylindrach 1 i 6 oraz położenia znacznika wału korbowego;

- computer system for recording fast changing values, used for the measurement of the course of injector opening controlling signals, for measuring pressure in the inlet manifold, valve lift of the engine valves, pressure course in the cylinders 1 and 6 and for determination of the crankshaft marking. The system is based on National Instruments AT-MIO-16E-1 measuring card (sampling frequency of 1.25 MHz) with signal separator of NI SCXI 1125 type.



Rys. 4. Zakres możliwości sterowania wtryskiem wynikający z ograniczeń sterownika: TPD\* – kąt wtrysku dawki pilotującej, TW\* – kąt wtrysku dawki zasadniczej, TS1 – kąt opóźnienia dawki pilotującej, TS2 – kąt opóźnienia dawki zasadniczej

Fig. 4. Range of the injection control possibilities resulting from constraints of the controller: TPD\* – piloting dose injection angle, TW\* – main dose injection angle, TS1 – piloting dose delay angle, TS2 – main dose delay angle

The control of the injection onset was tied with the angle limit resulting from the injection controller properties. The Sum of the assigned injection angle (injection angles) and the injection delay angle (angles) cannot exceed 360 CA. The range of the possible changes in the injection onset and in the time of injection in the function of the CA angle was illustrated in Fig. 4.

Tests were realized for two settings of the sensor of signaling disc position signal. In the first case, the onset of the single injection was realized with respect to TDC in the filling stroke, in the following points:  $-200^\circ$ ,  $-130^\circ$ ,  $-60^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $100^\circ$ . The value of  $100^\circ$  angle was realized with the lowest dose of the fuel.

In case of the double injection, for each of the measuring points the changes were made in the onset of the injection of the main dose 4-times, with the constant onset of the injection of the piloting dose of  $200^\circ$  before TDC in the filling stroke. The onset of the main dose injection in relation to TDC in the suction stroke was:

system oparty na karcie pomiarowej National Instruments AT-MIO-16E-1 (o częstotliwości próbkowania 1,25 MHz) z separatorem sygnału typu NI SCXI 1125.

Sterowanie początkiem wtrysku związane było z ograniczeniem kątowym wynikającym z właściwości sterownika wtrysku. Suma zadanego kąta (kątown) wtrysku oraz kąta (kątown) opóźnienia wtrysku nie mogła przekraczać 360°OWK. Zakres możliwych zmian początku wtrysku i czasu jego trwania w funkcji kąta OWK zilustrowano na rys. 4.

Badania realizowano dla dwóch ustawień czujnika sygnału położenia tarczy sygnałowej. W pierwszym przypadku początek wtrysku pojedynczego realizowany był względem GMP w suwie napełniania w punktach: 200°, -130°, 60°, 0°, 40°, 100°. Wartość kąta 100° była realizowana przy najmniejszej dawce paliwa.

W przypadku wtrysku podwójnego, dla każdego punktu pomiarowego dokonywano zmian początku wtrysku dawki zasadniczej 4-krotnie, przy stałym początku wtrysku dawki pilotującej 200° przed GMP w suwie napełniania. Początek wtrysku dawki zasadniczej względem GMP w suwie ssania, w przypadku wtrysku podwójnego, wynosił: 140° + TPD\*°, (kąt obrotu wału korbowego odpowiadający czasowi wtrysku dawki pilotującej), -80° + TPD\*°, -20° + TPD\*°, 40° + TPD\*°.

Przypadek pierwszego ustawienia czujnika umożliwił analizę wpływu początku wtrysku realizowanego przed otwarciem zaworu dolotowego oraz w zakresie jego początkowego otwarcia na parametry silnika (rys. 5).

Dla drugiego ustawienia czujnika położenia tarczy sygnałowej początek wtrysku przy wtrysku pojedynczym wynosił: -20°, 20°, 60°, 100°, 140°, 180°, 220°. W przypadku wtrysku podwójnego początek wtrysku pilotującego był stały i wynosił -20°, natomiast zasadniczego wynosił: 60° + TPD\*°, 100° + TPD\*°, 140° + TPD\*°, 180° + TPD\*°, 220° + TPD\*°. Wartość kąta 220° była realizowana przy najmniejszej dawce paliwa z uwagi na ograniczenia sterownika. W tym przypadku celem była realizacja początków wtrysku w całym zakresie otwarcia zaworu dolotowego (rys. 6).

**4. Wybrane wyniki badań eksperymentalnych**

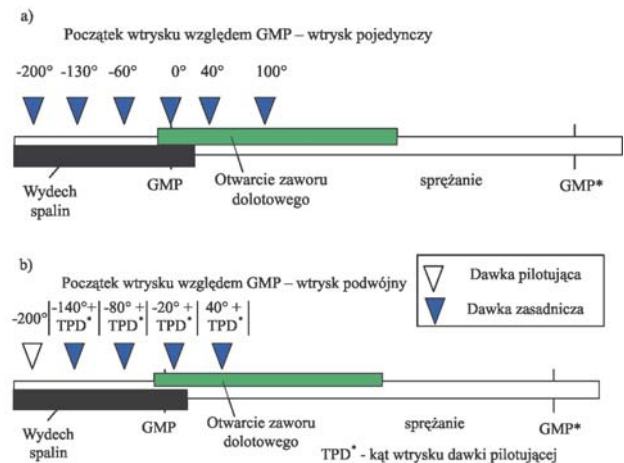
Wybrane wyniki badań odnośnie wpływu parametrów wtrysku na parametry użytkowe silnika przedstawiono na wykresach (rys. 7÷26).

Zmiana parametrów wtrysku ma istotny wpływ na użytkiwane parametry użytkowe. Zasadniczym parametrem jest początek wtrysku. Zmiana początku wtrysku paliwa pociągała za sobą niewielką zmianę sprawności napełniania cylindra, w związku z czym niewielkim wahaniom ulegał również ogólny współczynnik nadmiaru powietrza ( $\lambda \approx 0,98-1,02$ ). Wyniki badań wskazują, że wtrysk realizowany z początkiem wtrysku od ok. 20 do ok. 100°OWK po GMP w suwie ssania zapewnia uzyskanie większych wartości momentu obrotowego silnika, mocy użytecznej oraz sprawności ogólnej i cieplnej. Szczególnie istotny jest ten parametr dla wtrysku pojedynczego, przy mniejszych dawkach wtryskiwanego paliwa (dla mniejszych obciążeń). Zmiana początku wtrysku do wartości 140°OWK po GMP w suwie ssania, przy wtrysku pojedynczym, dla n = 1500 obr/min oraz czasu wtrysku 4,4 ms, spowodowała spadek momentu obrotowego nawet o ok. 45%.

- 140 + TDC\*° (crankshaft angle corresponding to the time of the piloting dose injection), -80 + TDC\*°, -20° + TDC\*°, 40° + TDC\*° in the case of the double injection.

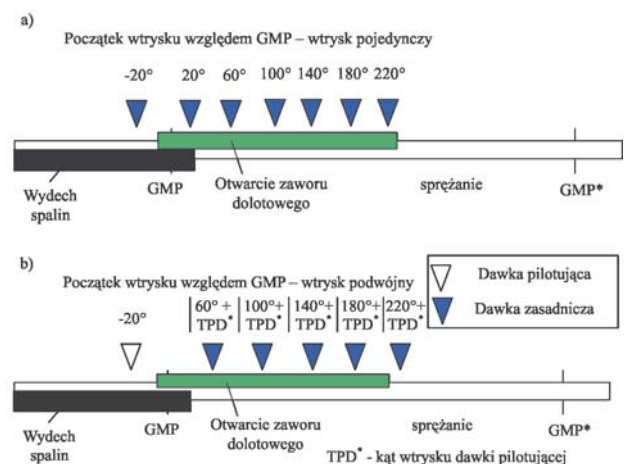
The case of the first setting of the sensor enabled the analysis of the impact of the injection onset realized before the opening of the inlet valve and in the range of initial valve opening on the parameters of the engine (Fig. 5).

For the second setting of the signal disc position sensor, the onset of the injection at the single injection was: -20°, 20°, 60°, 100°, 140°, 180°, 220°. In the case of the double injection the onset of the piloting injection was constant and was of -20°, and for the main injection was: 60° + TDC\*°, 100° + TDC\*°, 140° + TDC\*°, 180° + TDC\*°, 220° + TDC\*°. The value of the angle of 220° was realized at the lowest dose of the fuel with regard to controller limitations. In this case the purpose was the realization of the injection onsets in the whole range of the inlet valve opening (Fig. 6).



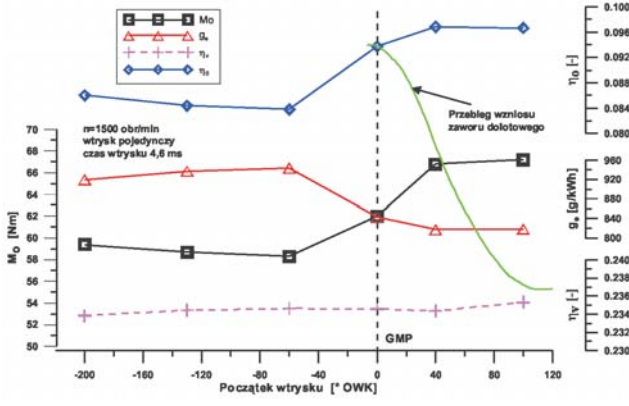
Rys. 5. Testowane początki wtrysku przy pierwszym ustawieniu czujnika położenia tarczy sygnałowej: a) przy wtrysku pojedynczym, b) przy wtrysku podwójnym

Fig. 5. Tested onsets of the injection with first setting of the signal disc position sensor: a) at single injection, b) at double injection



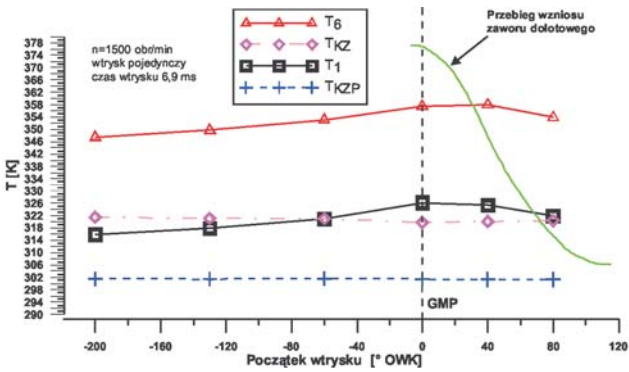
Rys. 6. Testowane początki wtrysku przy drugim ustawieniu czujnika położenia tarczy sygnałowej: a) przy wtrysku pojedynczym, b) przy wtrysku podwójnym

Fig. 6. Tested onsets of the injection with the second setting of the signal disc position sensor: a) at single injection, b) at double injection



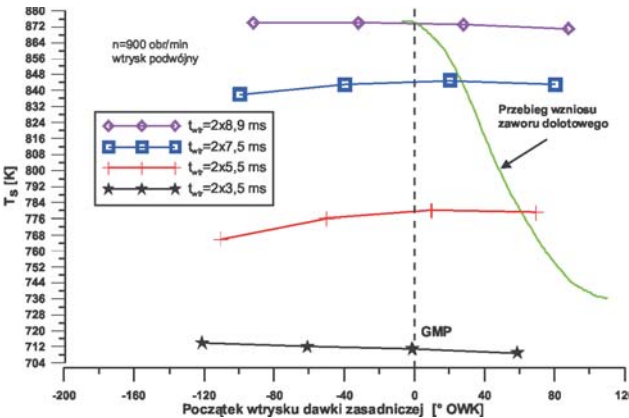
Rys. 7. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na moment obrotowy  $M_o$ , sprawność napełniania  $\eta_v$ , sprawność ogólną  $\eta_0$  i jednostkowe zużycie paliwa  $g_e$  (wtrysk pojedynczy,  $n = 1500$  obr/min, czas wtrysku 4,6 ms)

Fig. 7. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the torque  $M_o$ , filling efficiency  $\eta_v$ , total efficiency  $\eta_0$  and fuel rate  $g_e$  (single injection,  $n = 1500$  rpm, injection time 4.6 ms)



Rys. 9. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperatury w kolektorze dolotowym:  $T_1$  – temperatura przed zaworem dolotowym 1 cylindra,  $T_6$  – temperatura przed zaworem dolotowym 6 cylindra,  $T_{KZ}$  – temperatura w kolektorze zbiorczym,  $T_{KZP}$  – temperatura za przepustnicą (wtrysk pojedynczy,  $n = 1500$  obr/min, czas wtrysku 6,9 ms)

Fig. 9. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on temperatures in the inlet manifold:  $T_1$  – temperature before the inlet valve of the 1<sup>st</sup> cylinder,  $T_6$  – temperature before the inlet valve of the 6<sup>th</sup> cylinder,  $T_{KZ}$  – temperature in the collective manifold,  $T_{KZP}$  – temperature behind the throttling valve (single injection,  $n = 1500$  rpm, injection time 6.9 ms)

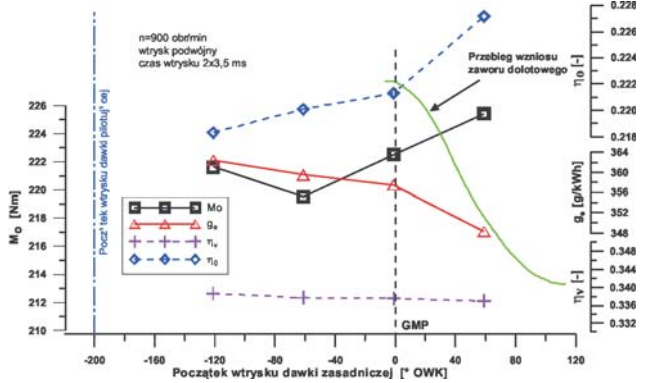


Rys. 12. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperaturę spalin (wtrysk podwójny,  $n = 900$  obr/min)

Fig. 12. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the temperature of exhaust gases (double injection,  $n = 900$  rpm)

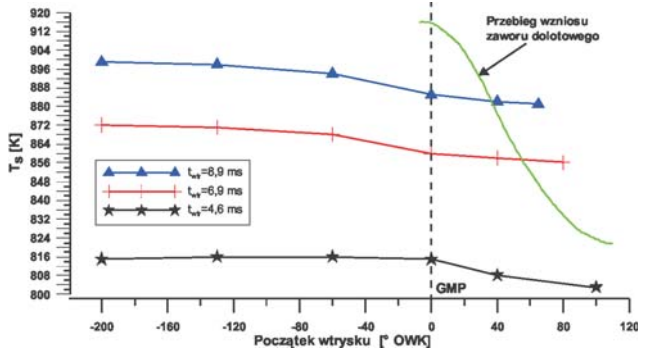
4. Selected results of experimental studies

Selected results of the studies regarding the injection parameters impact on the operating parameters of the engine were presented on charts (Fig. 7-26).



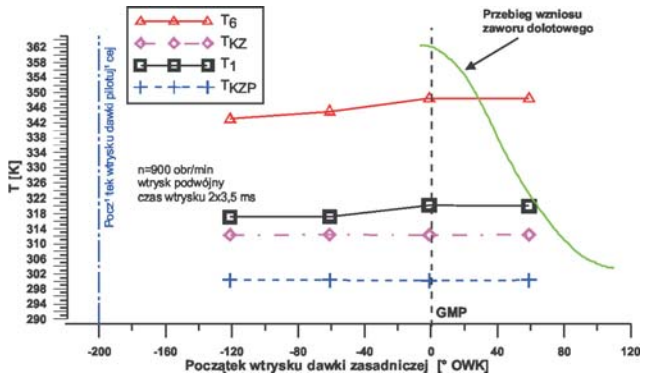
Rys. 8. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na moment obrotowy  $M_o$ , sprawność napełniania  $\eta_v$ , sprawność ogólną  $\eta_0$  i jednostkowe zużycie paliwa  $g_e$  (wtrysk podwójny,  $n = 900$  obr/min, czas wtrysku  $2 \times 3,5$  ms)

Fig. 8. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the torque  $M_o$ , filling efficiency  $\eta_v$ , total efficiency  $\eta_0$  and fuel rate  $g_e$  (double injection,  $n = 900$  rpm, injection time  $2 \times 3.5$  ms)



Rys. 10. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperaturę spalin (wtrysk pojedynczy,  $n = 1500$  obr/min)

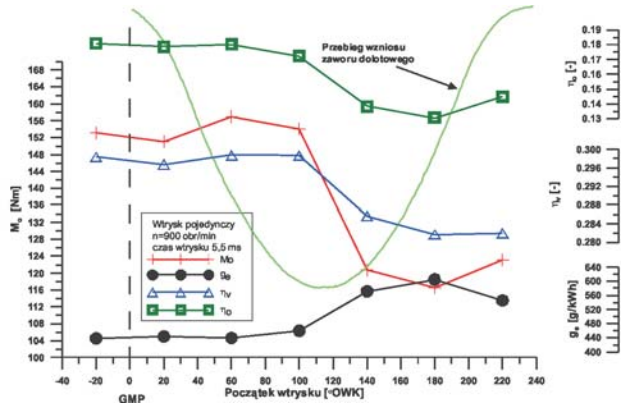
Fig. 10. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the temperature of exhaust gases (single injection,  $n = 1500$  rpm)



Rys. 11. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperatury w kolektorze dolotowym:  $T_1$  – temperatura przed zaworem dolotowym 1 cylindra,  $T_6$  – temperatura przed zaworem dolotowym 6 cylindra,  $T_{KZ}$  – temperatura w kolektorze zbiorczym,  $T_{KZP}$  – temperatura za przepustnicą (wtrysk podwójny,  $n = 900$  obr/min, czas wtrysku  $2 \times 3,5$  ms)

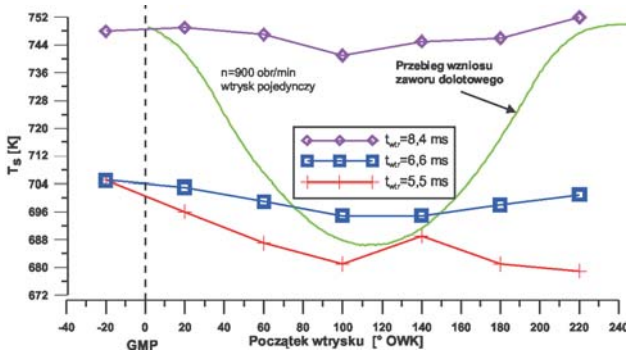
Fig. 11. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on temperatures in the inlet manifold:  $T_1$  – temperature before the inlet valve of the 1<sup>st</sup> cylinder,  $T_6$  – temperature before the inlet valve of the 6<sup>th</sup> cylinder,  $T_{KZ}$  – temperature in the collective manifold,  $T_{KZP}$  – temperature behind the throttling valve (double injection,  $n = 900$  rpm, injection time  $2 \times 3.5$  ms)





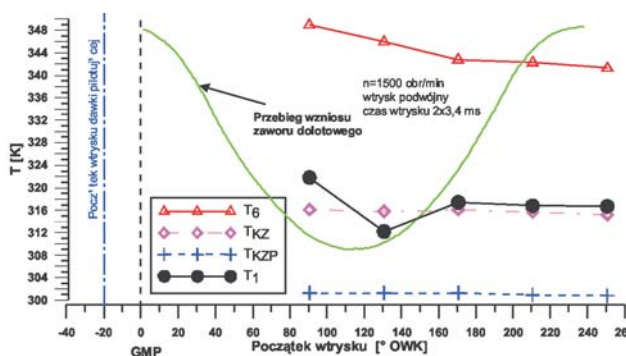
Rys. 13. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na moment obrotowy  $M_{0p}$ , sprawność napełniania  $\eta_v$ , sprawność ogólną  $\eta_0$  i jednostkowe zużycie paliwa  $g_e$  (wtrysk pojedynczy,  $n = 900$  obr/min, czas wtrysku 5,5 ms)

Fig. 13. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the torque  $M_{0p}$ , filling efficiency  $\eta_v$ , total efficiency  $\eta_0$  and fuel rate  $g_e$  (single injection,  $n = 900$  rpm, injection time 5.5 ms)



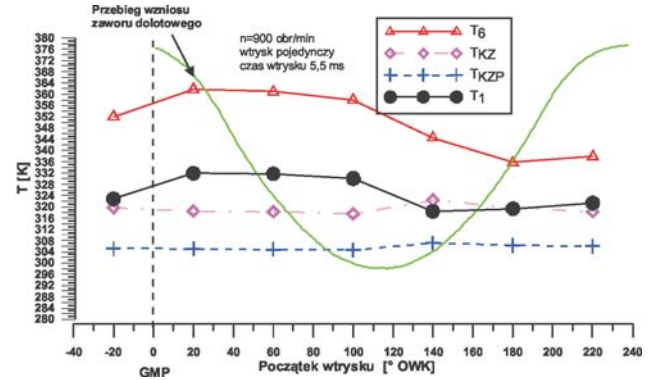
Rys. 15. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperaturę spalin (wtrysk pojedynczy,  $n = 900$  obr/min)

Fig. 15. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the temperature of exhaust gases (single injection,  $n = 900$  rpm)



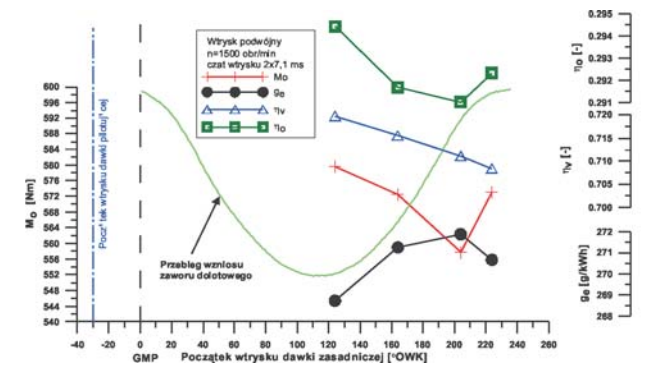
Rys. 17. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperatury w kolektorze dolotowym:  $T_1$  – temperatura przed zaworem dolotowym 1 cylindra,  $T_6$  – temperatura przed zaworem dolotowym 6 cylindra,  $T_{KZ}$  – temperatura w kolektorze zbiorczym,  $T_{KZP}$  – temperatura za przepustnicą (wtrysk podwójny,  $n = 1500$  obr/min, czas wtrysku  $2 \times 3,4$  ms)

Fig. 17. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on temperatures in the inlet manifold:  $T_1$  – temperature before the inlet valve of the 1<sup>st</sup> cylinder,  $T_6$  – temperature before the inlet valve of the 6<sup>th</sup> cylinder,  $T_{KZ}$  – temperature in the collective manifold,  $T_{KZP}$  – temperature behind the throttling valve (double injection,  $n = 1500$  rpm, injection time  $2 \times 3.4$  ms)



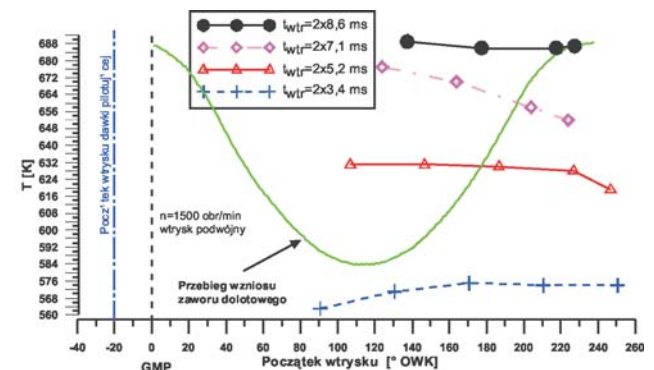
Rys. 14. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperatury w kolektorze dolotowym:  $T_1$  – temperatura przed zaworem dolotowym 1 cylindra,  $T_6$  – temperatura przed zaworem dolotowym 6 cylindra,  $T_{KZ}$  – temperatura w kolektorze zbiorczym,  $T_{KZP}$  – temperatura za przepustnicą (wtrysk pojedynczy,  $n = 900$  obr/min, czas wtrysku 5,5 ms)

Fig. 14. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on temperatures in the inlet manifold:  $T_1$  – temperature before the inlet valve of the 1<sup>st</sup> cylinder;  $T_6$  – temperature before the inlet valve of the 6<sup>th</sup> cylinder;  $T_{KZ}$  – temperature in the collective manifold,  $T_{KZP}$  – temperature behind the throttling valve (single injection,  $n = 900$  rpm, injection time 5.5 ms)



Rys. 16. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na moment obrotowy  $M_{0p}$ , sprawność napełniania  $\eta_v$ , sprawność ogólną  $\eta_0$  i jednostkowe zużycie paliwa  $g_e$  (wtrysk podwójny,  $n = 1500$  obr/min, czas wtrysku  $2 \times 7,1$  ms)

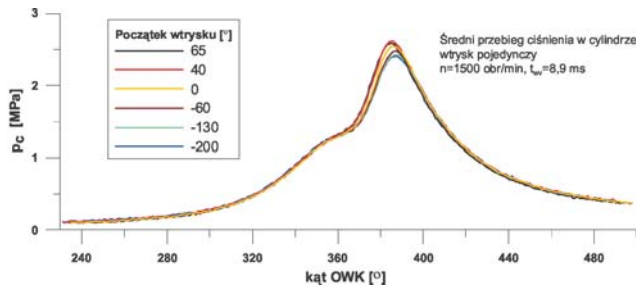
Fig. 16. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the torque  $M_{0p}$ , filling efficiency  $\eta_v$ , total efficiency  $\eta_0$  and fuel rate  $g_e$  (double injection,  $n = 1500$  rpm, injection time  $2 \times 7.1$  ms)



Rys. 18. Wpływ początku wtrysku ciekłego LPG na temperaturę spalin (wtrysk podwójny,  $n = 1500$  obr/min)

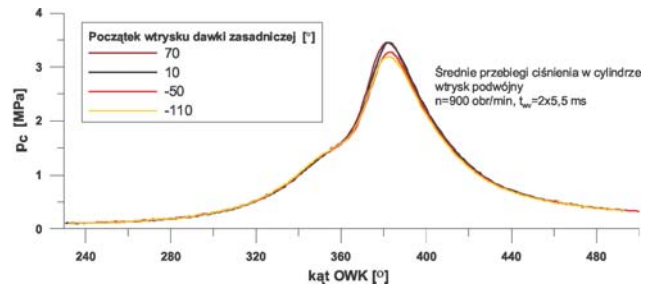
Fig. 18. Impact of the onset of the liquid LPG fuel injection on the temperature of exhaust gases (double injection,  $n = 1500$  rpm)





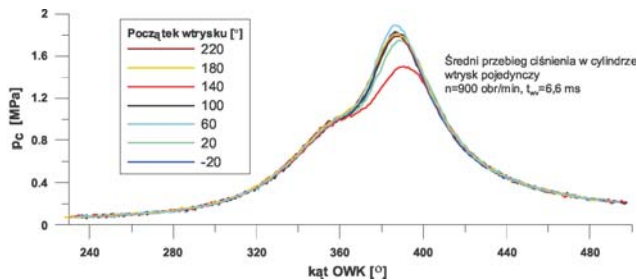
Rys. 19. Uśrednione przebiegi ciśnienia w cylindrze (wtrysk pojedynczy, n = 1500 obr/min, czas wtrysku 8,9 ms)

Fig. 19. Averaged pressure courses in the cylinder (single injection, n = 1500 rpm, injection time 8.9 ms)



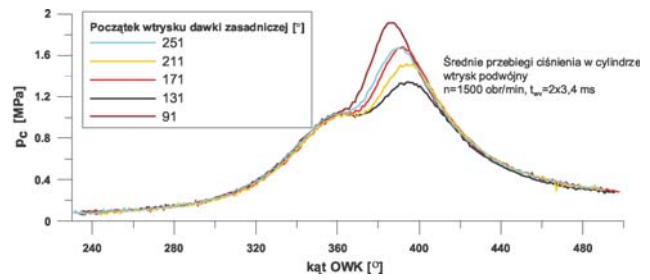
Rys. 20. Uśrednione przebiegi ciśnienia w cylindrze (wtrysk podwójny, n = 900 obr/min, czas wtrysku 2x5,5 ms)

Fig. 20. Averaged pressure courses in the cylinder (double injection, n = 900 rpm, injection time 2x5.5 ms)



Rys. 21. Uśrednione przebiegi ciśnienia w cylindrze (wtrysk pojedynczy, n = 900 obr/min, czas wtrysku 6,6 ms)

Fig. 21. Averaged pressure courses in the cylinder (single injection, n = 900 rpm, injection time 6.6 ms)



Rys. 22. Uśrednione przebiegi ciśnienia w cylindrze (wtrysk podwójny, n = 1500 obr/min, czas wtrysku 2x3,4 ms)

Fig. 22. Averaged pressure courses in the cylinder (double injection, n = 1500 rpm, injection time 2x3.4 ms)



Rys. 23. Procentowe zmiany momentu obrotowego silnika w zależności od początku wtrysku (n = 900 obr/min, wtrysk pojedynczy, czas wtrysku 5,5 ms)

Fig. 23. Percentage changes in the engine torque in relation to the onset of the fuel injection (n = 900 rpm, single injection, injection time 5.5 ms)



Rys. 24. Procentowe zmiany momentu obrotowego silnika w zależności od początku wtrysku (n = 1500 obr/min, wtrysk pojedynczy, czas wtrysku 4,4 ms)

Fig. 24. Percentage changes in the engine torque in relation to the onset of the fuel injection (n = 1500 rpm, single injection, injection time 4.4 ms)



Rys. 25. Procentowe zmiany momentu obrotowego silnika w zależności od początku wtrysku (n = 900 obr/min, wtrysk podwójny, czas wtrysku 2x5,4 ms)

Fig. 25. Percentage changes in the engine torque in relation to the onset of the fuel injection (n = 900 rpm, double injection, injection time 2x5.4 ms)



Rys. 26. Procentowe zmiany momentu obrotowego silnika w zależności od początku wtrysku (n = 1500 obr/min, wtrysk podwójny, czas wtrysku 2x3,4 ms)

Fig. 26. Percentage changes in the engine torque in relation to the onset of the fuel injection (n = 1500 rpm, double injection, injection time 2x3.4 ms)

The change of the injection parameters has significant influence on the obtained operating parameters. The onset of the injection is the parameter of fundamental importance. Change in the onset of the fuel injection involved a small change in the efficiency of the filling of the cylinder and the cause of this fact, the general air excess coefficient was also subject to minor fluctuations ( $\lambda \approx 0.98-1.02$ ). The results of the research point that the injection realized with the onset of the injection starting from approx. 20° to approx. 100 CA after TDC during the suction stroke ensures obtaining higher values of the torque, operating power and operating and thermal efficiency. In particular, this parameter is essential for the single injection in the case of fuel being injected at smaller doses (when smaller charges takes place). Change in the timing of the onset of fuel injection to 140 CA after TDC during the suction stroke (at single injection) for n = 1500 rpm and the injection time of 4.4 ms caused the drop in the torque up to 45%.

Averaged pressure courses in the cylinder (Fig. 19÷22) show that the change in the onset of the fuel injection influ-

Uśrednione przebiegi ciśnienia w cylindrze (rys. 19÷22) wskazują, że zmiana początku wtrysku wpływa na szybkość spalania mieszanki. Przy wtrysku synchronicznym realizowanym z początkiem wtrysku w zakresie od ok. 20°OWK do ok. 100°OWK występuje większa szybkość spalania niż przy wtrysku asynchronicznym. Najniższe szybkości spalania uzyskano przy wtrysku pojedynczym realizowanym z początkiem wtrysku ok. 140°OWK po GMP w suwie napełniania.

Zmiany temperatur w kanałach dolotowych przed zaworami dolotowymi mogą świadczyć o częściowym odparowywaniu wtryskiwanego LPG w cylindrze silnika. Przy wtrysku LPG realizowanym przy otwartym zaworze ssącym mierzone temperatury w kanałach dolotowych rosną. W czasie wtrysku realizowanego przy zamkniętym zaworze, jak również w końcowej fazie otwarcia zaworu, temperatury są niższe, co świadczy o odparowywaniu paliwa w kolektorze. Przy wtrysku LPG na otwarty zawór dolotowy zaobserwowano w większości przypadków obniżenie temperatury spalin (rys. 10 i 15).

## 5. Podsumowanie

Zasilanie silnika o zapłonie iskrowym w systemie sekwencyjnego wtrysku ciekłego LPG, w zależności od parametrów wtrysku, umożliwia uzyskanie różnych parametrów użytkowych. Wyraźna jest różnica pomiędzy wtryskiem synchronicznym a wtryskiem asynchronicznym. Zauważalny jest duży wpływ początku wtrysku paliwa na moment obrotowy silnika i jego sprawność.

Realizacja tematu badawczego oraz analiza uzyskanych wyników obliczeń i badań eksperymentalnych pozwala na sformułowanie następujących wniosków o charakterze poznawczym:

- przy zasilaniu silnika w systemie wtrysku LPG w fazie ciekłej do kolektora dolotowego istnieje wyraźna zależność pomiędzy parametrami wtrysku a parametrami użytkowymi silnika,
- wpływ początku wtrysku na parametry użytkowe silnika maleje ze wzrostem obciążenia,
- zmiana początku wtrysku w warunkach ustalonej pracy silnika (stałe obciążenie, stała prędkość obrotowa) wpływa na proces tworzenia mieszanki, również przy współczynniku nadmiaru powietrza  $\lambda \approx 1$ ,
- zmiana odległości kątowej dawek pilotującej i zasadniczej w układzie wtrysku podwójnego wpływa na parametry użytkowe silnika,
- aby uzyskać wyższe wartości parametrów użytkowych przy wtrysku podwójnym należy przyjmować taki początek wtrysku dawki pilotującej, aby wtrysk tej dawki realizowany był przed otwarciem zaworu dolotowego oraz taką odległość kątową dawki zasadniczej od dawki pilotującej, aby początek wtrysku dawki zasadniczej realizowany był w zakresie otwierania zaworu dolotowego,
- wtrysk podwójny umożliwia uzyskanie większych wartości parametrów użytkowych niż wtrysk pojedynczy, niezależnie od przyjętego początku wtrysku i odległości kątowej dawek,

ences the combustion speed of the mixture. During a synchronous injection performed with the onset of the injection in the range from ca. 20 CA to approx. 100 CA higher speed of the combustion occurs than in the case of the asynchronous injection. The lowest combustion speed was obtained during single injection performed with the injection onset of approx. 140 CA after TDC in the filling stroke.

The changes occurring in temperatures in the intake passages of the engine before the intake valves, which may be a proof of the evaporation of the injected LPG partially in the cylinder of the engine. In case of the LPG fuel injection realized near to the opened suction valve, temperatures measured in the intake passages increase. During the injection performed at the closed valve, as well as in the final phase of the opening of the valve, temperatures are lower which is a proof showing that the fuel evaporates in the manifold. A decrease in the temperature of the exhaust gases was observed in most cases during the LPG fuel injection into the opened inlet valve (Fig. 10 and 15).

## 5. Summary

Fuelling a sequential injection spark ignition engine with liquid LPG fuel, (depending on the parameters of the injection) makes it possible to obtain various operating parameters. Dissimilarity between the synchronous injection and the asynchronous injection is striking. Significant influence of the fuel injection onset on the engine torque and its efficiency is perceptible.

Implementation of the research topic and the analysis of the computational results obtained and the results of the experimental tests make it possible to express the following conclusions of the cognitive character:

- when fuelling the engine (in the system of the LPG fuel injection in the liquid phase) to the inlet manifold there exists an explicit dependence between parameters of the injection and operating parameters of the engine,
- the influence of the injection onset on the operating parameters of the engine is decreases with the increase in the load of the engine,
- a change of the injection onset in fixed engine running conditions (constant load, constant engine speed) influences the mixture preparation, also in the case of the air excess coefficient of  $\lambda \approx 1$ ,
- a change in the angular distance of piloting and main doses in the double injection system influences the operating parameters of the engine,
- in order to obtain higher values of operating parameters during double injection it is necessary to accept such an onset of the piloting dose injection so that the injection of this dose is realized before the opening of the inlet valve and such an angular distance of the main dose from the piloting dose, that the onset of the main dose injection is performed in the opening range of the inlet valve,
- double injection makes it possible to obtain higher values of operating parameters than in the case of a single injection, independently of the determined injection onset and the angular distance of doses,

- zmiana temperatury LPG i związany z nią wzrost ciśnienia znacząco wpływają na dawkę paliwa, od której zależą parametry użytkowe,
  - znaczny wpływ na proces tworzenia mieszanki ma wydatek przepływającego powietrza w procesie napełniania, który zapewni uzyskanie mieszanki bardziej zbliżonej do homogenicznej,
  - wtrysk podwójny jest korzystnym sposobem zasilania umożliwiającym stosowanie wtryskiwacza o mniejszym wydatku do silnika o dużej objętości skokowej (wtrysk pojedynczy byłby w tym przypadku zbyt długi, co z uwagi na nagrzewanie cewki elektromagnesu wpływa na stabilność dawkowania oraz trwałość wtryskiwacza).
- alteration of the LPG temperature and the increase in the pressure tied with this alteration significantly influence the dose of the fuel on which the operating parameters depend,
  - the amount of air flowing in the process of cylinder filling has considerable influence on the process of mixture preparation, which assures obtaining a near homogenous mixture,
  - double injection is the favorable method of supplying the fuel, which makes it possible to apply injectors with smaller flow rate to an engine with high cylinder capacity (single injection would in this case be too long, which in turn, due to the warming up of the electromagnet coil influences the stability of dosage and durability of the injector).

Artykuł recenzowany

## Literatura/Bibliography

- [1] Brzeżański M., Golec K.: Nowoczesne systemy zasilania silników spalinowych paliwami gazowymi. Mat. VI Międzynarodowej Konferencji Naukowej Silniki Gazowe 2003. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2003.
- [2] Burnicle D.: Gas attack. Gas – powered vehicles into the future. Engine Technology International 6/2000.
- [3] Enju Lee, Jinwoo Park, Kang Y. Huh, Jaejoon Choi, Choongsik Bae: Simulation of Fuel/Air Mixture Formation for Heavy Duty Liquid Phase LPG Injection (LPLI) Engines. SAE 2003-01-0636.
- [4] Jaworski A.: Wpływ parametrów wtrysku sekwencyjnego układu zasilania ciekłym LPG na wybrane parametry użytkowe silnika spalinowego. Rozprawa doktorska. Politechnika Rzeszowska, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Rzeszów 2005.
- [5] Jaworski A., Lejda K.: Analiza możliwości poprawy parametrów użytkowych silnika zasilanego w systemie wtrysku ciekłego LPG. Międzynarodowa Konferencja: SAKON'04 nt. „Metody obliczeniowe i badawcze w rozwoju pojazdów samochodowych i maszyn roboczych samojezdnych. Zarządzanie i marketing w motoryzacji”, Rzeszów 2004.
- [6] Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Woś P.: Niektóre problemy związane z adaptacją silnika do zasilania LPG w systemie wtrysku ciekłego do kolektora dolotowego. Visnik Nacionalnogo Transportnogo Univeritetu Ta Transportnoj Akademii Ukraini, t.10, Kiev 2005.
- [7] Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A.: Analiza obliczeniowa i badania eksperymentalne silnika wysokoprężnego MD-111 przystosowanego do zasilania gazem LPG. Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Kongres Silników Spalinowych, Szczyrk 25-28.09.2005, P05-096.
- [8] Lejda K.: Systemy wtryskowe szybkoobrotowych silników wysokoprężnych. Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Silniki Spalinowe nr 4, 2005.
- [9] Majerczyk A., Taubert S.: Układy zasilania gazem propanbutan. WKŁ, Warszawa 2003.
- [10] Merksiz J.: Tendencje rozwojowe Silników Spalinowych. Polskie Towarzystwo Naukowe Silników Spalinowych, Silniki Spalinowe nr 1, 2004.
- [11] Mikulic L. i in.: Sequentielle Einspritzstrategien für verbrauchsoptimierte Ottomotorkonzepte. MTZ Motortechnische Zeitschrift 51, 1990.
- [12] Seungmook Oh, Seungyu Kim, Choongsik Bae, Changup Kim, Kernyong Kang: Flame propagation characteristics in a heavy duty LPG engine with liquid phase port injection. SAE 2002-01-1736.
- [13] Wendeker M.: Sterowanie wtryskiem benzyny w silniku samochodowym. Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin 1999.
- [14] Materiały szkoleniowe firmy Vialle, Kielce 2005.

## Skróty i oznaczenia/Nomenclature

GDI	Silniki ZI z wtryskiem bezpośrednim/ <i>Gasoline Direct Injection</i>
MPI	wtrysk wielopunktowy/ <i>Multi-Point Injection</i>
OBD	diagnostyka pokładowa pojazdów/ <i>On-Board Diagnostic</i>
LPG	skroplone paliwo węglowodorowe/ <i>Liquified Petroleum Gas</i>

Dr hab. inż. Kazimierz Lejda – profesor na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.  
*Mr Kazimierz Lejda, DSc., DEng. – professor in Department of Machine Design and Aviation in Rzeszów University of Technology.*



Dr inż. Adam Ustrzycki – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

*Mr Adam Ustrzycki, DEng. – assistant professor in Department of Machine Design and Aviation in Rzeszów University of Technology.*



Dr inż. Artur Jaworski – adiunkt na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej.

*Mr Artur Jaworski, DEng. – assistant professor in Department of Machine Design and Aviation in Rzeszów University of Technology.*

